Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino

Programma SPoTT
Rapporto n° 9

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

Risultati sui livelli di inquinanti organici dopo tre anni dall'avvio dell'impianto

novembre2018

Rapporto a cura di

Antonella Bena[1]
Elena Farina[1]
Manuela Orengia[1]
Franco Ghione[2]
Marco Fontana[2]
Denis Bolognese[2]
Anna Laura Iamiceli[3]
Elena De Felip[3]

[1] Struttura Complessa a Direzione Universitaria Servizio Sovrazonale di Epidemiologia - ASL TO3
[2] Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale - ARPA Piemonte
[3] Istituto Superiore di Sanità - U.O. Esposizione Umana a Contaminanti Ambientali - Dipartimento Ambiente e Salute

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

Silvia Candela
Francesco Forastiere
Benedetto Terracini

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

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

Antonella Bena – Coordinatrice del Programma SPoTT
Elena Farina
Manuela Orengia

ARPA Piemonte - Struttura Rischio e Igiene Industriale

Marco Fontana
Franco Ghione
Denis Bolognese

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

Vittorio Abate
Annalisa Abballe
Elena De Felip
Stefania Paola De Filippis
Elena Dellatte
Silvia De Luca
Fabiola Ferri
Anna Rita Fulgenzi
Nicola Iacovella
Anna Laura Iamiceli
Anna Maria Ingelido
Valentina Marra
Robero Miniero
Silvia Valentini

Indice

Sintesi del settimo rapporto di studio……...……...…4

Introduzione……...5

1 L'impianto 11

1.1 Il percorso dei rifiuti 12

1.1.1 Il conferimento..... 12
1.1.2 Lo stoccaggio..... 12
1.1.3 La combustione 12
1.1.4 La depurazione dei fumi..... 12
1.1.5 La gestione dei residui..... 13

2 Imprese e lavoratori operanti presso l'impianto 15

2.1 Ditte in appalto coinvolte nel biomonitoraggio umano 17

3 Materiali e metodi 18

3.1 Disegno dello studio..... 18

3.2 Analiti in studio..... 18

3.3 Adesione allo studio e metodi di prelievo..... 20

3.3.1 Procedura di raccolta urine 22

3.4 Metodi di analisi chimica..... 22

3.4.1 OH-IPA 22
3.4.2 PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB..... 23
3.4.3 COTININA E CREATININA 24

3.5 Metodi statistici..... 25

3.6 Monitoraggio ambientale 26

3.6.1 Analiti e metodi di analisi strumentale..... 27
3.6.2 Monitoraggio ambientale 2016 27
3.6.3 Monitoraggio ambientale 2017 28

4 Risultati OH-IPA.....29

4.1 Risultati del biomonitoraggio dopo 3 anni (T2)..... 29

4.2 Confronti dei risultati al T2 con il baseline (T0) e con il primo controllo (T1)..... 35

4.3 Risultati della rilevazione trasversale (Tx) 38

4.4 Risultati dei monitoraggi ambientali..... 43

4.4.1 Risultati del campionamento 2016 (contestuale al Tx)..... 43
4.4.2 Risultati del campionamento 2017 (Contestuale al T2) 44

4.4.3 Confronti fra le diverse campagne 45

5 Risultati PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB.....48

5.1 Risultati del biomonitoraggio dopo 3 anni (T2)..... 48

5.2 Confronti dei risultati al T2 con il baseline (T0) 49

5.3 Risultati della rilevazione trasversale (Tx) 49

5.4 Risultati dei monitoraggi ambientali..... 51

5.4.1 Risultati del campionamento 2016 (Contestuale al Tx) 51
5.4.2 Risultati del campionamento 2017 (Contestuale al T2) 53
5.4.3 Confronti fra le diverse campagne 55

6 Discussione e conclusioni 56

7 Bibliografia.....60

Sintesi del nono rapporto di studio

La linea di attività che il programma SPoTT ha dedicato ai lavoratori dell'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino si sviluppa su diversi fronti: raccolta e aggiornamento periodico di informazioni anagrafiche, lavorative e di salute; monitoraggio delle esposizioni ambientali all'interno dell'impianto; monitoraggio dei dipendenti TRM tramite biomarcatori di esposizione al momento dell'assunzione e ripetuto dopo 1 e 3 anni.

Dal novembre 2014 l'intera attività di global service (comprendente diversi servizi ausiliari alla produzione, quali la manutenzione, la pulizia e la guardiania) è stata esternalizzata a imprese terze. Da allora pertanto sono presenti, oltre ai dipendenti TRM, numerose imprese esterne: solo nel primo semestre del 2017 hanno operato circa 400 dipendenti di 80 aziende appaltatrici. Dalle analisi effettuate all'interno dell'impianto nei primi anni di esercizio, è parso evidente che le mansioni potenzialmente più esposte alle sostanze pericolose sono affidate proprio a questa tipologia di imprese. Il biomonitoraggio è stato quindi esteso anche a lavoratori di ditte esterne con presenza continuativa in impianto: in questo caso, data la natura temporanea dei loro contratti, non è stato possibile effettuare un confronto temporale (prima e dopo l'inizio attività) e si è quindi condotto uno studio trasversale.

Sono stati prelevati campioni di urina e di sangue per la ricerca di metalli, metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici (OH-IPA), policlorobifenili (PCB) e diossine (PCDD, PCDF). Al fine di valutare lo stato di salute generale dei lavoratori sono stati inoltre determinati i comuni parametri ematochimici di base, una selezione di parametri ormonali, renali ed epatici, ed è stata eseguita la misurazione della pressione arteriosa e della funzionalità respiratoria. Attraverso un'intervista individuale sono stati raccolti dati anamnestici, dati sulla storia lavorativa e sulle abitudini alimentari e voluttuarie utili per l'interpretazione dei risultati.

Parallelamente sono state condotte due campagne di monitoraggio ambientale indoor per definire l'esposizione a inquinanti ambientali all'interno dell'impianto.

Il presente rapporto riguarda gli inquinanti organici e presenta:

- i risultati dopo tre anni dall'assunzione (T2) sui lavoratori dipendenti di TRM;
- il confronto con le analisi precedenti, condotte prima dell'assunzione (T0) e dopo un anno (T1); per PCB e diossine sono disponibili solo i confronti con il T0;
- i risultati riguardanti i lavoratori dipendenti di imprese in appalto (Tx);
- i risultati dei monitoraggi ambientali indoor.

Lavoratori TRM: risultati dopo tre anni dall'assunzione presso l'impianto (T2) e confronti con il baseline (T0)

Hanno partecipato alla fase T2 trentacinque lavoratori, ossia il 79% di quelli che hanno aderito alla fase iniziale (T0).

Per quanto riguarda gli OH-IPA, confrontando i 9 soggetti che svolgono attività amministrativa e/o dirigenziale (non esposti - NE) e i 26 che sono potenzialmente a contatto con sostanze pericolose (potenzialmente esposti - PE) non si rilevano differenze di esposizione per i metaboliti del naftalene, che sono l'80% circa degli analiti determinati.

I lavoratori PE presentano invece concentrazioni più elevate per i metaboliti meno abbondanti (fluorene, fenantrene e pirene). Tali differenze tuttavia, comparendo sia a inizio sia a fine turno, sembrano essere legate a fonti di esposizione diverse da quella occupazionale.

Nessuno dei lavoratori presenta concentrazioni di 1-OH-PYR superiori all'Indice Biologico di Esposizione (IBE) stimato dall'ACGIH e utilizzato come riferimento per valutare l'esposizione complessiva agli OH-IPA.

I livelli di OH-IPA sono stabili o tendenzialmente in diminuzione tra T0 e T2. Questi risultati sono attribuibili a componenti complesse di esposizione relative sia all'ambiente sia allo stile di vita. Tra tutte il fumo di tabacco assume certamente un ruolo rilevante, sebbene l'abitudine al fumo dei lavoratori non sia cambiata nel tempo.

Quanto a PCDD, PCDF, e PCB le determinazioni analitiche sono state condotte solo sul gruppo dei lavoratori PE: i livelli di esposizione al T2 risultano paragonabili o inferiori rispetto a quelli misurati all'avvio dell'impianto e più bassi rispetto a quelli dei residenti campionati.

Risultati della rilevazione trasversale sui lavorati delle ditte in appalto (Tx)

Hanno partecipato alla fase Tx ventisei lavoratori appartenenti a 4 imprese in appalto operanti continuativamente nei locali a maggior presenza di sostanze inquinanti (avanfossa, area scorie, area sili, locale caldaia-stoccaggio big bag, fossa RSU, manutenzione dei forni).

I lavoratori esterni presentano concentrazioni significativamente più elevate rispetto ai lavoratori TRM per la maggior parte degli OH-IPA. Le analisi non mostrano differenze significative tra chi lavora a contatto con le ceneri (movimentazione di big bag) e chi svolge altri tipi di mansioni. Questi risultati potrebbero essere dovuti alla diversa distribuzione per abitudine al fumo.

Anche per questa categoria di lavoratori, nessuno presenta valori di 1-OH-PYR superiore all'IBE stimato dall'ACGIH.

Relativamente ai PCDD, PCDF, e PCB, l'analisi statistica non mostra alcuna differenza significativa tra questo gruppo di lavoratori e i lavoratori TRM, mentre i lavoratori esposti a cenere presentano concentrazioni di diossine inferiori a quelli dei residenti campionati.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati, occorre sottolineare che i lavoratori delle ditte esterne arruolati nello studio sono solo il 40% (26 su 65) di quelli inizialmente individuati in base al luogo e alla continuità di presenza in impianto: il recupero di informazioni è stato complesso e non sempre esaustivo a causa dell'eterogeneità di tali aziende, della flessibilità lavorativa adottata nonché della difficoltà di costruire un canale di comunicazione con i loro referenti.

Risultati dei monitoraggi in ambiente di lavoro

I risultati dei campionamenti ambientali dopo tre anni dall'entrata in funzione del termovalorizzatore non evidenziano problemi di esposizione a IPA. Grazie ad alcune migliorie, le concentrazioni degli IPA si sono ridotte sia nell'area avanfossa sia nella cabina gruista RSU e continuano a mantenersi contenute nell'area Sili/Ceneri e PSR. I livelli rilevati nelle zone adibite ad ufficio sono simili a quelli dell'aria nelle aree adiacenti all'impianto. È in fase di completamento la bonifica dell'area scorie, ove le concentrazioni risultano raddoppiate rispetto ai rilevamenti precedenti e con valori superiori alle altre postazioni.

Conclusioni

Le analisi suggeriscono che le variazioni nelle concentrazioni di OH-IPA, PCB e diossine misurate tra il secondo controllo e il baseline nei lavoratori del termovalorizzatore di Torino non siano da attribuirsi in modo specifico all'attività dell'inceneritore. Tali risultati sono coerenti con i pochi studi reperibili in letteratura che hanno adottato un disegno di studio longitudinale. In futuro si ritiene necessario mantenere l'attività di monitoraggio degli ambienti di lavoro come strumento di controllo delle esposizioni lavorative, senza affiancare ulteriori controlli su campioni biologici. Nel caso in cui i dati ambientali dovessero segnalare un significativo aumento dell'esposizione o si fosse in presenza di incidenti critici, si valuterà l'ipotesi di nuovi prelievi biologici. In questo caso sarà necessario definire una diversa strategia di coinvolgimento delle

imprese in appalto, dato il massiccio impiego nelle aree a maggiore esposizione potenziale e le difficoltà riscontrate nel presente studio per il loro arruolamento.

Introduzione

Il presente rapporto si colloca all'interno del **Programma di Sorveglianza della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino** (*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. Tale sistema è attuato da ASL TO1 (ora ASL CITTA' DI TORINO) e ASL TO3 in collaborazione con ARPA Piemonte e Istituto Superiore di Sanità su mandato specifico della Provincia di Torino (ora Città Metropolitana). L'organismo tecnico che regola le attività di SPoTT è il Gruppo di Lavoro coordinato dalla dott.ssa Antonella Bena della SC a DU – Servizio di Epidemiologia di riferimento regionale dell'ASL TO3. Un Comitato tecnico-scientifico ha funzione sia di garante delle metodologie e della pianificazione delle varie linee progettuali, sia di garante per la 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 [1]. 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).

Questo documento è il nono della collana dei report illustrativi dei risultati del *Programma SPoTT*, ed è il quarto che riguarda i lavoratori dell'impianto di termovalorizzazione del Gerbido. In particolare nel Report 4, che si trova sul sito di SPoTT (http://www.dors.it/spott_home.php), sono riportati tutti i risultati al baseline (T0) e dopo 1 anno di lavoro nell'impianto (T1) per

quanto riguarda sia i metalli sia gli inquinanti organici. Il Report 7 è invece relativo ai risultati dei metalli dopo 3 anni di lavoro nell'impianto.

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 principale del rapporto 9 è presentare i risultati dello studio di biomonitoraggio effettuato dopo 3 anni dall'avvio dell'impianto, sui lavoratori dipendenti di TRM e su un gruppo di lavoratori dipendenti di imprese in appalto impegnati nelle aree a maggior esposizione potenziale ad inquinanti. In particolare vengono descritti i risultati relativi agli inquinanti organici: metaboliti idrossilati degli idrocarburi policiclici aromatici (OH-IPA), policlorodibenzodiossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e policlorobifenili (PCB).

I risultati riguardanti i lavoratori TRM dopo 3 anni dall'assunzione, sono confrontati con i risultati dei prelievi effettuati prima dell'assunzione (fase T0) e dopo un anno dall'assunzione (fase T1).

Un gruppo di autori si è fatto carico della redazione di questo documento, ma è stato possibile realizzare le diverse attività del Programma solo grazie al contributo di un gran numero di persone 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 con il Comitato Tecnico Scientifico, sono disponibili sul sito web creato per il programma (www.dors.it/spott). Sullo stesso sito sono disponibili i risultati dei precedenti rapporti.

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

1 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, a seguito della revisione dell'autorizzazione integrata ambientale (A.I.A.), il termovalorizzatore ha ottenuto la possibilità di operare a saturazione del carico termico e quindi aumentare la 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 il sistema di pesatura dei rifiuti. Nel presente rapporto vengono descritte le aree dell'impianto di maggior interesse ai fini dell'obiettivo dello studio (Fig2.1. – fonte TRM).

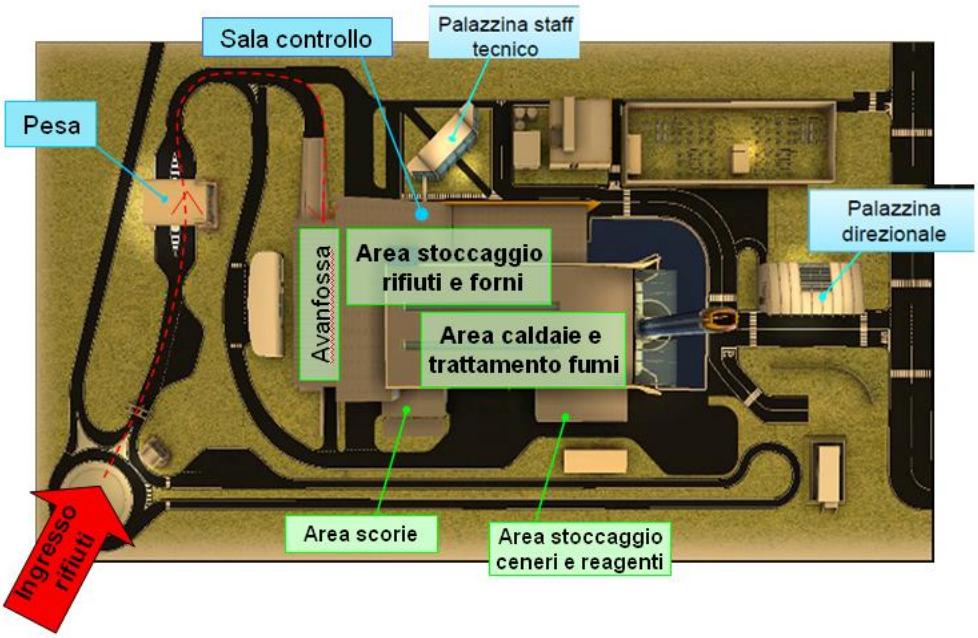

Fig2.1. Planimetria dell'area dell'impianto con localizzazione delle aree di maggior interesse per il presente Rapporto.

