

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 ANTE-OPERAM e FASE DI ESERCIZIO PROVVISORIO (anno 2013)

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

Azienda Ospedaliero-universitaria di Parma – Centro Eccellenza Ricerca Tossicologica

ARPAE Sezione di Parma

Servizio Interdip.le di Epidemiologia e Comunicazione AUSL di Reggio

FEBBRAIO 2017

COMPENDIO

INTRODUZIONE. Il Progetto di Sorveglianza Sanitaria del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP) si articola in un filone di ricerca sulle matrici agro-zootecniche e un filone biotossicologico-epidemiologico incentrato sull'uomo.

Nell'ambito di questo secondo filone di indagine è stata avviata una ricerca consistente nel biomonitoraggio di campioni urinari.

Il biomonitoraggio viene definito come la misura periodica di un indicatore in matrici biologiche accessibili da confrontare con appropriati livelli di riferimento; nella nostra indagine 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 nel marzo 2013 (fase ante operam, precedente all'accensione dell'inceneritore) e nell'ottobre dello stesso anno (fase di esercizio provvisorio). 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 mediante misure ripetute nel tempo
- Cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando quali sono i fattori di esposizione, oltre alle emissioni dell'inceneritore, che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine.

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.

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. Nella presente relazione vengono esposti i risultati del campionamento ante operam (prima della messa in esercizio del PAIP) e del primo campionamento eseguito dopo l'accensione del forno inceneritore, in fase di esercizio parziale dell'attività.

Dai dati attualmente disponibili si osserva che alcune delle caratteristiche legate allo stile di vita e alla persona influiscono sulla concentrazione urinaria degli inquinanti. 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.

Anche senza distinguere i soggetti in funzione dell'abitudine tabagica (desunta dal questionario auto-compilato e riconfermata mediante il dosaggio della cotinina, metabolita della nicotina) sia nella prima che nella seconda sessione di campionamento le concentrazioni urinarie rientrano generalmente negli intervalli di riferimento fissati per la popolazione (quando disponibili).

Infine, nonostante il passaggio dalla fase ante-operam a quella di esercizio provvisorio (caratterizzata da una limitata e discontinua combustione di rifiuto), nel gruppo di soggetti che hanno partecipato ad

entrambi i campionamenti, si è osservato un calo nella concentrazione urinaria della maggior parte delle sostanze, con l'eccezione dell'acido trans,trans-muconico e dell'acido fenilgliossilico.

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, per il momento, variazioni significative attribuibili all'esposizione a inquinanti aerodispersi dall'impianto di incenerimento, mentre 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	7
Premessa	7
Identificazione del dominio territoriale interessato alla sorveglianza delle ricadute dell'impianto PAIP	8
Individuazione di popolazioni esposte	10
Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione	11
Campagne di raccolta dati.....	12
Analisi di laboratorio	13
Considerazioni su metodi e significato dei Valori di Riferimento	15
Trattamento dati	19
Metodologia statistica	19
RISULTATI DELLA FASE ANTE-OPERAM (marzo 2013) E PRIMA CAMPAGNA POST OPERAM (ottobre 2013)	20
Premessa	20
Descrizione dei gruppi sotto sorveglianza.....	20
Informazioni ottenute dalle due sessioni di campionamento.....	22
Confronto con i valori di riferimento di gruppo (VR)	22
Descrizione della qualità dell'aria.....	25
Campionamento in fase ante operam (marzo 2013) – analisi dei fattori di esposizione.....	26
Campionamento in fase di esercizio provvisorio (ottobre 2013) – analisi dei fattori di esposizione	30
Confronto fra fase ante operam e fase di esercizio provvisorio	35
Considerazioni finali sulle prime due sessioni di campionamento nell'ambito del piano di biomonitoraggio	39

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), nella sua formulazione più aggiornata, presentata all’Amministrazione provinciale il 13 marzo 2014. 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.

L’iniziale proposta del Progetto presentata dal Dipartimento di Sanità Pubblica (DSP) dell’AUSL è stata approvata dall’Amm.ne provinciale di Parma con Del. 47/2011 ed è stata seguita dalla stipula di apposita Convenzione tra Provincia, AUSL, Comune di Parma e IREN, il 13 dicembre 2011. Con Determinazione dirigenziale n. 704/2014 del 02/04/2014 la Provincia ha recepito l’adesione del Comune di Parma alla Convenzione stessa. La Convenzione è stata rinnovata per il triennio 2015-2017 il 14/12/2015 e allargata ai comuni di Colorno, Mezzani, Sorbolo e Torrile.

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 costituisce la prima rendicontazione tecnica delle modalità e degli esiti dell'indagine nel periodo che ha preceduto l'esercizio del termovalorizzatore del PAIP (fase ante-operam fino al marzo 2013) e nel periodo successivo all'accensione (con combustione continuativa di rifiuto, ma non a pieno regime, ottobre 2013). Di seguito vengono riportati i risultati distintamente per i due periodi e considerazioni finali sulle prime due sessioni di campionamento.

Preliminarmente è tuttavia necessario chiarire due aspetti che hanno condizionato tempi e modi di realizzazione dell'indagine:

1. Il prolungamento dei tempi richiesti dal rinnovo della Convenzione tra gli Enti partecipanti al Progetto ha avuto ripercussioni sul trasferimento dei finanziamenti necessari alla copertura degli oneri per le analisi di laboratorio con un rallentamento nella restituzione degli esiti analitici.
2. 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 (in particolare i detenuti) 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, sugli asmatici, oggetto di un altro Piano Operativo del Progetto di Sorveglianza. A questo scopo è in corso di messa a punto uno specifico Addendum al Piano Operativo, secondo gli indirizzi emersi nell'incontro del Gruppo Tecnici Asmatici e Biomonitoraggio, in una riunione comune del 18 gennaio 2017.

Il quadro aggiornato dell'avanzamento del Piano Biomonitoraggio al febbraio 2017 è quello illustrato di seguito sinteticamente.

Si ricordano, in via preliminare, le modalità di funzionamento del termovalorizzatore:

- da aprile a agosto 2013: esercizio provvisorio con combustione limitata nel tempo
- da settembre 2013 a marzo 2014: esercizio provvisorio con combustione continuativa di rifiuto, ma non a pieno regime
- da aprile 2014: esercizio continuativo di marcia controllata

Effettuate 5 campagne di raccolta urine:

- una in fase ante operam - marzo 2013:
 - detenuti: 21-26 marzo
 - dipendenti Istituti Penitenziari: 20-28 marzo
 - lavoratori PAIP: 17-28 marzo
- una in fase di avvio dell'esercizio continuativo - ottobre 2013 detenuti: 17-24 ottobre

- Dipendenti Istituti Penitenziari: 14-24 ottobre
- Lavoratori PAIP: 16-24 ottobre
- una campagna in fase finale dell'esercizio provvisorio continuativo:
 - marzo 2014: detenuti – dipendenti Istituti Penitenziari – lavoratori PAIP
- una campagna in fase di esercizio continuativo:
 - marzo 2015: detenuti – dipendenti Istituti Penitenziari – lavoratori PAIP
- una campagna solo per operatori PAIP:
 - novembre 2015

NOTA: sta proseguendo la campionatura delle urine dei soggetti asmatici, iniziata nel 2013 e giunta al tempo T6 (con periodicità di raccolta circa semestrale).

I risultati delle campagne condotte in fase di esercizio ordinario dell'inceneritore di V. Uguzzolo saranno oggetto del prossimo Rapporto.

SVILUPPO DELLE AZIONI

Premessa

A causa del limitato tempo intercorso tra la decisione di inserire una linea di biomonitoraggio all'interno del Progetto di Sorveglianza (fine 2012) e la data presunta di attivazione dell'impianto (marzo 2013) è stato necessario focalizzarsi su una popolazione che fosse rappresentativa delle condizioni di esposizione alle ricadute delle emissioni ma che fosse anche immediatamente disponibile a saggiare la presenza di alcune sostanze in liquidi biologici. Per ottenere la maggiore adesione possibile si è deciso di campionare soltanto l'urina, poiché questa matrice può essere ottenuta mediante procedure semplici e non invasive.

L'attenzione si è concentrata, da una parte, sul gruppo di lavoratori presso l'impianto di termovalorizzazione di IREN a Uguzzolo, dall'altra, su una sottopopolazione di facile e veloce identificazione sotto il profilo demografico.

La collocazione degli Istituti Penitenziari in un sito che il modello di dispersione identifica come area a maggior impatto ha fatto propendere per una proposta collaborativa alla Direzione degli stessi Istituti: la proposta è stata prontamente accettata anche nell'ottica delle opportunità informative e di promozione della salute, compito istituzionale dell'Azienda USL, che avrebbe offerto questo progetto, integrato con le attività già prestate dall'Unità Operativa Salute negli Istituti Penitenziari (UOSIP) dell'AUSL. I dati sono raccolti e trattati in forma anonima, previo consenso informato, il campione raccolto non è di natura invasiva e i risultati vengono restituiti in forma aggregata.

