

# PROGETTO DI SORVEGLIANZA DEGLI EFFETTI SANITARI DIRETTI E INDIRETTI DELL'IMPIANTO DI TRATTAMENTO RIFIUTI (PAIP) DI PARMA

---

## **Piano operativo biomonitoraggio**

## **RAPPORTO SUI RISULTATI DELLA FASE POST-OPERAM (anni 2014-2015)**

### **AUTORI:**

#### **Responsabile scientifico**

*Dr. Maurizio Impallomeni*

#### **Collaboratori del Dipartimento di Sanità Pubblica**

*Dr.ssa Gaia Fallani*

*Dr.ssa Rosanna Giordano*

*Dr.ssa Elisa Mariani*

*Dr.ssa Alessandra Rampini*

#### **Collaboratori del Tavolo Tecnico-Scientifico**

*Servizio Sanità Pubblica Regione Emilia-Romagna*

*CTR Ambiente-Salute, ARPAE Emilia Romagna*

*Università degli Studi di Parma - Centro Eccellenza Ricerca Tossicologica*

*Azienda Ospedaliero-universitaria di Parma*

*ARPAE Sezione di Parma*

*Servizio Interdip.le di Epidemiologia e Comunicazione AUSL di Reggio*

**MARZO 2018**

## COMPENDIO

INTRODUZIONE. La linea di indagine riguardante il biomonitoraggio su campioni di urine fa parte del Progetto di Sorveglianza Sanitaria del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP) che si articola in un filone di ricerca sulle matrici agro-zootecniche e un filone biotossicologico-epidemiologico incentrato sull'uomo.

Il biomonitoraggio prevede che in soggetti presenti in area di maggiore ricaduta delle emissioni del PAIP siano ricercati alcuni marcatori urinari di esposizione a sostanze provenienti da processi di combustione, tra cui l'incenerimento di rifiuti non pericolosi. I campioni oggetto di questo rapporto sono stati raccolti in quattro campagne di campionamento in un arco di tempo che va da marzo 2013 (fase ante operam, precedente all'accensione dell'inceneritore) a marzo 2015 (fase di esercizio continuo). Il biomonitoraggio consente di individuare, con strumenti sensibili, concentrazioni urinarie di sostanze che riflettono una precedente esposizione valutandone l'andamento nel tempo.

OBIETTIVI. Il piano di biomonitoraggio ha due obiettivi:

- Confrontare i valori rilevati nelle urine raccolte con i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione non professionalmente esposta o per gruppi con esposizione comparabile
- Cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando, su un piano descrittivo, i fattori di esposizione che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine e la plausibilità di un ruolo attribuibile alle emissioni dell'inceneritore.

METODI. Sulla base di un modello di ricaduta delle emissioni dell'inceneritore stimate in sede di Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), sono stati indentificati alcuni gruppi di persone potenzialmente esposte nel luogo di residenza e/o lavoro, con scelta non casuale basata sulla disponibilità alla partecipazione, condizionata dai tempi stretti concessi per l'organizzazione della ricerca, prima dell'avvia dell'impianto.

Sono stati arruolati su base volontaria i dipendenti degli Istituti Penitenziari di Parma, i detenuti negli stessi e i lavoratori del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP). Sono stati raccolti campioni di urina ed è stato compilato un questionario sulle abitudini e gli stili di vita.

RISULTATI. I presente fa seguito ad un primo rapporto che ha illustrato i risultati delle prime due campagne di prelievo (ante operam e post operam in fase di esercizio provvisorio discontinuo). Nella presente relazione vengono descritti i risultati di tutte e quattro le campagne di campionamento che hanno coinvolto sia gli Istituti Penitenziari che i lavoratori presso il PAIP. Per ciascuna campagna sono stati valutati e riassunti i principali agenti di confondimento; successivamente le quattro campagne sono state confrontate fra loro per valutare l'esistenza di possibili modificazioni nell'arco di tempo intercorso fra il primo campionamento ante operam, il secondo (fase di esercizio provvisorio) e le ultime due campagne avvenute in fase di esercizio continuativo. In tutte e quattro le campagne il **fumo** risulta essere il "confondente" più importante fra quelli analizzati, mentre **l'età** sembra influire solo sulla concentrazione di alcune sostanze, quali i metalli, soggetti ad accumulo nel tempo. Inoltre alcuni analiti sono presenti in minor concentrazione nelle urine di chi pratica abitualmente **attività fisica** all'aperto, mentre non si osserva una chiara correlazione fra concentrazione di PM10 atmosferico e concentrazione urinaria di inquinanti.

In tutte le sessioni di campionamento, le concentrazioni urinarie mediane rientrano generalmente negli intervalli di riferimento fissati per la popolazione (quando disponibili).

Prendendo come riferimento il gruppo dei "non fumatori" nell'analisi per campioni indipendenti, gli unici analiti a mostrare un aumento nel tempo, sono risultati essere stagno e manganese, ma soltanto nel gruppo dei lavoratori impiegati presso il PAIP. In questo gruppo i campioni ripetuti confermano

l'andamento osservato nei campioni indipendenti e i fumatori mostrano lo stesso andamento dei non fumatori ma non c'è coerenza con i risultati dei campionamenti eseguiti presso gli Istituti Penitenziari. L'aumento tuttavia risulta di debole entità con indici che rientrano ampiamente nell'intervallo dei valori di riferimento della popolazione generale. Per tutti gli altri analiti (naftolo e 1-idrossipirene, metaboliti del Benzene e della Nicotina, stirene e suoi metaboliti, BTEX, MTBE e gli altri metalli) non sono state riscontrate evidenze di un aumento temporale dalla prima alla quarta campagna di campionamento, salvo per un aumento di xileni e mercurio negli istituti Penitenziari: tale aumento è però visibile solo confrontando la totalità dei soggetti (compresi coloro che non hanno partecipato a tutti i campionamenti) e non ha trovato coerenza né negli esiti degli stessi test condotti per misure ripetute (comprendenti i soli soggetti che hanno partecipato a tutte le campagne), né nell'andamento degli altri composti organici e metalli.

**CONCLUSIONI.** Il biomonitoraggio adottato in questa indagine si basa sulla quantificazione della dose assorbita di sostanze utilizzate quali indicatori di esposizione ambientale e/o comportamentale (biomarcatori) tramite ricerca della concentrazione urinaria. È bene sottolineare che il monitoraggio biologico considera soltanto le variazioni di esposizione e non ha lo scopo di rilevare la presenza/assenza di eventuali effetti sulla salute (intesi come presenza di malattia). In generale la messa in esercizio del PAIP non sembra aver determinato nel gruppo dei soggetti monitorati, variazioni significative attribuibili all'esposizione a inquinanti aerodispersi dall'impianto di incenerimento: i risultati dei campionamenti di urina condotti fra il 2013 e il 2015 per i soggetti afferenti agli Istituti Penitenziari di Parma e i lavoratori del Polo Ambientale Integrato hanno sostanzialmente mostrato una situazione stabile, in cui la maggior parte delle molecole ricercate non ha subito un aumento nel tempo. Alcuni autori hanno indicato il 2-naftolo, il tallio e il vanadio come maggiormente informativi rispetto alla combustione di rifiuti solidi urbani o assimilabili, anche se in modo non esclusivo. Nel monitoraggio biologico dettagliato in questa relazione la concentrazione di tali sostanze è risultata nella norma e non ha subito modificazioni sostanziali dal periodo ante operam a quello post operam, in nessuno dei gruppi di partecipanti al progetto. Sono abbastanza evidenti gli influssi di alcuni comportamenti abituali ed in particolare l'abitudine al fumo.

## Sommario

COMPENDIO .....	1
INTRODUZIONE .....	4
STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO OPERATIVO BIOMONITORAGGIO .....	5
SVILUPPO DELLE AZIONI .....	6
Premessa .....	6
Identificazione del dominio territoriale interessato alla sorveglianza delle ricadute dell'impianto PAIP .....	7
Popolazioni monitorate .....	9
Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione .....	9
Campagne di raccolta dati .....	9
Analisi di laboratorio .....	10
Considerazioni su metodi e significato dei VR .....	12
Trattamento dati .....	15
Metodologia statistica .....	15
DESCRIZIONE DELLE SINGOLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO .....	17
Premessa .....	17
Confronto con i valori di riferimento di gruppo (VR) .....	18
Prima campagna di campionamento .....	19
Seconda campagna di campionamento .....	20
Anche nella seconda campagna, in generale, nella stazione posta in Via Burla è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con le altre stazioni della rete urbana anche se lievemente superiore per tutti i valori monitorati. ....	21
Risultati salienti seconda campagna .....	21
Terza campagna di campionamento .....	22
Risultati salienti terza campagna .....	22
Quarta campagna di campionamento .....	23
CONFRONTO FRA I QUATTRO MOMENTI DI RACCOLTA .....	25
Considerazioni preliminari sul confronto fra campionamenti .....	26
Confronto fra raccolte - tutti i partecipanti .....	28
Istituti Penitenziari, tutti i soggetti .....	29
PAIP, tutti i soggetti .....	33
Confronto fra raccolte – solo i soggetti che hanno partecipato a tutti e quattro gli eventi .....	35
Istituti Penitenziari, misure ripetute .....	36
PAIP, misure ripetute .....	38
Riassunto del confronto fra i quattro momenti di raccolta .....	40
Conclusioni .....	41

## INTRODUZIONE

Il “Piano operativo per il biomonitoraggio di soggetti che risiedono e/o lavorano in area potenzialmente esposta alle emissioni dell’impianto” è il terzo documento contenuto nel Progetto di Sorveglianza Sanitaria dell’Impianto di trattamento rifiuti di Parma (PAIP). Lo scopo generale del Progetto di Sorveglianza, considerate tutte le linee di indagine, è quello di fornire una lettura integrata di informazioni raccolte in ambiti diversi di ricerca (prodotti agro-zootecnici, soggetti asmatici, biomonitoraggio urinario, indicatori sanitari della popolazione generale) al fine di cogliere la coerenza di eventuali segnali di effetto associabili all’esposizione al forno inceneritore.

Il Piano operativo per il biomonitoraggio riguarda azioni di sorveglianza su coorti di lavoratori o soggetti presenti nell’area di interesse mediante la ricerca di indicatori di esposizione nelle urine.

Riassumiamo le azioni previste e i collaboratori del DSP, così come sono descritti nel Piano Operativo. Le azioni specifiche di biomonitoraggio si sviluppano a partire da alcune operazioni di inquadramento delle caratteristiche del territorio interessato sia sotto il profilo ambientale che demografico, condivise dall’intero Progetto di Sorveglianza Sanitaria del PAIP. Si rimanda al documento di Piano per i dettagli delle azioni previste.

AZIONI	SOGGETTI REFERENTI
2.1.1.1. Identificazione del dominio territoriale interessato alla sorveglianza delle ricadute dell’impianto PAIP	ARPA/CTR Amb. Sal. Modena-DSP (AUSL PR)
2.1.1.2. Individuazione, all’interno del dominio, di popolazioni esposte su luogo di lavoro: 1) dipendenti IREN impiegati all’interno del polo ambientale integrato; 2) lavoratori impiegati presso aziende che operano in stabilimenti collocati entro il raggio di 4 Km dal camino del PAIP; 3) dipendenti impiegati negli Ist. Penitenziari di Parma; 4) detenuti degli Ist. Penitenziari di Parma	ARPA/CTR Amb Sal Modena – DSP - Comune di Parma
2.1.1.3. Individuazione di un adeguato numero di casi e di potenziali fattori di confondimento riguardo l’esposizione agli agenti inquinanti in oggetto (luogo di residenza, abitudini di vita, etc.)	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.)
2.1.1.4. Raccolta di dati riguardanti i singoli casi sia per mezzo di questionari che tramite raccolta di campioni di urina. La prima tornata di campionamenti verrà effettuata prima dell’attivazione del PAIP	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.)
2.1.1.5. Programmazione di un calendario per la raccolta di campioni di urina successivi al primo, con scadenza semestrale o annuale	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.)
2.1.1.6. Analisi dei campioni di urina e processamento dei dati provenienti dai questionari	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.)
2.1.1.7. Data management e presentazione dei risultati	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.) e ARPA/CTR Amb. Sal. Modena

Tabella 1. Azioni previste dal piano operativo per il biomonitoraggio

## STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO OPERATIVO BIOMONITORAGGIO

Questo Rapporto presenta la seconda rendicontazione tecnica delle modalità e degli esiti della terza e quarta raccolta dei campioni di urine, nonché il primo post-operam di questa linea di indagine in quanto il campionamento si è svolto in periodi in cui il termovalorizzatore ha funzionato con combustione di rifiuto continuativa e a pieno regime.

È necessario ricordare che il DSP, coordinatore del Progetto, con decisione già condivisa dal Gruppo Tecnico Biomonitoraggio e riportata nel verbale dell'incontro del 1-06-2016, ha ritenuto opportuno interrompere il campionamento biologico sui soggetti presenti negli II.PP. di via Burla dopo la campagna effettuata nel marzo 2015. La decisione è motivata, in una logica più generale di costo/efficacia, dalle difficoltà di gestione delle procedure di campionamento e raccolta dei questionari dentro le carceri e dall'alto turn-over dei soggetti consenzienti. I due gruppi sotto osservazione hanno mostrato di possedere, molto più del prevedibile, caratteristiche diverse da quelle della popolazione generale, sotto l'aspetto dei comportamenti individuali e del grado e modo in cui si verificano esposizioni tipiche di un singolare ambiente indoor quale è quello carcerario. Si è concordato dunque sullo sviluppo del Piano operativo Biomonitoraggio riorientandolo, oltre che sui dipendenti PAIP, su soggetti asmatici, oggetto di un altro Piano Operativo del Progetto di Sorveglianza. Da tutto ciò consegue che il seguente rapporto sarà anche quello conclusivo rispetto agli Istituti Penitenziari.

**Il quadro aggiornato dell'avanzamento del Piano Biomonitoraggio al marzo 2018 è quello illustrato di seguito sinteticamente.**

PERIODO	STATO IN ESERCIZIO DEL PAIP	CAMPAGNA DI CAMPIONAMENTO	SOGGETTI
marzo 2013	Nessun esercizio	1 <sup>a</sup> campagna (ante operam) 21-28 marzo	<ul style="list-style-type: none"><li>dipendenti Istituti Penitenziari</li><li>detenuti</li><li>lavoratori PAIP</li></ul>
da settembre 2013 a marzo 2014	esercizio provvisorio con combustione continuativa di rifiuto, ma non a pieno regime	2 <sup>a</sup> campagna 15-24 ottobre 2013	<ul style="list-style-type: none"><li>dipendenti Istituti Penitenziari</li><li>detenuti</li><li>lavoratori PAIP</li></ul>
da aprile 2014 in poi	esercizio continuativo di marcia controllata	3 <sup>a</sup> campagna 31 marzo-17 aprile 2014	<ul style="list-style-type: none"><li>dipendenti Istituti Penitenziari</li><li>detenuti</li><li>lavoratori PAIP</li></ul>
	esercizio continuativo	4 <sup>a</sup> campagna 17-31 marzo 2015	<ul style="list-style-type: none"><li>dipendenti Istituti Penitenziari</li><li>detenuti</li><li>lavoratori PAIP</li></ul>
	esercizio continuativo	5 <sup>a</sup> campagna 13-24 novembre 2015	<ul style="list-style-type: none"><li>lavoratori PAIP</li></ul>
	esercizio continuativo	6 <sup>a</sup> campagna aprile 2017	<ul style="list-style-type: none"><li>lavoratori PAIP</li></ul>

Tabella 2. Quadro sintetico dell'avanzamento del Piano di Biomonitoraggio

NOTA: sta proseguendo il campionamento delle urine dei soggetti asmatici, iniziato nel 2013 e giunto al tempo T8 (con periodicità di raccolta circa semestrale).

## SVILUPPO DELLE AZIONI

### Premessa

La popolazione coinvolta nella presente relazione è suddivisa in tre gruppi:

- Lavoratori IREN presso il PAIP
- Personale degli Istituti Penitenziari (I.P.) di via Burla
- Detenuti degli I.P.

A partire dal marzo 2013, è stata predisposta ed avviata una sorveglianza tramite biomonitoraggio urinario per la ricerca di marcatori di esposizione a sostanze provenienti da processi di combustione, tra cui l'incenerimento di rifiuti non pericolosi, in soggetti presenti in area di maggiore ricaduta delle emissioni del PAIP; il piano di biomonitoraggio ha due obiettivi primari:

- Confrontare i valori rilevati nelle urine raccolte con i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione non professionalmente esposta o per gruppi con esposizione comparabile
- Cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando, su un piano descrittivo, quali sono i fattori di esposizione che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine e la plausibilità di un ruolo attribuibile alle emissioni dell'inceneritore.