1.1 Il percorso dei rifiuti

1.1.1 *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.

1.1.2 *Lo stoccaggio*

All'interno della fossa di accumulo, i rifiuti sono mescolati da due benne a polipo – sorrette ciascuna da un carroponte – 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.

1.1.3 *La combustione*

Il rifiuto, dopo essere entrato in caldaia grazie alla 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.

1.1.4 *La depurazione dei fumi*

I fumi sprigionati dalla combustione, prima di poter essere immessi in atmosfera, vengono 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_2, H_2O, N_2 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 trattenuti 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 bag 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_x 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.

1.1.5 *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 bag fino a quando, periodicamente, vengono avviati a recupero o a smaltimento.

2 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). La società è a capitale misto: oltre l'80% delle quote azionarie sono detenute da TRM V. S.p.A. (di proprietà del Gruppo IREN) ed il 20% delle azioni sono detenute da soci pubblici la cui maggioranza spetta al il Comune di Torino.

Dopo una fase di avvio, gestita da un'Associazione Temporanea di Imprese con capogruppo una società francese, dal aprile 2013 la gestione dell'impianto è passata a TRM e dal novembre 2014 l'intera attività di global service è stata esternalizzata ad imprese terze. Pertanto, oltre ai dipendenti TRM, sono presenti in impianto numerose imprese esterne alle quali, attraverso contratti di appalto e subappalto, sono affidati tutti i servizi ausiliari alla produzione, quali la **manutenzione**, la pulizia e la guardiania. In particolare dalla data di avvio formale del termovalorizzatore e fino al 30 giugno 2017, oltre all'azienda incaricata (TRM), hanno avuto accesso all'impianto **191 ditte con contratti d'appalto**[a]. Solo nel primo semestre del 2017 (ultimo periodo preso in esame per il presente report), hanno operato in attività professionali di diversa natura, poco meno di 400 dipendenti di 80 aziende appaltatrici. La presenza in impianto di tali lavoratori è estremamente variabile: per una gran parte si tratta di una presenza saltuaria e/o "a richiesta".

Si riporta in tabella 2.1. la suddivisione delle aziende appaltatrici operanti nel periodo di esercizio commerciale preso in considerazione, per tipologia di attività svolta e locali maggiormente frequentati. Si può notare come la maggior parte del personale operante in azienda si trovi a lavorare nel locale caldaia e nell'attigua area di stoccaggio big bag. Vista la grande varietà di settori in cui le aziende hanno operato la tabella raggruppa le attività svolte in 5 categorie così definite:

1. gestione corrente: è l'attività "routinaria" che riguarda le differenti fasi di vita del rifiuto, ivi comprese le attività integrate (es servizio pesa, gestione avanfossa, smaltimento acque di spegnimento, ecc);

[a] Per approfondimenti si rimanda al capitolo 2 del Report Spott n°7 (Biomonitoraggio dei lavoratori addetti all'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino-Risultati sui livelli di bioaccumulo di metalli dopo tre anni dall'avvio dell'impianto)

2. attività specifica: comprende l'insieme delle lavorazioni particolari spesso legate ad interventi "su chiamata" (ad es: effettuazione di ispezioni in fornace; dosaggio dei carboni attivi per il catalizzatore); in questo gruppo sono state ulteriormente evidenziate le aziende che si sono occupate di gestione e controllo;
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).

Di 44 aziende non si hanno dati sul tipo di attività svolta né sui locali i cui queste sono svolte.

Tab2.1. Imprese e locali a maggior operatività classificate per tipologia di attività; periodo di esercizio commerciale (dal 01 novembre 2014 al 30 giugno 2017).

Attività (n° ditte coinvolte)	**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	missing
Gestione corrente e attività integrate (5)	1	2	1	3	3	5	0	2	0
Attività specifiche (90)	9	5	8	5	5	30	15	10	25
sistemi di gestione e controllo (9)	2	1	1	1	2	2	1	3	4
Edilizia (10)	0	0	0	0	0	3	0	5	2
Manutenzione (56)	17	11	10	10	13	30	9	12	12
Supervisione (7)	2	0	0	1	1	3	1	1	1
Totale aziende*	**31**	**19**	**20**	**20**	**24**	**73**	**26**	**33**	**44**
Totale lavoratori**	**113**	**62**	**92**	**74**	**140**	**265**	**88**	**99**	**-**

*La somma 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 in tutto il periodo di esercizio commerciale, incluso il gestore.

2.1 Ditte in appalto coinvolte nel biomonitoraggio umano

Dalle analisi effettuate all'interno dell'impianto nelle diverse campagne tra il 2013 e il 2017 dalla Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale di ARPA Piemonte, è parso evidente che le mansioni potenzialmente più esposte alle sostanze pericolose sono affidate a imprese esterne con contratti in appalto (di primo o secondo livello), non coinvolte, in un primo momento, dal piano di biomonitoraggio[b]. Alla luce di questi risultati, in accordo con il Comitato Tecnico Scientifico, si è pertanto valutato, opportuno estendere i prelievi e le analisi previste per i dipendenti TRM anche ai lavoratori di ditte esterne con presenza continuativa in impianto.

Data la peculiarità dei contratti in appalto e subappalto, che prevedono un impiego di personale per un periodo limitato, per tali lavoratori è stato effettuato un unico prelievo ad aprile 2016, in modo da mantenere la possibilità di confronto con i prelievi già eseguiti per gli altri gruppi di lavoratori TRM.

Sono state selezionate le aziende rispondenti 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; fossa RSU, manutenzione delle fornaci);
- aziende con un numero di ore lavorate per persona nei mesi antecedenti al prelievo almeno pari a 100.

Cinque aziende rispondevano a tali requisiti. In base ai dati generali forniti dal gestore dell'impianto, il Servizio di Epidemiologia della Asl TO3 ha quindi acquisito direttamente presso di loro la documentazione relativa ai lavoratori operanti nell'impianto, comprese le singole mansioni svolte, le aree di lavoro e le ore lavorate.

[b] Per approfondimenti si rimanda al Protocollo dei lavoratori (***Monitoraggio della salute dei lavoratori addetti all'impianto di termovalorizzazione del gerbido*** - *progetto e protocollo operativo*) disponibile all'indirizzo https://www.dors.it/alleg/spott/201304/sorveglianza%20salute%20lavoratori.pdf

3 Materiali e metodi

3.1 Disegno dello studio

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

- 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): febbraio 2014; giugno 2014 (mano a mano che terminava il rapporto di lavoro presso l'impianto)
- lavoratori dipendenti TRM: una parte con funzioni amministrative o dirigenziali (lavoratori NE) e la maggior parte operanti in zone nelle quali è possibile il contatto con sostanze pericolose (lavoratori PE);
  - Valutazione ex ante (tempo T0): giugno 2013; febbraio-marzo 2014
  - Valutazione ex post (tempo T1): giugno 2014; febbraio 2015
  - Valutazione ex post (tempo T2): giugno 2016; marzo 2017
- lavoratori dipendenti da ditte operanti in subappalto presso i locali a maggior esposizione potenziale;
  - Valutazione una tantum (tempo Tx): aprile 2016

In questo report, il cui obiettivo specifico è quello di presentare i risultati dello studio di biomonitoraggio effettuato dopo 3 anni dall'avvio dell'impianto, non vengono più considerati i lavoratori della ditta coinvolta nell'avviamento[c].

3.2 Analiti in studio

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).

[c] Per approfondimenti sui risultati si rimanda al Report SpoTT 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*)

Nel presente rapporto le determinazioni biologiche riguardano tutti gli inquinanti organici riportati nelle tabelle 3.1 e 3.2.

Tab3.1. 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

Tab3.2. Congeneri di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB rilevanti per lo studio.

Congenere	No. CAS	Congenere	No. CAS
PCDD e PCDF		**NDL-PCB**	
2,3,7,8-T_4CDD	1746-01-6	PCB 18	37680-65-2
1,2,3,7,8-P_5CDD	40321-76-4	PCB 28	7012-37-5
1,2,3,4,7,8-H_6CDD	39227-28-6	PCB 31	16606-02-3
1,2,3,6,7,8-H_6CDD	57653-85-7	PCB 33	38444-86-9
1,2,3,7,8,9-H_6CDD	19408-74-3	PCB 49	41464-40-8
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDD	35822-46-9	PCB 52	35693-99-3
1,2,3,4,6,7,8,9-O_8CDD	3268-87-9	PCB 66	32598-10-0
2,3,7,8-T_4CDF	51207-31-9	PCB 70	32598-11-1
1,2,3,7,8-P_5CDF	57117-41-6	PCB 74	32690-93-0
2,3,4,7,8-P_5CDF	57117-31-4	PCB 91	68194-05-8
1,2,3,4,7,8-H_6CDF	70648-26-9	PCB 95	38379-99-6
1,2,3,6,7,8-H_6CDF	57117-44-9	PCB 99	38380-01-7
1,2,3,7,8,9-H_6CDF	72918-21-9	PCB 101	37680-73-2
2,3,4,6,7,8-H_6CDF	60851-34-5	PCB 110	38380-03-9
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDF	67562-39-4	PCB 128	38380-07-3
1,2,3,4,7,8,9-H_7CDF	55673-89-7	PCB 138	35065-28-2
1,2,3,4,6,7,8,9-O_8CDF	39001-02-0	PCB 141	52712-04-6
		PCB 146	51908-16-8
DL-PCB		PCB 149	38380-04-0
PCB 77 [a]	32598-13-3	PCB 151	52663-63-5
PCB 81 [a]	70362-50-4	PCB 153	35065-27-1
PCB 126 [a]	57465-28-8	PCB 170	35065-30-6
PCB 169 [a]	32774-16-6	PCB 174	38411-25-5
PCB 105 [b]	32598-14-4	PCB 177	52663-70-4
PCB 114 [b]	74472-37-0	PCB 180	35065-29-3
PCB 118 [b]	31508-00-6	PCB 183	52663-69-1
PCB 123 [b]	65510-44-3	PCB 187	52663-68-0
PCB 156 [b]	38380-08-4	PCB 194	35694-08-7
PCB 157 [b]	69782-90-7	PCB 196	42740-50-1
PCB 167 [b]	52663-72-6	PCB 203	52663-76-0
PCB 189 [b]	39635-31-9		

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

Sono state inoltre 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.

3.3 Adesione allo studio e metodi di prelievo

In tabella 3.3 si riporta una sintesi dell'adesione al biomonitoraggio nelle tre diverse fasi del Programma rispetto al numero totale di lavoratori TRM.

Tab3.3. Numero di lavoratori coinvolti nelle fasi T0, T1 e T2

	eleggibili	**T0**	**T1**	**T2**
Lavoratori NE*	18	11	11	9
Lavoratori PE**	36	32	30	26
Totale lavoratori	54	43	41	35

*lavoratori con funzioni amministrative o dirigenziali

**lavoratori operanti in zone nelle quali è possibile il contatto con sostanze pericolose

Dall'inizio del biomonitoraggio all'ultima fase (T2), si è osservata una perdita dell'adesione del 19%. Le cause della minore partecipazione sono così riassunte:

- cambiamento sede di lavoro (fuori impianto), 3 persone
- licenziamento, 2 persone
- malattia, indisponibilità a partecipare, 3 persone

Relativamente alla sola fase T2, in tabella 3.4 si riporta il dettaglio dei campioni raccolti per ogni tipologia di matrice biologica.

Tab3.4. Dettaglio della tipologia di campioni raccolti nella fase T2

Partecipazione		**N° dipendenti in appalto**
Urine (metalli+OH-IPA)	Inizio turno	34
	Fine turno	35
Siero (PCDD, PCDF, PCB)		25

Una delle 5 aziende in subappalto coinvolte nell'aprile 2016, che impiegava 17 dipendenti con i requisiti richiesti per partecipare allo studio, ha rifiutato di partecipare. Tale ditta era presente in impianto con un contratto di manutenzione meccanica ed i suoi dipendenti erano chiamati ad operare in tutte le aree dell'edificio centrale.

Le 4 ditte coinvolte impiegavano complessivamente 48 lavoratori con i requisiti richiesti per partecipare allo studio ed avevano appalti affidati per le seguenti attività:

- Servizio di gestione avanfossa e sili
- Servizio di smaltimento delle acque di processo
- Manutenzione della strumentazione, verifiche sull'impianto, taratura della strumentazione, prove, messa in servizio ed eventuale collaudo
- Attività di manutenzione meccanica e pulizia industriale

Sui 48 lavoratori contattati, 26 (ovvero il 54%), hanno aderito e partecipato ai prelievi per la determinazione di OH-IPA, PCDD-F, PCB. Le cause della minore adesione al biomonitoraggio sono le seguenti: malattia, scelta volontaria, trasferimento su altri impianti. L'estrema flessibilità lavorativa di tali persone è la principale causa di mancata adesione (per alcune di esse non è stata più possibile la raccolta delle urine in quanto, immediatamente dopo la definizione dell'appuntamento, sono stati spostati su altri impianti, alcuni fuori regione). In tabella 3.5 si riporta un riassunto dell'adesione.

Tab3.5. Adesione dei lavoratori coinvolti nella fase Tx.

Partecipazione		**N° dipendenti in appalto**
Urine (metalli+OH-IPA)	Inizio turno	26
	Fine turno	26
Siero (PCDD, PCDF, PCB)		16

3.3.1 *Procedura di raccolta urine*

Al fine di poter confrontare le concentrazioni dei metaboliti urinari degli IPA e valutare l'eventuale contributo dell'attività lavorativa, sono state raccolte due tipologie di campioni:

1. urine di inizio turno/inizio settimana lavorativa, ovvero raccolte subito prima di iniziare la prima giornata di lavoro di un nuovo turno dopo almeno 48 ore di pausa;
2. fine turno/fine settimana lavorativa da raccogliere alla fine dell'ultima giornata di lavoro dopo un turno di almeno 4 giorni consecutivi.

Contestualmente ai contenitori è stato consegnato un breve questionario da autocompilare in cui si chiedeva di riportare gli alimenti, le bevande o segnalare altre sostanze assunte nelle 24 ore antecedenti la raccolta.

La data di raccolta è stata personalizzata su ciascun lavoratore a seconda del piano di lavoro programmato dall'azienda.

Inoltre, nei giorni antecedenti il prelievo è stato consegnato a ciascun lavoratore una provetta per la raccolta delle urine di prima mattina su cui si è effettuato l'esame chimico-fisico.

3.4 Metodi di analisi chimica

3.4.1 *OH-IPA*

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 3.1), selezionati sulla base di lavori di recente pubblicazione[2][3].

La procedura analitica utilizzata è basata sul metodo sviluppato dall'ente Statunitense CDC nell'ambito del programma NHANES [4]. Il rilevamento delle sostanze d'interesse è basato sull'impiego di standard interni, o traccianti, completamente marcati con ^{13}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 ß-glucuronidasi arilsolfatasi (37 °C).

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

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 composto è stata stimata inferiore a ca. | ±20 % | per quantità iniettate superiori ai LOQ, e inferiori a ca. | ±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, di campioni in doppio, e la partecipazione a circuiti d'intercalibrazione internazionali. La ripetibilità del metodo, stimata attraverso l'analisi di campioni in duplicato, è risultata mediamente pari al 15 %.

La somma dei metaboliti viene eseguita come stima cumulativa *medium bound* (MB), corrispondente al seguente trattamento dei dati non quantificabili (<LOQ): LOQ × 0.5.