In tal modo si è concretizzata, non solo l'adesione della Direzione di IREN e di quella degli Istituti Penitenziari (I.P.) ma anche la collaborazione con la struttura del suddetto UOSIP e coi medici competenti sia di IREN che del personale degli I.P..

La popolazione coinvolta nel biomonitoraggio è risultata quindi suddivisa in tre gruppi:

- Lavoratori IREN presso il PAIP
- Personale degli I.P. di via Burla
- Detenuti

Per le ragioni suddette e per i tempi stretti nell'organizzazione del Piano, non è stato possibile inserire altri gruppi selezionando un adeguato campione dalla popolazione generale esposta, ne tantomeno è stato possibile introdurre un gruppo di controllo definibile come "non esposto" alle emissioni dell'impianto di incenerimento del PAIP. Questi rappresentano possibili limiti all'indagine - di cui si è consapevoli - che non consentiranno di generalizzare i risultati a tutta la popolazione di Parma. Tuttavia, poiché i campionamenti sono cominciati prima dell'accensione dell'impianto, i gruppi coinvolti potranno fungere da controllo di se 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. La conferma di una esposizione a sostanze inquinanti mediante l'analisi delle urine, può essere meglio evidenziata mediante la pianificazione di una serie ripetuta di campionamenti in un periodo di tempo abbastanza lungo, tenendo conto che le diverse sostanze presentano tempi di accumulo diversificati da poche ore ad alcuni giorni e rilevando quindi un'esposizione recente.

In sintesi, 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 mediante misure ripetute nel tempo
- Cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando quali sono i fattori di esposizione, oltre alle emissioni dell'inceneritore, che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine.

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 evidenzi 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 accumulano 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 PM10 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 PM10 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 soggetti² sono state utilizzate le concentrazioni in atmosfera a due metri dal suolo (espresse in ng/m^3) perché si ritiene che l'inalazione rappresenti la via di esposizione di interesse principale per gli indicatori oggetto di

¹ 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.

² 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).

sorveglianza³. 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.

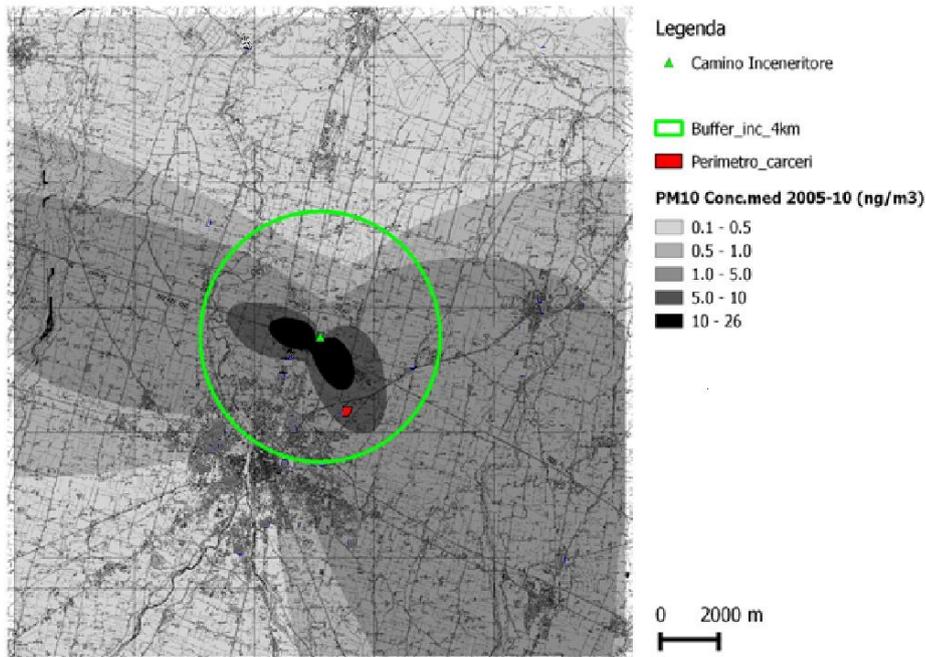


Figura 1. Localizzazione dell'inceneritore e degli I.P. rispetto alle ricadute dell'impianto PAIP. Dominio di calcolo del modello 20 x 20 km.

³ 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 (ng/m2).

Individuazione di popolazioni esposte

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 reclusione⁴)
- 2) parte del personale di polizia penitenziaria

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.

Gli Istituti Penitenziari di Parma sono posizionati entro il raggio di 4 Km dal camino dell'impianto. Inoltre, secondo il modello di deposizione totale stimata per mezzo di ADSM-Urban, le carceri si trovano nella fascia interessata da una deposizione di 248.7 ng/m²/ora di PM10 e da una concentrazione media (dispersione) di 6.6 ng/m³. I lavoratori impiegati all'interno del penitenziario operano quindi in una posizione collocata nella seconda fascia di concentrazione stimata dal modello di dispersione (vedi fig.1). Nel gruppo dei dipendenti del penitenziario sono compresi agenti di polizia, personale AUSL, personale amministrativo e addetti alla ristorazione. Inoltre, fra gli agenti di polizia è possibile distinguere fra agenti "interni" alla struttura e quelli appartenenti al nucleo traduzioni e piantonamento, operanti sul territorio, per i quali, dato il numero esiguo, non è stato possibile fare un'analisi stratificata.

La Direzione degli I.P. ha manifestato interesse a collaborare al monitoraggio anche attraverso l'estensione del progetto alla popolazione carceraria considerabile, a tutti gli effetti, come popolazione domiciliata in area di potenziale ricaduta. La popolazione carceraria e quella residente comunale o provinciale non hanno caratteristiche confrontabili: la popolazione carceraria è solo maschile e differisce per età anagrafica, indice di deprivazione socio economica, condizioni di vita specifiche del luogo di detenzione etc. Nonostante le differenze fra i detenuti e la popolazione generale, il monitoraggio dei primi può consentire di verificare eventuali modificazioni dei parametri biologici nel tempo: la coorte dei detenuti è costituita infatti da un gruppo di persone omogeneo, con dinamiche di composizione inevitabilmente prevedibili e caratterizzata da evidente stanzialità. I detenuti inoltre possono essere divisi in sottogruppi sulla base della posizione occupata all'interno della casa di reclusione: si distinguono tre diversi piani, all'interno dei quali le finestre possono essere orientate o in direzione est o in direzione ovest.

Riguardo i dipendenti impiegati presso il PAIP, si distingue essenzialmente fra personale amministrativo e personale coinvolto nella manutenzione e movimentazione dei rifiuti ed anche in questo caso la scarsa numerosità consente solo una valutazione dei soggetti nel loro complesso. Questi lavoratori possono essere esposti a diverse fonti emmissive contemporaneamente, in particolare i manutentori possono seguire più di un impianto di incenerimento nell'ambito della stessa Regione o addirittura di Regioni diverse. In generale comunque i lavoratori dislocati presso il Polo Ambientale Integrato trascorrono le loro ore di lavoro entro il perimetro del PAIP, vicino ai luoghi di trattamento rifiuti o dentro all'impianto nella zona ritenuta a più alto

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

potenziale impatto delle emissioni (da 501 a 1960 ng/m² ora di polveri depositate e da 10 a 26 ng/m³ di concentrazione media di polveri disperse), in base alla simulazione di deposizione totale.

Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione

Per i motivi già spiegati 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.

E’ tuttavia prevedibile che, in particolare il gruppo di soggetti appartenenti alla Polizia Penitenziaria, sia caratterizzato da un forte ricambio legato ai frequenti trasferimenti di sede di lavoro.

Per tutti i gruppi in studio non era ipotizzabile a priori il grado di adesione all’indagine nel tempo.

Come già ricordato, 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.

Gli *item* proposti nel questionario, costituiscono un sotto insieme riadattato delle domande presentate nel questionario strutturato nell’ambito dello “Studio pilota di biomonitoraggio in popolazioni residenti in aree con presenza di inceneritori” condotto da ARPAE/CTR Ambiente e Salute Regionale⁵ (partner del Progetto di sorveglianza PAIP) in collaborazione con l’Azienda Unità Sanitaria Locale di Modena. Il protocollo sperimentale è stato redatto in conformità alle Norme di Buona Pratica Clinica. Il questionario, oltre a raccogliere le informazioni generali sui soggetti inclusi nella coorte, consente di raccogliere informazioni riguardo lo stile di vita: le domande sono volte all’individuazione di varie tipologie di confondenti (i.e. esposizione a fumo di sigaretta, emissioni veicolari, consumo di alcoolici e cibi affumicati etc.) che - se non identificate - potrebbero inficiare le considerazioni derivanti dall’esito dei campionamenti. 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.