I possibili limiti dell'indagine - di cui si è consapevoli - che non consentono di generalizzare i risultati a tutta la popolazione di Parma, sono l'impossibilità di selezionare un adeguato campione dalla popolazione generale esposta e di introdurre un gruppo di controllo definibile come "non esposto" alle emissioni dell'impianto di incenerimento del PAIP. Tuttavia, poiché i campionamenti sono cominciati prima dell'accensione dell'impianto, i gruppi coinvolti possono fungere da controllo di loro stessi, permettendo un confronto temporale fra fase ante operam (in cui l'esposizione dei detenuti e del personale non è ancora avvenuta) e post operam (in cui queste persone vengono monitorate dopo l'accensione dell'inceneritore). Si deve tener conto inoltre di un parziale ricambio nel tempo degli aderenti all'indagine cui si partecipa su base volontaria. È comunque ovvio che la possibilità di eseguire misure ripetute nel tempo consente solo un parziale controllo sui confondenti ambientali: è infatti necessario ricordare che la maggior parte degli scenari di inquinamento ambientale è caratterizzata da esposizioni multiple a basse concentrazioni e largamente diffuse nel territorio.

Il punto di forza di questo progetto risiede nel fatto che l'analisi dei biomarcatori urinari è molto sensibile: mediante questa tecnica è possibile evidenziare non soltanto gli effetti di esposizioni significative (come a volte può accadere nel caso delle esposizioni professionali) ma anche profili di concentrazioni indicanti abitudini alimentari, voluttuarie oppure legate ad attività hobbistiche. Ipotizzando che l'attività dell'inceneritore non si discosti dai parametri fissati nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), è presumibile che il biomonitoraggio evidenzierà per prime le esposizioni dovute all'attività quotidiana delle persone e che invece non emergano differenze significative dovute all'attività del PAIP. Le persone infatti sono esposte a sostanze derivanti dal consumo di tabacco, dolcificanti, alimenti grigliati o affumicati e possono essere esposte ad emissioni veicolari o da solventi che, in condizioni normali, possono "mascherare" eventuali variazioni nelle concentrazioni urinarie di inquinanti derivanti dalla combustione dei rifiuti. Per fare un esempio, la concentrazione di PM<sub>10</sub> caratteristico del fondo urbano (che abitualmente viene respirato durante una passeggiata in città) è quantificabile nell'ordine dei microgrammi per metro cubo ( $1 \mu\text{g} = 10^{-6}\text{g}$ ) mentre in centro città i modelli di dispersione delle emissioni dell'inceneritore stimano la concentrazione attribuibile all'impianto fra 0.1-1 nanogrammo di PM<sub>10</sub> per metro cubo ( $1\text{ng} = 10^{-9}\text{g}$ , Figura 1).

## **Identificazione del dominio territoriale interessato alla sorveglianza delle ricadute dell'impianto PAIP**

L'azione descritta di seguito risponde al punto 2.1.1.1. del Piano operativo (Tabella 1).

Il CTR-Ambiente-Salute dell'ARPA di Modena (ora ARPAE), nell'ambito di uno specifico Accordo stipulato con il Dipartimento di sanità pubblica che coordina il Progetto, ha curato l'elaborazione modellistica delle ricadute dell'inceneritore del PAIP, adottando il modello ADMS-URBAN, in quanto modello gaussiano appropriato alle caratteristiche del territorio interessato; inoltre è stato definito il dominio territoriale interessato, così come è avvenuto per le deposizioni sui terreni agricoli e all'esposizione di soggetti asmatici, oggetto degli altri Piani di indagine del Progetto di sorveglianza.

In linea con le metodologie utilizzate nei più moderni studi riguardanti inceneritori di rifiuti (Cordioli et al. 2013), nel presente Piano di Sorveglianza l'esposizione dei soggetti viene valutata attraverso l'uso di un modello matematico di simulazione della dispersione atmosferica degli inquinanti emessi dall'impianto. Per l'elaborazione del modello sono stati utilizzati i valori di concentrazione media su base oraria per le simulazioni degli anni meteorologici dal 2005 al 2010. Nel quantificare l'esposizione dei soggetti<sup>2</sup> sono state utilizzate le concentrazioni in atmosfera a due metri dal suolo (espresse in  $\text{ng}/\text{m}^3$ ) perché si ritiene che l'inalazione rappresenti la via di esposizione di interesse principale per gli indicatori oggetto di sorveglianza<sup>3</sup>. Poiché lo scopo del Piano di Sorveglianza è quello di definire delle coorti di popolazione da seguire nel tempo, si ritiene che sia accettabile una misura di esposizione rappresentata dai valori medi di concentrazione sul lungo periodo, che descrivono le tendenze dispersive medie dell'atmosfera locale.

Nella Figura 1 è possibile osservare la localizzazione dell'inceneritore e degli I.P. rispetto alle ricadute dell'impianto PAIP. Come viene meglio descritto nel capitolo relativo alla gestione dei confondenti, l'esposizione domiciliare è stata valutata per il personale dipendente degli IP e del PAIP al fine di garantire un controllo circa la possibile maggior esposizione alle emissioni da parte di alcuni soggetti che, oltre a lavorare per almeno 8 ore al giorno nell'area considerata a maggior impatto, vi risiedono anche stabilmente.

---

<sup>1</sup> Cordioli, M., Vincenzi, S., De Leo, G. A. (2013). Effects of heat recovery for district heating on waste incineration health impact: a simulation study in Northern Italy. *The Science of the Total Environment*, 444, 369–80.

<sup>2</sup> La griglia di calcolo, con passo di 200m, è stata scelta uguale ad un quadrato di 20km di lato con al centro l'inceneritore (totale di 10405 recettori).

<sup>3</sup> Lo stesso modello ADMS-URBAN è stato utilizzato anche nella definizione del piano di sorveglianza sulla filiera agro-alimentare, dove però sono state ovviamente considerate come indicatore le quantità di emissioni deposte al suolo ( $\text{ng}/\text{m}^2$ ).

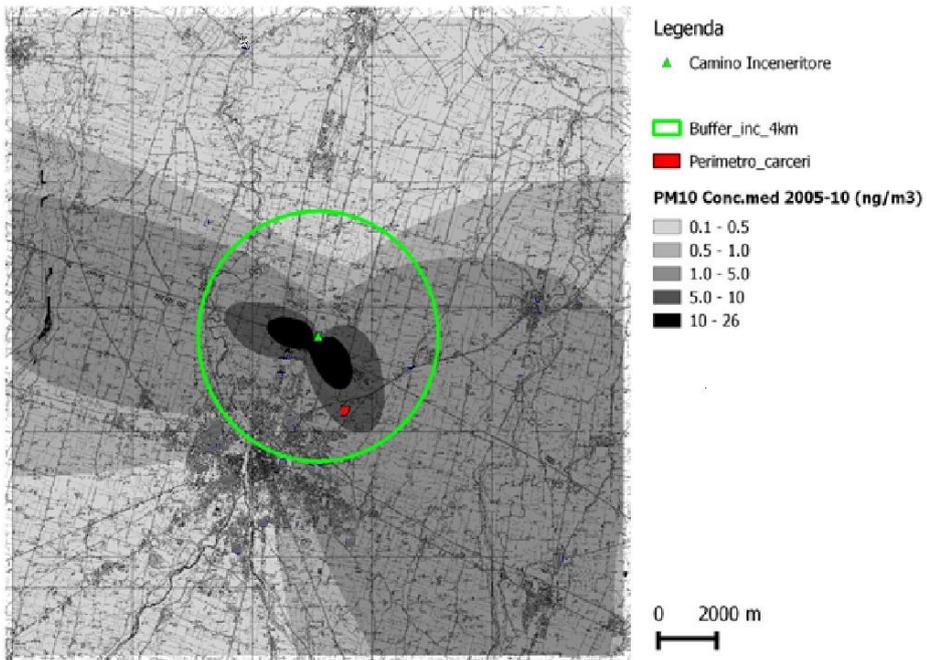


Figura 1. Localizzazione dell'inceneritore e degli I.P. rispetto alle ricadute dell'impianto PAIP. Dominio di calcolo del modello 20 x 20 km.

## **Popolazioni monitorate**

Come è stato anticipato in premessa sono state scelte, all'interno del dominio, alcune popolazioni esposte (azione 2.1.1.2. del piano operativo-Tabella 1).

Esposti sul luogo di lavoro:

- 1) dipendenti IREN impiegati all'interno del polo ambientale integrato di Ugozzolo
- 2) personale di polizia penitenziaria e personale impiegatizio degli I.P. di Parma

Esposti sul luogo di domicilio:

- 1) detenuti degli Istituti Penitenziari di Parma (casa di reclusione<sup>4</sup>)
- 2) parte del personale di polizia penitenziaria

I gruppi sono stati individuati con modalità non randomizzate "di convenienza" ma rappresentano, numericamente, un serbatoio di soggetti che si può ritenere adeguato alla raccolta e al trattamento di un numero sufficiente di dati secondo le modalità di un'indagine ripetuta nel tempo.

L'inclusione nel programma di biomonitoraggio è avvenuta su base volontaria. A tutti i partecipanti è stata consegnata un'informativa contenente la descrizione dettagliata del progetto insieme a tutte le informazioni utili a riguardo. Dopo aver preso visione dell'informativa, i partecipanti hanno sottoscritto la dichiarazione di consenso informato per la partecipazione al programma e la comunicazione dei dati personali a terzi.

## **Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione**

Un piano di biomonitoraggio comporta la ricerca periodica di molecole la cui presenza possa costituire un indice di esposizione ad inquinanti. Le sostanze presenti nelle urine degli interessati possono avere origine da diversi tipi di combustione (tra cui quella di rifiuti) ma anche da alcuni cicli di lavorazione artigianale e industriale oltre che da abitudini di vita (es. consumo di tabacco o di cibi affumicati). È pertanto necessario verificare l'eventuale presenza di fattori che possono determinare l'assunzione per via aerea e/o dermica degli inquinanti indagati. Per questo motivo è stato predisposto e somministrato a tutti i partecipanti un questionario come programmato nel paragrafo "PIANO DI CAMPIONAMENTO E ANALISI (azioni 2.1.1.4, 2.1.1.5, 2.1.1.6, 2.1.1.7)" del Piano Operativo. Per i dipendenti del penitenziario sono inoltre state aggiunte domande relative alla frequenza di esercitazioni al poligono, che potrebbero incrementare la concentrazione dei metalli e degli idrocarburi nell'organismo.

Poiché l'esposizione ad inquinanti dipende inevitabilmente anche dalle condizioni meteorologiche e di inquinamento atmosferico, per tutta la durata delle sessioni di campionamento, nel piazzale antistante gli Istituti Penitenziari è stato collocato un laboratorio mobile di ARPAE in grado di registrare la concentrazione media giornaliera del PM10 e la concentrazione media del periodo (21 giorni) di idrocarburi e metalli; i valori giornalieri del PM10 sono stati inseriti come variabile indipendente aggiuntiva nell'elaborazione statistica dei dati.

## **Campagne di raccolta dati**

Questa azione riassume i punti 2.1.1.3 e 2.1.1.4 e 2.1.1.5. del Piano operativo. Maggiori dettagli riguardo la prima e la seconda campagna di campionamento sono disponibili sul primo rapporto riguardante il Biomonitoraggio, già pubblicato sul sito di AUSL Parma<sup>5</sup>. La terza tornata di campionamenti è stata effettuata dal 31 marzo 2014 al 17 Aprile 2014 nel periodo iniziale della fase continuativa di attività dell'impianto (marcia controllata); mentre la quarta campagna è stata organizzata dal 17 al 31 Marzo 2015

---

<sup>4</sup> Sono stati esclusi i detenuti della casa circondariale data la breve permanenza media di ognuno in questa struttura

<sup>5</sup> [http://www.ausl.pr.it/azienda/report\\_piani\\_operativi/progetto\\_biomonitoraggio\\_soggetti\\_lavoratori\\_residenti\\_area.aspx](http://www.ausl.pr.it/azienda/report_piani_operativi/progetto_biomonitoraggio_soggetti_lavoratori_residenti_area.aspx)

in attività di esercizio continuativo. Ulteriori campagne sono state effettuate nel mese di novembre del 2015 e nell'aprile del 2017 e riguardano esclusivamente i lavoratori del PAIP.

Di seguito viene mostrato un grafico riassuntivo dell'attività del PAIP dalla messa in esercizio fino alla fine del 2015. Sono evidenziati i mesi interessati dalle campagne di campionamento post operam.

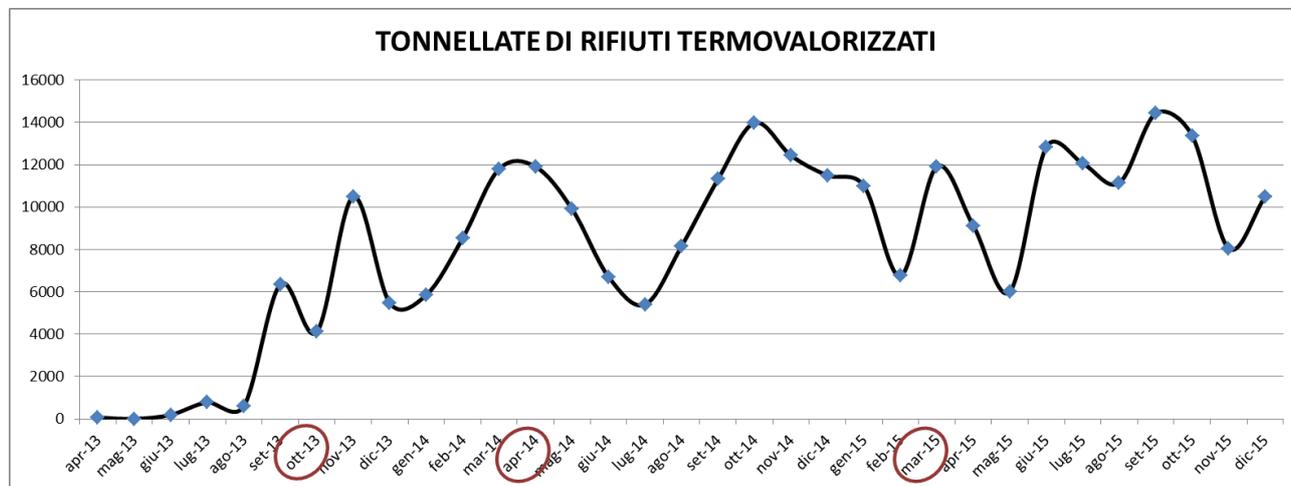


Figura 2. Tonnellate di rifiuti inceneriti presso il PAIP dalla messa in esercizio (aprile 2013) fino alla fine del 2015.

Per i dipendenti del PAIP sono state raccolte le urine alla fine del turno del mattino. Per i dipendenti degli I.P. le urine sono state raccolte alla fine dei diversi turni del mattino-primopomeriggio; per i detenuti la raccolta è avvenuta nel pomeriggio a cura di operatori sanitari dell'UOSIP<sup>6</sup>. I questionari sono stati somministrati al momento della raccolta dei campioni di urina.

I campioni sono stati trasferiti immediatamente dopo la raccolta all'Università degli Studi di Parma - Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.), secondo le specifiche illustrate nel Piano operativo.

La collaborazione con il Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.) è stata oggetto di un accordo con il Dipartimento di Sanità Pubblica: lo stesso C.E.R.T. effettua le analisi relative alle sostanze organiche tal quali e loro metaboliti mentre si avvale della competenza del Laboratorio dell'Unità Operativa di Medicina del Lavoro, Igiene e Tossicologia Industriale dell'Azienda ospedaliera Spedali Civili - Università degli Studi di Brescia, per la ricerca dei metalli.

## Analisi di laboratorio

Al fine di sviluppare l'azione 2.1.1.6, i campioni di urina sono stati raccolti dal personale del Dipartimento di Sanità Pubblica-AUSL, Parma e portati presso il laboratorio di Tossicologia Industriale (CERT), dove sono stati aliquotati e conservati a -20°C fino al momento dell'analisi. Le aliquote preparate per l'analisi dei metalli sono state spedite dal CERT ai laboratori dell'Unità Operativa di Medicina del Lavoro, Igiene e Tossicologia Industriale, dell'Azienda Ospedaliera Spedali Civili-Università degli Studi di Brescia.

Il campionamento dell'urina è il metodo più comunemente utilizzato per verificare l'esposizione ad inquinanti ambientali, poiché le procedure sono non invasive e facilmente ripetibili. Tuttavia nell'analisi dei campioni è spesso necessario aggiustare i risultati in funzione del diverso grado di diluizione dell'urina stessa, utilizzando fattori di normalizzazione quali il contenuto di creatinina. L'identificazione dei parametri d'interesse è stata fatta alla luce delle informazioni bibliografiche e degli esiti sulla caratterizzazione del particolato effettuata nella nostra regione, nonché sulla base delle conoscenze scaturite dagli studi circa l'esposizione lavorativa, che rappresenta il caso più estremo di esposizione. È infatti necessario ricordare che questo Progetto non riguarda l'esposizione lavorativa in senso stretto ma piuttosto l'esposizione di

<sup>6</sup> UOSIP: Unità Operativa Salute negli Istituti Penitenziari

persone che si trovano entro l'area di maggior ricaduta delle emissioni dell'impianto per motivi residenziali e/o lavorativi. La descrizione dettagliata dei criteri di scelta dei parametri di interesse è già stata inclusa nel Piano operativo del Progetto di Sorveglianza Sanitaria (PSS-PAIP); pertanto di seguito viene proposta una tabella (Tabella 3) che riporta una descrizione sintetica delle molecole e dei loro metaboliti.