3.4.2 *PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB*

Le sostanze selezionate per il presente studio sono elencate in tabella 3.2 e includono: a) 17 congeneri tossici di PCDD e PCDF; b) 12 congeneri di DL-PCB; c) 30 congeneri di NDL-PCB (Σ_{30}NDL-PCB) comprendenti i sei congeneri cosiddetti "indicatori" (Σ_6NDL-PCB).

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 [5] 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 ^{13}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

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% × 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 congeneri 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 × 0.5.

3.4.3 *COTININA E CREATININA*

La determinazione della cotinina urinaria è stata effettuata su campioni di urina scongelati e centrifugati. Dopo addizione della N-ethylnorcotinina 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 and 1 ng/mL, rispettivamente.

La creatinina urinaria è stata misurata col metodo colorimetrico di Jaffé.

3.5 Metodi statistici

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con i programmi Microsoft Excel, Statistica 8.0 e SAS 9.2. La caratterizzazione delle distribuzioni dei dati è stata effettuata mediante parametri standard come mediana (P_{50}), media aritmetica, media geometrica (GM) e stime dei percentili. Le analisi statistiche sono state condotte separatamente sulle determinazioni di inizio e fine turno e per i lavoratori al T2 e al Tx, sia a partire dai dati aggregati sia stratificati per alcune variabili di interesse. Per quanto riguarda i lavoratori al T2 le statistiche sono state calcolate sul totale dei lavoratori e stratificate per tipo di esposizione (NE e PE), per genere e per esposizione al fumo. Per quanto riguarda i lavoratori al Tx, le statistiche sono calcolate sul totale dei lavoratori e stratificate per esposizione a ceneri (mansioni che coinvolgono il carico/scarico e trasporto di big bag).

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

Per quanto 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 [6], 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, considerando che la frequenza di tali dati non superava il 60 %. Inoltre, in accordo alle indicazioni del WHO (1996), la valutazione statistica è stata effettuata solo su set di dati associati a campioni caratterizzati da livelli di creatinina compresi tra 0.3 e 3 g/L. 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.

Tutti i risultati cumulativi relativi sono stati espressi secondo l'approccio MB descritto nelle Sezioni 3.4.1 e 3.4.2.

A causa dell'assenza di normalità delle distribuzioni delle sostanze studiate e della bassa numerosità campionaria per i confronti sono stati utilizzati test statistici non parametrici:

- per la valutazione della differenza fra due gruppi indipendenti di dati (NE/PE; esposti/non esposti a ceneri; T2/TX) è stato usato il test di 'Wilcoxon-Mann-Whitney';

- per i confronti temporali (T2/T0; T2/T1; inizio/fine turno) 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;
- per valutare l'andamento temporale generale (T0/T1/T2) è stato utilizzato il test non parametrico di Friedman utile per misurare differenze quando si hanno più di due misure ripetute e un test non parametrico per il trend

Per tutti i confronti che utilizzano dati appaiati sono stati eliminati i soggetti che in almeno una delle misurazioni avevano valori di creatinina fuori dal range 0.3-3 g/L.

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

Per valutare l'eventuale effetto confondente di altre variabili sono state condotte delle regressioni lineari dopo log-trasformazione dei dati.

3.6 Monitoraggio ambientale

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

- in fase ante operam: aprile-giugno 2013
- in periodo sovrapponibile con la seconda fase di biomonitoraggio dei lavoratori PE TRM: aprile-maggio 2015
- in periodo sovrapponibile con il biomonitoraggio dei lavori delle imprese in subappalto selezionate: aprile 2016
- in periodo sovrapponibile con la terza fase di biomonitoraggio dei lavoratori PE TRM: marzo-aprile 2017.

Durante tali campagne sono stati monitorati diversi tipi di analiti, organici e inorganici. Ai fini del presente rapporto si riportano soltanto le metodiche e i risultati relativi agli inquinanti organici.

3.6.1 *Analiti e metodi di analisi strumentale*

3.6.1.1 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Sono stati oggetti di determinazione i seguenti IPA in fase particellare e vapore:
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.

3.6.1.2 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-HRMS).

3.6.2 *Monitoraggio ambientale 2016*

Al fine di confrontare i risultati ambientali con il monitoraggio biologico sulle aziende in appalto selezionate, d'accordo con il Comitato Tecnico Scientifico, si è scelto di approfondire l'esposizione di alcuni ambiti lavorativi.

Alcune mansioni sono state monitorate con prelievi personali; altre con misurazioni ambientali essendo rappresentative dell'esposizione dell'addetto e non solo dell'inquinamento diffuso nei diversi ambienti.

La campagna riguardante gli inquinanti organici oggetto del presente report, si è articolata nelle seguenti mansioni e/o postazioni di campionamento:

- IPA:
  - Addetto area avanfossa[d];
  - Area avanfossa;
  - Area scorie – zona vasche di raccolte;
  - Livello zero tra linea 1 e linea 2 – nastro trasporto scorie;
  - Area sili
  - Addetto area sili[e]

- PCDD, PCDF e PCB
  - Area scorie – zona vasche di raccolte;
  - Area sili

3.6.3 *Monitoraggio ambientale 2017*

Nella campagna del 2017, sono stati monitorati nelle seguenti postazioni:

- IPA:
  - Sala gruista fossa. L'addetto, per la quasi totalità del turno e sotto la supervisione del Capo Turno, alimenta le diverse linee di combustione coi rifiuti, attraverso una gru a polipo. 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 prevede la piena copertura della giornata con i tre turni sopra indicati. Le esigue dimensioni del locale consentono di sovrapporre i rilevamenti ambientali con quelli personali.
  - Sala controllo
  - Area scorie
  - Area sili
  - Area avanfossa
- PCDD, PCDF e PCB
  - Area scorie – zona vasche di raccolte;
  - Area sili

[d] 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

[e] 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

4 Risultati OH-IPA

4.1 Risultati del biomonitoraggio dopo 3 anni (T2)

Lo studio ha previsto la determinazione di 10 OH-IPA nelle urine raccolte a inizio turno da 34 lavoratori e a fine turno da 35 lavoratori. Di questi 9 erano impegnati in lavoro d'ufficio (NE), 26 erano coinvolti in attività che prevedevano la possibilità di contatto con sostanze pericolose (PE).

In accordo con le linee-guida del WHO [7], la valutazione statistica è stata eseguita su un sottogruppo di campioni (31 campioni raccolti a inizio turno e 32 campioni raccolti a fine turno) caratterizzati da livelli di creatinina compresi tra 0,3 e 3 g/L.

Per tutti i metaboliti la frequenza di dati al di sotto del LOQ è risultata sempre inferiore al 10%, a esclusione del 4-OH-PHEN, quantificato nel 75% dei casi e del 2-OH-PHEN e 1-OH-PYR quantificati nell'88% 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 21 e il 59% - seguiti dai metaboliti del fluorene e del fenantrene (tre anelli condensati) che contribuiscono rispettivamente in misura pari all'8% e al 1%; l'1-OH-PYR, unico composto tra quelli analizzati con quattro anelli condensati, rappresenta circa l'1%.

Le Tabelle 4.1 – 4.4 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 sulla base dell'attività lavorativa svolta e per esposizione al fumo. Considerando la presenza di soli cinque soggetti femminili, tutti tra i lavoratori NE, la suddivisione dei dati per sesso non è mai stata effettuata.

A inizio turno i livelli urinari degli OH-IPA in studio (Σ_{10}OH-IPA) coprono l'intervallo 2016–78585 ng/g creatinina, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 7877 ng/g creatinina e 12025 ng/g creatinina.

A fine turno le concentrazioni degli OH-IPA (Σ_{10}OH-IPA) sono risultate comprese nell'intervallo 2060–44870 ng/g creatinina, con stime di P_{50} e media pari rispettivamente a 6571 e 12625 ng/g creatinina.

Per quanto concerne sia le urine di inizio turno sia di fine turno i lavoratori PE presentano livelli significativamente superiori rispetto agli NE per tutti i metaboliti del fluorene e del fenantrene e per l'1-OH-PYR ($p<0.05$) (Tab9 e Tab10 appendice). I livelli complessivi di OH-IPA

(Σ_{10}OH-IPA) non risultano invece significativamente diversi, anche se sono sempre superiori nei PE.

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 PE e NE correggendo per livello di cotinina (Tab11 appendice). I risultati indicano che, tenendo conto di questa variabile, rimangono statisticamente significative solo le differenze per 2-OH-PHEN ad inizio turno e per 3-OH-PHEN e 1-OH-PYR a fine turno.

Com'è ragionevole attendersi, sia a inizio turno sia a fine turno i livelli di OH-IPA (Σ_{10}OH-IPA) quantificati nelle urine dei forti fumatori sono complessivamente più elevati rispetto a quelli trovati per gli altri lavoratori. A titolo di esempio, si riportano le stime di P_{50} della somma Σ_{10}OH-IPA calcolate a inizio turno per i non fumatori (5952 ng/g creatinina), gli esposti al fumo (3787 ng/g creatinina)e i forti fumatori (16068 ng/g creatinina).

Complessivamente i livelli urinari di tutti gli OH-IPA a inizio turno sono sovrapponibili con quelli a fine turno (Tab18 appendice). Solo per i lavoratori non esposti si notano differenze al limite della significatività per quanto riguarda l'1-OH-NAP (più alto ad inizio turno) e il 2-OH-PHEN (più alto a fine turno).

Alla data attuale non è ancora possibile confrontare il gruppo dei lavoratori con la popolazione generale.

Tab4.1. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al T2 nelle urine di inizio turno nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per possibile rischio di esposizione. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 34.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Tutti i dati										
1-OH-NAP	31	189	296	662	1646	1790	4437	5952	15941	37302
2-OH-NAP	31	1162	1309	2521	4631	4381	5854	7533	12306	30925
2-OH-FLU	31	32,1	51,8	112,9	202,6	254,574	550,12	644,4	2345,5	4330,2
3-OH-FLU	31	8,7	15	29,5	62,4	99,064	283,79	320,8	1466,9	2004,3
9-OH-FLU	31	141,5	162,7	232,6	339,7	381,019	483,4	584	1138,7	2405,4
1-OH-PHEN	31	50,6	52,7	69,8	96	100,265	113,51	131,2	269	367,2
2-OH-PHEN	31	11,5	13,8	32,9	45,7	48,17	68,47	77,2	190,7	383,5
3-OH-PHEN	31	38,4	39,4	51,8	70,4	81,396	106,29	91,3	290	453,5
4-OH-PHEN	31	2,2	4,3	10,9	17,2	19,336	27,25	36,4	73,6	130,7
1-OH-PYR	31	27,4	34	46,5	65,6	78,359	101,54	130,1	283,2	391,5
Σ_{10}OH-PAH[c]	31	2016	2518	3846	7877	7967	12025	15507	34230	78585
Potenzialmente esposti (PE)										
1-OH-NAP	23	189	296	733	1696	2063	5412	7475	15941	37302
2-OH-NAP	23	1162	1374	2552	4994	4775	6474	8577	12306	30925
2-OH-FLU	23	74,4	93,9	124,8	210,9	340,15	680,81	1043,7	2345,5	4330,2
3-OH-FLU	23	20,7	22,3	50,1	68,2	135,11	354,71	432,2	1466,9	2004,3
9-OH-FLU	23	175,8	183,1	276,6	413,8	446,25	561,69	679,5	1138,7	2405,4
1-OH-PHEN	23	52,7	66	76,9	98,9	111,58	126,35	137,1	269	367,2
2-OH-PHEN	23	14,6	23,7	42	55,1	63,69	83,81	100,5	190,7	383,5
3-OH-PHEN	23	39,4	40,5	58	81,2	95,46	124,89	218,7	290	453,5
4-OH-PHEN	23	5,9	9,3	14,4	21,2	24,08	32,11	45,3	73,6	130,7
1-OH-PYR	23	27,4	38,7	54,4	76,2	92,55	118,36	172,4	283,2	391,5
Σ_{10}OH-PAH[c]	23	2518	3265	3959	9309	9069	13969	16256	34230	78585
Non esposti (NE)										
1-OH-NAP	8	308	308	659	1002	1189	1631	3015	3388	3388
2-OH-NAP	8	1309	1309	2131	3409	3419	4071	5788	8604	8604
2-OH-FLU	8	32,1	32,1	52,8	99,05	110,653	174,375	295,05	469,1	469,1
3-OH-FLU	8	8,7	8,7	19,2	31,65	40,596	79,9	138,6	251,6	251,6
9-OH-FLU	8	141,5	141,5	167,75	253,15	241,896	258,325	330,15	423	423
1-OH-PHEN	8	50,6	50,6	58,75	72,1	73,73	76,588	91,15	118,1	118,1
2-OH-PHEN	8	11,5	11,5	14	18,85	21,577	24,375	36,05	45,7	45,7
3-OH-PHEN	8	38,4	38,4	42,25	52	51,472	52,8	58	79,5	79,5
4-OH-PHEN	8	2,2	2,2	7	12,9	10,289	13,25	16,5	31	31
1-OH-PYR	8	34	34	37,75	42,45	48,56	53,188	54,4	122,3	122,3
Σ_{10}OH-PAH[c]	8	2016	2016	3425	6406	5490	6435	8326	13150	13150

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).

[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

[c] 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.

Tab4.2. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al T2 nelle urine di inizio turno relativamente ai dati stratificati per esposizione a fumo. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 34.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Forti fumatori (cotinina > 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	12	1358	1358	3326	7333	6940	9947	13107	37302	37302
2-OH-NAP	12	3337	3337	4957	7606	7692	9317	10411	30925	30925
2-OH-FLU	12	347	347	464,9	856,35	907,88	1216,85	1382,45	4330,2	4330,2
3-OH-FLU	12	127,2	127,2	268,65	380,5	476,72	665,28	1044	2004,3	2004,3
9-OH-FLU	12	200,5	200,5	321,65	625,95	581,32	740,12	896,9	2405,4	2405,4
1-OH-PHEN	12	79,7	79,7	90,4	131,5	142,17	160,48	203,35	367,2	367,2
2-OH-PHEN	12	13,8	13,8	47,7	88,85	82,18	114,11	153,45	383,5	383,5
3-OH-PHEN	12	38,4	38,4	80,7	177,4	145,73	182,77	249,2	453,5	453,5
4-OH-PHEN	12	11,8	11,8	16,8	36,65	33,52	43,28	56,15	130,7	130,7
1-OH-PYR	12	43,9	43,9	109	149,15	147,54	171,56	217,6	391,5	391,5
Σ_{10}OH-PAH[c]	12	6038	6038	11319	16068	17694	22559	27462	78585	78585
Esposto a fumo (cotinina 1- 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	7	189	189	296	564	527	663	782	1696	1696
2-OH-NAP	7	1162	1162	1946	2521	2408	2612	2756	4994	4994
2-OH-FLU	7	93,9	93,9	105,1	158	142,652	148,986	202,6	209,6	209,6
3-OH-FLU	7	20,7	20,7	29,5	59	46,852	50,7	66,5	68,2	68,2
9-OH-FLU	7	175,8	175,8	183,4	331,7	304,116	333,557	488,1	584	584
1-OH-PHEN	7	68,8	68,8	69,8	86,9	86,91	88,943	98,9	131,7	131,7
2-OH-PHEN	7	35,1	35,1	40,2	42	45,749	46,5	55,7	56,8	56,8
3-OH-PHEN	7	39,4	39,4	44,9	58	57,321	59,557	81,2	84,2	84,2
4-OH-PHEN	7	5,9	5,9	10,2	17,1	16,357	18,943	27,4	36,4	36,4
1-OH-PYR	7	46,5	46,5	53,1	59,6	68,34	75,486	76,2	172,4	172,4
Σ_{10}OH-PAH[c]	7	3265	3265	3353	3787	3991	4098	4388	6472	6472
Non fumatori (cotinina < 1 ng/mL)										
1-OH-NAP	12	308	308	659	787	942	1127	1691	2765	2765
2-OH-NAP	12	1309	1309	2131	3686	3537	4281	6884	8577	8577
2-OH-FLU	12	32,1	32,1	62,05	122,65	100,075	117,383	148,65	244,9	244,9
3-OH-FLU	12	8,7	8,7	22,85	32,8	31,862	38,283	50,15	102,1	102,1
9-OH-FLU	12	141,5	141,5	177,95	308,15	284,833	314,1	407,35	603,3	603,3
1-OH-PHEN	12	50,6	50,6	58,75	69,1	76,863	80,858	100,5	131,2	131,2
2-OH-PHEN	12	11,5	11,5	16,1	28,3	29,099	35,65	49,25	86	86
3-OH-PHEN	12	40,5	40,5	47,1	55,6	55,783	57,067	66,75	81,4	81,4
4-OH-PHEN	12	2,2	2,2	9,5	12,9	12,296	16,05	20,2	44,5	44,5
1-OH-PYR	12	27,4	27,4	37,2	44,1	45,076	46,717	58,05	67	67
Σ_{10}OH-PAH[c]	12	2016	2016	3425	5952	5369	6115	8723	10357	10357

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] 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.