Dalla relazione di ARPAE, Sezione di Parma, relativa alla fase ante operam, allegata al presente Rapporto, si estraggono le seguenti conclusioni: “Dall’analisi dei dati appare evidente come il PM10, misurato in strada Burla all’interno dell’area parcheggio della casa circondariale, abbia un andamento paragonabile a quello riscontrato nelle stazioni urbane della rete fissa, con concentrazioni paragonabili ai valori riscontrati nelle stazioni urbane. Tale realtà è confermata anche dai dati statistici, sia per quanto riguarda i valori medi e massimi che per l’assenza di superamenti del valore limite giornaliero pari a 50 µg/m³. In generale quindi il monitoraggio del PM10 evidenzia condizioni di inquinamento da tenere sotto controllo con dinamiche strettamente correlate a quelle che si riscontrano sull’intero territorio provinciale e di bacino padano.”

I valori giornalieri del PM10 sono stati inseriti come variabile indipendente aggiuntiva nell’elaborazione statistica dei dati.

⁵ ARPAE CTR-AS è partner del progetto di sorveglianza PAIP e componente del tavolo tecnico scientifico che sostiene l’indagine

Nel presente piano di sorveglianza i soggetti sono stati selezionati in base alla loro presenza sul territorio per motivi di lavoro oppure, nel caso specifico dei detenuti, per domiciliazione. Si è tuttavia operato uno sforzo per identificare quei lavoratori che risiedono in area di maggior impatto e che quindi risultano potenzialmente esposti alle emissioni per un arco di tempo particolarmente lungo. Inoltre, un secondo ordine di fattori associabili alla presenza di inquinanti nelle urine è indubbiamente associato a fonti di emissione diverse dal PAIP e prossime all'abitazione. Per i dipendenti PAIP l'abitazione è corrisposta con la residenza, per i dipendenti delle carceri con il domicilio (dato l'alto numero di lavoratori "fuori sede") mentre per i detenuti è stato assunto come abitazione il sito di via Burla. Per valutare l'impatto del PAIP e quello di altre possibili fonti di inquinamento presso l'abitazione, il CTR-Ambiente-Salute dell'ARPAE ha sviluppato un algoritmo di calcolo che è stato applicato al gruppo dei lavoratori PAIP e ai lavoratori degli I.P. (analogo a quello applicato ai soggetti asmatici, illustrato nel Piano operativo specifico). Ai detenuti, come si è già detto, è attribuibile l'esposizione fissata dal modello per il sito di v. Burla.

Per ciascun soggetto arruolato è stato quindi recuperato l'indirizzo di domicilio in base al quale sono state definite una coppia di coordinate geografiche (cosiddetto *address geocoding*) ed un livello di esposizione, secondo le procedure descritte nella relazione fornita dal CTR Ambiente Salute di ARPAE. Le coordinate geografiche degli indirizzi sono state ricavate attraverso una procedura di *linkage* con i database degli indirizzi della Regione o l'utilizzo di Google Maps.

I lavoratori del PAIP sono risultati essere per la maggior parte residenti in zone molto lontane dall'impianto (spesso fuori provincia), in cui l'esposizione alle emissioni dell'inceneritore è da considerarsi del tutto trascurabile. Alcuni dipendenti degli IP invece risiedono in caserma oppure nella zona circostante gli istituti, pertanto è stata stimata una esposizione presunta, sulla base dei dati modellistici, che può essere assunta come covariata nelle analisi statistiche.

Poiché la stima di esposizione domiciliare è risultata superflua per i dipendenti PAIP e omogenea per i detenuti, in questa sessione di analisi, i soggetti monitorati sono stati distinti soltanto in base al gruppo di appartenenza (dipendenti IP, detenuti, dipendenti PAIP), assumendo come generalmente trascurabili le esposizioni domiciliari.

Oltre che per stimare l'esposizione domiciliare alle emissioni del PAIP, la georeferenziazione delle abitazioni è stata utilizzata per quantificare l'esposizione dei soggetti ad altre fonti di inquinamento quali il traffico, le industrie di vario tipo, l'alta densità di popolazione (che si riflette in maggiori concentrazioni di inquinanti derivanti da riscaldamento domestico e altre attività antropiche).

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. La prima tornata di campionamenti è stata effettuata prima dell'attivazione del PAIP, tra il 21 e il 28 marzo 2013, allo scopo di avere un punto iniziale di riferimento considerabile come esposizione "zero" alle emissioni dell'impianto di incenerimento. La seconda campagna è stata organizzata dal 15 al 24 Ottobre 2013, dopo la messa in esercizio provvisoria dell'impianto. Ulteriori campagne sono state effettuate nel mese di marzo del 2014 e nel marzo del 2015. Il presente rapporto illustra le campagne 2013 (ante operam) e ottobre 2013 (primo post operam). I periodi di funzionamento dell'impianto di incenerimento che interessano i risultati del primo post-operam presentati in questo rapporto sono illustrati nella tabella successiva.

Data	Linea 1
29/08/2013	Riavvio linea.
10/09/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo.
18/10/2013	Riavvio linea.
25/10/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo e lavorazioni di finitura.
31/10/2013	Riavvio linea.
26/12/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo propedeutiche ai test di collaudo funzionali e prestazionali degli impianti.
Data	Linea 2
06/09/2013	Avvio linea.
10/10/2013	Fermo linea per lavori sul ciclo termico.
11/10/2013	Riavvio linea.
18/10/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo e lavorazioni di finitura.
02/11/2013	Riavvio linea.
28/11/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo.
09/12/2013	Riavvio linea.
26/12/2013	Fermo linea per attività di verifica e controllo propedeutiche ai test di collaudo funzionali e prestazionali degli impianti.

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. 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 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 2) che riporta una descrizione sintetica delle molecole e dei loro metaboliti.

Per quanto riguarda la scelta degli indicatori di esposizione ricercati, poiché a oggi non è noto un indicatore specifico di esposizione a fumi di inceneritore. Si è presa la decisione di determinare alcuni composti organici volatili, escreti nelle urine sia non modificati che sotto forma di metaboliti, che permettessero di caratterizzare l'esposizione sia agli inquinanti ambientali ubiquitari (es. alcuni composti organici volatili come benzene, toluene e xilene) che alle esposizioni associate ad abitudini voluttuarie (fumo di tabacco) o hobbies, oltre che a quella derivante dai fumi dell'inceneritore. In particolare per caratterizzare l'esposizione alla miscela complessa di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), si è scelto di determinare le concentrazioni urinarie del naftolo (NOH), metabolita del naftalene, e dell'1-idrossipirene (1-OHP), metabolita del pirene, rispettivamente rappresentativi della frazione più basso- e alto-bollente degli IPA stessi. Un altro aspetto che ha motivato questa scelta è il basso numero di metaboliti principali (due per il naftalene e uno per il pirene) che ne semplificano la determinazione.

Inoltre, la quantificazione del naftolo piuttosto che quella di metaboliti di IPA a più alto peso molecolare e meno volatili, permette di caratterizzare meglio la frazione di IPA volatili riconducibile sia ad un'esposizione associabile a una sorgente posta a distanza come quella di un camino di un inceneritore, sia a quella associabile all'esposizione a fumo di sigaretta diretto (*main stream* inalato) che passivo (*side stream*).

Come per i composti organici volatili, anche per i metalli non esiste un tracciante specifico dell'esposizione a inceneritori, per cui è stato concordato con il CERT e con il laboratorio della AO Spedali Civili-Università degli Studi di Brescia (Prof Apostoli) di determinare quei metalli, come Cadmio, Tallio e Mercurio, per i quali esiste un limite specifico alle emissioni degli inceneritori, insieme ad altri metalli che, a dosi più o meno elevate, possono essere nocivi all'organismo umano, quali *Al, Sb, Tl, U, Be, Mn, V*. I dati del Mercurio, per motivi tecnico-organizzativi, saranno presentati nel successivo rapporto. Dati gli obiettivi dell'indagine e il budget disponibile si è ritenuto di non effettuare indagini a tappeto.

Per una maggior precisione e accuratezza della misura, sono stati definiti come non rilevabili quei campioni in cui la concentrazione urinaria del singolo analita risultava inferiore al limite di quantificazione del metodo analitico (LOQ, definiti come rapporto segnale/rumore >10) e non al limite di rivelabilità (LOD, S/N>3). Questo aspetto assume importanza ai fini dell'interpretazione dei risultati e soprattutto nell'eventuale confronto con i valori riportati in altri documenti o report riguardanti ricerche analoghe.