Riguardo alla gamma degli analiti organici ricercati, si è utilizzato solo il naftolo (NOH) e l'idrossipirene (1-OHP) come traccianti di una miscela complessa di IPA, con il naftolo più rappresentativo di un'esposizione alla frazione "leggera" di IPA e l'idrossipirene a quella più "pesante". La loro scelta è legata anche al fatto che rappresentano l'esito delle vie metaboliche (idrossilazione in una o massimo due posizioni) più semplici e più direttamente legata all'esposizione di miscele di IPA.

Il naftolo può essere, in linea di massima, ricondotto ad un'esposizione ad IPA volatili emessi da una sorgente posta a distanza come quella del camino dell'inceneritore.

Si segnala inoltre che nel caso del fumo di tabacco, essendo in presenza di esposizione diretta al *main stream* inalato, risulta più appropriato analizzare gli IPA volatili, mentre quelli meno volatili non sarebbero altrettanto utili per documentare l'esposizione a fumo passivo (*side stream*) e, invece, sicuramente più sensibili all'assorbimento percutaneo.

Il set di metalli è stato concordato con il CERT e con il laboratorio della AO Spedali Civili-Università degli Studi di Brescia (Prof Apostoli); tenuto conto che non esiste un tracciante specifico dell'esposizione a inceneritori la gamma ricercata si ritiene adeguata a un'indagine biotossicologica di questo tipo comprendendo anche Cadmio, Tallio e Mercurio (metalli per i quali esiste un limite specifico alle emissioni degli inceneritori). Dati gli obiettivi dell'indagine e il budget disponibile si è ritenuto di non effettuare indagini a tappeto.

Il dato della concentrazione urinaria dei metalli fa riferimento ad una soglia espressa come LoQ (la più bassa concentrazione di analita che può essere quantificata con accuratezza e precisione).

Per la maggior parte dei composti analizzati esiste un intervallo di valori di riferimento relativo alla popolazione generale non professionalmente esposta, indicato dalla SIVR (Società Italiana dei Valori di Riferimento) o riportato nelle Linee Guida per il Monitoraggio Biologico della SIMILII (Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale).

Si sottolinea che alcuni dei campioni analizzati non sono stati presi in considerazione per le statistiche in quanto o troppo concentrati o troppo diluiti. La normalizzazione in funzione della creatinina è infatti fondamentale per il dosaggio urinario del naftolo, dell'1-idrossipirene e dei metaboliti di benzene, nicotina, stirene. Perché le concentrazioni urinarie di questi metaboliti possano essere considerate attendibili, la creatinina deve risultare compresa nei limiti di concentrazione considerati indice di una funzionalità renale adeguata. In questa relazione sono stati considerati validi i campioni caratterizzati da concentrazioni di creatinina comprese fra 0,3 g/L e 3,0 g/L. Il dosaggio urinario di BTEX, stirene e MTBE è stato invece considerato per tutti i campioni disponibili in quanto indipendente dalla diluizione delle urine. Per il dosaggio dei metalli si è deciso di adottare il metodo di normalizzazione in funzione della creatinina sebbene molti autori preferiscano ancora utilizzare la concentrazione tal quale (è questo il motivo per cui vengono forniti valori di riferimento non corretti per la concentrazione di creatinina). Per le analisi statistiche dei metalli sono stati quindi adottati gli stessi criteri di inclusione descritti per naftolo etc. (criterio di inclusione:  $0,3 \text{ g/L} < [\text{creatinina}] < 3,0 \text{ g/L}$ ). Agli analiti la cui concentrazione è risultata al di sotto della soglia di rilevabilità strumentale è stato attribuito (come da prassi) un valore pari a metà della soglia di rilevabilità stessa. Le analisi statistiche sono state estese soltanto alle molecole la cui concentrazione è risultata superiore ai limiti di rilevazione in più del 40% dei campioni.

Per le metodologie di laboratorio si fa riferimento alle relazioni prodotte dal Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.) dal titolo "Monitoraggio biologico dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi nei pressi del Polo Ambientale Integrato di Parma-PAIP" (come **allegato**).

### **Considerazioni su metodi e significato dei VR**

E' bene ribadire che il confronto con i valori di riferimento rappresenta una finalità della sorveglianza in atto, tesa ad individuare le concentrazioni urinarie di alcune sostanze tipiche di tre gruppi di popolazione e il loro andamento nel tempo, registrando contemporaneamente l'esposizione ai principali fattori individuali e ambientali associabili ad esse, tra cui la ricaduta delle emissioni del termovalorizzatore. Viste le basse concentrazioni di esposizione alle emissioni dell'impianto di incenerimento, non ci si attende che tale esposizione sia in grado di per se di determinare un superamento dei valori di riferimento. Lo scopo del confronto con i VR è quello di caratterizzare gruppi di popolazione particolarmente selezionate, come quelle presenti in ambiente penitenziario, soprattutto in relazione ad alcune abitudini e comportamenti (specie il fumo).

Il protocollo prevede anche la restituzione del dato al singolo individuo che ne faccia richiesta ma l'esito analitico, avendo la natura di indicatore di esposizione e non di insorgenza di malattia, non può dare informazioni nel singolo soggetto circa eventuali danni per la salute.

Come discusso in precedenza, per la maggior parte dei composti analizzati esiste un intervallo di valori di riferimento relativo alla popolazione generale non professionalmente esposta o indicato dalla SIVR (Società Italiana dei Valori di Riferimento) o riportato nelle Linee Guida per il Monitoraggio Biologico della SIMILII (Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale) e rappresentato come valore limite biologico (VLB). Si ritiene quindi opportuno, riportare di seguito la definizione per i due tipi di valore, in modo da poter cogliere l'importante differenza che li distingue. Mentre i valori di riferimento (VR) rappresentano una condizione di esposizione in cui si trova la popolazione generale, i valori limiti biologici (VLB) rappresentano i valori ritenuti accettabili in ambiente di lavoro in quanto tutelano dagli effetti sulla salute il 95% dei lavoratori professionalmente esposti; per questo motivo essi si posizionano su valori più alti rispetto ai VR. Nella tabella che segue sono riportati soltanto i VR.

**Valore di riferimento (VR):** il valore di un determinato indicatore ottenuto dalla elaborazione statistica del risultato del suo dosaggio in campioni biologici prelevati da una popolazione o da un gruppo di riferimento non professionalmente esposto, costituito quindi da soggetti non esposti in modo abnorme alla sostanza in esame per ragioni lavorative, ambientali o abitudinarie. In particolare trattandosi di determinazioni di sostanze ubiquitarie, i valori di riferimento presentati nella seguente relazione sono calcolati sulla base dei campioni di urina della popolazione di Parma.

**Valore Limite Biologico (VLB):** il limite della concentrazione del relativo agente, di un suo metabolita o di un indicatore di effetto, nell'appropriato mezzo biologico. Esso deve essere inteso come il livello di un determinato indicatore biologico corrispondente a quella dose interna del relativo agente chimico in grado di produrre i primi effetti sulla salute. A tutt'oggi, essendo le sostanze che possiedono valori limite occupazionali sanciti per legge in numero piuttosto modesto rispetto a quelle utilizzate nelle molteplici attività produttive, si utilizzano limiti proposti da importanti associazioni scientifiche di riferimento e dalla ricerca scientifica, quali i BEI e gli LBE.

**Limiti Biologici di Esposizione (BEI- Biological Exposure Index- ACGIH, American Conference of Government Industrial Hygienist):** rappresentano i valori di concentrazione di un indicatore biologico corrispondenti ad una esposizione ambientale al relativo agente chimico equivalente ai

TLV (Threshold Limit Values) che indicano, per ogni sostanza chimica, le concentrazioni **atmosferiche** alle quali si ritiene che la quasi totalità di un gruppo di lavoratori possa rimanere esposta, ripetutamente, giorno dopo giorno, senza subire effetti dannosi alla salute. La valutazione del loro significato quindi non avviene a livello individuale ma di gruppi omogenei di lavoratori.

**Limiti Biologici Equivalenti (LBE):** diversamente dai BEI si tratta di valori ottenuti da studi effettuati confrontando le concentrazioni dei singoli individui con quelle ambientali.

Nella tabella 2 sono descritte le diverse sostanze ricercate nelle urine, il loro significato quale indicatore di esposizione e i valori di riferimento raccolti nei diversi studi riguardanti la popolazione generale. Nell'ultima colonna sono riportati le esposizioni che possono interferire con la concentrazione urinaria o agendo sul metabolismo di alcune di queste sostanze, o perché rappresentano esposizioni aggiuntive individuali legate ad abitudini voluttuarie.

Funzione	Sigla del composto	Nome e caratteristiche del composto	Valori di riferimento (NF=non fumatore F=fumatore)	Possibili interferenti
Fattore di normalizzazione	Creat (g/L)	Creatinina	0,3-3 g/L	Alterata funzionalità renale, eccessiva/scarsa assunzione di liquidi
DOSAGGIO URINARIO di NAFTOLO E 1-IDROSSIPIRENE	N-OH	Naftolo. È un derivato del naftalene e un indicatore di esposizione a miscele di idrocarburi policiclici aromatici a basso peso molecolare.	<40 µg/g creat (NF) <100 µg/g creat (F)	Fumo di tabacco
	1OH-P	1-idrossipirene. È un derivato del pirene e un indicatore di esposizione a miscele di idrocarburi policiclici aromatici ad alto peso molecolare.	<0.5 µg/g creat (NF) <1.5 µg/g creat (F)	Fumo di tabacco e di legna, cibi grigliati
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti del Benzene e della Nicotina	<i>t,t</i> -AM	Acido trans,trans-muconico. È un indicatore di esposizione a benzene.	15 - 165 µg/g creat	Fumo di tabacco; ac.sorbico, sorbitolo (dolcificanti)
	AFM	Acido S-fenilmercapturico. È un indicatore di esposizione a benzene.	<0.05 - 5 µg/g creat (NF)	Fumo di tabacco
	Cotina	Cotina. È un derivato della nicotina e un indicatore di esposizione a fumo di tabacco.	<50 µg/g creat (NF)	Non noto
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti dello stirene	AM	Acido mandelico. È un indicatore di esposizione a stirene.	0.1-3.5 mg/g creat	Alcool, etilbenzene;
	AFG	Acido fenilglossilico. È un indicatore di esposizione a stirene.	0.1-3.5 mg/g creat	Alcool, etilbenzene;
	AFIEM	Acidi fenilidrossietilmercapturici. Sono indicatori di esposizione a stirene.	Non noto	Non noto
	VP	4-vinilfenolo. È un indicatore di esposizione a stirene.	160 µg/g creat (NF) 450 µg/g creat (F)	Fumo di tabacco
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene*	È indicatore di esposizione a benzene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<1,80 µg/l	Fumo di tabacco
	Toluene*	È indicatore di esposizione a toluene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<1,78 µg/l	Non noto
	EtilBenzene*	È indicatore di esposizione a etilbenzene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0,98 µg/l	Non noto
	Xileni*	È indicatore di esposizione a xileni, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0,571 µg/l	Non noto
	Stirene*	È indicatore di esposizione a stirene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0.001 – 2.700 µg/L	Non noto
	MTBE*	Metil-tert-butiletere. È indicatore di esposizione a traffico veicolare.	<3,14 µg/l	Non noto
Metalli	Cd	Cadmio	0.1-1.5 µg/l	Fumo di tabacco; età;
	Cr	Cromo	0,05-0,35 µg/l	Fumo di tabacco; età;
	Sn	Stagno	0,15-8,72 µg/l	Non noto
	Tl	Tallio	0.05 – 0.5 µg/l	Fumo di tabacco
	Ni	Nichel	0.1-2.0 µg/l	Età, sesso, fumo di tabacco;
	Sb	Antimonio	Non noto	Non noto
	U	Uranio	Non noto	Non noto
	Mn	Manganese	0.20-4.00 µg/l	Consumo di caffè o tè, fumo di tabacco, alimentazione
	V	Vanadio	0.05-0.2 µg/l	Non noto
	Pd	Palladio	Non noto	Non noto
	Be	Berillio	10-40 ng/l	Non noto
Hg	Mercurio	0.1-5.0 µg/l	Dieta: pesce, mitili e crostacei	

Tabella 3. Composti ricercati nelle urine nell'ambito del piano di bio-monitoraggio del PSS-PAIP. Si segnala inoltre una variazione, in questa relazione, dei valori di riferimento relativi al dosaggio dei BTEX, in base all'aggiornamento dei dati del laboratorio che ha effettuato le analisi (CERT).

## **Trattamento dati**

Sempre nell'ambito dell'azione 2.1.1.6 e della 2.1.1.7, descritte nel Piano Operativo, i questionari riguardanti i dati personali sono stati processati per mezzo del software SPSS24; successivamente sulla base dei dati raccolti, sono state estratte le informazioni utili al controllo dei confondenti. Tali informazioni (es. consumo di cibi affumicati, esposizione a sostanze chimiche, esposizione a traffico veicolare ecc.) sono state inserite nell'analisi statistica come variabili indipendenti, assieme al gruppo di appartenenza (dipendenti IP, dipendenti PAIP, detenuti) e alla concentrazione media di PM10 atmosferico registrato della stazione mobile di monitoraggio collocata nell'area degli I.P. nel periodo della raccolta di urine/questionario. Le variabili dipendenti sono rappresentate dagli esiti individuali riguardanti la concentrazione dei singoli analiti nel campione di urine.

## **Metodologia statistica**

Le analisi statistiche sono state eseguite mediante l'utilizzo dei software SPSS24 e R (limitatamente al test di Page). L'obiettivo è descrivere le caratteristiche dei gruppi in sorveglianza, le loro variazioni nel tempo e come si posizionano i valori di concentrazione urinaria rilevati rispetto ai valori di riferimento, dove disponibili.

### **Statistica descrittiva**

La distribuzione delle variabili è stata verificata applicando il test di Kolmogorov–Smirnov<sup>7</sup>. Poiché la maggior parte delle distribuzioni dei dosaggi differiscono significativamente dalla distribuzione normale, si è preferito descrivere le tendenze centrali in funzione della mediana e della differenza interquartilica piuttosto che in funzione della media e dell'errore standard. La media è infatti fortemente affetta dalla presenza di valori estremi (molto alti o molto bassi): per questo si utilizza la mediana che rappresenta il valore dell'unità centrale all'interno della distribuzione ordinata dei dati.

### **Statistica inferenziale**

L'obiettivo è testare se nei partecipanti al monitoraggio, le concentrazioni urinarie (effetto) siano influenzate da qualcuna delle variabili indipendenti indagate.

Le variabili indipendenti rappresentano diversi livelli di esposizione a fattori individuali e ambientali e sono rappresentabili su scale di diverso tipo:

- categoriali - 0, 1, 2... (es. titolo di studio, fumatore/non fumatore/ex fumatore ecc.),
- dicotomiche - SI/NO (es. esposizione/non esposizione a fumo passivo, vivere dentro/fuori la caserma ecc.),
- discrete-continue (es. l'età, il n. di tazze di caffè al giorno, concentrazione di PM10 il giorno della raccolta, ecc.).

Poiché, come già detto, la maggior parte delle distribuzioni di dati è risultata diversa dalla distribuzione normale, sono stati applicati gli opportuni test non parametrici.

### **Variazioni temporali**

Poiché questa relazione rappresenta la fase conclusiva dell'attività di monitoraggio svolta presso gli Istituti penitenziari, un peso particolare è stato attribuito all'analisi dei cambiamenti che hanno subito le concentrazioni dei vari analiti nel tempo. Il presente rapporto illustra in breve il risultato delle quattro campagne di campionamento identificando, per ciascuna campagna, i principali fattori di confondimento. Subito dopo, i risultati delle quattro campagne vengono confrontati fra loro per ottenere un disegno delle eventuali variazioni che le concentrazioni urinarie di inquinanti hanno subito nel tempo. I confronti temporali sono eseguiti mediante due tipi diversi di procedura; il parziale ricambio degli aderenti al progetto ha dato infatti origine a due batterie di dati distinte:

---

<sup>7</sup> Test utilizzato per testare se la distribuzione campionaria differisce in modo significativo dalla distribuzione normale

1. un dataset comprensivo di tutti i soggetti che hanno partecipato al piano di monitoraggio, indipendentemente dal fatto che essi siano stati coinvolti in tutte le campagne di campionamento o soltanto in alcune;

2. un dataset costituito dal sotto-campione di individui che hanno partecipato a tutte le campagne.

Le quattro campagne rappresentate nel primo dataset sono da considerarsi come campioni indipendenti, giacché non comprendono sempre gli stessi individui: sebbene sia disponibile una numerosità campionaria piuttosto alta, questi dati si prestano soltanto a delle considerazioni generali circa l'andamento temporale degli esiti nelle campagne. Il secondo dataset vede invece campioni identici per ciascuna campagna di prelievo, di conseguenza ciascun soggetto rappresenta a tutti gli effetti un controllo di se stesso: questo dataset è quindi particolarmente informativo sebbene la numerosità campionaria diminuisca fortemente.