Tab4.3. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al T2 nelle urine di fine turno nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per possibile rischio di esposizione. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 35.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Tutti i dati										
1-OH-NAP	32	148	170	453	839	1541	4592	6701	21118	21768
2-OH-NAP	32	1077	1441	2159	4143	4266	6166	7964	17939	30207
2-OH-FLU	32	30,1	39	126,9	167,65	289,072	628,97	737,1	2717,6	3464,6
3-OH-FLU	32	8,6	10,1	36,55	54,1	103,992	310,51	458,65	1327,9	1428,4
9-OH-FLU	32	109,9	127	191,85	335,45	356,137	469,71	650,32	1510	1543
1-OH-PHEN	32	41,1	46,5	63,7	109,85	107,023	126,92	179,7	275,2	283,6
2-OH-PHEN	32	9	11,3	30,05	59,2	53,656	74,13	94,97	235	266
3-OH-PHEN	32	6,5	12,9	38,4	75,4	75,001	113,49	136,19	368	457,5
4-OH-PHEN	32	2,4	3,1	9,7	19,15	18,636	28,76	33,92	98,7	133,2
1-OH-PYR	32	22,7	22,8	39,25	79,35	81,94	114,49	166,8	305,8	394,3
Σ_{10}OH-PAH[c]	32	2060	2464	3596	6571	7909	12625	18315	41985	44870
Potenzialmente esposti (PE)										
1-OH-NAP	24	148	170	500	1382	1998	5762	9617	21118	21768
2-OH-NAP	24	1463	1514	2452	4678	4683	6164	9063	16254	17939
2-OH-FLU	24	83,6	92,9	152,35	216,2	390,22	781,77	1156,23	2717,6	3464,6
3-OH-FLU	24	16,8	25,4	46,2	58,2	149,94	390,95	603,2	1327,9	1428,4
9-OH-FLU	24	109,9	153	242,35	392,55	425,63	549,25	773,55	1510	1543
1-OH-PHEN	24	41,1	46,5	71,65	134,26	123,32	144,63	211,2	275,2	283,6
2-OH-PHEN	24	11,3	16,4	38,55	66,95	64,59	86,67	120,05	235	266
3-OH-PHEN	24	30,2	35	52,6	96,55	100,39	136,34	221,9	368	457,5
4-OH-PHEN	24	2,4	5,9	11,6	24,85	22,89	34,45	53,25	98,7	133,2
1-OH-PYR	24	22,8	27	54,25	117,8	105,74	137,58	187,3	305,8	394,3
Σ_{10}OH-PAH[c]	24	2495	2791	4015	7783	9208	14188	21824	41985	44870
Non esposti (NE)										
1-OH-NAP	8	267	267	406	523	707	1080	1542	3433	3433
2-OH-NAP	8	1077	1077	1528	2629	3225	6173	4894	30207	30207
2-OH-FLU	8	30,1	30,1	70,05	119,4	117,512	170,58	231,55	492,5	492,5
3-OH-FLU	8	8,6	8,6	11,55	33,75	34,69	69,19	103,8	246,7	246,7
9-OH-FLU	8	127	127	145,15	170,4	208,628	231,09	331,85	426,9	426,9
1-OH-PHEN	8	46,6	46,6	56,6	63,7	69,952	73,79	86,4	130,3	130,3
2-OH-PHEN	8	9	9	22,4	28,75	30,762	36,52	57,75	65,4	65,4
3-OH-PHEN	8	6,5	6,5	17,7	28,6	31,276	44,95	79,65	101,2	101,2
4-OH-PHEN	8	3,1	3,1	7,65	10,55	10,054	11,71	14,8	24,6	24,6
1-OH-PYR	8	22,7	22,7	27,25	31,7	38,128	45,21	46,85	127,4	127,4
Σ_{10}OH-PAH[c]	8	2060	2060	2622	3367	5010	7937	8979	31494	31494

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).

[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

[c] 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.

Tab4.4. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al T2 nelle urine di fine turno relativamente ai dati stratificati per esposizione a fumo. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 35.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Forti fumatori (cotinina > 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	13	2452	2452	5157	9217	8512	10480	14521	21768	21768
2-OH-NAP	13	3970	3970	5015	8647	8017	9021	10823	17939	17939
2-OH-FLU	13	327,2	327,2	720	995,05	1062,79	1356,93	1962,8	3464,6	3464,6
3-OH-FLU	13	167,2	167,2	310,8	557,8	576	710,27	1097,9	1428,4	1428,4
9-OH-FLU	13	130,8	130,8	388,2	741,8	605,49	747,89	871,3	1543	1543
1-OH-PHEN	13	64,3	64,3	130,91	174,9	157,81	173,91	212,1	283,6	283,6
2-OH-PHEN	13	11,3	11,3	74,9	105,1	92,09	119,36	146,5	266	266
3-OH-PHEN	13	22,5	22,5	116,9	217	151,87	196,1	246,5	457,5	457,5
4-OH-PHEN	13	6,6	6,6	28,7	36,9	37,13	48,48	59,4	133,2	133,2
1-OH-PYR	13	22,7	22,7	136,8	175,4	148,5	182,02	231,8	394,3	394,3
Σ_{10}OH-PAH[c]	13	8917	8917	11650	21352	19748	23035	29830	44870	44870
Esposto a fumo (cotinina 1- 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	2	170	170	170	237	227	237	303	303	303
2-OH-NAP	2	2158	2158	2158	2756	2690	2756	3354	3354	3354
2-OH-FLU	2	92,9	92,9	92,9	123,05	119,299	123,05	153,2	153,2	153,2
3-OH-FLU	2	25,4	25,4	25,4	37,9	35,779	37,9	50,4	50,4	50,4
9-OH-FLU	2	157,9	157,9	157,9	241,75	226,743	241,75	325,6	325,6	325,6
1-OH-PHEN	2	53,5	53,5	53,5	71,3	69,042	71,3	89,1	89,1	89,1
2-OH-PHEN	2	29,1	29,1	29,1	36,65	35,864	36,65	44,2	44,2	44,2
3-OH-PHEN	2	35	35	35	42	41,413	42	49	49	49
4-OH-PHEN	2	10,1	10,1	10,1	14,65	13,926	14,65	19,2	19,2	19,2
1-OH-PYR	2	50,2	50,2	50,2	52,3	52,258	52,3	54,4	54,4	54,4
Σ_{10}OH-PAH[c]	2	3242	3242	3242	3612	3593	3612	3982	3982	3982
Non fumatori (cotinina < 1 ng/mL)										
1-OH-NAP	17	148	148	406	505	523	602	614	1534	1534
2-OH-NAP	17	1077	1077	1553	2163	2780	4384	3773	30207	30207
2-OH-FLU	17	30,1	30,1	103,1	135,7	118,531	131,824	165,1	224,2	224,2
3-OH-FLU	17	8,6	8,6	28,7	38,7	31,843	36,888	51,9	60	60
9-OH-FLU	17	109,9	109,9	169	227,2	250,283	283,8	345,3	733,6	733,6
1-OH-PHEN	17	41,1	41,1	61,3	72,3	83,732	97,524	123,4	249,1	249,1
2-OH-PHEN	17	9	9	23,7	40	37,222	43,959	62,1	100,1	100,1
3-OH-PHEN	17	6,5	6,5	32,8	58,6	46,893	58,729	80,2	132,5	132,5
4-OH-PHEN	17	2,4	2,4	7,3	11,8	11,384	15,347	19,1	64,1	64,1
1-OH-PYR	17	22,8	22,8	31,3	54,1	54,829	70,159	79,6	253,7	253,7
Σ_{10}OH-PAH[c]	17	2060	2060	2791	3977	4310	5724	4948	31494	31494

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] 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.

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

Di seguito si riportano i confronti temporali effettuati sugli OH-IPA. I soggetti per cui sono disponibili le determinazioni al baseline (T0), al primo (T1) e al secondo follow-up (T2) sono 35. Tuttavia, siccome non sono stati considerati i soggetti che in almeno una delle misurazioni avevano valori di creatinina fuori dal range 0.3-3 g/L, il numero di dati inclusi nella valutazione statistica varia a seconda del confronto. Per i confronti che coinvolgono il T0, per omogeneità con i dati disponibili, sono state utilizzate solo le urine di inizio turno. I confronti tra il T2 e il T1 sono invece stati effettuati sia per le urine ad inizio turno sia a fine turno.

Nella Tabella 4.5 è riportata la distribuzione media e mediana dei livelli di OH-IPA nelle urine di inizio turno raccolte al T0, al T1, e al T2, il valore p del test non parametrico di Friedman e del test non parametrico per il trend. I livelli complessivi degli OH-IPA in studio (Σ_{10}OH-IPA) così come tutti i metaboliti del fenantrene, il 9-OH-FLU e l'1-OH-PYR, presentano concentrazioni significativamente differenti nell'arco di tempo considerato (p Friedman<0,05). Tuttavia solo l'1-OH-PHEN mostra un trend in diminuzione significativo (p trend = 0,039).

Considerando i confronti stratificati per possibile rischio di esposizione si nota che solo i PE presentano livelli complessivi (Σ_{10}OH-IPA) significativamente differenti tra le diverse rilevazioni (p Friedman=0,009). Tuttavia il trend è diminuito in maniera significativa solo per l'1-OH-PHEN (p trend=0,036) e l'1-OH-PYR (p trend=0,041). Per i lavoratori NE sia il test di Friedman sia il test per il trend sono significativi solo per il 2-OH-PHEN (p trend=0,048).

Concentrandosi sul confronto diretto tra il T0 e il T2 (Tabella 4.6), si nota che i livelli complessivi osservati (Σ_{10}OH-IPA), sia pur tendenzialmente in aumento passando dal T0 al T2 (mediana (P_{50}) pari a 6132 ng/g creatinina al T0 e 7877 ng/g creatinina al T2), risultano non significativamente differenti all'analisi statistica. Stesso comportamento si osserva per i metaboliti del naftalene, e per il 2-e il 9-OH-FLU, le cui concentrazioni al T2 sono mediamente più elevate di quelle osservate al T0 ma non risultano statisticamente differenti. Viceversa, livelli più bassi sono osservati al T2 per tutti i metaboliti del fenantrene e per l'1-OH-PYR, sebbene questa diminuzione sia risultata statisticamente significativa solo per l'1-OH-PHE e per l'1-OH-PYR.

Stratificando per rischio di esposizione le diminuzioni di 1-OH-PHEN e 1-OH-PYR rimangono significative solo per i PE, per cui tuttavia si rileva un aumento significativo per il 9-

OH-FLU (p=0,024). Tra gli NE si osserva una diminuzione significativa per il 2-OH-PHEN (p=0,025) e al limite della significatività per il 4-OH-PHEN (p=0,05).

Tab4.5. Confronto tra i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) trovati nelle urine di inizio turno raccolte al T0, al T1 e al T2 nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per possibile rischio di esposizione. p-value del test di Friedman e p-value del test per il trend non parametrico. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia.

	N[a]	P_{50} T0	P_{50} T1	P_{50} T2	P –value (Friedman)	P-value (trend)
Tutti i dati						
1-OH-NAP	27	1210,00	977,3	1646,16	0,146	0,954
2-OH-NAP	27	4330,00	2784,5	4630,59	0,053	0,912
2-OH-FLU	27	187,52	142,2	202,60	0,121	0,735
3-OH-FLU	27	83,14	42,4	62,36	0,317	0,466
9-OH-FLU	27	314,79	240,6	381,50	**0,016**	0,311
1-OH-PHEN	27	143,92	77,4	89,60	**<0,001**	**0,039**
2-OH-PHEN	27	53,52	36,4	49,69	**0,018**	0,724
3-OH-PHEN	27	97,03	68,1	71,01	**0,044**	0,180
4-OH-PHEN	27	27,97	12,4	17,24	**0,044**	0,563
1-OH-PYR	27	134,30	61,3	65,56	**0,022**	0,181
Σ_{10}OH-PAH [c]	27	6131,76	4560,9	7876,73	**0,007**	0,968
1-OH-NAP	20	1181,62	1000,2	1671,18	0,116	0,971
2-OH-NAP	20	5584,98	3153,2	4952,48	0,091	0,684
2-OH-FLU	20	222,77	179,6	210,22	**0,047**	0,949
3-OH-FLU	20	107,32	62,8	67,34	0,157	0,544
9-OH-FLU	20	315,18	247,2	432,43	**0,002**	0,082
1-OH-PHEN	20	179,47	83,4	101,20	**<0,001**	**0,036**
2-OH-PHEN	20	57,79	43,4	55,37	0,058	0,638
3-OH-PHEN	20	104,19	69,6	81,28	**0,047**	0,447
4-OH-PHEN	20	35,22	12,7	21,44	**0,011**	0,835
1-OH-PYR	20	152,64	67,2	71,62	**0,035**	**0,041**
Σ_{10}OH-PAH [c]	20	7243,28	5910,9	8139,07	**0,009**	0,704
1-OH-NAP	7	1210,00	977,3	822,65	0,867	0,931
2-OH-NAP	7	1940,00	1598,2	3864,92	0,368	0,389
2-OH-FLU	7	122,00	76,5	70,28	0,368	0,311
3-OH-FLU	7	49,50	30,2	26,19	0,651	0,636
9-OH-FLU	7	283,00	240,6	242,24	0,368	0,343
1-OH-PHEN	7	78,70	75,3	64,47	0,102	0,196
2-OH-PHEN	7	40,20	26,7	20,10	**0,018**	**0,048**
3-OH-PHEN	7	58,70	56,5	51,77	0,156	0,085
4-OH-PHEN	7	13,15	11,1	10,92	0,156	0,322
1-OH-PYR	7	38,60	20,0	41,00	0,102	0,389
Σ_{10}OH-PAH [b]	7	4303,45	3333,2	7876,73	0,565	0,698

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] 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.

Tab4.6. Confronto tra i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati nelle urine di inizio turno raccolte al T0 e T2 nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per possibile rischio di esposizione. Media, mediana (P_{50}), p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia.