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 alla prima ed alla seconda relazione 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 Valori di Riferimento

I valori di riferimento (VR) sono definiti come "valori di un determinato indicatore ottenuto dall'elaborazione statistica dei risultati del suo dosaggio in campioni biologici provenienti da una popolazione di riferimento, selezionata secondo criteri predefiniti". A tali valori ci si riferisce per interpretare i risultati di determinazioni dello stesso indicatore effettuati in individui o gruppi ad esposizione nota o sospetta. La popolazione di riferimento reclutata per determinare i valori di riferimento utilizzati in questo studio è composta da soggetti sani, residenti in Parma e non professionalmente esposti a nessuno degli indicatori ricercati. Il superamento di questi valori di riferimento non può essere in nessun modo interpretato come segnale d'insorgenza di una patologia o un evidente rischio per la salute, ma solo come indice di una variazione delle fonti di esposizione.

E' bene ribadire che il confronto con i valori di riferimento rappresenta una finalità della sorveglianza in atto, tesa ad individuare eventuali variazioni di 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. Visti i bassi livelli di emissioni registrati in uscita dall'impianto, non ci si attende che tale esposizione sia in grado di per se di determinare un superamento dei valori di riferimento. 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, è giusto ribadirlo, non può dare informazioni nel singolo soggetto circa eventuali danni per la salute.

Per la valutazione di alcune sostanze nella tab. 2 sono stati considerati anche i Limiti Biologici di Esposizione (BEI- Biological Exposure Index- ACGIH, American Conference of Government Industrial Hygienist). Essi rappresentano i valori di concentrazione di un indicatore biologico corrispondenti al livello di esposizione ambientale all'agente chimico di riferimento in concentrazione equivalente ai TLV (Threshold Limit Values); essi riguardano quindi le esposizioni in ambiente di lavoro. In altre parole, i TLV 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. Per i motivi suddetti il BEI, a differenza dei VR, rappresenta un indice di esposizione cui è possibile attribuire un significato di rischio sanitario. Il BEI è stato considerato in questo lavoro per vedere in quale posizione si collocano i valori rilevati nella nostra popolazione non professionalmente esposta rispetto ad un punto di riferimento che descrive l'esposizione a concentrazioni professionali, tipicamente molto più elevate .

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)	Limiti biologici di esposizione prof.	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	BEI® 500 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)	BEI® 25 µg/g creat	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	BEI come Limite raccomandato: 300 mg/g creat	Alcool, etilbenzene;
	AFG	Acido fenilgliosilico. È un indicatore di esposizione a stirene.	0.1-3.5 mg/g creat	BEI come Limite raccomandato: 800 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.	<0.015 – 4.615 µg/L		Fumo di tabacco
	Toluene*	È indicatore di esposizione a toluene, inquinante ubiquitario dell'aria.	0.050 – 1.090 µg/L	BEI® 30 µg/L	Non noto
	EtilBenzene*	È indicatore di esposizione a etilbenzene, inquinante ubiquitario dell'aria.	Non noto		Non noto
	Xileni*	È indicatore di esposizione a xileni, inquinante ubiquitario dell'aria.	0.075 – 0.910 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.	Non noto		Non noto

Metalli	Cd	Cadmio	0.1-1.5 µg/l	BEI® 5 µg/g creat	Fumo di tabacco; età;
	Cr	Cromo	0.05-0.32 µg/l	BEI® 10 µg/g creat	Fumo di tabacco; età;
	Sn	Stagno	Non noto		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

Tabella 2. Composti ricercati nelle urine nell'ambito del piano di bio-monitoraggio del PSS-PAIP

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 dei software EpiInfo 6.0 e SPSS 20.0; 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 della stazione mobile di monitoraggio collocata nell'area degli I.P. registrata 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

Statistica descrittiva

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. In particolare nell'ante operam (prima dell'avvio del termovalorizzatore) è importante descrivere le concentrazioni delle sostanze nelle urine dei tre gruppi di soggetti nelle loro condizioni "basali" di esposizione individuale e ambientale.

La distribuzione delle variabili è stata verificata applicando il test di Kolmogorov–Smirnov⁶. Poiché la maggior parte delle distribuzioni dei dosaggi differiscono significativamente dalla distribuzione normale (particolarmente per il secondo campionamento), 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.

Statistica inferenziale

L'obiettivo è individuare se, in ognuno dei tre gruppi di soggetti, 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.).

Per le variabili categoriali o dicotomiche, sulle concentrazioni di analiti distribuite normalmente (oppure normalizzabili mediante trasformazione logaritmica), si è applicata una statistica parametrica (test di Student o l'ANOVA a due vie seguita dal test di Bonferroni). In caso di distribuzioni non normali, sono stati condotti test non parametrici (test U di Mann Withney per due campioni indipendenti, test di Kruskal Wallis seguito dal test di Dunn per più campioni indipendenti).

Per indagare il grado di interazione fra variabili di tipo continuo sono stati calcolati l'indice di correlazione di Pearson (distribuzioni normali o normalizzabili) o di Spearman (per le variabili non normalmente distribuite).

⁶ Test utilizzato per testare se la distribuzione campionaria differisce in modo significativo dalla distribuzione normale

RISULTATI DELLA FASE ANTE-OPERAM (marzo 2013) E PRIMA CAMPAGNA POST OPERAM (ottobre 2013)

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
- Eventuali modificazione delle concentrazioni urinarie degli inquinanti passando dalla fase ante operam a quella di esercizio provvisorio del PAIP

Descrizione dei gruppi sotto sorveglianza

In tabella 3 e 4 viene riportata la composizione delle popolazioni interessate dalle due campagne di biomonitoraggio. In particolare la tabella 3 descrive le caratteristiche delle popolazioni campionate nel marzo 2013 e nell'ottobre 2013 distintamente, mentre la tabella 4 descrive le caratteristiche del sottogruppo di individui che hanno partecipato sia alla prima che alla seconda campagna. È da notare infatti che dalla prima alla seconda sessione molti dipendenti del penitenziario sono cambiati, sia per cause di trasferimento che per mancata adesione al progetto. Al contrario il gruppo dei detenuti (anche se ridotto di numero) e quello dei dipendenti del PAIP hanno mantenuto una certa omogeneità. Nel gruppo che ha partecipato ad entrambi gli *step* di sorveglianza alcuni fattori di esposizione si sono modificati nel tempo; per questo motivo, pur trattandosi delle stesse persone, le caratteristiche dei soggetti coinvolti in entrambi i campionamenti vengono riportate separatamente per il periodo di marzo 2013 e per quello di ottobre 2013. Si segnala che non sempre la somma delle numerosità entro i gruppi corrisponde al totale dei partecipanti al monitoraggio: questo accade quando l'informazione d'interesse non è disponibile e quindi non si può attribuire un soggetto a nessun sottogruppo.

Caratteristiche	Campionamento fase ante operam			Campionamento fase di es. provvisorio		
	Dipendenti	Detenuti	PAIP	Dipendenti	Detenuti	PAIP
N	70	83	20	75	65	24
Sesso (M/F)	62/8	83/0	19/1	65/10	65/0	21/3
Età media (anni)	41	49	44	39	52	44
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	26/20/24	12/37/26	6/7/6	24/24/25	11/31/21	7/7/10
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro	56/4/10			56/3/7		
Residente in caserma (no/sì)	60/9			54/17		
Sezione penitenziario (1/2/3)		17/37/26			12/22/30	
Stecca penitenziario (A/B)		44/32			37/26	
Attività fisica (no/sì)		37/36		38/33	31/26	14/10
Mansione PAIP (ufficio/macchine)			3/17			5/19
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	48/22	51/26	18/2	48/24	33/24	18/6
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	45/25	25/17	16/4	37/35	18/15	19/5
Consumo di bevande gassate (no/sì)	36/29	0/3	9/11	45/27	38/11	11/11
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	13/55	0/16	3/16	16/56	31/19	7/16
Consumo di caffè/thè (media del n. tazzine)	3	3	3	3	3	2

Tabella 3. Composizione delle popolazioni coinvolte nelle sessioni di bio-monitoraggio avvenute in fase ante operam e di esercizio provvisorio 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.).