Per il confronto temporale delle campagne sono state utilizzate due diverse tipologie di test: i test di Kruskal-Wallis (campioni indipendenti) e di Friedman (campioni dipendenti) sono stati impiegati per testare l'eventuale differenza fra campionamenti senza saggiare un andamento temporale specifico, mentre il test di Jonkeere-Terpstra (campioni indipendenti) e di Page (campioni dipendenti) sono stati condotti per investigare l'eventuale presenza di un trend positivo nelle concentrazioni mediane dei gruppi. Maggiori informazioni riguardo l'applicazione di questi test vengono fornite nel capitolo dedicato al confronto delle quattro campagne di campionamento.

A seguire verrà presentata una sintesi delle statistiche descrittive per ciascuna delle campagne separatamente. Verranno inoltre discussi gli effetti più salienti delle principali variabili indipendenti relative ad abitudini e stili di vita sulla concentrazione degli analiti presi in considerazione.

Successivamente nella relazione seguiranno i confronti fra le quattro campagne di campionamento con la relativa discussione dei risultati.

# DESCRIZIONE DELLE SINGOLE CAMPAGNE DI CAMPIONAMENTO

## Premessa

Il monitoraggio biologico si differenzia dagli studi epidemiologici di stampo classico per molti aspetti: primo fra tutti, mentre gli studi epidemiologici si basano spesso sulla quantificazione degli effetti sulla salute, il monitoraggio biologico si basa sulla quantificazione della variazione nell'esposizione interna (tramite ricerca di biomarcatori), in relazione alla variabilità ambientale e comportamentale. Questa peculiarità fornisce dei vantaggi:

- 1) maggiore tempestività nella valutazione dell'esposizione – spesso gli effetti sanitari non insorgono oppure insorgono con grande ritardo;
- 2) maggiore possibilità di mettere in atto misure di mitigazione dell'esposizione;
- 3) maggior precisione nell'identificazione degli esposti – infatti gli effetti sulla salute derivanti dall'esposizione ad inquinanti atmosferici non sempre sono indicativi del grado di esposizione perché sono caratterizzati da alta variabilità soggettiva, anche in relazione alle patologie pre-esistenti (es. malattie croniche ecc.) e allo stile di vita.

Per questi motivi deve essere molto chiaro quali siano le domande alle quali è possibile rispondere mediante un piano di biomonitoraggio, le cui risposte quali/quantitative non hanno lo scopo di rilevare la presenza/assenza di eventuali esiti di salute (intesi come presenza di malattia). Nell'ambito specifico del PSS-PAIP gli aspetti investigati sono stati i seguenti:

- Influenza di vari aspetti dello stile di vita e delle caratteristiche personali sulla concentrazione urinaria degli inquinanti
- Influenza della mansione svolta sulla concentrazione urinaria degli inquinanti
- Grado di correlazione fra situazione meteo-climatica e concentrazione urinaria degli inquinanti
- Eventuale modificazione delle concentrazioni urinarie degli inquinanti passando dalla fase ante operam a quella di esercizio del PAIP

NOTA: data la complessità dell'elaborato e l'enorme mole di informazioni ottenibili, di seguito verranno menzionati soltanto i risultati considerati maggiormente informativi ai fini del piano di monitoraggio sanitario in atto. Si segnala inoltre, che a bassi livelli di concentrazione, come quelli rilevati in questo studio, la variabilità sia intra- che inter-individuale è generalmente piuttosto elevata. Per maggiori dettagli sui risultati di ogni singola campagna si rimanda alle singole relazioni "Monitoraggio biologico dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi nei pressi del Polo Ambientale Integrato di Parma-PAIP" prodotte dal Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (CERT).

Tutti gli inquinanti organici sono risultati quantificabili in un numero sufficiente di campioni. Per quanto riguarda i metalli, i dosaggi vengono riportati soltanto per le molecole la cui concentrazione è risultata superiore ai limiti di rilevazione in più del 40% dei campioni, in caso contrario al posto del valore mediano è posta la sigla n.d. (*not detectable*). Per la determinazione dell'alluminio, essendo un elemento ubiquitario, sono richiesti procedure e materiali dedicati: tali procedure non sono applicabili in un ambiente come le carceri, per cui il dato riscontrato, anche se dosato, non è da considerarsi attendibile e non è riportato in tabella.

## **Confronto con i valori di riferimento di gruppo (VR)**

Così come per la prima e la seconda campagna, anche nella terza e nella quarta sessione di campionamento le concentrazioni urinarie mediane determinate nei diversi gruppi rientrano generalmente negli intervalli fissati dalla SIVR e/o dalla SIMLII (quando disponibili), con valenza nazionale. Per quanto riguarda l'analisi dei composti organici volatili (BTEX), trattandosi di contaminanti ambientali e ubiquitari, per una migliore interpretazione dei risultati, i dati ottenuti nella terza e nella quarta campagna sono stati anche confrontati con i valori di riferimento ottenuti dal CERT e calcolati sulla base dei campioni di urina della popolazione generale di Parma. Per gli altri metaboliti non sono state riscontrate differenze fra i valori di riferimento tali da richiedere un ulteriore approfondimento.

Osservando le concentrazioni urinarie dei metaboliti per ciascuno dei partecipanti al monitoraggio biologico, nella prima e nella seconda campagna di campionamento si nota un certo numero di individui con alcuni valori superiori a quelli riportati come riferimento, particolarmente per quanto riguarda i valori di acido trans, trans-muconico, di vinil fenolo, di naftolo e di idrossipirene e metalli come il cromo, tallio, nichel, e vanadio. Nella terza e quarta campagna si registra un generale calo nel numero di valori superiori a quelli di riferimento, per quasi tutti gli analiti. Fanno eccezione soltanto xileni e toluene esclusivamente per i dipendenti IP.

È importante sottolineare che concentrazioni urinarie di uno o più analiti, per un singolo campionamento, superiori ai valori di riferimento non sono comunque da considerarsi indice di una patologia specifica o di rischio per la salute. Infatti, il monitoraggio biologico, per sua stessa definizione, è "la misura periodica di un indicatore biologico da confrontare con appropriati livelli di riferimento". Per cui il singolo dato non ha di per se alcun significato e va confermato e seguito nel tempo per valutare l'esistenza di un eventuale andamento dipendente da fonti di esposizioni (siano esse legate ad abitudini voluttuarie o fonti esterne). Inoltre, i valori di riferimento sono definiti su base statistica ed è atteso che il 5% della popolazione "normale" mostri valori eccedenti. In assenza di spiegazioni plausibili e alla luce della diminuzione dei valori sopra soglia osservata nella terza e quarta campagna, non è possibile attribuire ai valori eccedenti alcun significato di rischio per la salute. Infine ricordiamo che l'esposizione a molecole quali il benzene e lo stirene viene valutata mediante il dosaggio di numerosi metaboliti: una concentrazione superiore al valore di riferimento per uno solo di questi non può essere considerata indice attendibile di esposizione ad idrocarburi monociclici aromatici.

Questa indagine evidenzia che i gruppi sottoposti a biomonitoraggio sono soltanto in parte assimilabili alla popolazione generale, particolarmente per quanto riguarda le prime due campagne. Se si pensa al gruppo del PAIP come lavoratori potenzialmente esposti alle sostanze oggetto di questa relazione, le concentrazioni urinarie di queste sono risultate essere ben al di sotto dei valori limite previsti dalla legge per l'esposizione professionale (BEI). Bisogna inoltre ricordare che i valori di riferimento spesso sono stimati su popolazioni di non fumatori, mentre sia nelle carceri che fra i dipendenti PAIP i fumatori sono piuttosto diffusi e mostrano spesso i valori più alti registrati per l'acido trans, trans-muconico (t,t-AM) e il vinil fenolo (VP). Il vinil fenolo in particolare viene utilizzato proprio come aroma nel tabacco e nei cibi affumicati. C'è inoltre da considerare che ambienti come quello carcerario rappresentano condizioni di esposizione al fumo passivo particolarmente importanti; aspetto generalizzabile a tutti gli ambienti indoor con frequentazione intensiva. Un forte confondente per l'acido trans, trans-muconico – oltre al fumo – è rappresentato dall'acido sorbico (che costituisce proprio uno dei principali precursori del t,t-AM). In questo contesto, il calo nel numero di valori al di sopra di quelli di riferimento per acido t,t-AM e vinil fenolo, risulta coerente con il calo nella concentrazione della cotinina (metabolita della nicotina) illustrata di seguito e particolarmente evidente per le persone che afferiscono agli Istituti Penitenziari (capitolo "Confronto fra i quattro momenti di raccolta").

A proposito di naftolo e idrossipirene è inoltre importante ricordare che i solventi con i quali gli agenti di polizia puliscono le armi sono costituiti da una miscela di idrocarburi.

## Prima campagna di campionamento

### Fase ante operam

Come anticipato nel paragrafo che descrive le analisi di laboratorio, tutti i campioni di urina sono stati analizzati ma, nell'elaborazione dei risultati, i campioni con valori di creatinina inferiori a 0,3 g/L o superiori a 3,0 g/L non sono stati considerati, in quanto o troppo diluiti o troppo concentrati (ACGIH 2011<sup>8</sup>). Di conseguenza, dal primo campionamento sono risultati esclusi 3 detenuti e un dipendente PAIP.

Caratteristiche	Dipendenti	Detenuti	PAIP
N	70	83	20
Sesso (M/F)	62/8	83/0	19/1
Età media (anni)	41	49	44
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	26/20/24	12/37/26	6/7/6
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro	56/4/10		
Residente in caserma (no/sì)	60/9		
Sezione penitenziario (1/2/3)		17/37/26	
Stecca penitenziario (A/B)		44/32	
Attività fisica (no/sì)		37/36	
Mansione PAIP (ufficio/macchine)			3/17
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	48/22	51/26	18/2
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	45/25	25/17	16/4
Consumo di bevande gassate (no/sì)	36/29	0/3	9/11
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	13/55	0/16	3/16
Consumo di caffè/thè (media del n. tazzine)	3	3	3

Tabella 4. Composizione delle popolazioni coinvolte nella sessione di bio-monitoraggio avvenuta in fase ante operam. In questa e nelle tabelle successive sono riportati soltanto i dati per i quali è stato possibile effettuare valutazioni e analisi (numerosità sufficiente, concentrazioni urinarie nella norma, ecc.). La categoria non fumatore/ex fumatore/fumatore è stata qui desunta dal questionario autocompilato.

In precedenza si è accennato al fatto che le molecole descritte in Tabella 3 possono essere assorbite dall'organismo a seguito dell'esposizione a fonti eterogenee, tra cui il traffico veicolare e vari tipi di combustione. Per avere una misura della qualità dell'aria è stato installato, nel piazzale antistante gli Istituti Penitenziari, il laboratorio mobile di ARPAE. La tabella seguente riporta i dati relativi alla media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi al periodo di campionamento ante operam. Si rammenta che, mentre per metalli e Benzo(a)pirene è disponibile un solo dato medio per un periodo di 21 giorni, per il PM10 è stimabile una concentrazione giornaliera che è stata utilizzata per indagare il grado di correlazione fra inquinamento atmosferico e concentrazioni urinarie degli analiti.

<sup>8</sup> ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

DATI LABORATORIO MOBILE		Prima campagna (dal 20.03.13 al 08.04.13)		Limite annuo (D.Lgs. 155/10)
INQUINANTI		Unità Mobile	Parma - Cittadella	
PM10	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	25	24	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno
Piombo	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.003	0.005	0.5
Arsenico	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.305	0.497	6
Cadmio	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.152	0.147	5
Nichel	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	1.371	1.666	20
Benzo(a)pirene	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.078	0.125	1

Tabella 5. Media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi alla prima campagna di campionamento.

In generale, nella stazione posta in Via Burla è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con le altre stazioni della rete urbana; la variazione delle condizioni meteo-climatiche crea una condizione di esposizione uniforme sull'intero bacino padano, soggetta a fluttuazioni stagionali.

### Risultati salienti prima campagna

Già dalla prima campagna di campionamento è risultato evidente come l'abitudine tabagica influisca pesantemente sulla concentrazione degli inquinanti presenti nell'organismo. Il fumo infatti incide sulla concentrazione di diverse sostanze, con particolare evidenza per il benzene e i suoi metaboliti. Si sono poi osservate correlazioni positive tra l'età e le concentrazioni urinarie di alcuni metalli come cadmio, nichel e tallio. È infatti noto che alcuni metalli (in particolare il cadmio) tendono ad accumularsi nell'organismo e a seguire dei processi di smaltimento particolarmente lenti. Le mansioni svolte e l'alimentazione non sono risultate determinanti per la concentrazione urinaria delle sostanze così come non si sono riscontrate differenze in funzione del luogo di lavoro (ufficio, ambienti esterni) né per i dipendenti del penitenziario né per quelli del PAIP.

L'attività fisica è risultata essere l'unico hobby in grado di influenzare la concentrazione urinaria delle sostanze, sebbene tale condizione sia risultata verificabile soltanto nel gruppo dei detenuti. Infine, sono state valutate le possibili correlazioni tra la concentrazione urinaria degli indicatori biologici e le concentrazioni di PM10 misurate dalla centralina ARPAE posizionata nel cortile del penitenziario. Il confronto tra dato biologico e dato ambientale presenta aspetti incoerenti che non consentono di definire un profilo di associazione con il PM10, quale indicatore base di qualità dell'aria ambiente, stante le conoscenze disponibili in letteratura.

## Seconda campagna di campionamento

### Esercizio provvisorio con combustione continuativa di rifiuto

In base ai criteri assunti dall'ACGIH relativamente alla concentrazione di creatinina, dal secondo campionamento sono risultati esclusi 4 soggetti tra i dipendenti degli istituti penitenziari, 3 soggetti tra i detenuti e un soggetto tra i lavoratori del PAIP.

Caratteristiche	Dipendenti	Detenuti	PAIP
N	75	65	24
Sesso (M/F)	65/10	65/0	21/3
Età media (anni)	39	52	44
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	24/24/25	11/31/21	7/7/10
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro	56/3/7		
Residente in caserma (no/sì)	54/17		
Sezione penitenziario (1/2/3)		12/22/30	
Stecca penitenziario (A/B)		37/26	
Attività fisica (no/sì)	38/33	31/26	14/10
Mansione PAIP (ufficio/macchine)			5/19
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	48/24	33/24	18/6
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	37/35	18/15	19/5
Consumo di bevande gassate (no/sì)	45/27	38/11	11/11
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	16/56	31/19	7/16
Consumo di caffè/thè (media del n. tazzine)	3	3	2

Tabella 6. Composizione delle popolazioni coinvolte nella sessione di bio-monitoraggio avvenuta in fase di esercizio provvisorio. In questa e nelle tabelle successive sono riportati soltanto i dati per i quali è stato possibile effettuare valutazioni e analisi (numerosità sufficiente, concentrazioni urinarie nella norma, ecc.). La categoria non fumatore/ex fumatore/fumatore è stata qui desunta dal questionario autocompilato.

Come per la fase ante operam vengono riportati i dati relativi alla condizione meteorologica registrata dalla stazione mobile posta in via Burla nel periodo di campionamento e dalla stazione "Parma-Cittadella" assunta come indicatore dell'inquinamento di fondo urbano.

DATI LABORATORIO MOBILE		Seconda campagna (dal 11.10.13 al 31.10.13)		Limite annuo (D.Lgs. 155/10)
		Unità Mobile	Parma - Cittadella	
INQUINANTI				
PM10	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	43	41	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno
Piombo	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.008	0.005	0.5
Arsenico	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.761	0.650	6
Cadmio	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.152	0.130	5
Nichel	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	1.827	1.301	20
Benzo(a)pirene	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.134	0.030	1

Tabella 7. Media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi alla seconda campagna di campionamento.

Anche nella seconda campagna, in generale, nella stazione posta in Via Burla è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con le altre stazioni della rete urbana anche se lievemente superiore per tutti i valori monitorati.

### Risultati salienti seconda campagna

Nella seconda campagna l'abitudine al fumo si riconferma quale fonte di confondimento più influente, sebbene in generale le differenze fra fumatori e non fumatori risultino meno marcate rispetto alla fase ante operam. Viene anche riconfermata la correlazione fra età anagrafica e concentrazione di cadmio. Anche nel secondo campionamento, le altre abitudini e gli stili di vita non sono risultate determinanti rispetto alla concentrazioni urinarie degli analiti, fatta eccezione per una correlazione positiva tra consumo di bevande eccitanti e concentrazioni urinarie di Etilbenzene, Xileni, AFIEM, AM, e Naftolo. È però da sottolineare che esiste anche una correlazione positiva con la concentrazione di cotinina: l'esperienza e la bibliografia mostrano che i fumatori si collocano spesso fra i maggiori consumatori di caffè; è quindi possibile che la correlazione fra inquinanti e bevande eccitanti sia in realtà associata all'abitudine tabagica che, come mostrato in entrambi i campionamenti, risulta essere una variabile particolarmente influente. Infine,

l'abitudine a svolgere regolarmente attività fisica all'aperto si riconferma entro certi limiti collegabile ad una minor concentrazione urinaria di alcuni inquinanti sebbene non emerga un quadro coerente e forte di tale relazione.