	N[a]	Media T0	P_{50} T0	Media T2	P_{50} T2	p-value
Tutti i dati						
1-OH-NAP	31	3274,97	1210,00	4436,62	1646,16	0,176
2-OH-NAP	31	6466,57	4330,00	5853,96	4630,59	0,570
2-OH-FLU	31	435,92	188,00	550,12	202,60	0,906
3-OH-FLU	31	282,92	83,65	283,79	62,36	0,739
9-OH-FLU	31	353,91	314,79	483,41	339,72	0,126
1-OH-PHEN	31	173,09	153,46	113,50	95,99	**0,002**
2-OH-PHEN	31	61,35	53,52	68,47	45,75	0,875
3-OH-PHEN	31	114,38	97,03	106,28	70,37	0,399
4-OH-PHEN	31	42,91	29,75	27,25	17,24	0,066
1-OH-PYR	31	161,84	133,37	101,54	65,56	**0,018**
Σ_{10}OH-PAH [b]	31	11367,87	6310,60	12024,94	7876,73	0,399
Potenzialmente esposti (PE)						
1-OH-NAP	23	3688,35	1513,54	5412,46	1696,19	0,094
2-OH-NAP	23	7366,08	5728,18	6474,06	4994,00	0,362
2-OH-FLU	23	510,47	255,53	680,81	210,87	0,584
3-OH-FLU	23	346,46	130,98	354,70	68,20	0,879
9-OH-FLU	23	363,53	314,79	561,70	413,80	**0,024**
1-OH-PHEN	23	199,84	187,73	126,35	98,88	**0,006**
2-OH-PHEN	23	66,23	55,33	83,80	55,10	0,330
3-OH-PHEN	23	127,47	97,96	124,89	81,19	0,927
4-OH-PHEN	23	49,23	37,97	32,11	21,19	0,202
1-OH-PYR	23	202,20	151,28	118,35	76,23	**0,004**
Σ_{10}OH-PAH [b]	23	12919,84	7402,98	13969,23	9309,09	0,378
Non esposti (NE)						
1-OH-NAP	8	2086,50	1038,00	1631,08	1002,08	0,889
2-OH-NAP	8	3880,50	2120,00	4071,18	3409,29	0,420
2-OH-FLU	8	221,60	151,50	174,39	99,03	0,161
3-OH-FLU	8	100,27	53,55	79,90	31,63	0,263
9-OH-FLU	8	326,25	301,50	258,35	253,19	0,093
1-OH-PHEN	8	96,18	79,55	76,58	72,06	0,124
2-OH-PHEN	8	47,33	42,50	24,38	18,86	**0,025**
3-OH-PHEN	8	76,74	65,00	52,79	52,01	0,069
4-OH-PHEN	8	24,76	20,53	13,27	12,92	**0,050**
1-OH-PYR	8	45,82	38,85	53,21	42,47	0,263
Σ_{10}OH-PAH [b]	8	6905,93	4563,70	6435,12	6406,12	0,889

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra ,3 e 3 g/L).
[b] 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.

Nella Tabella 23 dell'appendice sono riportate le mediane delle differenze dei valori tra l'ultimo controllo e il baseline (T2-T0) nei lavoratori PE e NE, con il valore p del test di Wilcoxon-Mann-Whitney. Coerentemente con i risultati finora descritti l'andamento dei singoli metaboliti non è univoco, tuttavia si conferma un andamento in generale decrescita dei composti del fenantrene in entrambi i gruppi di lavoratori.

Il test statistico ha mostrato che la differenza tra i due gruppi è statisticamente significativa solo per alcuni OH-IPA: 9-OH-FLU (aumentato nei lavoratori PE e diminuito nei lavoratori NE); 2-OH-PHEN (rimasto invariato nei lavoratori PE e diminuito nei lavoratori NE); 1-OH-PYR (diminuito nei lavoratori PE e leggermente aumentato nei lavoratori NE).

4.3 Risultati della rilevazione trasversale (Tx)

Lo studio ha previsto anche la determinazione di 10 OH-IPA nelle urine raccolte a inizio e a fine turno da 26 lavoratori (tutti di sesso maschile) dipendenti di ditte operanti in subappalto presso i locali a maggior esposizione potenziale. Di questi, 14 erano impegnati in mansioni che comportavano l'esposizione a ceneri (EC) e 12 in mansioni che non la comportavano (NEC).

La valutazione statistica è stata eseguita su 25 campioni raccolti a inizio turno e 24 campioni raccolti a fine turno, caratterizzati da livelli di creatinina compresi tra 0,3 e 3 g/L.

Per tutti i metaboliti la frequenza di dati al di sotto del LOQ è risultata sempre inferiore al 10%.

Le Tabelle 4.7 – 4.10 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 esposizione a ceneri e per esposizione al fumo.

A inizio turno i livelli urinari degli OH-IPA in studio (Σ_{10}OH-IPA) coprono l'intervallo 3228–60767 ng/g creatinina, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 23848 ng/g creatinina e 24368 ng/g creatinina.

A fine turno le concentrazioni degli OH-IPA (Σ_{10}OH-IPA) sono risultate comprese nell'intervallo 2009–61217 ng/g creatinina, con stime di P_{50} e media pari rispettivamente a 26686 e 25397 ng/g creatinina.

Sia a inizio turno che a fine turno non si riscontrano differenze statisticamente significative tra i lavoratori EC e quelli NEC (Tab12 e Tab13 appendice), anche se per tutti i metaboliti esaminati i valori medi e mediani sono più elevati nei lavoratori EC.

Anche in questo caso, sia a inizio turno sia a fine turno, i livelli di OH-IPA (Σ_{10}OH-IPA) quantificati nelle urine dei forti fumatori sono complessivamente più elevati rispetto a quelli trovati per gli altri lavoratori. A titolo di esempio, si riportano le stime di P_{50} della somma Σ_{10}OH-IPA calcolate a inizio turno per i non fumatori, gli esposti al fumo e i forti fumatori: 3804, 21622, 27871 ng/g creatinina. La classificazione dei fumatori in base al livello di cotinina fa sì che a fine turno non ci siano esposti a fumo.

Complessivamente i livelli urinari degli OH-IPA (Σ_{10}OH-IPA) a fine turno sono più alti di quelli a inizio turno (p=0,016) (Tab19 appendice). In particolare per i lavoratori esposti a ceneri si notano differenze significative per il 2-OH-FLU (p=0,008), il 9-OH-FLU (p=0,010), l'1-OH-PHEN (p=0,004) e l'1-OH-PYR (p=0,041), tutti più alti a fine turno.

Tab4.7. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al Tx nelle urine di inizio turno nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per esposizione a ceneri. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 26.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Tutti i dati										
1-OH-NAP	25	313	378	3840	10334	6011	10665	13598	27545	31040
2-OH-NAP	25	1465	2355	4688	10075	8003	9824	13373	20106	21519
2-OH-FLU	25	134,6	141,3	685,2	1463,2	982,88	1384,82	1888,4	3126,2	3546,4
3-OH-FLU	25	9,9	40,8	303,7	686,5	466,46	791,72	1223	1530,9	2252,7
9-OH-FLU	25	115,2	176,3	438,2	716,4	650,57	880,8	1055,9	2520,7	2564,7
1-OH-PHEN	25	42	63,3	131	172,1	165,93	189,06	223,2	351	490,7
2-OH-PHEN	25	11,5	14,8	57,5	108,9	88,08	119,19	167,2	261,9	283,1
3-OH-PHEN	25	7,5	32,7	129,8	171,1	151,42	224,69	275,8	633,9	658,1
4-OH-PHEN	25	2	4,5	19,6	40,7	31,09	45,22	57,8	106,4	182,8
1-OH-PYR	25	14,7	40,6	111,4	178	173,92	244,13	346,3	661,7	759,8
Σ_{10}OH-PAH[c]	25	3228	3232	9871	23848	18220	24368	31134	53409	60767
Esposti a ceneri (EC)										
1-OH-NAP	13	313	313	9070	10366	6540	11033	13598	27545	27545
2-OH-NAP	13	2355	2355	7793	10991	8841	10202	13373	16064	16064
2-OH-FLU	13	134,6	134,6	1017,2	1522	1153,74	1473,32	1999,5	3126,2	3126,2
3-OH-FLU	13	68,2	68,2	507	841,7	597,9	864,02	1223	2252,7	2252,7
9-OH-FLU	13	115,2	115,2	686,7	844,7	809,82	1066	1204,4	2564,7	2564,7
1-OH-PHEN	13	42	42	131	180,5	164,54	190,27	246,9	351	351
2-OH-PHEN	13	11,5	11,5	96,6	122,1	97,54	139,3	219,3	283,1	283,1
3-OH-PHEN	13	34,6	34,6	157,6	172,6	186,82	251,32	275,8	633,9	633,9
4-OH-PHEN	13	2	2	26	51,3	32,75	48	58,5	106,4	106,4
1-OH-PYR	13	40,6	40,6	124,7	280,1	218,64	289,52	361,4	759,8	759,8
Σ_{10}OH-PAH[c]	13	3228	3228	20229	26949	20061	25557	31134	53409	53409
Non esposti a ceneri (NEC)										
1-OH-NAP	12	378	378	2443	7803	5487	10266	14100	31040	31040
2-OH-NAP	12	1465	1465	3933	7306	7185	9414	13920	21519	21519
2-OH-FLU	12	141,3	141,3	311,55	1192,75	826,21	1288,94	1814,3	3546,4	3546,4
3-OH-FLU	12	9,9	9,9	133,6	656,05	356,47	713,39	1212,65	1530,9	1530,9
9-OH-FLU	12	176,3	176,3	280,9	518,4	513,18	680,17	855,1	2334,6	2334,6
1-OH-PHEN	12	83,5	83,5	121,45	163,25	167,45	187,74	212,95	490,7	490,7
2-OH-PHEN	12	15,3	15,3	51,45	79,3	78,85	97,4	134,05	227,4	227,4
3-OH-PHEN	12	7,5	7,5	59,05	167,7	120,6	195,83	272,2	658,1	658,1
4-OH-PHEN	12	7,5	7,5	18,75	28,95	29,38	42,2	41,35	182,8	182,8
1-OH-PYR	12	14,7	14,7	84,5	160,65	135,74	194,97	237,45	661,7	661,7
Σ_{10}OH-PAH[c]	12	3232	3232	9300	20370	16416	23081	31449	60767	60767

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] 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.

Tab4.8. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al Tx nelle urine di inizio turno relativamente ai dati stratificati per esposizione a fumo. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 26.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Forti fumatori (cotinina > 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	15	6597	6597	10201	12204	13195	14409	17579	31040	31040
2-OH-NAP	15	3177	3177	7793	10991	10704	11651	16038	20106	20106
2-OH-FLU	15	908,5	908,5	1463,2	1684,4	1706,26	1832,03	2076,7	3546,4	3546,4
3-OH-FLU	15	457,2	457,2	625,6	1081,7	966,42	1065,41	1343,6	2252,7	2252,7
9-OH-FLU	15	438,2	438,2	670,4	993,8	1021,15	1189,55	1499,3	2564,7	2564,7
1-OH-PHEN	15	131	131	159,5	210,6	214,73	230,42	275	490,7	490,7
2-OH-PHEN	15	45,4	45,4	108,4	137,9	143,82	160,29	227,4	283,1	283,1
3-OH-PHEN	15	151,8	151,8	168,7	261,1	275,7	314,57	435,1	658,1	658,1
4-OH-PHEN	15	9,7	9,7	40,7	55,2	49,89	61,22	65,2	182,8	182,8
1-OH-PYR	15	124,7	124,7	168,1	308,3	293,78	338,56	416,3	759,8	759,8
Σ_{10}OH-PAH[c]	15	12386	12386	23175	27871	28999	31252	36723	60767	60767
Esposto a fumo (cotinina 1- 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	5	617	617	3840	6542	5372	9373	12221	23644	23644
2-OH-NAP	5	3632	3632	4688	11476	8688	10618	11773	21519	21519
2-OH-FLU	5	428,8	428,8	685,2	1250,8	1050,26	1242,86	1447,8	2401,7	2401,7
3-OH-FLU	5	179,6	179,6	303,7	507	531,1	703,86	998,1	1530,9	1530,9
9-OH-FLU	5	115,2	115,2	295,7	438,3	390,11	482,06	716,4	844,7	844,7
1-OH-PHEN	5	63,3	63,3	100,1	164,5	136,73	152,72	177,8	257,9	257,9
2-OH-PHEN	5	33	33	41,2	83,3	70,47	81,46	108,9	140,9	140,9
3-OH-PHEN	5	38,2	38,2	72	129,8	104,83	123,62	172,6	205,5	205,5
4-OH-PHEN	5	4,5	4,5	17,9	26	18,35	22,5	26,3	37,8	37,8
1-OH-PYR	5	57,6	57,6	104,3	157	131,77	146,7	178	236,6	236,6
Σ_{10}OH-PAH[c]	5	5596	5596	9871	21622	17479	22946	26949	50691	50691
Non fumatori (cotinina < 1 ng/mL)										
1-OH-NAP	5	313	313	378	717	636	725	1047	1171	1171
2-OH-NAP	5	1465	1465	2355	2970	3082	3546	3795	7146	7146
2-OH-FLU	5	134,6	134,6	141,3	147,8	175,818	185,12	194,3	307,6	307,6
3-OH-FLU	5	9,9	9,9	40,8	68,2	46,07	58,5	86	87,6	87,6
9-OH-FLU	5	176,3	176,3	177,8	226,5	280,542	353,3	266,1	919,8	919,8
1-OH-PHEN	5	42	42	83,5	106,7	92,921	101,3	119,9	154,4	154,4
2-OH-PHEN	5	11,5	11,5	14,8	15,3	25,283	33,62	57,5	69	69
3-OH-PHEN	5	7,5	7,5	32,7	34,6	36,236	56,12	46,1	159,7	159,7
4-OH-PHEN	5	2	2	7,5	19,6	12,744	19,92	25,3	45,2	45,2
1-OH-PYR	5	14,7	14,7	40,6	48,3	47,638	58,28	76,4	111,4	111,4
Σ_{10}OH-PAH[c]	5	3228	3228	3232	3804	4711	5138	6696	8730	8730

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).

[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.

[c] 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.

Tab4.9. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al Tx nelle urine di fine turno nell'intero gruppo di lavoratori e dopo stratificazione per esposizione a ceneri. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 26.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Tutti i dati										
1-OH-NAP	24	234	235	5687	11557	6404	11639	16634	22688	33159
2-OH-NAP	24	1122	1848	6896	9848	7920	9442	13265	15615	15865
2-OH-FLU	24	108,9	143,2	712,55	1630,15	1021,82	1467,24	2028,15	2997,7	3597,3
3-OH-FLU	24	30,9	37,3	238,4	727,15	466,02	801,38	1185,9	2004,3	2050,6
9-OH-FLU	24	230,7	241,3	627,25	909,75	871,1	1094,8	1259,05	3273,6	3577,2
1-OH-PHEN	24	52,2	63,5	112,25	188,5	170,35	199,7	245,2	402,9	578,2
2-OH-PHEN	24	23,5	25,8	74,4	140,5	112,66	143,39	193,6	243,9	496,5
3-OH-PHEN	24	18,4	20	149,85	270,2	182,72	260,35	318,85	516,2	884,7
4-OH-PHEN	24	2,6	7	25,4	41,5	40,29	58,33	76,95	124,4	191,8
1-OH-PYR	24	29,3	35,3	114,85	265,8	208,41	290,64	466,75	579,3	863
Σ_{10}OH-PAH[c]	24	2009	2706	13561	26686	19369	25397	35879	46005	61217
Esposti a ceneri (EC)										
1-OH-NAP	12	234	234	8449	13913	7280	13208	16634	33159	33159
2-OH-NAP	12	1122	1122	6511	11244	7942	9987	13864	15865	15865
2-OH-FLU	12	108,9	108,9	1076,65	1783,7	1160,56	1624,56	2099,05	3597,3	3597,3
3-OH-FLU	12	44,4	44,4	434,7	920,85	567,13	913,18	1340,25	2004,3	2004,3
9-OH-FLU	12	230,7	230,7	785,4	1050,35	980,48	1299,11	1259,05	3577,2	3577,2
1-OH-PHEN	12	52,2	52,2	139,05	226,6	191,59	230,7	285,5	578,2	578,2
2-OH-PHEN	12	23,5	23,5	114,15	169,55	133,79	176,84	211,65	496,5	496,5
3-OH-PHEN	12	18,4	18,4	198,3	296,6	214,12	306,53	362,9	884,7	884,7
4-OH-PHEN	12	7	7	26,35	69,35	47,04	67,48	88,3	191,8	191,8
1-OH-PYR	12	29,3	29,3	163,9	328,55	259,34	361,6	539,1	863	863
Σ_{10}OH-PAH[c]	12	2009	2009	20108	29033	20431	28174	35997	61217	61217
Non esposti a ceneri (NEC)										
1-OH-NAP	12	236	236	3354	10426	5633	10070	14943	22688	22688
2-OH-NAP	12	1848	1848	6896	8966	7897	8898	11567	15016	15016
2-OH-FLU	12	143,2	143,2	463,45	1442,35	899,67	1309,92	1974	2997,7	2997,7
3-OH-FLU	12	30,9	30,9	172,15	648,8	382,93	689,58	1000,1	2050,6	2050,6
9-OH-FLU	12	241,3	241,3	537,85	815,6	773,92	890,49	1233,5	1825,3	1825,3
1-OH-PHEN	12	71,7	71,7	105,5	145,5	151,46	168,71	207,65	402,9	402,9
2-OH-PHEN	12	35,2	35,2	63,15	109,2	94,86	109,94	141,3	230,3	230,3
3-OH-PHEN	12	20	20	91,7	220,05	155,93	214,18	301,55	516,2	516,2
4-OH-PHEN	12	2,6	2,6	22,7	39,5	34,5	49,18	71,25	114,1	114,1
1-OH-PYR	12	35,3	35,3	90,2	176,95	167,48	219,68	320,9	472,8	472,8
Σ_{10}OH-PAH[c]	12	4136	4136	11168	22835	18361	22620	32174	46005	46005

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] 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.