Caratteristiche	Campionamento fase ante operam			Campionamento fase di es. provvisorio		
	Dipendenti	Detenuti	PAIP	Dipendenti	Detenuti	PAIP
N	35	58	19	35	58	19
Sesso (M/F)	31/4	58/0	18/1	31/4	58/0	18/1
Età media (anni)	42	52	44	42	53	45
Non fumatori/ex fumatori/fumatori	9/13/13	9/29/17	6/6/7	9/13/13	8/26/17	
Agente di polizia/nucleo traduzioni/altro	29/1/5			29/1/5		
Residente in caserma (no/sì)	29/5			26/7		
Sezione penitenziario (1/2/3)		11/20/25			11/20/26	
Stecca penitenziario (A/B)		31/24			30/26	
Attività fisica (no/sì)	18/17	29/22	10/8	20/13	28/23	11/8
Mansione PAIP (ufficio/macchine)			3/16			2/17
Imbrattamento con sostanze chimiche (no/sì)	26/9	34/19	10/9	21/10	31/22	13/6
Consumo di cibi affumicati o grigliati (no/sì)	23/12	19/12	16/3	19/14	16/14	14/5
Consumo di bevande gassate (no/sì)	15/15	0/2	8/11	21/12	35/10	9/8
Consumo di bevande alcoliche (no/sì)	5/29	0/11	3/15	7/26	29/16	4/14
Consumo di caffè/thè (media del n. tazzine)	3	3	3	3	3	3

Tabella 4. Composizione della popolazione che ha partecipato sia alla prima (ante operam) che alla seconda (esercizio provvisorio) sessione di bio-monitoraggio

Informazioni ottenute dalle due sessioni di campionamento

Confronto con i valori di riferimento di gruppo (VR)

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 2011⁷). Di conseguenza, dal primo campionamento sono risultati esclusi 3 detenuti e un dipendente PAIP, mentre dal secondo sono risultati esclusi 4 soggetti tra i dipendenti degli istituti penitenziari, 3 soggetti tra i detenuti e un soggetto tra i lavoratori del PAIP.

Tutti gli inquinanti organici sono risultati quantificabili in un numero sufficiente di campioni. Per quanto riguarda i metalli, nelle tabelle dei risultati, 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*). In tabella 5 si osserva che antimonio, uranio, palladio e berillio sono risultati per la maggior parte dei soggetti sotto la soglia di rilevazione mentre il vanadio e il manganese sono stati rilevati soltanto nel secondo campionamento. 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.

Come già accennato i gruppi reclutati per la prima e la seconda sessione di campionamento non sono caratterizzati dalla stessa composizione: infatti soltanto 35 dipendenti del penitenziario, 58 detenuti e 19 lavoratori del PAIP hanno aderito ad entrambi i campionamenti.

Poiché questa numerosità consente ugualmente l'esecuzione delle opportune analisi statistiche, il sottogruppo degli aderenti ad entrambe le sessioni è stato utilizzato per eseguire dei confronti temporali allo scopo di osservare eventuali mutamenti nella concentrazione degli inquinanti da prima a dopo l'accensione dell'inceneritore PAIP. Invece per le indagini volte ad esaminare l'andamento della concentrazione urinaria delle sostanze in funzione della situazione meteo climatica e personale, tutti gli aderenti al programma sono stati presi in considerazione.

Di seguito la tabella 5 mostra i dosaggi mediani di tutti gli aderenti alla prima e alla seconda sessione rispettivamente. **Anche senza stratificare in funzione dell'abitudine tabagica (desunta dal questionario auto-compilato e riconfermata mediante il dosaggio della cotinina) sia nella prima che nella seconda sessione di campionamento le concentrazioni urinarie determinate nei diversi gruppi rientrano generalmente negli intervalli fissati dalla SIVR e/o dalla SIMILII (quando disponibili).**

Osservando le concentrazioni urinarie dei metaboliti per ciascuno dei partecipanti al monitoraggio biologico 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. Ricordiamo che i valori di riferimento sono definiti su base statistica e riferiti ad una esposizione della popolazione generale. Ciò significa che in questo tipo di popolazione ci si attende un 5% di valori al di fuori dell'intervallo di riferimento. La nostra indagine evidenzia quindi che i gruppi sottoposti a biomonitoraggio non sono considerabili in senso stretto appartenenti alla popolazione generale, sebbene nessuna delle sostanze indagate raggiunga i livelli biologici di riferimento per i lavoratori, quando disponibili. 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 e il vinil fenolo. Il vinil fenolo in

⁷ ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

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). Poco diffuso in passato, negli ultimi anni l'acido sorbico è diventato praticamente ubiquitario come additivo alimentare. 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.

In ogni caso, è importante sottolineare che concentrazioni urinarie di uno o più analiti superiori ai valori di riferimento non sono 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 ha di per se uno scarso significato e va confermato successivamente per valutare l'esistenza di un eventuale andamento dipendente da fonti di esposizione (siano esse legate ad abitudini voluttuarie o fonti esterne). 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 un solo metabolita non può essere considerata indice attendibile di esposizione ad idrocarburi monociclici aromatici.

Funzione	Sigla del composto	Campionamento fase ante operam: mediana [25°-75°]			Campionamento fase di es. provvisorio: mediana [25°-75°]		
		Dipendenti	Detenuti	PAIP	Dipendenti	Detenuti	PAIP
Fattore di normalizzazione	Creat (g/L)	1.17 [0.85-1.46]	1.08 [0.81-1.51]	1.17 [0.78-1.61]	1.16 [0.91-1.64]	1.27 [0.80-1.54]	1.64 [1.29-1.88]
DOSAGGIO URINARIO di NAFTOLO E 1-IDROSSIPIRENE: metaboliti di Idrocarburi policiclici aromatici	N-OH (µg/g di creat.) [VR:40-100]	62.43 [24.42-101.21]	71.75 [36.62-119.38]	104.58 [68.09-136.73]	22.0 [16.3-51.4]	28.5 [11.6-50.4]	24.3 [13.9-40.3]
	1OH-P (µg/g di creat.)	0.39 [0.15-0.81]	0.81 [0.26-1.71]	0.29 [0.19-0.45]	0.52 [0.32-0.90]	0.63 [0.38-1.10]	0.33 [0.21-0.50]
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti del Benzene e della Nicotina	t,t-AM (µg/g di creat.)	34.49 [18.30-53.24]	56.58 [30.17-113.87]	42.60 [17.28-80.57]	95.1 [57.5-141]	99.7 [73.5-196]	81.2 [50.3-155]
	S-AFM (µg/g di creat.)	0.29 [0.20-0.59]	0.79 [0.45-1.53]	0.35 [0.19-0.51]	0.20 [0.15-0.34]	0.24 [0.13-0.97]	0.16 [0.10-0.44]
	Cotina (µg/g di creat.)	6.85 [2.48-1033.18]	16.04 [5.72-1589.37]	2.05 [1.41-794.86]	6.31 [3.29-588]	4.26 [2.31-550]	3.11 [1.25-632]
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti dello stirene	AM (mg/g di creat.)	0.31 [0.19-0.49]	0.37 [0.22-0.67]	0.42 [0.27-0.75]	0.14 [0.10-0.21]	0.19 [0.12-0.27]	0.18 [0.09-0.24]
	AFG (mg/g di creat.)	0.24 [0.14-0.36]	0.25 [0.17-0.37]	0.24 [0.17-0.36]	0.35 [0.14-0.64]	0.38 [0.13-0.68]	0.45 [0.13-0.64]
	AFIEM (µg/g di creat.)	56.71 [37.91-104.21]	72.33 [45.37-109.77]	55.72 [45.61-114.00]	7.16 [3.93-14.1]	4.96 [3.21-9.25]	5.71 [3.69-9.50]
	VP (µg/g di creat.)	216.18 [133.28-429.38]	370.79 [202.70-725.93]	319.61 [153.60-479.48]	54.1 [35.4-99.0]	106 [56.6-247]	82.4 [40.7-151]
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene (µg/L)	0.27 [0.20-0.37]	0.28 [0.21-0.90]	0.19 [0.17-0.27]	0.19 [0.14-0.32]	0.21 [0.14-0.86]	0.21 [0.16-0.58]
	Toluene (µg/L)	0.95 [0.87-0.99]	0.98 [0.95-1.02]	0.85 [0.61-1.00]	0.64 [0.57-0.88]	0.85 [0.67-1.07]	0.86 [0.65-0.95]
	Etil Benz. (µg/L)	0.43 [0.40-0.47]	0.42 [0.40-0.46]	0.43 [0.38-0.50]	0.31 [0.21-0.47]	0.32 [0.21-0.48]	0.42 [0.20-0.51]
	Xileni (µg/L)	0.21 [0.20-0.22]	0.21 [0.19-0.22]	0.20 [0.19-0.21]	0.18 [0.15-0.22]	0.21 [0.18-0.27]	0.20 [0.19-0.22]
	Stirene (µg/L)	0.24 [0.22-0.24]	0.22 [0.21-0.24]	0.22 [0.19-0.28]	0.22 [0.19-0.26]	0.13 [0.10-0.21]	0.23 [0.19-0.25]
	MTBE (µg/L)	0.67 [0.30-1.58]	0.54 [0.17-1.28]	2.27 [0.78-3.30]	1.57 [1.09-2.28]	0.63 [0.07-1.87]	1.18 [0.88-1.49]
Metalli	Cd (µg/g di creat.)	0.17 [0.09-0.30]	0.23 [0.12-0.40]	0.32 [0.23-0.46]	0.17 [0.09-0.26]	0.29 [0.16-0.49]	0.32 [0.25-0.44]
	Cr (µg/g di creat.)	0.09 [n.d.-0.29]	0.27 [n.d.-0.68]	0.13 [0.09-0.19]	0.14 [n.d.-0.64]	0.24 [0.06-0.53]	0.18 [0.09-0.32]
	Sn (µg/g di creat.)	0.40 [0.21-0.87]	0.36 [0.20-0.91]	0.10 [0.07-0.23]	0.38 [0.24-0.64]	0.18 [0.08-0.36]	0.11 [0.08-0.21]
	Tl (µg/g di creat.)	0.22 [0.14-0.35]	0.39 [0.23-0.81]	0.20 [0.15-0.23]	0.23 [0.19-0.33]	0.27 [0.17-0.45]	0.15 [0.11-0.19]
	Ni (µg/g di creat.)	1.45 [1.04-1.96]	1.10 [0.58-2.11]	1.30 [0.62-1.73]	1.03 [0.55-1.91]	1.23 [0.58-2.09]	1.17 [0.55-1.60]
	Sb (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	U (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Mn (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	0.27 [n.d.-0.51]	0.50 [0.36-0.64]	0.35 [0.20-0.80]
	V (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.08 [0.05-0.13]
	Pd (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	Be (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tabella 5. Dosaggi mediani e intervallo interquartile dei metaboliti. I dosaggi si riferiscono al numero totale di individui che hanno aderito al primo e/o al secondo campionamento.