## Terza campagna di campionamento

### Esercizio continuativo di marcia controllata

In base ai criteri assunti dall'ACGIH relativamente alla concentrazione di creatinina, dal terzo campionamento sono risultati esclusi 3 detenuti, 3 dipendente e 2 lavoratori PAIP.

Caratteristiche	Dipendenti	Detenuti	PAIP
N	81	53	30
Sesso (M/F)	73/8	53/0	27/3
Età (anni)	39±8	53±9	44±8
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	34/17/29	13/26/12	12/8/10
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro	63/8/7		
Residente in caserma (no/sì)	64/12		
Sezione penitenziario (1/2/3)		*	
Stecca penitenziario (A/B)		*	
Attività fisica (no/sì)	34/43	*	19/11
Mansione PAIP (ufficio/macchine)			4/24
Provenienza PAIP			
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	46/31	*	20/8
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	18/62	*	19/11
Consumo di bevande gassate (no/sì)	43/38	*	17/13
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	21/56	*	8/22
Consumo di caffè/thè (n. tazzine)	2.95±1.42	*	2.61±0.95

\*Dati non presenti nel questionario

Tabella 8. Composizione delle popolazioni coinvolte nella terza sessione di bio-monitoraggio avvenuta in fase di esercizio continuativo del PAIP. In questa e nelle tabelle successive sono riportati soltanto i dati per i quali è stato possibile effettuare valutazioni e analisi (numerosità sufficiente, concentrazioni urinarie nella norma, ecc.). La categoria non fumatore/ex fumatore/fumatore è stata qui desunta dal questionario autocompilato.

I dati relativi all'inquinamento urbano sono come sempre riportati di seguito e confermano le considerazioni già espresse precedentemente.

DATI LABORATORIO MOBILE		Terza campagna (dal 28.03.2014 al 17.04.2014)		Limite annuo (D.Lgs. 155/10)
		Unità Mobile	Parma - Cittadella	
INQUINANTI				
PM10	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	28	30	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno
Piombo	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.005	0.002	0.5
Arsenico	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.455	0.364	6
Cadmio	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.076	0.061	5
Nichel	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	1.516	1.093	20
Benzo(a)pirene	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.0001	0.0468	1

Tabella 9. Media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi alla terza campagna di campionamento.

### Risultati salienti terza campagna

Data l'introduzione sul mercato delle sigarette elettroniche e la successiva diffusione di queste, nel questionario somministrato nella terza e quarta campagna è stato chiesto al soggetto fumatore di specificare l'utilizzo di sigarette normali o di quelle elettroniche al fine di una corretta analisi dei dati.

Infatti l'apporto di cotinina (metabolita della nicotina) è indipendente dal tipo di sigaretta fumata mentre cambia la concentrazione del benzene e dei suoi metaboliti (più elevata in caso di fumo delle sigarette convenzionali). I fumatori di sigarette elettroniche sono risultati essere 3 fra i Dipendenti e 1 fra i lavoratori del PAIP; e non sono stati inseriti nelle analisi effettuate. Il fumo si riconferma come il più importante fra i confondenti considerati: in tutti e tre i gruppi, i soggetti fumatori hanno concentrazioni urinarie di acido S-fenilmercapturico, cotinina, acido trans,trans-muconico, 1-idrossipirene e di acido mandelico significativamente più alte rispetto ai non fumatori e agli ex-fumatori. Per i soggetti non fumatori si osserva che i detenuti hanno concentrazioni urinarie di cotinina significativamente più alte rispetto al gruppo dei Dipendenti e dei lavoratori del PAIP, ad ulteriore conferma del potenziale problema legato al fumo passivo negli ambienti carcerari.

Si riconferma la correlazione fra età anagrafica e la concentrazione urinaria di alcuni metalli (cromo, manganese, tallio).

Nella terza campagna viene riconfermata l'influenza dell'attività fisica sulla diminuzione della concentrazione di nichel (dipendenti IP) e idrossipirene (detenuti). Le informazioni ottenute dai dipendenti IP e dai dipendenti PAIP riconfermano l'associazione fra consumo di tè e caffè e maggior concentrazione di vari metaboliti del benzene e dello stirene (per le considerazioni sul consumo associato di tè, caffè e tabacco, si rimanda al paragrafo precedente). Sfortunatamente per questa campagna di campionamento i dati relativi all'alimentazione dei detenuti non sono pervenuti per problemi tecnici.

## Quarta campagna di campionamento

### Esercizio continuativo

In base ai criteri assunti dall'ACGIH relativamente alla concentrazione di creatinina, dal quarto campionamento sono risultati esclusi un soggetto tra i dipendenti degli istituti penitenziari, 2 soggetti tra i detenuti e un soggetto tra i lavoratori del PAIP.

Caratteristiche	PAIP	Dipendenti	Detenuti
N	29	31	46
Sesso (M/F)	26/3	30/1	46/0
Età (anni)	45±8	40±8	57±9
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	13/6/10	12/15/4	11/18/13
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro		25/4/1	
Residente in caserma (no/sì)		24/4	
Sezione penitenziario (1/2/3)			15/10/19
Stecca penitenziario (A/B)			32/8
Attività fisica (no/sì)	18/9	15/14	29/15
Mansione PAIP (ufficio/macchine)	3/26		
Provenienza PAIP	9/19		
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	26/3	31/0	38/2
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	13/15	8/23	26/16
Consumo di bevande gassate (no/sì)	12/14	12/19	24/7
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	7/22	8/20	26/4
Consumo di caffè/thè (n. tazzine)	2.54±1.25	2.98±1.46	2.70±1.41

Tabella 10. Composizione delle popolazioni coinvolte nella quarta sessione di bio-monitoraggio avvenuta in fase di esercizio continuativo del PAIP. Sono riportati soltanto i dati per i quali è stato possibile effettuare valutazioni e analisi (numerosità sufficiente, concentrazioni urinarie nella norma, ecc.). La categoria non fumatore/ex fumatore/fumatore è stata qui desunta dal questionario autocompilato.

I dati relativi all'inquinamento urbano sono come sempre riportati di seguito e confermano le considerazioni già espresse precedentemente.

DATI LABORATORIO MOBILE		Quarta campagna (dal 17.03.2015 al 06.04.2015)		Limite annuo (D.Lgs. 155/10)
		Unità Mobile	Parma - Cittadella	
INQUINANTI				
PM10	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	33	30	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte/anno
Piombo	( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.006	0.005	0.5
Arsenico	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.610	0.569	6
Cadmio	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.152	0.114	5
Nichel	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	1.524	1.252	20
Benzo(a)pirene	( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	0.099	0.142	1

Tabella 11. Media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi alla quarta campagna di campionamento.

### Risultati salienti quarta campagna

Rispetto alle abitudini tabagiche, nel questionario somministrato nessun soggetto ha dichiarato di utilizzare sigarette elettroniche. Anche nella quarta campagna i fumatori mostrano concentrazioni urinarie più alte per diversi inquinanti fra cui benzene e toluene. Per i soggetti detenuti non fumatori, si riconferma una maggior concentrazione di cotinina rispetto a quella osservata nei dipendenti IP. Un diverso livello di inquinamento indoor è suggerito anche dalle concentrazioni urinarie di alcuni indicatori che variano in funzione della sezione dove si risiede e del corridoio di appartenenza.

L'età anagrafica risulta ancora una volta correlata ai livelli di vari inquinanti come cadmio, cromo, stagno e mercurio, ma soltanto per il gruppo dei lavoratori PAIP.

Nei detenuti si riconferma un effetto positivo dell'attività fisica sulla diminuzione della concentrazione di diversi inquinanti.

## CONFRONTO FRA I QUATTRO MOMENTI DI RACCOLTA

Si rammenta che le raccolte dei campioni di urina sono state eseguite nell'arco di 20 giorni consecutivi e in tale occasione è stato garantito il funzionamento della stazione mobile di ARPAE, più precisamente nei mesi di:

- Marzo 2013 (fase ante operam)
- Ottobre 2013
- Aprile 2014
- Marzo 2015

A causa della scarsa numerosità dei dipendenti del penitenziario e in considerazione dell'ambiente essenzialmente comune a quello dei detenuti, è stato deciso di suddividere i partecipanti al progetto in soli due gruppi:

- Penitenziario: costituito dai dipendenti e dai detenuti presso gli Istituti Penitenziari
- PAIP: costituito dai lavoratori del Polo Ambientale Integrato

Sulla base dei risultati relativi alle quattro campagne prese singolarmente, nel confronto fra le raccolte, oltre ai raggruppamenti sopra elencati, è stata assunta come ulteriore variabile di stratificazione l'abitudine al fumo. Per una miglior caratterizzazione di tale abitudine, i fumatori sono stati distinti dai non fumatori in funzione della concentrazione urinaria di cotinina, piuttosto che delle risposte (a volte variabili) fornite nei questionari. Sulla base delle indicazioni fornite da Zielińska-Danch et al. (2007)<sup>9</sup> sono stati quindi identificati due soli gruppi:

- Non fumatori: con concentrazioni urinarie di cotinina al di sotto dei 50  $\mu\text{g/g cr}^{10}$
- Fumatori: con concentrazioni urinarie di cotinina pari o superiori ai 50  $\mu\text{g/g cr}^{10}$

Per il confronto fra le raccolte, sono state eseguite due analisi differenti: nel primo caso sono stati confrontati i dati relativi a tutti i soggetti che hanno partecipato al progetto, indipendentemente dal fatto che essi abbiano partecipato alle diverse raccolte o soltanto ad alcune (campioni indipendenti); nel secondo approccio invece è stato analizzato il sotto-campione costituito dai soli soggetti che hanno partecipato a tutte e quattro le raccolte (campioni ripetuti). Le tabelle riportano le mediane e il range interquartile (1°-3° quartile). Per fornire un'indicazione di massima sulla distribuzione delle concentrazioni più alte, per ciascun analita è stata evidenziata in grassetto la mediana risultata più alta fra quelle caratterizzanti le quattro raccolte.

Il numero di soggetti che ha partecipato a tutte e quattro le raccolte è piuttosto basso. In particolare, molti agenti di polizia penitenziaria sono stati trasferiti in altre sedi nel periodo intercorso fra la prima e la quarta raccolta. Al contrario i lavoratori PAIP hanno tutti mantenuto la sede di lavoro, ma il numero di operatori presenti durante la prima raccolta costituisce circa la metà del numero degli assunti attualmente.

---

<sup>9</sup> Zielińska-Danch W1, Wardas W, Sobczak A, Szoltysek-Bołdys I., 2007. Estimation of urinary cotinine cut-off points distinguishing non-smokers, passive and active smokers. *Biomarkers* Sep-Oct;12(5):484-96.

<sup>10</sup> I valori sono aggiustati in funzione della concentrazione urinaria di creatinina

## Considerazioni preliminari sul confronto fra campionamenti

Prima di passare al confronto fra campionamenti, si ritiene necessario dare alcune delucidazioni riguardo il razionale adottato. Il focus principale del progetto è monitorare l'andamento nel tempo della concentrazione urinaria degli analiti a seguito dell'attivazione dell'inceneritore. È però importante ricordare che, dato il numero elevato di analiti indagati, non è possibile escludere l'eventualità di osservare alcune differenze, dovute non tanto ai fattori ambientali indagati, ma piuttosto all'effetto del caso. Come spesso ricordato durante questo e i precedenti rapporti, la modificazione di parametri fisiologici come la concentrazione dei metaboliti urinari deve essere sempre considerata in un ambito globale, in cui i singoli risultati, per essere attendibili, devono essere sia coerenti fra loro sia plausibili da un punto di vista biologico.

**Persistenza/eliminazione dei traccianti dall'organismo.** Poiché l'emivita delle molecole e degli elementi indagati è diversa, ci si aspetta che anche la modificazione delle concentrazioni urinarie a seguito di esposizione sia differente. Gli inquinanti di origine organica vengono smaltiti dall'organismo in un arco temporale dell'ordine, al massimo, di pochi giorni; pertanto ci si attende che l'effetto dovuto all'esposizione si evidenzi già a partire dal primo campionamento post operam. Parlando invece della concentrazione urinaria di metalli, è noto come questi elementi tendano al bio-accumulo quindi, in caso di esposizione costante e prolungata, dovrebbe essere possibile osservare un progressivo innalzamento dei valori mediani nel tempo. Data la diversità nelle dinamiche seguite dai traccianti nell'organismo, per confrontare le concentrazioni degli analiti nei diversi campionamenti è stato fatto uso di test statistici diversi: per le sostanze organiche sono stati impiegati il test di Kruskal Wallis (campioni indipendenti) e di Friedman (campioni ripetuti), mentre per i metalli sono stati utilizzati i test specifici per il trend di Jonckheere-Terpstra (campioni indipendenti) e di Page (campioni ripetuti).

**Plausibilità dei traccianti.** Come mostrato in Tabella 3, i biomarcatori organici sono suddivisi per "famiglie" (naftolo e 1-idrossipirene; metaboliti del Benzene e della Nicotina; metaboliti dello stirene; BTEX, stirene e MTBE). La variazione della concentrazione di una molecola può essere considerata indice di esposizione soltanto se associata alla variazione di altre molecole appartenenti alla stessa famiglia, in caso contrario non è possibile formulare ipotesi plausibili sulla causa della singola modificazione osservata. Per quanto riguarda i metalli invece, si deve tener conto del fatto che alcuni elementi seguono delle vie di assunzione preferenziali la cui dinamica è normalmente molto più efficace rispetto all'assunzione per via aerea. Evidenze ormai consolidate fanno riferimento all'assorbimento del mercurio - che avviene principalmente attraverso l'alimentazione e particolarmente a seguito del consumo di pesce e molluschi - e all'assorbimento del cadmio nei fumatori ove, data la costanza nell'esposizione al fumo di sigaretta, è spesso possibile osservare un gradiente di accumulo.

### Coerenza degli scenari osservati.

- 1) Il confronto fra campionamenti è stato ripetuto in due scenari differenti: nel primo scenario sono stati confrontati i risultati di tutti i prelievi eseguiti durante le campagne a prescindere dal fatto che i partecipanti abbiano aderito a tutte e quattro i campionamenti o soltanto ad alcuni (campioni indipendenti). Nel secondo scenario sono stati analizzati soltanto i dati riferiti a coloro che hanno partecipato a tutte e quattro le campagne di campionamento (misure ripetute). Nel caso si osservi la modificazione nelle concentrazioni di uno o più analiti, questa è da ritenersi tanto più informativa quanto più tale modificazione compare sia nel confronto dei campioni indipendenti (che coinvolge tutti i partecipanti), sia nel confronto del sotto gruppo di misure ripetute, che considera solo i partecipanti a tutte e quattro le sessioni. Nel confronto dei campioni indipendenti infatti, parte della variabilità fra i gruppi è dovuta alla variabilità individuale e non ad eventi intercorsi nel tempo.

Nel confronto delle misure ripetute invece la componente della varianza dovuta a fattori individuali è molto più limitata (in questo caso infatti, ogni soggetto funge da controllo di sé stesso). Nel nostro caso la debolezza del confronto per misure ripetute risiede nella bassa numerosità campionaria, problema che invece non sussiste per i campioni indipendenti. Per le motivazioni appena elencate si è deciso di presentare le tabelle relative ad entrambi i confronti (sia quello per campioni indipendenti che quello per campioni ripetuti), rimarcando però la maggiore valenza delle differenze che si osservano in entrambi gli approcci contemporaneamente. Eventuali risultati presenti in una sola delle due procedure vengono comunque considerati e discussi, ma con la cautela richiesta dal caso.

- 2) Il gruppo di partecipanti degli Istituti Penitenziari è stato mantenuto separato dal gruppo dei lavoratori del PAIP: dopo la coerenza fra confronto fra campioni indipendenti e misure ripetute, le differenze osservate vengono ritenute maggiormente plausibili se risultano presenti sia per gli Istituti Penitenziari che per il gruppo del PAIP.
- 3) Pur attribuendo minor plausibilità rispetto ai due casi precedenti, un risultato deve essere considerato anche alla luce della coerenza fra i fumatori e i non fumatori, nonostante il fumo sia indubbiamente il più forte fra i confondenti noti nell'ambito del biomonitoraggio dando di conseguenza maggiore forza alle informazioni relative al gruppo dei non fumatori.

## Confronto fra raccolte - tutti i partecipanti

I dati mostrati in questo paragrafo fanno riferimento a tutti i partecipanti al progetto di sorveglianza, indipendentemente dal numero di raccolte alle quali hanno partecipato. Negli Istituti Penitenziari l'adesione al progetto è risultata calare nel tempo, particolarmente per quanto riguarda la quarta campagna di raccolta. Al contrario il numero di adesioni presso il PAIP è andato aumentando anche grazie all'aumento del personale impiegato presso il Polo Ambientale. In questa e nelle tabelle successive sono riportati soltanto i dati per i quali è stato possibile effettuare valutazioni e analisi (numerosità sufficiente nei diversi sottogruppi, concentrazioni urinarie nella norma, ecc.).