Tab4.10. Statistica descrittiva inerente i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati al Tx nelle urine di inizio turno relativamente ai dati stratificati per esposizione a fumo. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia. Soggetti reclutati per lo studio pari a 26.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Forti fumatori (cotinina > 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	19	803	803	10758	13806	11808	14286	18134	33159	33159
2-OH-NAP	19	4256	4256	8148	11129	10506	11031	13562	15865	15865
2-OH-FLU	19	241,3	241,3	1413,8	1937,1	1575,06	1784,19	2075,2	3597,3	3597,3
3-OH-FLU	19	85,5	85,5	651,4	979,4	813,77	992,27	1335,7	2050,6	2050,6
9-OH-FLU	19	241,3	241,3	802,5	1016,6	988,16	1133,57	1370,3	3577,2	3577,2
1-OH-PHEN	19	101,3	101,3	138,5	205,2	198,32	220,35	254,1	578,2	578,2
2-OH-PHEN	19	52,5	52,5	103,3	141,9	143,63	163,35	199,2	496,5	496,5
3-OH-PHEN	19	44,6	44,6	175,3	290	260,69	304,93	348,9	884,7	884,7
4-OH-PHEN	19	14,2	14,2	35,8	68,2	55,57	68,93	100,7	191,8	191,8
1-OH-PYR	19	70,8	70,8	178	277,2	296,28	350,77	476,2	863	863
Σ_{10}OH-PAH[c]	19	9802	9802	23687	27455	27776	30335	37632	61217	61217
Esposto a fumo (cotinina 1- 50 ng/mL)										
1-OH-NAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-OH-NAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-OH-FLU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-OH-FLU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9-OH-FLU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-OH-PHEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-OH-PHEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-OH-PHEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-OH-PHEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-OH-PYR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ_{10}OH-PAH[c]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Non fumatori (cotinina < 1 ng/mL)										
1-OH-NAP	5	234	234	235	236	626	1581	1250	5953	5953
2-OH-NAP	5	1122	1122	1848	1938	2707	3403	5346	6762	6762
2-OH-FLU	5	108,9	108,9	143,2	157	197,364	262,8	165,4	739,5	739,5
3-OH-FLU	5	30,9	30,9	37,3	44,4	56,03	76,02	49,5	218	218
9-OH-FLU	5	230,7	230,7	262,6	414,7	539,496	947,46	555,7	3273,6	3273,6
1-OH-PHEN	5	52,2	52,2	63,5	71,7	95,605	121,24	108,2	310,6	310,6
2-OH-PHEN	5	23,5	23,5	25,8	35,2	44,77	67,56	39,4	213,9	213,9
3-OH-PHEN	5	18,4	18,4	20	36,1	47,354	90,98	55,1	325,3	325,3
4-OH-PHEN	5	2,6	2,6	7	10,9	11,872	18,04	29,8	39,9	39,9
1-OH-PYR	5	29,3	29,3	35,3	58,9	54,744	62,16	67,2	120,1	120,1
Σ_{10}OH-PAH[c]	5	2009	2009	2706	4136	4922	6631	7774	16529	16529

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica (soggetti con creatinina tra 0,3 e 3 g/L).
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] 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.

Confrontando i lavoratori delle ditte in subappalto con i lavoratori al T2 si nota che sia a inizio turno sia a fine turno i lavoratori in subappalto mostrano livelli di OH-IPA più elevati. Focalizzandosi sull'inizio turno (Tab14 e Tab16 appendice) si vede che i lavoratori in subappalto presentano livelli di tutti gli OH-IPA significativamente maggiori rispetto a quelli osservati per i lavoratori NE ($p<0,05$) e significativamente superiori rispetto ai lavoratori PE per tutti gli OH-IPA tranne il 9-OH-FLU, il 2-OH-PHEN, il 3-OH-PHEN e il 4-OH-PHEN. A fine turno (Tab4.11) si

nota invece che i lavoratori al Tx hanno livelli significativamente maggiori per tutti gli OH-IPA sia rispetto ai lavoratori NE sia ai lavoratori PE, fa eccezione solo l'1-OH-PHEN nei confronti dei PE. Le differenze osservate tra i lavoratori al Tx e i PE potrebbero essere dovute alla diversa distribuzione per abitudine al fumo. Infatti la proporzione di forti fumatori sul totale è più alta tra i Tx rispetto ai PE (79% vs 46%).

Tab4.11. Confronto tra i livelli di OH-IPA (ng/g creatinina) riscontrati nelle urine di fine turno al Tx rispetto ai lavoratori NE e PE. Mediana (P50), p-value associato al test di Wilcoxon-Mann-Whitney. Valori al di sotto del LOQ posti uguali alla metà della soglia.

	P_{50} NE (8[a])	**P_{50} PE (24[a])**	**P_{50} TX (24[a])**	**p-value (NE vs TX)**	**p-value (PE vs TX)**
1-OH-NAP	523	1382	11557	**0,003**	**0,013**
2-OH-NAP	2629	4678	9848	**0,015**	**0,013**
2-OH-FLU	119,4	216,2	1630,15	**<0,001**	**0,010**
3-OH-FLU	33,75	58,2	727,15	**<0,001**	**0,015**
9-OH-FLU	170,4	392,55	909,75	**<0,001**	**0,002**
1-OH-PHEN	63,7	134,26	188,5	**<0,001**	0,108
2-OH-PHEN	28,75	66,95	140,5	**<0,001**	**0,019**
3-OH-PHEN	28,6	96,55	270,2	**0,001**	**0,013**
4-OH-PHEN	10,55	24,85	41,5	**0,001**	**0,026**
1-OH-PYR	31,7	117,8	265,8	**<0,001**	**0,006**
Σ_{10}OH-PAH [b]	3367	7783	26686	**0,005**	**0,013**

[a] Numero totale di dati inclusi nella valutazione statistica, soggetti con creatinina >0,3 e <3 g/L
[b] 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.

4.4 Risultati dei monitoraggi ambientali

4.4.1 *Risultati del campionamento 2016 (contestuale al Tx)*

In tabella 4.12 sono riportate le concentrazioni degli IPA monitorati in aria, espresse come sommatoria totale delle fasi vapore e particellare. Le concentrazioni sono espresse come nanogrammi per metro cubo (ng/m^3) e normalizzate nelle seguenti condizioni: T = 298 K P = 1013 mbar.

Tab4.12. Concentrazioni degli IPA (fase vapore più fase particellare) monitorati in diverse aree dell'impianto. In rosso sono riportati gli IPA cancerogeni secondo la vigente normativa europea Reg. (CE) n. 1272/2008

	AREA AVANFOSSA-ADDETTO	AREA AVANFOSSA-PORTA 10	AREA SCORIE - ZONA VASCHE	NASTRO SCORIE TRA LINEA 1 E 2 - LIVELLO ZERO	AREA SILI- CENERI	AREA SILI- CENERI - ADDETTO
Acenaftene	<15,6	<18,7	<17,1	**58,3**	<22,8	<16,6
Acenaftilene	<15,6	<18,7	<17,1	**54,4**	<22,8	<16,6
Antracene	**0,65**	**0,79**	**0,91**	**22,95**	**0,09**	**0,59**
Benzo(a)antracene	<0,08	<0,09	<0,09	**12,06**	<0,11	<0,08
Benzo(a)pirene	**0,65**	**1,29**	**0,07**	**8,18**	**0,07**	<0,08
Benzo(b)fluorantene	**0,53**	**1,14**	**1,02**	**9,84**	<0,11	**0,25**
Benzo(g,h,l)perilene	**2,06**	**4,38**	**1,68**	**7,20**	**0,07**	<0,08
Benzo(k)fluorantene	**0,14**	**0,28**	<0,09	**4,45**	<0,11	<0,08
Crisene + trifelinene	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08	<0,08
Dibenzo(a,h)antracene	<0,08	<0,09	<0,09	<0,08	<0,11	<0,08
Fenantrene	<15,6	<18,7	**23,96**	**219,9**	<22,8	<16,6
Fluorantene	<15,6	<18,7	<17,1	**48,4**	<22,8	<16,6
Fluorene	<15,6	<18,7	<17,1	**264,4**	<22,8	<16,6
Indeno(1,2,3-cd)pirene	<0,08	**1,07**	<0,09	<0,08	<0,11	<0,08
Pirene	**1,42**	**3,31**	<0,09	**30,7**	**0,27**	**1,77**
IPA totali	**5,5**	**12,3**	**27,6**	**740,9**	**0,5**	**2,6**

Le concentrazioni di IPA totale più elevate, circa 700 ng/m^3, sono risultate quelle relative alla postazione "adiacente al nastro trasportatore delle scorie tra la linea 1 la linea 2 al piano zero". Nella stessa postazione, anche le concentrazioni dei singoli IPA e le relative somme sono risultate le più abbondanti. Si segnala il dato del benzo(a)pirene, superiore a 8 ng/m^3, concentrazione superiore a tutti prelievi delle precedenti campagne e di quella del 2017. Durante la fase di campionamento, il nastro trasportatore delle scorie della linea 2 era in fase di manutenzione/sostituzione ed erano presenti addetti di diverse ditte impegnate nella manutenzione, pulizia, allontanamento dei reflui, ecc e venivano utilizzati diversi automezzi.
Tutte le altre postazioni hanno concentrazioni più contenute.

4.4.2 *Risultati del campionamento 2017 (Contestuale al T2)*

In tabella 4.13 sono riportate le concentrazioni degli IPA monitorati in aria, espresse come sommatoria totale delle fasi vapore e particellare. Le concentrazioni sono espresse come

nanogrammi per metro cubo (ng/m^3) e normalizzate nelle seguenti condizioni: T = 298 K P = 1013 mbar.

Tab 4.13. Concentrazioni degli IPA (fase vapore più fase particellare) monitorati in diverse aree dell'impianto. In rosso sono riportati gli IPA cancerogeni secondo la vigente normativa europea Reg. (CE) n. 1272/2008

	CABINA GRUISTA FOSSA	AREA AVANFOSSA	AREA SCORIE	AREA SILI- CENERI
Acenaftene	<5,33	<15,59	<15,36	<15,96
Acenaftilene	<5,33	<15,59	<15,36	<15,96
Antracene	**1,20**	**1,41**	**3,13**	**2,1**
Benzo(a)antracene	<0,03	<0,03	<0,08	<0,08
Benzo(a)pirene	**0,05**	**0,14**	**0,63**	<0,08
Benzo(b)fluorantene	**0,32**	**0,43**	**0,37**	**0,17**
Benzo(g,h,l)perilene	0,08	<0,08	**1,30**	<0,08
Benzo(k)fluorantene	<0,03	**0,09**	**0,30**	<0,08
Crisene + trifelinene	<0,03	<0,08	<0,08	<0,08
Dibenzo(a,h)antracene	<0,03	<0,08	<0,08	<0,08
Fenantrene	<16,21	10,39	**23,96**	<22,8
Fluorantene	<16,21	<15,59	15,36	<15,96
Fluorene	<16,21	<15,59	15,36	<15,96
Indeno(1,2,3-cd)pirene	<0,08	**0,07**	**0,30**	<0,11
Pirene	**2,4**	**5,67**	**17,82**	**6,81**
IPA totali	**4,0**	**18,2**	**54,6**	**20,5**

La postazione con le concentrazioni più alta di IPA (somma della fase particellare e vapore) è risultata quella dell'"area scorie" (54 ng/m3 di IPA totali), Decisamente più contenute le altre postazioni.

4.4.3 *Confronti fra le diverse campagne*

Per un confronto tra le concentrazioni rilevate negli anni 2013 con il 2016 e 2017, sono stati utilizzati i dati relativi alle sole postazione ripetute nelle diverse campagne di monitoraggio.

Tab4.14. Concentrazioni degli IPA (fase vapore più fase particellare) monitorati in diverse aree dell'impianto, nelle diverse campagne.

	AREA AVANFOSSA					SALA CONTROLLO/ SALA GRUISTA					AREA SILI			AREA SCORIE		
	Apr 13	Giu 13	Apr 15	Apr 16	Apr 17	Apr 13	Giu 13	Apr 15	Apr 16	Apr 17	Apr 15	Apr 16	Apr 17	Apr 15	Apr 16	Apr 17
	ng/m^3															
Acenaftene	<5,4	<16,8	<6,3	<18,7	<15,59	<5,7	<16,2	**18,83**	<6,5	<5,33	<11,19	<22,81	<15,96	<6,00	<17,1	<15,36
Acenaftilene	<5,4	<16,8	**6,9**	<18,7	<15,59	<5,7	<16,2	<6,3	<6,5	<5,33	<11,19	<22,81	<15,96	<6,00	<17,1	<15,36
Antracene	**1,24**	<0,08	**1,38**	**0,79**	**1,41**	**0,18**	<0,1	**0,71**	**0,28**	**1,20**	**0,22**	**0,09**	**2,13**	**0,24**	**0,91**	**3,13**
Benzo(a)antracene	**2,6**	<0,08	**1,2**	<0,09	<0,03	<0,03	<0,08	**0,10**	<0,03	<0,03	<0,06	<0,11	<0,08	<0,03	<0,09	<0,08
Benzo(a)pirene	**1,72**	<0,08	**0,30**	**1,29**	**0,14**	**1,18**	<0,08	**0,10**	**0,11**	**0,05**	<0,06	**0,07**	<0,08	**0,16**	**0,07**	**0,63**
Benzo(b)fluorantene	**1,04**	<0,08	**0,26**	**1,14**	**0,43**	**0,32**	<0,08	**0,12**	**0,15**	**0,32**	**0,06**	<0,11	**0,17**	**0,17**	**1,02**	**0,37**
Benzo(g,h,l)perilene	**5,30**	<0,08	**3,00**	**4,38**	<0,08	**1,24**	<0,1	**0,52**	**0,44**	<0,08	**0,17**	**0,07**	<0,08	**0,43**	**1,68**	**1,30**
Benzo(k)fluorantene	**0,72**	<0,08	**0,38**	**0,28**	**0,09**	**0,09**	<0,25	**0,08**	**0,04**	<0,03	<0,06	<0,11	<0,08	0,05	<0,09	<0,30
Crisene	**0,98**	<0,08	<0,03	<0,08	<0,08	<0,03	<0,08	<0,03	<0,04	<0,03	<0,06	<0,08	<0,08	<0,03	<0,08	<0,08
Dibenzo(a,h)antracene	<0,03	<0,08	<0,03	<0,09	<0,08	<0,03	<0,08	<0,03	<0,03	<0,03	<0,06	<0,11	<0,08	<0,03	<0,09	<0,08
Fenantrene	**16,51**	**6,24**	**22,58**	<18,7	**10,39**	**4,24**	**1,53**	**18,13**	**10,28**	<16,21	**5,67**	<22,81	<15,96	**20,20**	**23,96**	**30,71**
Fluorantene	**1,14**	**3,51**	0,36	<18,7	<15,59	**10,10**	**1,90**	**3,13**	**3,76**	<16,21	**2,21**	<22,81	<15,96	**2,05**	<17,1	<15,36
Fluorene	<5,4	<16,8	<6,3	<18,7	<15,59	<5,7	<16,2	**10,36**	<6,5	<16,21	<11,19	<22,81	<15,96	<6,00	<17,1	<15,36
Indeno(1,2,3-cd)pirene	**1,42**	<0,08	<0,03	**1,07**	**0,07**	**0,03**	<0,1	<0,1	<0,1	**0,08**	<0,06	<0,11	<0,08	<0,03	<0,09	**0,30**
Pirene	**11,60**	**1,92**	**2,31**	**3,31**	**5,67**	**36,54**	**1,63**	**1,84**	**2,59**	**2,41**	**2,59**	0,27	0,81	**2,95**	<0,09	**17,82**
IPA totali	**44,3**	**11,7**	**38,7**	**12,3**	**18,2**	**53,9**	**5,1**	**53,9**	**17,7**	**4,0**	10,9	0,5	3,1	**26,2**	**27,6**	**54,6**