Descrizione della qualità dell'aria

In precedenza si è accennato al fatto che le molecole descritte nelle Tabelle 2 e 5 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 6 riporta i dati relativi alla media di PM10, metalli e Benzo(a)pirene relativi ai due periodi di campionamento. 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.

DATI LABORATORIO MOBILE		Prima campagna (dal 20.03.13 al 08.04.13)		Seconda campagna (dal 11.10.13 al 31.10.13)		Limite annuo (D.Lgsl. 155/10)
		Unità Mobile	Parma - Cittadella	Unità Mobile	Parma - Cittadella	
Piombo	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.003	0.005	0.008	0.005	0.5
Arsenico	(ng/m^3)	0.305	0.497	0.761	0.650	6
Cadmio	(ng/m^3)	0.152	0.147	0.152	0.130	5
Nichel	(ng/m^3)	1.371	1.666	1.827	1.301	20
Benzo(a)pirene	(ng/m^3)	0.078	0.125	0.134	0.030	1

Tabella 6. Media delle concentrazioni dei metalli e del Benzo(a)pirene relative ai due periodi di campionamento

Come si può vedere nella tabella i metalli pesanti e l'idrocarburo policiclico aromatico indagati mostrano valori simili ai quelli registrati nella stazione fissa che rileva la condizione di fondo dell'inquinamento urbano (Parma Cittadella). A conferma di questo, la tabella seguente (tab.7) rivela nella stazione posta in Via Burla una concentrazione di PM10 in linea con le altre stazioni della rete urbana, che mostrano un livello di qualità dell'aria nel periodo di ottobre 2013 peggiore rispetto a quello rilevato in marzo-aprile dello stesso anno; fenomeno spiegabile con la variazione delle condizioni meteo-climatiche che creano una condizione di esposizione uniforme sull'intero bacino padano e soggetta a fluttuazioni stagionali.

Concentrazione media PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ISTITUTI PENITENZIARI	CITTADELLA	MONTEBELLO	COLORNO SARAGAT	LANGHIRANO BADIA
Prima campagna (dal 20.03.13 al 08.04.13)	25	24	27	21	13
Seconda campagna (dal 11.10.13 al 31.10.13)	43	41	55	40	26

Tabella 7. Media del PM10 relativa ai due periodi di campionamento nelle stazioni fisse della città e in quella mobile degli I.P.

Campionamento in fase ante operam (marzo 2013) – analisi dei fattori di esposizione

Viene descritta in modo specifico l'influenza del fumo di tabacco, dell'età anagrafica e dei valori di PM10 della stazione mobile collocata nei pressi degli I.P.. Per ciò che riguarda gli altri fattori di esposizione indagati, diversi dal fumo, precedentemente si è già discusso sul fatto che gli indicatori biologici sono rappresentativi di esposizione a inquinanti ambientali ubiquitari e possono essere parzialmente influenzati da altri fattori come alimentazione, hobbies e stile di vita. Dal momento che la popolazione reclutata è prevalentemente maschile (95%) il sesso non è stato valutato come possibile fattore confondente.

Dati i bassi livelli di concentrazione riscontrati nelle urine e l'elevata variabilità biologica inter-individuale non è stato possibile attribuire a tutte le differenze/correlazioni riscontrate una spiegazione biologica. Di seguito vengono presentate soltanto le differenze caratterizzate da una significatività o che possono essere indice di fenomeni biologici coerenti con quelli noti da bibliografia. Tali osservazioni necessitano comunque una riconferma mediante misure ripetute più volte prima che sia possibile fornire un'interpretazione dei risultati ottenuti.

Fumo di tabacco

In questo piano di monitoraggio, come in molti studi precedenti, 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. Per dare un'immagine esemplificativa degli effetti dell'abitudine tabagica, in figura 2 vengono riportate le concentrazioni di benzene nei tre diversi gruppi (dipendenti IP, detenuti, dipendenti PAIP), distinguendo per non fumatori, ex fumatori e fumatori.

Dall'osservazione dei grafici si nota che fra i detenuti, il gruppo dei fumatori è rappresentato da persone definibili "forti fumatori" esposti a concentrazioni molto elevate di benzene. Nel grafico sono riportati, con le due linee orizzontali tratteggiate, gli intervalli di riferimento stimati per la popolazione italiana.

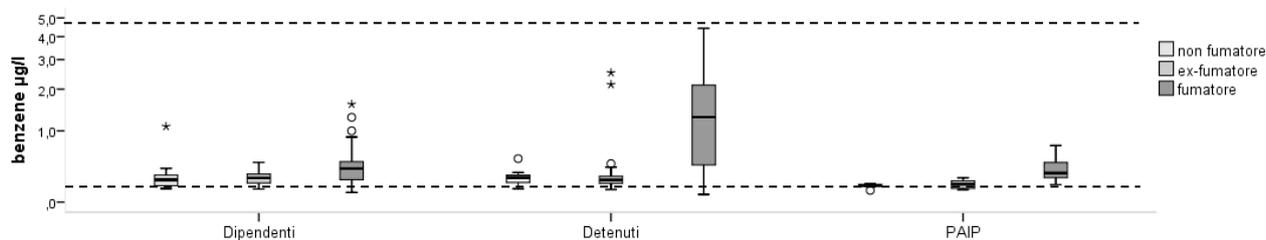


Figura 2. Dosaggio del benzene nelle tre popolazioni monitorate, stratificato per l'abitudine tabagica. Le linee tratteggiate indicano i limiti inferiore e superiore dei valori di riferimento per la popolazione italiana. I simboli presenti sopra e sotto le "scatole" rappresentano alcuni soggetti con valori "anomali" rispetto al gruppo di appartenenza, anche se sempre all'interno dell'intervallo della popolazione generale italiana

Per descrivere le variazioni in funzione dell'abitudine tabagica evitando un lungo elenco di confronti si è provveduto a fornire un'immagine riassuntiva delle mediane e degli intervalli interquartilici, corredati da eventuali significatività statistiche, mediante la costruzione di grafici cosiddetti *box and whiskers* (scatola coi baffi, Figura 2, 3 e 4). Le Figure 3 e 4 consentono anche di confrontare i diversi gruppi fra loro a parità di abitudine al fumo: il fatto che fra i detenuti si trovino dei forti fumatori è confermato dalla differenza nella concentrazione di acido S-fenilmercapturico ($p=0,011$), acido mandelico ($p=0,004$) e della stessa cotinina ($p<0,0001$) che risultano significativamente più alti nei detenuti rispetto ai dipendenti del penitenziario. Tuttavia i dipendenti del penitenziario mostrano livelli di benzene ($p=0,043$) e stagno ($p=0,049$) più alti rispetto ai lavoratori del PAIP, contrariamente a xileni ($p=0,038$) e cadmio ($p=0,004$) che risultano più bassi.

Età anagrafica

Per quanto riguarda le caratteristiche personali si sono osservate correlazioni positive tra l'età e le concentrazioni urinarie di alcuni metalli come cadmio ($r=0,361$; $p=0,002$) e nichel ($r=0,246$; $p=0,040$) per i Dipendenti degli I.P. (età media 41 anni); cadmio ($r=0,224$; $p=0,046$) per i Detenuti (età media 49 anni) e Tallio ($r=0,500$; $p=0,025$) per i lavoratori del PAIP (età media 44 anni). È noto che alcuni metalli (in particolare il cadmio) tendono ad accumularsi nell'organismo e a seguire dei processi di smaltimento particolarmente lenti; è quindi plausibile riscontrare una correlazione fra concentrazione di tali metalli e l'età anagrafica.