	Penitenziario				PAIP			
	1° racc.	2° racc.	3° racc.	4° racc.	1° racc.	2° racc.	3° racc.	4° racc.
n.	153	139	134	77	20	24	30	29
dipendenti/detenuti Penitenziario	70/83	74/65	81/53	31/46	–	–	–	–
non fumatori/fumatori	96/57	95/44	93/41	57/19	12/7	14/10	20/10	19/10

Tabella 12. Distribuzione dei soggetti che hanno partecipato ai vari momenti di raccolta. L'abitudine al fumo è stata ridefinita sulla base dei valori di cotinina, nei pochi casi in cui tali valori sono risultati incerti i soggetti sono stati esclusi dalle analisi.

## Istituti Penitenziari, tutti i soggetti

Sia nelle analisi mostrate di seguito che in quelle eseguite sul sotto-campione di partecipanti a tutte le raccolte, per ciascun analita, il numero di casi disponibili per la conduzione dei test statistici (seconda colonna) varia in funzione della concentrazione di creatinina (che deve risultare compresa fra 0.3 e 3 g/l) e della disponibilità del dato della centralina per la registrazione del PM10 atmosferico nel giorno di prelievo. La tabella mostra, per ogni famiglia di molecole, il numero di casi disponibile.

### Non fumatori

Penitenziario, non fumatori					
analiti	n.T1/T2/T3/T4	T1	T2	T3	T4
PM10 (stazione mobile)	96/92/85/53	25.0[20.0-28.0]	45.0[43.0-69.0]	27.0[23.0-31.0]	<b>53.0[39.0-59.0]</b>
Benzene (ug_l)	96/95/93/57	<b>0.24[0.18-0.29]</b>	0.16[0.13-0.23]	0.13[0.10-0.23]	0.24[0.18-0.52]
Toluene (ug_l)	96/95/93/57	0.98[0.90-1.01]	0.69[0.58-0.95]	0.59[0.43-0.93]	<b>1.03[0.65-1.67]</b>
Etilbenzene (ug_l)	96/95/93/57	<b>0.42[0.40-0.47]</b>	0.29[0.20-0.47]	0.36[0.31-0.42]	0.37[0.16-0.83]
Xileni (ug_l)	96/95/93/57	0.21[0.20-0.22]	0.18[0.15-0.21]	<b>0.29[0.24-0.40]</b>	0.17[0.11-0.39]
Stirene (ug_l)	96/95/93/57	<b>0.23[0.21-0.24]</b>	0.19[0.13-0.23]	0.08[0.06-0.12]	0.11[0.08-0.37]
MTBE (ug_l)	96/95/93/57	0.68[0.19-1.53]	<b>1.38[0.20-2.37]</b>	0.38[0.30-0.48]	0.49[0.22-1.76]
tt_MA (ug_g cr)	93/91/88/54	32.6[17.9-51.30]	<b>87.66[58.14-115.5]</b>	31.3[20.5-47.8]	21.79[16.69-27.95]
AFM (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>0.33[0.23-0.59]</b>	0.17[0.13-0.245]	0.14[0.09-0.20]	0.21[0.16-0.30]
AM (mg_g cr)	93/91/88/54	<b>0.26[0.18-0.39]</b>	0.13[0.09-0.19]	0.18[0.13-0.22]	0.09[0.07-0.12]
AFG (mg_g cr)	93/91/88/54	0.19[0.15-0.28]	<b>0.33[0.13-0.53]</b>	0.17[0.13-0.21]	0.06[0.02-0.10]
AFIEM (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>8.10[4.45-11.60]</b>	5.09[3.06-8.91]	3.31[1.64-6.00]	0.58[0.35-0.96]
VP (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>198[134-294]</b>	54.12[35.4-93.5]	76.18[49.39-124.07]	115.4[71.4-142.7]
NOH (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>45.30[19.3-90.65]</b>	19.33[12.29-29.77]	15.57[10.63-25.37]	9.55[6.09-16.13]
1OHP (ug_g cr)	89/91/87/53	0.40[0.16-0.81]	<b>0.63[0.34-1.04]</b>	0.19[0.08-0.38]	0.35[0.20-0.50]
COT (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>4.79[2.74-9.42]</b>	3.41[2.23-5.66]	3.74[2.56-6.68]	3.26[1.75-4.46]
Cd (ug_g cr)	93/91/88/54	0.16[0.09-0.29]	<b>0.19[0.11-0.29]</b>	0.17[0.08-0.27]	0.13[0.06-0.25]
Cr (ug_g cr)	93/91/88/54	0.06[n.d.-0.40]	<b>0.17[n.d.-0.50]</b>	0.08[n.d.-0.14]	0.14[n.d.-0.24]
Sn (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>0.35[0.17-0.79]</b>	0.24[0.13-0.47]	0.26[0.16-0.36]	0.28[0.18-0.45]
Tl (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>0.29[0.19-0.63]</b>	0.26[0.19-0.37]	0.24[0.13-0.56]	0.25[0.15-0.54]
Ni (ug_g cr)	93/91/88/54	<b>1.39[0.71-2.07]</b>	1.04[0.56-2.10]	0.75[0.49-1.15]	0.87[0.55-1.56]
Mn (ug_g cr)	46/91/88/54	0.11[n.d.-0.29]	<b>0.37[0.22-0.62]</b>	0.12[n.d.-0.19]	0.28[0.10-0.44]
V (ug_g cr)	0/0/52/0	–	–	0.05[n.d.-0.11]	–
Hg (ug_g cr)	93/48/88/54	0.25[0.10-0.76]	0.28[0.13-0.56]	0.41[0.19-0.76]	<b>0.52[0.12-1.10]</b>

Tabella 13. Penitenziario, non fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”. In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro calcolate per ciascun analita.

PM10 atmosferico misurato dalla stazione mobile di ARPAE.

Le mediane in grassetto hanno soltanto lo scopo di mettere in evidenza, per ciascun indicatore, in quale tempo di campionamento è stata riscontrata la mediana maggiore. Come è possibile osservare in tabella, le mediane con i valori più alti sono quasi sempre state registrate nella prima o nella seconda campagna. Quando la registrazione più alta è caratteristica della seconda (o molto raramente della terza) campagna, la mediana del campionamento successivo torna solitamente a valori piuttosto bassi, venendo così a mancare la plausibilità biologica relativa alla persistenza o all'accumulo di sostanze nei campionamenti successivi

all'accensione del PAIP. Soltanto due marcatori urinari risultano evidenziati nella quarta campagna: il toluene (test KW:  $p < 0.001$ ) e il mercurio (test JT per il trend:  $p = 0.008$ ). Per quanto riguarda il toluene si osserva che i valori registrati nel quarto campionamento in realtà sono molto simili a quelli registrati ad inceneritore spento, inoltre nessun altro inquinante organico risulta seguire lo stesso andamento. Il mercurio sembrerebbe essere l'unico metallo in aumento tuttavia, come ricordato precedentemente, la principale modalità di assunzione per questo metallo non è la respirazione, bensì l'alimentazione.

## Fumatori

La concentrazione dei biomarcatori urinari è inevitabilmente modificata dall'abitudine al fumo, di conseguenza questa tabella ha l'unico scopo di costituire un ulteriore approfondimento delle osservazioni emerse nel gruppo corrispondente dei non fumatori (tabella precedente: Istituti Penitenziari, non fumatori).

Penitenziario. fumatori					
analiti	n.T1/T2/T3/T4	T1	T2	T3	T4
PM10	57/43/36/17	25.0 [16.0-28.0]	45.0 [41.0-69.0]	28.0 [23.0-31.75]	<b>53.0 [22.0-59.0]</b>
Benzene (ug_l)	53/44/41/19	0.61 [0.29-1.67]	0.73[0.20-1.31]	<b>0.75[0.37-0.92]</b>	0.34[0.30-0.75]
Toluene (ug_l)	53/44/41/19	0.96 [0.90-0.99]	0.84[0.66-0.99]	0.86[0.71-0.96]	<b>1.03[0.65-1.31]</b>
Etilbenzene (ug_l)	53/44/41/19	0.43 [0.40-0.45]	0.35[0.22-0.51]	0.37 [0.21-0.43]	<b>0.49[0.22-0.68]</b>
Xileni (ug_l)	53/44/41/19	0.21 [0.20-0.22]	0.23[0.19-0.29]	<b>0.37[0.28-0.46]</b>	0.25[0.18-0.36]
Stirene (ug_l)	53/44/41/19	<b>0.24 [0.22-0.25]</b>	0.21[0.16-0.27]	0.15[0.08-0.18]	0.11[0.09-0.14]
MTBE (ug_l)	53/44/41/19	0.53 [0.23-1.36]	<b>1.10[0.25-1.68]</b>	0.33[0.17-0.50]	0.40[0.32-0.74]
tt_MA (ug_g cr)	57/40/40/19	76.6 [45.35-122.5]	<b>173.76[97.75-278.38]</b>	86.39 [54.6-110.74]	66.54[40.78-85.70]
AFM (ug_g cr)	57/40/40/19	<b>1.09 [0.58-2.13]</b>	0.93 [0.58-1.39]	0.58[0.31-1.43]	0.84 [0.51-1.52]
AM (mg_g cr)	57/40/40/19	<b>0.51 [0.35-0.86]</b>	0.27 [0.18-0.45]	0.32[0.21-0.41]	0.20[0.16-0.30]
AFG (mg_g cr)	57/40/40/19	0.33 [0.24-0.49]	<b>0.65[0.17-0.97]</b>	0.26 [0.23-0.34]	0.11[0.03-0.19]
AFIEM (ug_g cr)	57/40/40/19	5.42 [3.59-9.00]	<b>9.59 [4.75-16.88]</b>	7.76[4.74-14.89]	0.70[0.47-1.44]
VP (ug_g cr)	57/40/40/19	<b>584.0[415.0-943.5]</b>	136.14[88.39-266.54]	220.06[134.11-364.29]	356.74[290.69-501.81]
NOH (ug_g cr)	57/40/40/19	<b>94.02[61.85-132.5]</b>	69.88[43.04-101.56]	60.40[38.63-83.58]	58.27[29.27-71.04]
1OHP (ug_g cr)	56/40/40/19	1.07[0.45-1.78]	0.55[0.33-1.08]	<b>1.12[0.71-1.57]</b>	0.66[0.42-1.09]
COT (ug_g cr)	57/40/40/19	<b>1771 [1193.5-2720.5]</b>	1096.39[620.48-1929.74]	926.78[579.07-1804.59]	820.25[555.399-1129.60]
Cd (ug_g cr)	53/40/40/19	<b>0.30[0.17-0.44]</b>	0.28[0.18-0.64]	0.27[0.17-0.39]	0.29[0.12-0.53]
Cr (ug_g cr)	53/40/40/19	0.16 [n.d.-0.52]	<b>0.20[n.d.-0.78]</b>	0.08 [n.d.-0.16]	0.12[n.d.-0.28]
Sn (ug_g cr)	53/40/40/19	0.48[0.25-1.08]	0.41[0.18-0.63]	0.28 [0.16-0.53]	<b>0.56[0.30-1.04]</b>
Tl (ug_g cr)	53/40/40/19	<b>0.28[0.16-0.51]</b>	0.27[0.18-0.39]	0.19[0.12-0.49]	0.22[0.15-0.65]
Ni (ug_g cr)	53/40/40/19	<b>1.25 [0.77-1.89]</b>	1.00 [0.54-1.95]	0.82[0.44-1.67]	1.00 [0.80-1.82]
Mn (ug_g cr)	24/40/40/19	0.07[n.d.-0.22]	<b>0.44[0.19-0.59]</b>	0.14 [n.d.-0.24]	0.38[0.18-0.75]
V (ug_g cr)	0/0/26/0	–	–	0.04 [n.d.-0.11]	–
Hg (ug_g cr)	54/21/40/19	0.15[0.06-0.40]	0.30[0.21-0.47]	0.31[0.13-0.67]	<b>0.49[0.13-1.61]</b>

Tabella 14. Penitenziario, fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come "mediana [primo quartile – terzo quartile]". In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro calcolate per ciascun analita.

Particolarmente interessante risulta l'andamento della concentrazione di cotinina (test KW:  $p < 0.001$ ). Osservando i risultati delle quattro campagne emerge una riduzione dell'abitudine al fumo che potrebbe essersi addirittura ripercossa sui valori di cotinina registrati nei non fumatori (test KW:  $p = 0.006$ ), per i quali l'unica modalità di assunzione della nicotina risulta essere il fumo passivo (si veda la precedente Tabella relativa a Penitenziario, non fumatori). Tale riduzione potrebbe essere attribuibile, perlomeno in parte, alla campagna di sensibilizzazione operata dagli operatori AUSL presso gli Istituti Penitenziari, dove l'abitudine al fumo è risultata da subito molto radicata. Per promuovere uno stile di vita più sano è stato infatti predisposto un volantino informativo da consegnarsi insieme alla relazione tecnica sui risultati riguardanti

la prima e la seconda campagna di campionamento. In tale brochure è stato enfatizzato l'effetto del fumo sull'aumento della concentrazione di metaboliti urinari, nonché l'effetto positivo sulla riduzione di tali metaboliti nei soggetti che hanno dichiarato di svolgere abitualmente attività fisica.

## PAIP, tutti i soggetti

### Non fumatori

PAIP, non fumatori					
Analiti	n.T1/T2/T3/T4	T1	T2	T3	T4
PM10	12/14/20/19	34.0[25.0-42.0]	<b>54.0[43.0-69.0]</b>	32.0[27.25-34.75]	25.0[20.0-53.0]
Benzene (ug_l)	12/14/20/19	0.18[0.14-0.20]	<b>0.19[0.15-0.22]</b>	0.10[0.09-0.13]	0.17[0.12-0.23]
Toluene (ug_l)	12/14/20/19	0.80[0.62-1.00]	<b>0.82[0.60-0.97]</b>	0.47[0.32-0.72]	0.72[0.44-1.30]
Etilbenzene (ug_l)	12/14/20/19	<b>0.44[0.37-0.50]</b>	0.42[0.21-0.54]	0.13[0.11-0.19]	0.16[0.12-0.24]
Xileni (ug_l)	12/14/20/19	<b>0.20[0.19-0.20]</b>	0.19[0.18-0.21]	0.15[0.15-0.18]	0.11[0.09-0.14]
Stirene (ug_l)	12/14/20/19	<b>0.23[0.20-0.28]</b>	0.22[0.19-0.24]	0.07[0.06-0.11]	0.07[0.06-0.11]
MTBE (ug_l)	12/14/20/19	<b>2.29[0.76-3.40]</b>	1.18[0.91-1.75]	0.29[0.23-0.40]	0.21[0.16-0.32]
tt_MA (ug_g cr)	12/13/18/19	23.35[13.80-54.30]	<b>52.94[33.41-80.20]</b>	28.1[25.49-33.15]	24.93[21.44-53.53]
AFM (ug_g cr)	12/13/18/19	<b>0.23[0.16-0.38]</b>	0.11[0.10-0.15]	0.12[0.10-0.17]	0.18[0.10-0.28]
AM (mg_g cr)	12/13/18/19	<b>0.35[0.24-0.44]</b>	0.11[0.09-0.18]	0.18[0.10-0.25]	0.11[0.08-0.15]
AFG (mg_g cr)	12/13/18/19	<b>0.19[0.16-0.29]</b>	0.18[0.10-0.64]	0.16[0.15-0.19]	0.08[n.d-0.12]
AFIEM (ug_g cr)	12/13/18/19	<b>5.32[4.30-9.28]</b>	3.71[2.42-5.81]	4.77[1.22-7.72]	0.67[0.36-1.03]
VP (ug_g cr)	12/13/18/19	<b>171.5[144.8-376.3]</b>	56.4[29.0-126.7]	64.2[36.9-205.3]	112.9[77.1-152.4]
NOH (ug_g cr)	12/13/18/19	<b>92.45[60.83-105.75]</b>	15.66[10.64-26.04]	21.08[12.66-31.16]	15.9[10.13-30.41]
1OHP (ug_g cr)	12/13/18/19	0.29 [0.13-0.38]	<b>0.35[0.30-0.50]</b>	0.26[0.04-0.49]	0.29[0.16-0.46]
COT (ug_g cr)	12/13/18/19	1.54[1.22-2.02]	1.43[0.86-2.76]	<b>2.99[1.78-3.46]</b>	1.39[0.91-2.71]
Cd (ug_g cr)	12/13/18/19	0.28[0.22-0.45]	0.27[0.23-0.41]	<b>0.31[0.21-0.38]</b>	0.08[0.06-0.15]
Cr (ug_g cr)	12/13/18/19	0.13[0.09-0.18]	<b>0.17[0.11-0.37]</b>	0.13[0.08-0.18]	0.08[n.d.-0.30]
Sn (ug_g cr)	12/13/18/19	0.09 [0.06-0.26]	0.10[0.08-0.36]	0.25[0.15-0.67]	<b>0.25[0.14-0.49]</b>
Tl (ug_g cr)	12/13/18/19	0.20[0.14-0.22]	0.15[0.11-0.20]	<b>0.22[0.15-0.37]</b>	0.16[0.10-0.33]
Ni (ug_g cr)	12/13/18/19	<b>1.29[0.67-1.62]</b>	1.14[0.56-2.00]	0.50[0.16-1.06]	1.27[0.55-2.10]
Mn (ug_g cr)	12/13/18/19	0.07[n.d.-0.16]	0.34[0.19-1.09]	0.24[0.18-0.31]	<b>0.51[0.35-0.64]</b>
V (ug_g cr)	12/13/18/0	0.05[n.d.-0.07]	<b>0.09[0.06-0.12]</b>	0.08[n.d.-0.11]	n.d.
Hg (ug_g cr)	12/13/18/19	0.38[0.31-0.61]	0.46[0.25-0.58]	<b>0.68[0.35-1.11]</b>	0.42[0.16-0.94]

Tabella 15. PAIP, non fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”. In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro calcolate per ciascun analita.