Dai dati sopra riportati si evidenzia che sia nell'*area avanfossa* e sia nella *cabina gruista RSU*, le concentrazioni degli IPA si sono ridotte significativamente nel tempo grazie ad alcune migliorie apportate (rispettivamente alle porte di scarico dei rifiuti nella fossa e ai condotti di aria forzata); nell'*area Sili/Ceneri e PSR* le concentrazioni continuano a mantenersi contenute; mentre nell'*area scorie* le concentrazioni risultano raddoppiate rispetto ai rilevamenti precedenti e con valori superiori alle altre postazioni per quasi tutti gli inquinanti monitorati. La parziale bonifica di queste aree, fondo griglia deviatore – nastri – vasche scorie, con il tamponamento dei volumi dell'area vasche scorie hanno creato un accumulo degli inquinanti prodotti dal bruciamento dei rifiuti. È stato comunicato verbalmente da parte della ditta l'intenzione di ultimare le bonifiche di questi ambienti.

5 Risultati PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB

5.1 Risultati del biomonitoraggio dopo 3 anni (T2)

PCDD, PCDF, e PCB sono stati determinati solo nel personale addetto alle linee le cui attività prevedono la possibilità di contatto con sostanze pericolose. Sono stati coinvolti 25 lavoratori tra quelli coinvolti in attività che prevedevano la possibilità di contatto con sostanze pericolose (PE).

In Tabella 5.1 sono riportati i parametri delle distribuzioni di frequenza calcolati per famiglia di sostanze analizzate relativi all'intero set di dati. Le concentrazioni di PCDD+PCDF presentano un minimo di 4,2 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 15,3 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 7,0 e 7,6 pgWHO-TE97/g lb. I DL-PCB presentano un minimo di 2,2 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 19,1 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 4,7 e 5,7 pgWHO-TE97/g lb. Infine, i TEQ_{TOT} presentano un minimo di 7,3 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 32,5 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 11,9 e 13,4 pgWHO-TE97/g lb. Il contributo dei DL-PCB ai TEQ_{TOT} risulta mediamente pari al 43% con valori compresi tra il 30 e il 59%.

Per ciò che concerne i NDL-PCB, le concentrazioni cumulative di Σ_{30}NDL-PCB vanno da 62,0 a 408 ng/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 157 e 176 ng/g lb. Mediamente i sei congeneri "indicatori" (Σ_6NDL-PCB) rappresentano circa il 66 % dei 30 NDL-PCB analizzati (Σ_{30}NDL-PCB).

Tab5.1. Statistica descrittiva inerente i livelli di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB riscontrati al T2 nel siero ematico dei lavoratori potenzialmente esposti. Valori espressi in pgWHO-TE_{97}/g lb per PCDD+PCDF, DL-PCB, and TEQ_{TOT}, e in ng/g lb per Σ_6NDL-PCB e Σ_{30}NDL-PCB. Soggetti reclutati per lo studio pari a 25.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
PCDD+PCDF	25	4,2	4,3	5,6	7,0	7,2	7,6	9,1	13,4	15,3
DL-PCB	25	2,2	2,5	3,5	4,7	5,0	5,7	7,5	9,6	19,1
TEQ_{TOT} [c]	25	7,3	8,0	8,8	11,9	12,4	13,4	15,7	24,9	32,5
Σ_6NDL-PCB [d]	25	42,0	55	78	106	105	117	156	229	289
Σ_{30}NDL-PCB [e]	25	62,0	80	114	157	157	176	237	348	408

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica.
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] Somma *medium bound* di PCDD+PCDF+DL-PCB.
[d] Somma *medium bound* dei PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180.
[e] Somma *medium bound* 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.

Tutti gli analiti sono inferiori rispetto a quelli osservati nei residenti in maniera statisticamente significativa ($p<0,05$) (Tab31 appendice). In appendice tale confronto è riportato anche in forma grafica nei box plot della Fig1.

5.2 Confronti dei risultati al T2 con il baseline (T0)

Nella Tabella 5.2 è riportata la distribuzione media e mediana di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB al T0 e al T2, e il valore p del test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Si nota che i livelli di DL-PCB sono più bassi al T2 rispetto al T0 e questa differenza è statisticamente significativa ($p=0,026$). Anche i livelli di NDL-PBC diminuiscono nel tempo, tuttavia solo per la somma dei 30 congeneri (Σ_{30}NDL-PCB) la diminuzione è statisticamente significativa ($p=0,006$).

Tab5.2. Confronto tra i livelli di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB riscontrati nel siero ematico raccolto al T0 e al T2 nei lavoratori potenzialmente esposti. Media, mediana (P_{50}), p-value associato al test dei ranghi con segno di Wilcoxon. Valori espressi in pgWHO-TE_{97}/g lb per PCDD+PCDF, DL-PCB, and TEQ_{TOT}, e in ng/g lb per Σ_6NDL-PCB e Σ_{30}NDL-PCB.

	N[a]	Media T0	P_{50} T0	Media T2	P_{50} T2	p-value
PCDD+PCDF	25	7,4	6,1	7,6	7,0	0,288
DL-PCB	25	6,7	5,5	5,7	4,7	**0,026**
TEQ_{TOT} [c]	25	14,1	11,4	13,4	11,9	0,861
Σ_6NDL-PCB [d]	25	129	113	117	106	0,247
Σ_{30}NDL-PCB [e]	25	211	174	176	157	**0,006**

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica.
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] Somma *medium bound* di PCDD+PCDF+DL-PCB.
[d] Somma *medium bound* dei PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180.
[e] Somma *medium bound* 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.

5.3 Risultati della rilevazione trasversale (Tx)

Per quanto riguarda i lavoratori dipendenti di ditte operanti in subappalto presso i locali a maggior esposizione potenziale, i PCDD, PCDF, e PCB sono stati determinati in 16 soggetti, di cui 13 impegnati in mansioni che comportavano l'esposizione a ceneri (EC), 3 in mansioni che non la comportavano (NEC). Le statistiche sui non esposti a ceneri non verranno presentate a causa del numero limitato di osservazioni.

In Tabella 5.3 sono riportati i parametri delle distribuzioni di frequenza calcolati per famiglia di sostanze analizzate relativi all'intero set di dati e per il sottogruppo dei lavoratori EC. Complessivamente le concentrazioni di PCDD+PCDF presentano un minimo di 3,1 pgWHO-

TE97/g lb e un massimo di 18,3 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 7,1 e 7,7 pgWHO-TE97/g lb. I DL-PCB presentano un minimo di 2,1 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 13,1 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 6,1 e 6,6 pgWHO-TE97/g lb. Infine, i TEQ_{TOT} presentano un minimo di 5,3 pgWHO-TE97/g lb e un massimo di 29,2 pgWHO-TE97/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 13,4 e 14,3 pgWHO-TE97/g lb.

Per ciò che concerne i NDL-PCB, le concentrazioni cumulative di Σ_{30}NDL-PCB vanno da 55,0 a 728 ng/g lb, con stime di mediana (P_{50}) e media pari rispettivamente a 209 e 224 ng/g lb.

Rispetto al complesso dei lavoratori il sottogruppo di EC ha medie e mediane più basse di PCDD+PCDF e TEQ_{TOT}, e più alte di NDL-PCB.

Tab5.3. Statistica descrittiva inerente i livelli di PCDD, PCDF, DL-PCB, e NDL-PCB riscontrati al Tx nel siero ematico nell'intero gruppo di lavoratori e per i lavoratori esposti a ceneri. Valori espressi in pgWHO-TE_{97}/g lb per PCDD+PCDF, DL-PCB, and TEQ_{TOT}, e in ng/g lb per Σ_6NDL-PCB e Σ_{30}NDL-PCB. Soggetti reclutati per lo studio pari a 16.

	N[a]	X_{MIN}	P_5[b]	P_{25}	P_{50}	GM	Media	P_{75}	P_{95}[b]	X_{MAX}
Tutti dati										
PCDD+PCDF	16	3,1	3,1	5,2	7,1	7,0	7,7	8,7	18,3	18,3
DL-PCB	16	2,1	2,1	4,3	6,1	5,7	6,6	9,3	13,1	13,1
TEQ_{TOT} [c]	16	5,3	5,3	10,1	13,4	13,0	14,3	16,5	29,2	29,2
Σ_6NDL-PCB [d]	16	38,0	38	62	134	116	147	202	466	466
Σ_{30}NDL-PCB [e]	16	55,0	55	89	209	174	224	309	728	728
Esposti a ceneri (EC)										
PCDD+PCDF	13	4,6	4,6	5,5	6,8	6,8	7,2	8,6	14,4	14,4
DL-PCB	13	2,1	2,1	4,8	6,0	5,8	6,6	7,4	13,1	13,1
TEQ_{TOT} [c]	13	7,1	7,1	10,5	12,8	12,9	13,8	15,8	27,5	27,5
Σ_6NDL-PCB [d]	13	41,0	41	65	149	120	152	188	466	466
Σ_{30}NDL-PCB [e]	13	60,0	60	93	213	179	230	285	728	728

[a] Numero di dati inclusi nella valutazione statistica.
[b] Stima indicativa a causa del numero limitato di dati.
[c] Somma *medium bound* di PCDD+PCDF+DL-PCB.
[d] Somma *medium bound* dei PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180.
[e] Somma *medium bound* 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.

Confrontando gli EC con i residenti (Tab32 appendice) si vede che i livelli dei lavoratori sono più bassi in maniera statisticamente significativa per i PCDD+PCDF (p=0,045) e per i TEQ_{TOT} (p=0,035).

5.4 Risultati dei monitoraggi ambientali

5.4.1 *Risultati del campionamento 2016 (Contestuale al Tx)*

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

Nelle tabelle 5.4 e 5.5 si riportano rispettivamente le concentrazioni di congeneri di PCDD/F e di DL-PCB e NDL-PCB. Tuttavia in tabella 5.4 si riportano i soli valori relativi all'area scorie in quanto il filtro relativo al campionamento presso il reparto sili presentava un elevato carico di polveri, presumibilmente derivanti da carbone attivo, che non hanno consentito la determinazione di PCDD/F. In tabella, per confronto, si riportano anche le concentrazioni determinate nella centralina ARPA Piemonte di qualità dell'aria Aldo Mei.

Tab5.4. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCDD/F rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali marzo 2016.

	AREA SCORIE	**STAZIONE ALDO MEI**
Congenere	**(fg/m^3)**	
2,3,7,8-T_4CDD	<5,01	<0,823
1,2,3,7,8-P_5CDD	<12,7	<0,823
1,2,3,4,7,8-H_6CDD	<12,7	1,96
1,2,3,6,7,8-H_6CDD	<12,7	3,49
1,2,3,7,8,9-H_6CDD	<12,7	<1,45
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDD	<42,5	29,0
O_8CDD	113	53,6
2,3,7,8-T_4CDF	<5,77	8,67
1,2,3,7,8-P_5CDF	<8,29	7,26
2,3,4,7,8-P_5CDF	<10,4	13,1
1,2,3,4,7,8-H_6CDF	<10,5	8,67
1,2,3,6,7,8-H_6CDF	<8,21	7,34
1,2,3,7,8,9-H_6CDF	<15,3	0,872
2,3,4,6,7,8-H_6CDF	<5,30	7,80
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDF	25,4	26,33
1,2,3,4,7,8,9-H_7CDF	<9,20	3,78
O_8CDF	26,2	12,6
PCDD+PCDF fg I-TEQ/m^3	13,3	12,1
PCDD+PCDF fgWHO_{2005}-TEQ/m^3	15,3	9,52

Tab5.5. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCB rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali marzo 2016

		AREA SILI	AREA SCORIE	STAZIONE ALDO MEI
	Congenere	**(pg/m³)**		
77	3,3',4,4'-TETRA-CB	0,429	0,459	0,137
81	3,3',4,5-TETRA-CB	<0,142	<0,131	0,00787
126	3,3',4,4',5-PENTA-CB	<0,266	<0,247	0,0160
169	3,3',4,4'5,5'- ESA-CB	<0,137	<0,127	<0,00351
105	2,3,3',4,4'-PENTA-CB	<0,870	2,85	0,703
114	2,3,4,4',5-PENTA-CB	<0,258	<0,239	0,0518
118	2,3',4,4',5-PENTA-CB	5,47	7,54	2,02
123	2,3,4,4',5-PENTA-CB	<0,398	<0,370	0,0378
156	2,3,3',4,4',5- ESA-CB	0,570	0,616	0,138
157	2,3,3',4,4',5'- ESA-CB	<0,270	<0,251	0,0310
167	2,3',4,4',5,5'- ESA-CB	<0,323	<0,300	0,0717
189	2,3,3',4,4',5,5'- EPTA-CB	<0,284	<0,263	0,0121
totale DL-PCB (pg WHO_{2005}-TEQ/m³)		0,0156	0,0146	0,00176
28	2,4,4'-TRI-CB	12,1	29,4	2,09
52	2,2',5,5'-TETRA-CB	13,8	28,2	4,03
101	2,2',4,5,5'-PENTA-CB	10,8	15,4	4,34
138	2,2',3,4,4',5'- ESA-CB	6,17	5,88	1,63
153	2,2',4,4',5,5'- ESA-CB	12,0	11,3	2,85
180	2,2',3,4,4',5,5'- EPTA-CB	4,17	3,24	0,804
totale PCB marker (pg /m³)		**59,0**	**93,4**	**15,7**
95	2,2',3,5',6-PENTA-CB	<4,79	17,3	4,46
99	2,2',4,4',5-PENTA-CB	3,70	5,53	1,57
110	2,3,3',4',6-PENTA-CB	10,8	13,9	3,72
128	2,2',3,3',4,4'- ESA-CB	0,909	0,944	0,255
146	2,2',3,4'5,5'- ESA-CB	2,67	1,39	0,403
149	2,2',3,4',5',6- ESA-CB	9,23	8,14	2,17
151	2,2',3,5,5',6- ESA-CB	3,22	2,65	0,754
170	2,2',3,3',4,4',5- EPTA-CB	1,70	1,23	0,316
177	2,2',3,3',4,5',6'- EPTA-CB	0,84	0,704	0,172
183	2,2',3,4,4',5',6 - EPTA-CB	1,15	0,949	0,230
187	2,2',3,4',5,5'6 - EPTA-CB	3,10	2,26	0,587
totale NDL-PCB (pg /m³)		**39,7**	**55,1**	**14,6**
totale 29 PCB (DL+MK+NDL)		**107**	**161**	**33,6**
	tricloro-bifenili	57,0	196	9,29
	tetracloro-bifenili	134	122	20,8
	pentacloro-bifenili	51,2	72,4	19,3
	esacloro-bifenili	36,2	35,9	9,76
	eptaclorocloro-bifenili	15,9	11,6	2,82
	octacloro-bifenili	1,50	1,01	0,376
PCB totali (pg /m³)		296	439	62,4

I valori riscontrati sono ampiamente inferiori a quelli riportati nel parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (ISS 1988), che indica per la sommatoria PCDD+PCDF un livello massimo pari a 120 fg I-TE/m^3.