Altre esposizioni

Nella fase ante operam, 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. Molte delle sostanze indagate sono meno concentrate nelle urine di coloro che hanno dichiarato di svolgere regolarmente attività fisica, in particolare si evidenziano: acido trans,trans-muconico ($p=0,001$), acido S-fenilmercapturico ($p<0,0001$), vinilfenolo ($p=0,015$), cadmio ($p=0,003$) e stagno ($p=0,005$). Tuttavia è da notare che anche la concentrazione di cotinina (principale metabolita della nicotina) risulta inferiore in coloro che praticano attività fisica ($p=0,014$): sebbene per motivi di numerosità campionaria non sia stato possibile stratificare in funzione del fumo, la diversa concentrazione di cotinina potrebbe indicare che in linea generale, chi esercita attività fisica è maggiormente portato ad evitare il fumo ed altre attività che possono incidere sulla condizione fisica in generale e sull'esposizione a fonti di inquinamento in particolare. Sempre per ciò che riguarda i detenuti, nella fase ante operam le concentrazioni urinarie di alcuni indicatori sono variate in funzione della **sezione** (sezioni 1, 2 e 3 in corrispondenza di 1°, 2°, 3° piano) e dell'**orientamento delle finestre** (est, ovest). Tuttavia, per tali differenze non è stato possibile identificare un quadro cui attribuire una spiegazione: cambiando sezione e/o piano alcuni inquinanti aumentano mentre altri diminuiscono senza mostrare un andamento coerente fra loro.

Concentrazione media di PM10 durante il giorno di raccolta del campione

Come anticipato, 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. Dall'analisi statistica del periodo ante operam è emerso che:

-tra i Dipendenti, c'è una correlazione positiva tra PM10 e le concentrazioni urinarie di benzene ($r=0,241$; $p=0,031$);

-tra i Detenuti, c'è una correlazione positiva tra PM10 e le concentrazioni urinarie di etilbenzene ($r=0,241$; $p=0,031$), mentre si sono osservate correlazioni negative con MTBE ($r=-0,254$; $p=0,023$), tallio ($r=-0,261$; $p=0,019$) e nichel ($r=-0,281$; $p=0,011$);

-tra i lavoratori del PAIP, esiste una correlazione positiva tra PM10 e le concentrazioni urinarie di etilbenzene ($r=0,691$; $p=0,002$), stirene ($r=0,834$; $p<0,0001$) e MTBE ($r=0,663$; $p=0,003$), mentre si sono osservate correlazioni negative con toluene ($r=-0,845$; $p<0,0001$).

Il confronto tra dato biologico e dato ambientali 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.

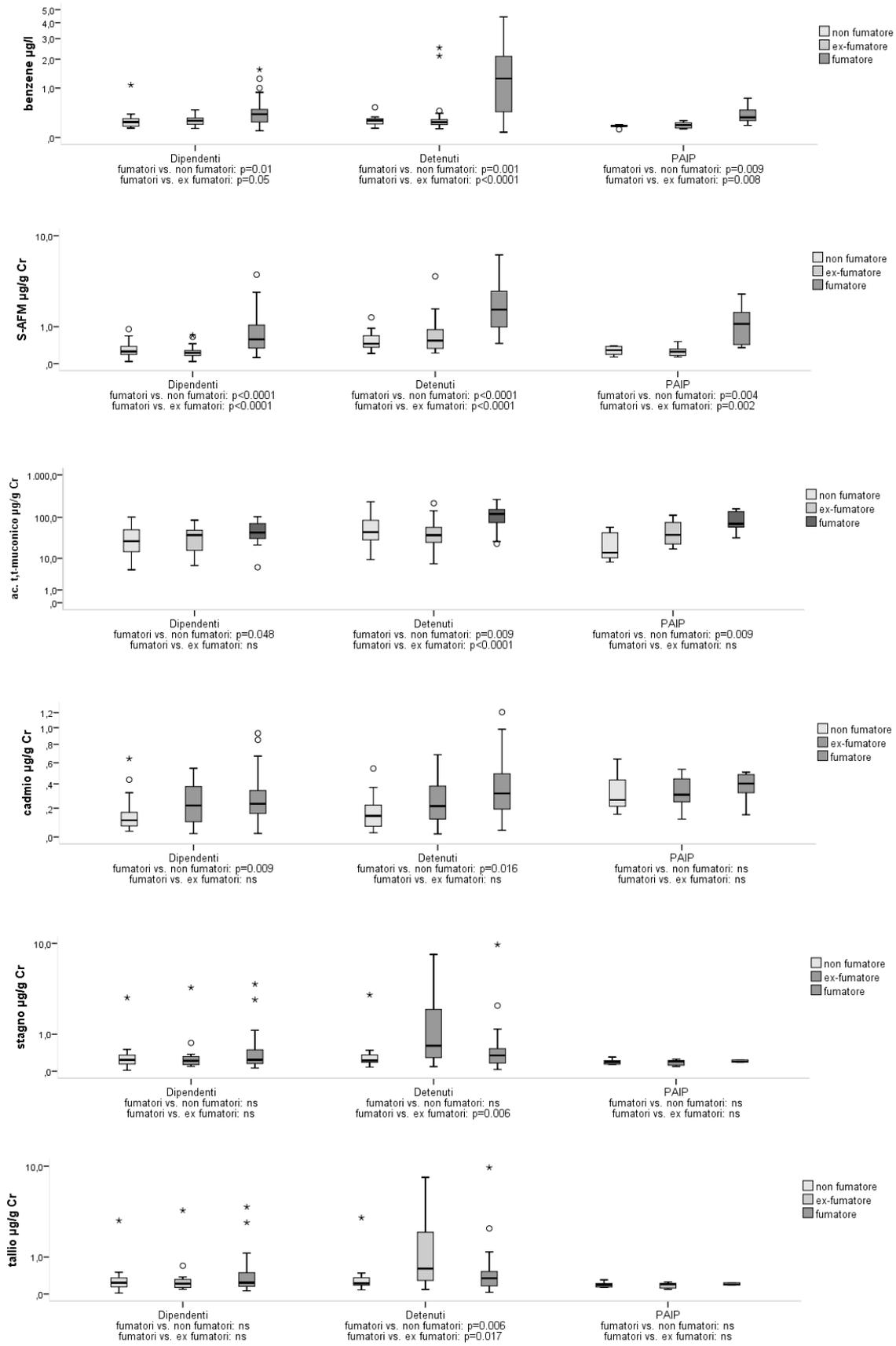


Figura 3. Dosaggio di benzene, metaboliti del benzene e metalli nel gruppo dei dipendenti del penitenziario, dei detenuti e dei dipendenti del PAIP (ns per "non significativo"). Campionamento in fase ante operam, per gli intervalli di riferimento si rimanda alla Tabella 4.