Nel gruppo dei lavoratori del PAIP, gli unici parametri a mostrare valori più alti nel 2015 sono risultati essere stagno (test JT: P<0.001) e manganese (test JT: P<0.001). Sebbene si rilevi un aumento, è tuttavia necessario sottolineare che il manganese mostra valori altalenanti, poco compatibili con un fenomeno di bio-accumulo; inoltre, per questo elemento, sono note altre vie di assunzione (principalmente fumo e alimentazione).

## Fumatori

Nei pochi lavoratori PAIP con abitudine al fumo, si riconferma una maggior concentrazione di stagno (Test JT: p=0.003) e manganese (test JT: p=0.03) nei campioni post operam.

PAIP, fumatori					
analiti	n.T1/T2/T3/T4	T1	T2	T3	T4
PM10	6/10/10/10	28.0[25.0-42.0]	<b>69.0[57.0-76.0]</b>	33.0[30.8-51.0]	22.5[19.0-29.0]
Benzene (ug_l)	7/10/10/10	0.27[0.27-0.47]	0.72[0.21-1.16]	<b>1.08[0.43-1.50]</b>	0.96[0.30-1.29]
Toluene (ug_l)	7/10/10/10	0.90[0.58-1.01]	0.90[0.67-0.95]	0.73[0.48-0.92]	<b>1.08[0.90-1.48]</b>
Etilbenzene (ug_l)	7/10/10/10	0.43[0.37-0.51]	0.40[0.19-0.50]	0.14[0.12-0.23]	<b>0.50[0.19-0.86]</b>
Xileni (ug_l)	7/10/10/10	0.20[0.19-0.23]	0.21[0.20-0.25]	0.18[0.15-0.27]	<b>0.25[0.13-0.65]</b>
Stirene (ug_l)	7/10/10/10	0.19[0.18-0.37]	<b>0.23[0.22-0.26]</b>	0.09[0.05-0.19]	0.14[0.08-0.30]
MTBE (ug_l)	7/10/10/10	0.93[0.81-3.17]	<b>1.14[0.42-1.49]</b>	0.26[0.20-0.33]	0.62[0.25-1.25]
tt_MA (ug_g cr)	7/10/10/9	61.00[55.70-136.00]	<b>163.33[131.71-361.31]</b>	99.08[53.37-172.91]	72.61[68.21-123.15]
AFM (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>0.81[0.35-1.61]</b>	0.47[0.35-0.89]	0.37[0.27-0.96]	0.65[0.50-1.03]
AM (mg_g cr)	7/10/10/9	<b>0.82[0.41-0.83]</b>	0.25[0.19-0.36]	0.29[0.24-0.45]	0.17[0.14-0.28]
AFG (mg_g cr)	7/10/10/9	0.38[0.26-0.69]	<b>0.56[0.26-0.63]</b>	0.23[0.16-0.36]	0.13[0.08-0.22]
AFIEM (ug_g cr)	7/10/10/9	8.98[4.56-11.40]	8.24[5.78-14.14]	<b>10.08[6.61-14.89]</b>	0.98[0.71-1.68]
VP (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>479[326.0-1179.0]</b>	110.6[68.7-191.7]	184.7[106.9-382.0]	268.7[164.2-532.5]
NOH (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>127[114.0-144.0]</b>	36.46[28.39-91.72]	47.80[24.50-91.38]	44.78[22.78-71.5]
1OHP (ug_g cr)	7/10/10/9	0.45[0.19-0.70]	0.27[0.16-0.51]	<b>0.92[0.57-1.65]</b>	0.51[0.32-0.89]
COT (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>1265[720-2295]</b>	643[454-1378]	698[269-1745]	555[324-1001]
Cd (ug_g cr)	7/10/10/9	0.43[0.32-0.49]	0.39[0.27-0.55]	<b>0.44[0.26-0.63]</b>	0.19[0.12-0.35]
Cr (ug_g cr)	7/10/10/9	0.12[0.07-0.21]	<b>0.20[0.09-0.33]</b>	0.14[0.09-0.15]	0.10[n.d.-0.24]
Sn (ug_g cr)	7/10/10/9	0.10[0.08-0.24]	0.11[0.08-0.17]	<b>0.34[0.27-0.53]</b>	0.22[0.16-0.66]
Tl (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>0.19[0.18-0.23]</b>	0.16[0.10-0.20]	0.17[0.14-0.30]	0.16[0.09-0.20]
Ni (ug_g cr)	7/10/10/9	<b>1.31[0.60-2.04]</b>	1.26[0.49-1.51]	0.92[0.14-1.70]	1.05[0.84-2.18]
Mn (ug_g cr)	7/10/10/9	0.05[n.d.-0.14]	<b>0.46[0.20-0.91]</b>	0.15[0.11-0.26]	0.38[0.18-0.65]
V (ug_g cr)	7/10/10/0	<b>0.09[0.05-0.14]</b>	0.07[n.d.-0.15]	0.09[0.06-0.11]	n.d.
Hg (ug_g cr)	7/10/10/9	0.41[0.10-0.47]	0.21[0.11-0.66]	<b>0.46[0.21-1.24]</b>	0.21[0.11-0.96]

Tabella 16. PAIP, fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come "mediana [primo quartile – terzo quartile]". In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro calcolate per ciascun analita.

## Confronto fra raccolte – solo i soggetti che hanno partecipato a tutti e quattro gli eventi

Poiché le analisi statistiche esposte di seguito riguardano soltanto i soggetti che hanno partecipato a tutte e quattro le raccolte, la numerosità campionaria è inevitabilmente bassa; la tabella seguente riporta la distribuzione dei soggetti in funzione della stratificazione operata.

	Penitenziario	PAIP
n.	36	17
dipendenti/detenuti Penitenziario	10/26	–
non fumatori/fumatori	29/7	11/6

Tabella 17. Distribuzione dei soggetti che hanno partecipato a tutte e quattro le raccolte di urina.

Sono stati eseguiti test per misure ripetute separatamente per Penitenziario e PAIP e, data la forte influenza dell'abitudine al fumo, i soggetti sono stati ulteriormente stratificati in fumatori e non fumatori.

## Istituti Penitenziari, misure ripetute

### Non fumatori

Il numero totale di soggetti non fumatori afferenti al Penitenziario e coinvolti in tutte e quattro le raccolte ammonta a 29. Per ciascun analita, il numero di casi disponibili per l'analisi statistica varia in funzione della concentrazione di creatinina (che deve risultare compresa fra 0.3 e 3 g/l) e del funzionamento della centralina per la registrazione del PM10 atmosferico nel giorno di prelievo.

Penitenziario, non fumatori					
analiti	n.di casi	T1	T2	T3	T4
PM10	23	20.0[20.0-25.0]	43.0[43.0-45.0]	24.0[23.0-28.0]	<b>53.0[39.0-59.0]</b>
Benzene (ug_l)	29	<b>0.26[0.22-0.30]</b>	0.16[0.13-0.45]	0.12[0.10-0.15]	0.22[0.17-0.41]
Toluene (ug_l)	29	<b>0.99[0.89-1.01]</b>	0.90[0.68-1.11]	0.54[0.41-0.68]	0.75[0.59-1.53]
Etilbenzene (ug_l)	29	<b>0.42[0.40-0.46]</b>	0.37[0.24-0.50]	0.34[0.27-0.42]	0.21[0.16-0.71]
Xileni (ug_l)	29	0.21[0.20-0.22]	0.20[0.17-0.22]	<b>0.30[0.24-0.40]</b>	0.13[0.10-0.27]
Stirene (ug_l)	29	<b>0.22[0.21-0.24]</b>	0.14[0.11-0.24]	0.07[0.05-0.10]	0.09[0.08-0.18]
MTBE (ug_l)	29	0.70[0.22-1.30]	<b>1.39[0.61-2.47]</b>	0.41[0.25-0.50]	0.39[0.20-1.08]
tt_MA (ug_g cr)	25	17.9[26.90-38.65]	<b>60.36[76.76-111.96]</b>	20.11[30.68-36.85]	16.89[20.67-25.43]
AFM (ug_g cr)	25	<b>0.45[0.27-0.81]</b>	0.19[0.15-0.26]	0.17[0.12-0.25]	0.25[0.20-0.40]
AM (mg_g cr)	25	<b>0.26[0.16-0.34]</b>	0.16[0.12-0.22]	0.20[0.15-0.25]	0.11[0.08-0.13]
AFG (mg_g cr)	25	0.16[0.15-0.24]	<b>0.19[0.10-0.48]</b>	0.15[0.11-0.21]	0.07[0.03-0.11]
AFIEM (ug_g cr)	25	<b>5.85[3.65-9.73]</b>	4.56[3.03-7.09]	3.32[1.55-6.05]	0.68[0.39-1.22]
VP (ug_g cr)	25	<b>216[164.5-313.5]</b>	63.65[51.27-105.65]	111.57[64.68-167.08]	117.45[79.55-141.14]
NOH (ug_g cr)	25	<b>73.4[24.6-116.5]</b>	20.15[11.37-25.29]	13.60[10.38-23.80]	9.02[5.53-14.19]
1OHP (ug_g cr)	24	0.50[0.14-1.42]	<b>0.56[0.31-0.88]</b>	0.31[0.09-0.53]	0.39[0.23-0.66]
COT (ug_g cr)	25	<b>4.79[3.17-9.2]</b>	3.54[5.50-5.79]	4.49[2.93-7.81]	3.67[1.98-5.31]
Cd (ug_g cr)	25	<b>0.24[0.13-0.41]</b>	0.22[0.11-0.32]	0.14[0.05-0.26]	0.17[0.1-0.40]
Cr (ug_g cr)	25	<b>0.30[0.026-0.91]</b>	0.28[0.11-0.65]	0.07[0.03-0.11]	0.11[0.04-0.27]
Sn (ug_g cr)	25	0.31[0.11-0.50]	0.20[0.12-0.34]	0.22[0.14-0.41]	<b>0.31[0.15-0.47]</b>
Tl (ug_g cr)	25	<b>0.48[0.25-2.22]</b>	0.36[0.22-0.51]	0.44[0.16-1.41]	0.41[0.21-0.71]
Ni (ug_g cr)	25	1.24[0.51-2.069]	<b>1.44[0.88-2.80]</b>	0.94[0.51-1.29]	0.88[0.55-1.55]
Mn (ug_g cr)	7	0.14[0.02-0.29]	0.03[0.02-0.27]	<b>0.23[0.05-0.31]</b>	0.20[0.08-0.63]
V (ug_g cr)	-	-	-	-	nd
Hg (ug_g cr)	7	0.20[0.13-0.56]	0.28[0.17-0.53]	<b>0.44[0.15-0.58]</b>	0.31[0.04-0.60]

Tabella 18. Penitenziario, non fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili (e quindi di ripetute) e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come "mediana [primo quartile – terzo quartile]". In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro disponibili per ciascun analita.

I dati relativi alle persone che hanno aderito a tutte e quattro le campagne di campionamento non confermano quanto osservato per i campioni indipendenti riguardo toluene (la mediana più alta è registrata nell'ante operam) e mercurio (test di Page:  $p=0.28$ , non significativo).

## Fumatori

Il numero totale dei soggetti fumatori presso gli Istituti Penitenziari ammonta a 7, si sottolinea pertanto che i dati esposti di seguito devono essere valutati con la debita cautela, soprattutto nei casi in cui la numerosità campionaria è ulteriormente scesa in sede di analisi laboratoriale.

Penitenziario, fumatori					
analiti	n.di casi	T1	T2	T3	T4
PM10	7	20.0[16.0-25.0]	<b>43.0[41.00-97.0]</b>	25.0[23.0-32.0]	39.0[22.0-59.0]
Benzene (ug_l)	6	<b>0.93[0.39-1.63]</b>	0.51[0.16-0.92]	0.75[0.32-0.95]	0.32[0.29-0.34]
Toluene (ug_l)	6	<b>0.95[0.88-1.02]</b>	0.71[0.59-0.92]	0.78[0.60-0.92]	0.91[0.47-1.23]
Etilbenzene (ug_l)	6	<b>0.43[0.39-0.47]</b>	0.31[0.21-0.36]	0.42[0.29-0.56]	0.39[0.17-0.74]
Xileni (ug_l)	6	0.23[0.22-0.26]	0.22[0.18-0.28]	<b>0.39[0.33-0.49]</b>	0.20[0.17-0.31]
Stirene (ug_l)	6	<b>0.25[0.24-0.27]</b>	0.20[0.09-0.29]	0.12[0.06-0.16]	0.11[0.07-0.22]
MTBE (ug_l)	6	0.32[0.23-0.60]	<b>1.07[0.33-1.49]</b>	0.39[0.29-0.69]	0.38[0.30-0.89]
tt_MA (ug_g cr)	6	152.00[61.23-223.0]	<b>225.86[92.83-457.77]</b>	110.06[87.75-146.84]	62.43[52.67-173.73]
AFM (ug_g cr)	6	<b>2.14[1.12-4.78]</b>	1.16[0.76-2.09]	1.32[0.58-2.58]	1.40[0.61-2.54]
AM (mg_g cr)	6	<b>0.86[0.48-2.20]</b>	0.43[0.20-0.65]	0.44[0.30-0.66]	0.19[0.09-0.39]
AFG (mg_g cr)	6	0.43[0.40-0.66]	<b>0.49[0.09-1.76]</b>	0.31[0.21-0.55]	0.08[0.02-0.14]
AFIEM (ug_g cr)	6	5.13[4.27-9.12]	11.87[4.30-18.52]	<b>16.68[3.29-18.38]</b>	0.85[0.46-3.21]
VP (ug_g cr)	6	<b>1059.5[687.75-1371.25]</b>	257.39[86.49-354.62]	351.90[267.88-498.20]	365.98[188.01-554.50]
NOH (ug_g cr)	6	<b>136.5[87.48-163.5]</b>	91.03[44.44-138.94]	71.41[50.39-116.35]	47.28[18.86-98.15]
1OHP (ug_g cr)	6	<b>1.18[0.97-1.65]</b>	0.73[0.47-1.02]	1.14[0.94-1.45]	0.97[0.61-1.31]
COT (ug_g cr)	6	<b>2877.5[1214-3636]</b>	1798.5[539.9-2645.9]	1705.9[577.4-2331.14]	1039.1[230.8-1178.8]
Cd (ug_g cr)	5	<b>0.40[0.18-0.72]</b>	0.27[0.07-0.56]	0.07[0.03-0.31]	0.12[0.04-0.58]
Cr (ug_g cr)	5	0.03[0.02-0.03]	<b>0.20[0.03-0.54]</b>	0.04[0.03-0.14]	0.05[0.04-0.31]
Sn (ug_g cr)	5	<b>0.57[0.19-2.54]</b>	0.32[0.24-0.70]	0.27[0.15-0.75]	0.54[0.21-0.85]
Tl (ug_g cr)	5	<b>0.45[0.13-1.99]</b>	0.22[0.18-0.42]	0.24[0.10-1.42]	0.24[0.10-0.59]
Ni (ug_g cr)	5	<b>1.68[1.26-4.47]</b>	1.00[0.67-1.20]	0.51[0.35-2.45]	1.54[0.68-2.35]
Mn (ug_g cr)	3	nd	<b>0.50[0.49-0.51]</b>	0.11[nd-0.20]	nd
V (ug_g cr)	–	–	–	–	nd
Hg (ug_g cr)	3	0.07[0.06-0.23]	0.22[0.22-0.73]	<b>0.24[0.10-0.30]</b>	0.10[nd-0.13]

Tabella 19. Penitenziario, fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili (e quindi di ripetute) e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”. In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro disponibili per ciascun analita.

## PAIP, misure ripetute

### Non fumatori

Il confronto fra campioni ripetuti conferma un lieve aumento nelle concentrazioni di stagno (test di Page:  $p=0.002$ ) e manganese (test di Page:  $p<0.001$ ).