5.4.2 *Risultati del campionamento 2017 (Contestuale al T2)*

Le postazioni fisse per il campionamento di PCDD/F e PCB sulle polveri aerodisperse sono state nuovamente l'area sili e l'area scorie.

Nelle tabelle 5.6 e 5.7 si riportano rispettivamente le concentrazioni di congeneri di PCDD/F e di DL-PCB e NDL-PCB. Per confronto, si riportano anche le concentrazioni determinate nella centralina ARPA Piemonte di qualità dell'aria Aldo Mei.

Tab5.6. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCDD/F rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali marzo 2017.

	AREA SILI	**AREA SCORIE**	**STAZIONE ALDO MEI**
Congenere		**(fg/m^3)**	
2,3,7,8-T_4CDD	<4,92	<4,83	<0,854
1,2,3,7,8-P_5CDD	<12,5	<12,2	<0,854
1,2,3,4,7,8-H_6CDD	<12,5	<36,2	3,79
1,2,3,6,7,8-H_6CDD	<12,5	49,7	9,17
1,2,3,7,8,9-H_6CDD	<12,5	<12,2	6,48
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDD	100	362	60,5
O_8CDD	276	819	114
2,3,7,8-T_4CDF	22,3	29,5	19,2
1,2,3,7,8-P_5CDF	24,9	51,4	14,0
2,3,4,7,8-P_5CDF	<10,2	55,6	21,9
1,2,3,4,7,8-H_6CDF	<10,2	69,1	16,4
1,2,3,6,7,8-H_6CDF	<5,21	31,2	23,6
1,2,3,7,8,9-H_6CDF	<15,0	<14,7	<0,748
2,3,4,6,7,8-H_6CDF	<15,0	<14,37	<0,748
1,2,3,4,6,7,8-H_7CDF	73,8	179	52,1
1,2,3,4,7,8,9-H_7CDF	11,2	54,8	6,98
O_8CDF	59,2	178	32,4
PCDD+PCDF fg1-TEQ/m^3	**19,9**	**72,7**	**23,5**
PCDD+PCDF fgWHO_{2005}-TEQ/m^3	**21,2**	**62,9**	**18,9**

Tab5.7. Concentrazioni dei congeneri analizzati di PCB rilevati nelle diverse postazioni durante la campagna di campionamenti ambientali marzo 2017.

		AREA SILI	**AREA SCORIE**	**STAZIONE ALDO MEI**

	Congenere	(pg/m³)		
77	3,3',4,4'-TETRA-CB	0,322	0,497	0,187
81	3,3',4,5-TETRA-CB	<0,129	<0,127	<0,00378
126	3,3',4,4',5-PENTA-CB	<0,242	<0,238	0,0215
169	3,3',4,4'5,5'- ESA-CB	0,609	0,350	0,0129
105	2,3,3',4,4'-PENTA-CB	1,54	2,64	0,902
114	2,3,4,4',5-PENTA-CB	<0,235	<0,278	0,0756
118	2,3',4,4',5-PENTA-CB	4,39	7,53	2,39153
123	2,3,4,4',5-PENTA-CB	<0,363	<0,356	0,0328
156	2,3,3',4,4',5- ESA-CB	0,760	1,07	0,199
157	2,3,3',4,4',5'- ESA-CB	0,412	0,375	0,0548
167	2,3',4,4',5,5'- ESA-CB	0,536	0,569	0,112
189	2,3,3',4,4',5,5'- EPTA-CB	0,691	0,501	0,0335
totale DL-PCB (pg WHO_{2005}-TEQ/m³)		0,0307	0,0228	0,00267
28	2,4,4'-TRI-CB	10,0	20,4	7,19
52	2,2',5,5'-TETRA-CB	11,9	23,6	9,96
101	2,2',4,5,5'-PENTA-CB	8,51	13,5	5,89
138	2,2',3,4,4',5'- ESA-CB	4,57	7,61	2,67
153	2,2',4,4',5,5'- ESA-CB	7,93	11,1	4,04
180	2,2',3,4,4',5,5'- EPTA-CB	3,80	6,28	1,38
totale PCB marker (pg /m³)		**46,7**	**82,6**	**31,1**
95	2,2',3,5',6-PENTA-CB	9,10	15,0	6,40
99	2,2',4,4',5-PENTA-CB	2,90	4,59	2,40
110	2,3,3',4',6-PENTA-CB	5,85	11,3	3,59
128	2,2',3,3',4,4'- ESA-CB	0,588	0,876	0,291
146	2,2',3,4'5,5'- ESA-CB	1,03	1,44	0,491
149	2,2',3,4',5',6- ESA-CB	6,13	8,32	2,99
151	2,2',3,5,5',6- ESA-CB	2,17	3,00	0,795
170	2,2',3,3',4,4',5- EPTA-CB	2,09	3,30	0,521
177	2,2',3,3',4,5',6'- EPTA-CB	1,02	1,26	0,315
183	2,2',3,4,4',5',6 - EPTA-CB	1,11	1,83	0,313
187	2,2',3,4',5,5'6 - EPTA-CB	1,79	2,78	0,695
totale NDL-PCB (pg /m³)		**33,8**	**53,7**	**18,8**
totale 29 PCB (DL+MK+NDL)		**90,2**	**150**	**54,0**
	tricloro-bifenili	59,5	133	26,3
	tetracloro-bifenili	52,1	112	35,9
	pentacloro-bifenili	35,5	72,6	21,4
	esacloro-bifenili	31,2	42,4	16,0
	eptaclorocloro-bifenili	12,0	23,0	4,41
	octacloro-bifenili	2,11	3,89	0,748
PCB totali (pg /m³)		**192**	**387**	**105**

Anche in questo caso, i valori riscontrati sono ampiamente inferiori a quelli riportati nel parere della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale (ISS 1988), che indica per la sommatoria PCDD+PCDF un livello massimo pari a 120 fg I-TE/m^3.

5.4.3 *Confronti fra le diverse campagne*

Le concentrazioni riscontrate nel 2017 presso il reparto sili sono in linea con quelle rilevate nelle campagne precedenti. Il valore riscontrato presso il reparto scorie, invece, risulta più elevato rispetto agli anni precedenti; tale scostamento è stato attribuito con alta probabilità alle operazioni di movimentazione delle scorie nel corso della giornata di prelievo.

6 Discussione e conclusioni

Nel presente rapporto sono descritti i livelli di OH-IPA e PCDD, PCDF, e PCB determinati dopo tre anni di attività dell'impianto di termovalorizzazione nelle urine e nel siero ematico di due gruppi di lavoratori. Il primo gruppo (gruppo T2) include lavoratori operanti stabilmente nell'impianto fin dalla sua messa in funzione, il secondo (gruppo trasversale Tx) è formato da dipendenti di ditte operanti in subappalto presso i locali dell'impianto a maggior rischio di esposizione.

Per quanto concerne il confronto tra i lavoratori TRM che svolgono attività amministrativa e/o dirigenziale (non esposti - NE) e quelli potenzialmente a contatto con sostanze pericolose (potenzialmente esposti - PE), si osservano concentrazioni simili per i metaboliti urinari del naftalene (che rappresentano circa l'80% degli analiti quantificati) sia nelle urine di inizio turno sia in quelle di fine turno. Differenze statisticamente significative si osservano, invece, per i metaboliti meno abbondanti quali il fluorene, il fenantrene e il pirene che presentano concentrazioni più elevate nelle urine dei potenzialmente esposti rispetto ai non esposti. Tali differenze tuttavia, comparendo sia a inizio sia a fine turno, sembrano essere legate a fonti espositive diverse da quella occupazionale. Questa ipotesi è confermata dal test non parametrico di Wilcoxon condotto per confrontare i livelli di esposizione a inizio e fine turno. Infatti il test effettuato sull'intero set di dati e dopo stratificazione per rischio di esposizione non evidenzia nel complesso alcuna differenza statisticamente significativa tra le urine raccolte prima e dopo il turno lavorativo.

I livelli di OH-IPA determinati prima dell'avvio dell'impianto (T0), e dopo uno (T1) e due anni (T2) di attività sono stati confrontati mediante il test non parametrico di Friedman che non ha evidenziato differenze statisticamente significative per i due metaboliti a più elevate concentrazioni (l'1-OH-NAP e il 2-OH-NAP) e per il 3-OH-FLU. Sulla base delle valutazioni finora condotte gli andamenti sono stabili o tendenzialmente in diminuzione tra T0 e T2. I risultati sono attribuibili a componenti complesse di esposizione relative sia all'ambiente sia allo stile di vita. Tra tutte il fumo di tabacco assume certamente un ruolo rilevante, sebbene l'abitudine al fumo dei lavoratori non sia cambiata nel tempo.

In relazione al gruppo dei lavoratori dipendenti di ditte in subappalto (Tx) l'analisi statistica non mostra livelli di OH-IPA statisticamente differenti tra esposti e non esposti a ceneri. Considerando i soli non esposti, nessuna differenza risulta significativa tra le urine di inizio e fine turno, mentre si evidenziano nel gruppo degli esposti concentrazioni più elevate a

fine turno per alcuni dei metaboliti analizzati (2- e il 9-OH-FLU, 1-OH-PHEN e 1-OH-PYR). In confronto ai potenzialmente esposti del gruppo T2, i lavoratori Tx presentano per la maggior parte degli OH-IPA livelli significativamente più elevati; fanno eccezione il 9-OH-FLU, il 2-OH-PHEN, il 3-OH-PHEN e il 4-OH-PHEN a inizio turno, e l'1-OH-PHEN a fine turno per i quali le differenze non sono significative. Questi risultati potrebbero essere dovuti alla diversa distribuzione per abitudine al fumo. Infatti la proporzione di forti fumatori sul totale è più alta tra i Tx rispetto ai PE (79% vs 46%)

I risultati dei campionamenti ambientali dopo tre anni dall'entrata in funzione del termovalorizzatore, non evidenziano problemi di esposizione a IPA: grazie ad alcune migliorie apportate, sia nell'area avanfossa sia nella cabina gruista RSU, le concentrazioni degli IPA si sono ridotte significativamente nel tempo; nell'area Sili/Ceneri e PSR le concentrazioni continuano a mantenersi contenute; le concentrazioni rilevate nelle zone adibite ad ufficio ove operano i lavoratori NE, sono simili a quelle dell'aria nelle aree adiacenti all'impianto. Sono invece ancora da completare le bonifiche nell'area scorie, ove le concentrazioni risultano raddoppiate rispetto ai rilevamenti precedenti e con valori superiori alle altre postazioni per quasi tutti gli inquinanti monitorati.

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 tre anni dall'entrata in funzione del termovalorizzatore.
In generale si sottolinea che nessuno dei lavoratori T2 e Tx ha un valore di 1-OH-PYR superiore all'IBE [8] (2500 pg/mL), utilizzato come riferimento per valutare l'esposizione complessiva agli OH-IPA.

Quanto a PCDD, PCDF, e PCB le determinazioni analitiche sono state condotte solo sul gruppo dei lavoratori potenzialmente esposti. In questo gruppo i livelli di esposizione al T2 risultano paragonabili (PCDD+PCDF, TEQ_{TOT}, $\sum_6$NDL-PCB) o inferiori (DL-PCB, $\sum_{30}$NDL-PCB) rispetto a quelli misurati all'avvio dell'impianto. Per ciò che riguarda i lavoratori Tx l'analisi statistica non mostra alcuna differenza significativa tra questo gruppo di lavoratori e quello T2. Sia i potenzialmente esposti sia gli esposti a ceneri hanno valori complessivamente più bassi per tutti gli analiti rispetto ai residenti per cui sono state effettuate le determinazioni.

Lo studio di biomonitoraggio condotto sui lavoratori del termovalorizzatore di Torino è uno dei pochi con disegno longitudinale che ha previsto la determinazione degli analiti prima dell'ingresso dei lavoratori in impianto. L'unico studio con cui è possibile confrontare alcuni dei

risultati è quello riguardante l'inceneritore di rifiuti solidi urbani di Matarò, vicino a Barcellona [9]. Bisogna sottolineare che si tratta di un inceneritore di vecchia generazione, senza filtro per le diossine. Oltre ad una coorte di residenti, è stato studiato un gruppo di 17 lavoratori in due momenti temporali, prima che l'impianto entrasse in funzione (1995) e dopo due anni di lavoro (1997). I livelli medi di $\sum_6$NDL-PCB (1.47 µg/l) e PCDD+PCDF (15.7 ng/kg grasso) rilevati al follow-up nella coorte di lavoratori spagnola sono più alti sia rispetto ai lavoratori T2 sia rispetto ai lavoratori Tx. Per quanto riguarda l'andamento temporale lo studio spagnolo evidenzia una diminuzione nei livelli dei NDL-PCB nel tempo, mentre si rileva un aumento nei livelli di PCDD+PCDF; i livelli medi riscontrati nei lavoratori risultano più bassi rispetto a quelli osservati nei residenti in entrambe le rilevazioni.

Ai fini di una corretta interpretazione dei risultati ottenuti, occorre sottolineare che i lavoratori delle ditte esterne arruolati nello studio sono solo il 40% di quelli inizialmente individuati (26 su 65). Il recupero di informazioni relative alle ditte esterne si è infatti rivelato un lavoro complesso e non sempre esaustivo a causa dell'eterogeneità di tali aziende, della flessibilità lavorativa adottata nonché della difficoltà di costruire un canale di comunicazione con i loro referenti. Non ci sono motivi per pensare che la mancata partecipazione (in particolare il trasferimento dei lavoratori) sia legata al grado di esposizione a sostanze inquinanti in impianto. Non siamo tuttavia in grado di escludere una selezione per altre possibili esposizioni.

In conclusione si ritiene che le variazioni nelle concentrazioni di OH-IPA, PCB e diossine misurate tra il secondo controllo e il baseline nei lavoratori del termovalorizzatore di Torino non siano da attribuirsi in modo specifico all'attività dall'inceneritore. Confermando quanto già ipotizzato in un precedente rapporto[f], si ritiene che in futuro sarà necessario mantenere un'attività di monitoraggio dell'aria in ambiente di lavoro come strumento di controllo delle esposizioni lavorative, unitamente alle attività di ricostruzione della coorte di lavoratori impiegati presso l'impianto. Al contrario, non si ritiene necessario effettuare ulteriori controlli su campioni biologici, che potrebbero essere riprogrammati nel caso in cui i dati ambientali rilevati dovessero segnalare un significativo aumento dell'esposizione o si fosse in presenza di incidenti critici. In questo caso sarà necessario definire una diversa strategia di coinvolgimento

[f] Per approfondimenti si rimanda al Report SpoTT 7: *Biomonitoraggio dei lavoratori addetti all'impianto di termovalorizzazione dei rifiuti di Torino - Risultati sui livelli di bioaccumulo di metalli dopo tre anni dall'avvio dell'impianto*

delle imprese in appalto, date le difficoltà riscontrate nel presente studio nel quale la loro partecipazione era su base volontaria.

7 Bibliografia

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

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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).

7. WHO (1996). *Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace*. Vol. 1. World Health Organization, Geneva.

8. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. Cincinnati, OH 2017.

9. Gonzalez 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.