PAIP, non fumatori					
analiti	n.di casi completi	T1	T2	T3	T4
PM10	10	41.0[25.0-42.0]	<b>43.0[43.0-69.0]</b>	33.0[27.0-51.0]	22.5[19.75-53.0]
Benzene (ug_l)	11	0.18[0.14-0.19]	<b>0.18[0.16-0.21]</b>	0.10[0.08-0.12]	0.13[0.12-0.19]
Toluene (ug_l)	11	0.74[0.54-0.99]	<b>0.80[0.60-1.01]</b>	0.45[0.30-0.73]	0.50[0.37-0.69]
Etilbenzene (ug_l)	11	<b>0.44[0.37-0.51]</b>	0.42[0.36-0.54]	0.12[0.11-0.19]	0.15[0.11-0.24]
Xileni (ug_l)	11	<b>0.19[0.18-0.24]</b>	0.19[0.18-0.21]	0.15[0.15-0.18]	0.11[0.08-0.14]
Stirene (ug_l)	11	<b>0.24[0.21-0.29]</b>	0.22[0.19-0.27]	0.07[0.05-0.16]	0.07[0.06-0.10]
MTBE (ug_l)	11	<b>2.29[0.76-3.48]</b>	1.24[0.86-1.77]	0.28[0.23-0.40]	0.22[0.20-0.32]
tt_MA (ug_g cr)	9	38.2[12.4-80.1]	<b>56.8[33.8-80.2]</b>	27.2[26.4-30.6]	26.1[22.03-47.9]
AFM (ug_g cr)	9	<b>0.25[0.14-0.38]</b>	0.10[0.08-0.15]	0.12[0.10-0.23]	0.10[0.08-0.30]
AM (mg_g cr)	9	<b>0.33[0.25-0.45]</b>	0.12[0.09-0.19]	0.18[0.10-0.26]	0.12[0.10-0.16]
AFG (mg_g cr)	9	<b>0.18[0.17-0.22]</b>	0.13[0.09-0.64]	0.16[0.14-0.18]	0.10[0.04-0.15]
AFIEM (ug_g cr)	9	4.93[3.81-5.88]	3.71[2.93-5.65]	<b>5.31[0.98-11.18]</b>	1.03[0.60-1.85]
VP (ug_g cr)	9	<b>158.0[137.0-357.5]</b>	40.64[28.97-123.69]	137.07[73.64-543.35]	112.92[83.25-137.42]
NOH (ug_g cr)	9	<b>97.90[68.90-105.50]</b>	15.66[9.19-26.04]	15.52[8.77-23.60]	10.13[8.26-14.25]
1OHP (ug_g cr)	9	0.29[0.08-0.42]	0.34[0.26-0.44]	<b>0.36[0.03-0.56]</b>	0.29[0.23-0.46]
COT (ug_g cr)	9	1.48[1.28-1.77]	1.47[0.76-2.77]	<b>1.97[1.42-2.99]</b>	0.92[0.60-1.97]
Cd (ug_g cr)	9	<b>0.29[0.18-0.49]</b>	0.27[0.23-0.36]	0.27[0.19-0.36]	0.08[0.06-0.12]
Cr (ug_g cr)	9	0.13[0.09-0.19]	0.15[0.11-0.37]	0.08[0.07-0.15]	<b>0.26[0.02-0.32]</b>
Sn (ug_g cr)	9	0.10[0.08-0.34]	0.19[0.10-0.54]	0.23[0.16-1.18]	<b>0.34[0.23-0.73]</b>
Tl (ug_g cr)	9	0.15[0.14-0.22]	0.15[0.11-0.20]	0.23[0.12-0.70]	<b>0.31[0.09-0.37]</b>
Ni (ug_g cr)	9	<b>1.41[0.71-1.59]</b>	1.14[0.56-2.22]	0.75[0.31-1.41]	1.27[0.48-1.50]
Mn (ug_g cr)	9	0.10[0.06-0.18]	0.35[0.19-1.09]	0.23[0.19-0.27]	<b>0.51[0.38-0.62]</b>
V (ug_g cr)	-	-	-	-	n.d.
Hg (ug_g cr)	9	0.41[0.31-0.59]	0.34[0.16-0.49]	0.69[0.26-1.07]	0.43[0.32-0.83]

Tabella 20. PAIP, non fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili (e quindi di ripetute) e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come "mediana [primo quartile – terzo quartile]". In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro disponibili per ciascun analita.

## Fumatori

La tabella viene riportata per completezza, ma anche in questo caso, vista la numerosità campionaria i dati seguenti non verranno ulteriormente discussi.

PAIP, fumatori					
analiti	n.di casi	T1	T2	T3	T4
PM10	5	28.0[26.5-42.0]	<b>69.0[49.0-83.0]</b>	28.0[27.0-42.0]	25.0[20.0-27.0]
Benzene (ug_l)	6	0.33[0.25-0.54]	0.72[0.21-1.07]	0.36[0.15-0.97]	<b>0.96[0.59-1.32]</b>
Toluene (ug_l)	6	0.80[0.57-0.99]	0.90[0.73-0.64]	0.72[0.48-0.85]	<b>1.12[1.00-1.66]</b>
Etilbenzene (ug_l)	6	0.43[0.38-0.51]	<b>0.47[0.31-0.50]</b>	0.16[0.11-0.23]	0.23[0.19-0.83]
Xileni (ug_l)	6	<b>0.20[0.19-0.23]</b>	0.20[0.20-0.23]	0.16[0.14-0.25]	0.17[0.13-0.65]
Stirene (ug_l)	6	0.21[0.18-0.37]	<b>0.25[0.22-0.26]</b>	0.07[0.05-0.19]	0.09[0.07-0.30]
MTBE (ug_l)	6	<b>1.97[0.76-3.38]</b>	1.17[0.77-1.56]	0.26[0.23-0.30]	0.34[0.25-1.25]
tt_MA (ug_g cr)	6	59.90[49.85-100.2]	<b>161.66[91.68-]</b>	78.52[51.15-]	93.29[65.59-]
AFM (ug_g cr)	6	<b>0.62[0.34-1.88]</b>	0.40[0.29-0.97]	0.32[0.10-0.68]	0.60[0.51-1.04]
AM (mg_g cr)	6	<b>0.79[0.36-0.88]</b>	0.25[0.19-0.43]	0.27[0.20-0.38]	0.16[0.14-0.24]
AFG (mg_g cr)	6	0.24[0.24-0.70]	<b>0.49[0.20-0.63]</b>	0.19[0.15-0.35]	0.14[0.10-0.20]
AFIEM (ug_g cr)	6	8.15[4.35-12.18]	6.61[4.35-17.60]	<b>10.53[9.23-15.26]</b>	1.31[0.96-2.09]
VP (ug_g cr)	6	<b>438.50[317.50-1176.00]</b>	110.63[66.57-171.49]	188.93[85.15-450.83]	220.58[123.22-517.85]
NOH (ug_g cr)	6	<b>139.50[95.60-148.00]</b>	30.55[22.11-64.68]	29.49[21.43-118.64]	37.19[15.84-76.74]
1OHP (ug_g cr)	6	<b>0.52[0.17-0.85]</b>	0.32[0.17-0.56]	0.47[0.09-1.31]	0.49[0.25-0.88]
COT (ug_g cr)	6	<b>1030.00[683.50-2354.75]</b>	564.80[278.01-1308.90]	267.60[125.86-1257.33]	389.43[310.03-1135.78]
Cd (ug_g cr)	6	<b>0.39[0.28-0.47]</b>	0.35[0.23-0.49]	0.36[0.23-0.65]	0.17[0.09-0.34]
Cr (ug_g cr)	6	0.12[0.07-0.28]	<b>0.16[0.09-0.22]</b>	0.12[0.09-0.14]	0.08[0.03-0.28]
Sn (ug_g cr)	6	0.12[0.07-0.26]	0.12[0.08-0.17]	<b>0.35[0.26-0.53]</b>	0.21[0.17-0.45]
Tl (ug_g cr)	6	<b>0.19[0.16-0.24]</b>	0.16[0.11-0.20]	0.19[0.14-0.36]	0.12[0.07-0.17]
Ni (ug_g cr)	6	<b>1.56[0.53-3.25]</b>	1.38[0.56-1.60]	0.36[0.14-1.28]	1.38[0.96-2.08]
Mn (ug_g cr)	6	n.d.	0.27[0.13-0.61]	0.15[0.11-0.24]	<b>0.46[0.19-0.66]</b>
V (ug_g cr)	–	–	–	–	n.d.
Hg (ug_g cr)	6	<b>0.43[0.17-0.56]</b>	0.30[0.16-0.85]	0.32[0.21-1.36]	0.18[0.09-0.70]

Tabella 21. PAIP, fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili (e quindi di ripetute) e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”. In grassetto viene evidenziata la mediana maggiore fra le quattro disponibili per ciascun analita.

## Riassunto del confronto fra i quattro momenti di raccolta

Di seguito viene mostrata una tabella riassuntiva che riporta nella prima colonna gli analiti che sono risultati maggiormente concentrati durante il post operam nei gruppi indipendenti di non fumatori. La plausibilità dei traccianti viene discussa alla luce del rationale dettagliato nel paragrafo “Considerazioni preliminari sul confronto fra campionamenti”. Maggior plausibilità viene attribuita agli analiti la cui concentrazione conferma la dinamica attesa in base ai processi fisiologici di metabolizzazione e che vengono assorbiti preferenzialmente per via aerea. Maggior plausibilità viene inoltre attribuita quando le osservazioni sono le medesime per i campioni indipendenti e i campioni ripetuti.

Analita (non fumatori, campioni indipendenti)	Aumento generale oppure bio-accumulo	Plausibilità in base alla via di assunzione e alla coerenza con gli altri traccianti	Coerenza degli scenari		
			Scenario simile nei campioni ripetuti	Scenario simile in Istituti Penitenziari e Paip	Scenario simile nei fumatori (campioni indipendenti)
Hg, Istituti Penitenziari	Si osserva un lieve aumento nel tempo	La modalità di assunzione predominante è per via alimentare	I campioni ripetuti non confermano l'andamento osservato nei campioni indipendenti	Nessuna coerenza con i risultati dei campionamenti eseguiti presso il PAIP	I fumatori mostrano lo stesso andamento
Toluene, Istituti Penitenziari	Non si evidenzia un aumento generale, i valori mediani più alti si osservano nel quarto campionamento ma anche nell'ante operam	Nessuna coerenza con gli altri idrocarburi	I campioni ripetuti non confermano l'andamento osservato nei campioni indipendenti	Nessuna coerenza con i risultati dei campionamenti eseguiti presso il PAIP	I fumatori mostrano lo stesso andamento
Sn, PAIP	Si osserva un lieve aumento nel tempo	Esistono poche evidenze scientifiche: tra le emissioni sono ritenute rilevanti quelle originate da attività di saldatura	I campioni ripetuti confermano l'andamento osservato nei campioni indipendenti	Nessuna coerenza con i risultati dei campionamenti eseguiti presso il gli Istituti Penitenziari	I fumatori mostrano lo stesso andamento
Mn, PAIP	Si osserva un aumento nel tempo che però non risulta lineare	Può essere assorbito anche per via alimentare o per esposizione a fumo di tabacco	I campioni ripetuti confermano l'andamento osservato nei campioni indipendenti	Nessuna coerenza con i risultati dei campionamenti eseguiti presso il gli Istituti Penitenziari	I fumatori mostrano lo stesso andamento

Tabella 22. Riassunto del confronto fra i quattro momenti di raccolta

I risultati riassunti in tabella mostrano un basso livello di plausibilità rispetto alle emissioni dell'inceneritore dell'aumento dei traccianti mercurio e toluene. L'aumento del mercurio nei campioni indipendenti non è stato infatti confermato dai test per misure ripetute, inoltre è ormai noto come questo elemento sia maggiormente assunto per via alimentare. Lo stesso dicasi per il toluene il cui andamento non viene confermato neppure dagli altri traccianti appartenenti alla stessa famiglia. I traccianti stagno e manganese possono essere considerati più plausibili in quanto l'aumento di questi metalli segue lo stesso andamento sia nei campioni indipendenti che in quelli ripetuti ed è visibile anche nel gruppo dei fumatori. Rimangono

tuttavia molti dubbi sulle dinamiche di assorbimento poiché l'esposizione può avvenire anche tramite l'alimentazione, il fumo di tabacco e alcuni tipi di attività/mansione. Infine è da notare come nessun tracciante mostri lo stesso andamento nei gruppi delle persone afferenti agli Istituti Penitenziari e nei lavoratori del PAIP, cosa che deporrebbe a favore dell'assenza di esposizione ad una fonte comune.

## Conclusioni

Dal punto di vista descrittivo, nelle quattro sessioni di campionamento le concentrazioni urinarie mediane determinate nei diversi gruppi rientrano generalmente negli intervalli fissati dalla SIVR e/o dalla SIMLII (quando disponibili), con valenza nazionale. Inoltre il numero dei soggetti le cui concentrazioni urinarie degli indicatori studiati sono risultate essere superiori ai valori di riferimento della popolazione generale, è risultato più alto nella prima campagna (ante operam) rispetto ai campionamenti successivi per quasi tutti gli indici. Dall'esplorazione dei dati attualmente disponibili si osserva che lo stile di vita e le caratteristiche personali considerate influiscono almeno in parte sulla concentrazione urinaria degli inquinanti.

Il monitoraggio biologico, così applicato, ha mostrato una sensibilità sufficiente ad individuare fluttuazioni anche molto piccole nelle concentrazioni molecolari, senza evidenziare dei profili espositivi importanti, ad eccezione di quello dei fumatori. Oltre al fumo, che risulta essere il confondente più importante fra quelli analizzati, l'età sembra influire sull'accumulo di alcune tipologie di metalli. L'alimentazione, le attività hobbistiche e le altre abitudini voluttuarie hanno un effetto saltuario (e non sempre confermabile) soltanto su alcuni parametri.

In riferimento alle possibili modificazioni temporali, i risultati dei campionamenti di urina condotti fra il 2013 e il 2015 per i soggetti afferenti agli Istituti Penitenziari di Parma e i lavoratori del Polo Ambientale Integrato hanno sostanzialmente mostrato una situazione stabile, in cui la maggior parte delle molecole ricercate non ha subito un aumento nel tempo. Per i pochi traccianti risultati in aumento è stata discussa la plausibilità biologica che risulta estremamente bassa per il mercurio e di media entità per stagno e manganese. È necessario ricordare che le vie di assunzione possono spesso essere molteplici e che la variazione di un singolo parametro ad un solo tempo di raccolta non può essere considerata indice di un andamento temporale. Come più volte rimarcato, laddove l'esposizione ad una sostanza è individuabile attraverso più indicatori specifici, per poter affermare che la concentrazione di tale sostanza cambia a livello ambientale, è necessario che tutti i suoi indicatori abbiano un andamento coerente con quello atteso su base chimico-biologica e che tale andamento segua la dinamica temporale biologica tipica della sostanza.

Per gli individui afferenti agli istituti Penitenziari, l'aumento del mercurio osservato confrontando tutti i soggetti (analisi per campioni indipendenti), non ha trovato coerenza né con gli esiti degli stessi test condotti per misure ripetute né con le evidenze riguardo la via di assunzione, che nel mercurio avviene in gran parte per via alimentare.

Per i lavoratori impiegati presso il PAIP, si è osservato un lieve aumento delle concentrazioni di stagno (analisi per tutti i soggetti. Non fumatori: T1=0.09 - T4=0.25 µg/g cr; fumatori: T1=0.10 - T4=0.22 µg/g cr) e manganese (analisi per tutti i soggetti. Non fumatori: T1=0.07- T4=0.51 µg/g cr; fumatori: T1=0.05 - T4=0.38 µg/g cr) con valori che rientrano ampiamente nell'intervallo dei valori di riferimento della popolazione generale (stagno: 0,15-8,72 µg/l, manganese: 0.2-4.0 µg/l). Per i lavoratori PAIP sono state già eseguite la quinta e sesta campagna di campionamento, i cui dati sono attualmente in processazione. I risultati di queste analisi consentiranno di delineare un quadro più dettagliato dell'andamento temporale di questi due elementi.

In ogni caso è necessario osservare che nessuno fra i traccianti appena citati ha mostrato un andamento simile fra i soggetti afferenti agli Istituti Penitenziari e i lavoratori PAIP. Questo particolare risulta importante poiché l'esposizione ad una fonte emissiva comune dovrebbe causare modificazioni simili nei due gruppi.

Alcuni autori hanno indicato il 2-naftolo, il tallio e il vanadio come maggiormente informativi rispetto alla combustione di rifiuti solidi urbani o assimilabili, anche se in modo non esclusivo. Nel monitoraggio biologico dettagliato in questa relazione la concentrazione di tali sostanze è risultata nella norma e non ha subito modificazioni sostanziali dal periodo ante operam a quello post operam, in nessuno dei gruppi di partecipanti al progetto.

In definitiva, i dati attualmente disponibili suggeriscono che il contributo del PAIP all'eventuale aumento di concentrazione di inquinanti nell'organismo, sia al momento non individuabile nel quadro generale delle variazioni delle concentrazioni urinarie dei metaboliti indagati.

E' previsto la continuazione del confronto con i medici competenti di IREN-PAIP e I.P. e con i servizi sanitari dell'I.P. per concordare ulteriori valutazioni dei dati e le modalità di restituzione, quando richiesta, di dati individuali.