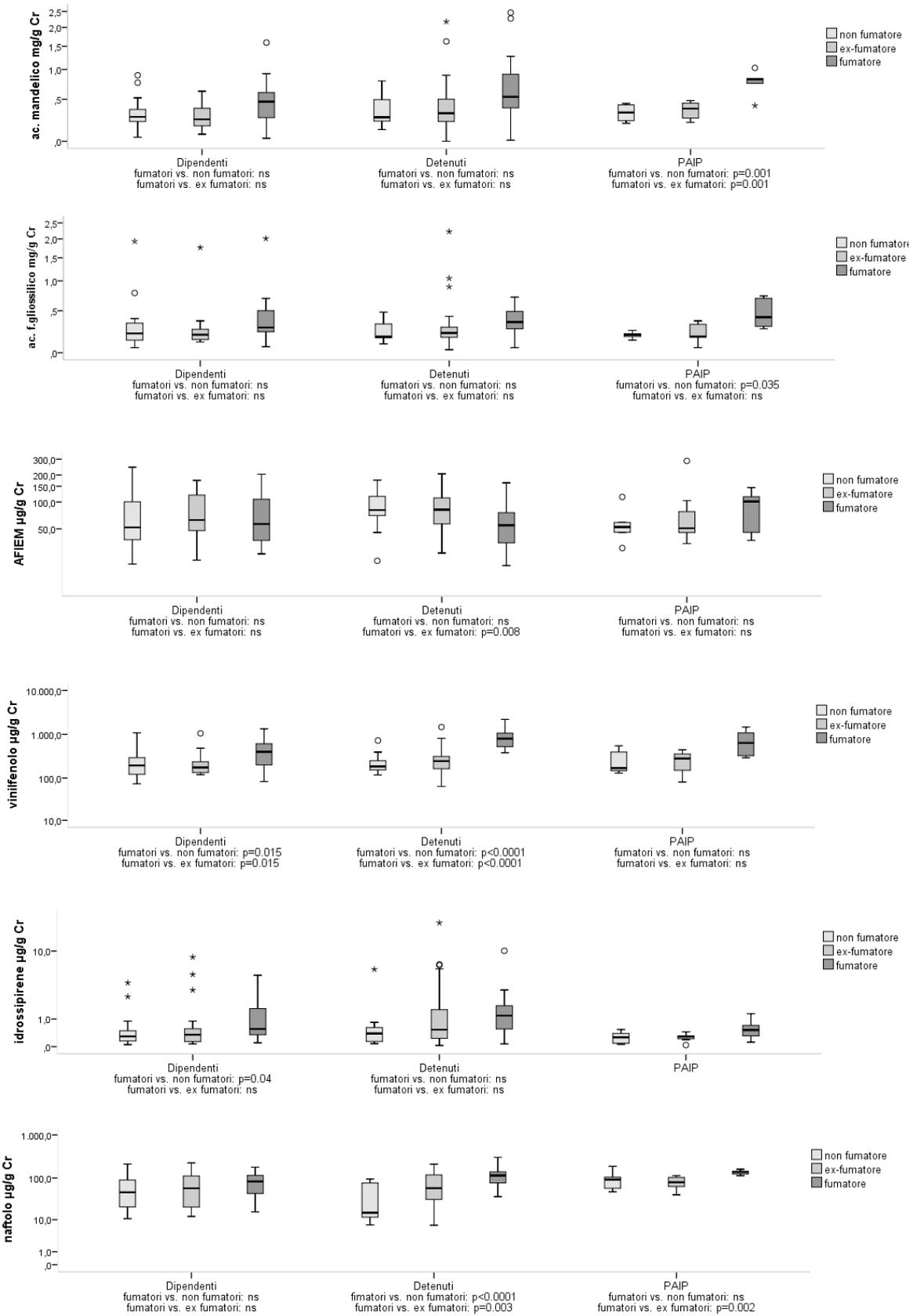


Figura 4. Dosaggio di metaboliti dello stirene, idrossipirene e naftolo nel gruppo dei dipendenti del penitenziario, dei detenuti e dei dipendenti del PAIP (ns per “non significativo”). Campionamento in fase ante operam, per gli intervalli di riferimento si rimanda alla Tabella 4.

Campionamento in fase di esercizio provvisorio (ottobre 2013) – analisi dei fattori di esposizione

L'impianto è stato avviato in esercizio provvisorio il 30 aprile 2013 e messo a regime il 1° aprile 2014. La fase di esercizio provvisorio ha visto dei periodi di attivazione e dei periodi di interruzione dell'attività del PAIP. In questo periodo è stata prodotta una limitata quantità di emissioni in relazione alle prove di accensione e di combustione eseguite.

Anche per il primo post operam (fase di esercizio provvisorio), le mediane delle concentrazioni per i vari metaboliti nei tre gruppi di soggetti indagati sono risultate comprese negli intervalli dei valori di riferimento (tabella 5, mostrata in precedenza).

Fumo di tabacco

Nella descrizione dei risultati ottenuti da questo campionamento, è nuovamente opportuno partire dalle significatività riscontrate in relazione al tabacco che, come osservato nell'ante operam, rappresenta la fonte di confondimento più influente. Anche nella fase di esercizio provvisorio il benzene e l'acido s-fenil mercapturico (metabolita del benzene) sono risultati più concentrati nelle urine dei fumatori, sebbene in generale le differenze fra fumatori e non fumatori nella seconda campagna di campionamento risultino meno marcate (figure 5 e 6) rispetto all'ante operam (si veda anche il confronto fra ante e post operam a seguire). Tale osservazione trova conferma anche nei grafici: infatti la scala delle ordinate nelle figure 3 e 4 è quasi sempre più ampia di quella presente nelle figure 5 e 6, indicando che l'intervallo di variazione è più ampio per l'ante operam che non per il post operam (si ricorda che sono stati riportati soltanto i grafici degli analiti per i quali sono state registrate delle significatività statistiche). A parità di abitudine al fumo si riscontrano delle differenze fra gruppi. In particolare per i soggetti fumatori si osserva che i Dipendenti hanno concentrazioni urinarie di toluene ($p < 0,05$) e di cadmio ($p < 0,01$) più basse rispetto a quelle determinate nei campioni dei Detenuti; mentre hanno concentrazioni urinarie di stagno più alte dei lavoratori del PAIP ($p < 0,01$). Per i soggetti ex-fumatori sono state riscontrate concentrazioni urinarie di stirene significativamente inferiori nel gruppo dei Detenuti rispetto al gruppo dei Dipendenti ($p < 0,001$).

Età anagrafica

Come descritto nella presentazione dei dati ante operam, con l'età alcuni metalli (fra cui il cadmio) tendono ad accumularsi nell'organismo: questo andamento è stato nuovamente riconfermato, inoltre sono state osservate ulteriori correlazioni positive fra l'età e la concentrazione di alcuni metaboliti dello stirene. All'interno del penitenziario, per i dipendenti (età media 39 anni) l'età risulta correlata con Sn ($r = 0,293$; $p = 0,021$), Ni ($r = 0,306$; $p = 0,016$), Toluene ($r = 0,271$; $p = 0,029$), Naftolo ($r = 0,240$; $p = 0,045$), ma anche con la cotinina ($r = 0,331$; $p = 0,009$) indicando che i dipendenti più anziani tendono ad essere i fumatori più perseveranti.

Per il gruppo dei Detenuti, caratterizzati da un'età media decisamente maggiore di quella dei dipendenti (52 anni), le correlazioni risultate significative sono quelle tra gli anni e alcuni metalli come Cd ($r = 0,325$; $p = 0,005$) e Cr ($r = 0,321$; $p = 0,007$), insieme ad alcuni metaboliti dello stirene come AM ($r = 0,402$; $p = 0,001$), AFG ($r = 0,287$; $p = 0,016$) e VP ($r = 0,293$; $p = 0,014$). Per quanto riguarda i lavoratori del PAIP (età media 44 anni) si osservano correlazioni positive tra età e concentrazioni urinarie di Cd ($r = 0,421$; $p = 0,040$), Cr ($r = 0,446$; $p = 0,033$) e V ($r = 0,484$; $p = 0,019$) nonché con alcuni metaboliti dello stirene come AM ($r = 0,508$; $p = 0,013$) e AFIEM ($r = 0,567$; $p = 0,005$). Si conferma quindi l'evidenza di una relazione tra concentrazioni di alcune sostanze (in particolare Cd e Cr) e l'età.

Inoltre, sono state riscontrate correlazioni negative tra età e creatinina urinaria sia nel gruppo dei Detenuti ($r = -0,398$; $p = 0,001$), che in quello dei lavoratori del PAIP ($r = -0,486$; $p = 0,019$), legato ad una riduzione attesa della funzionalità renale con l'invecchiamento.

Altre esposizioni

-Per quanto riguarda le differenze di **alimentazione** e le altre **abitudini di tipo voluttuario**, non sono osservate variazioni indicative rispetto alla concentrazione dei metaboliti, fatta eccezione per il **consumo di te e caffè**. Infatti, nel secondo campionamento, si osserva una correlazione positiva tra consumo di bevande eccitanti e concentrazioni urinarie di Etilbenzene ($r=0,244$; $p=0,040$), Xileni ($r=0,385$; $p=0,001$), AFIEM ($r=0,265$; $p=0,029$), AM ($r=0,307$; $p=0,001$), e Naftolo ($r=0,278$; $p=0,022$). Tuttavia esiste anche una correlazione positiva con la concentrazione di cotinina ($r=0,343$; $p=0,004$): 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 covariata particolarmente influente.

-Il **consumo di bevande alcoliche o gassate**, non sembra invece modificare in senso univoco i parametri urinari. Le significatività riscontrate fra bevitori e non bevitori hanno spesso andamenti contrastanti e non forniscono un quadro a cui sia attribuibile un senso biologico.

-Contrariamente a quanto osservato nella sessione di campionamento ante operam, nel post operam per il lavoratori del PAIP vengono rilevate alcune differenze di concentrazione di inquinanti in funzione della **mansione** svolta: i soggetti che attualmente svolgono la loro attività lavorativa in prossimità degli impianti hanno concentrazioni urinarie di etilbenzene significativamente più alte rispetto a quelli che svolgono attività amministrative ($p=0,015$), mentre per l'acido trans,trans-muconico si è osservato un andamento opposto ($p=0,046$). È tuttavia necessario ricordare che le analisi sono state condotte su un numero piuttosto basso di soggetti, pertanto le significatività evidenziate sono comunque da discutere con la dovuta cautela, in attesa dei risultati dei campionamenti successivi.

Per quanto riguarda esposizioni ad agenti inquinanti legate ad **attività lavorative precedenti** (provenienza da altri impianti di smaltimento), i conduttori/manutentori delle macchine hanno concentrazioni urinarie di toluene e acido fenilgliosilico significativamente più alte rispetto a quelli che hanno svolto attività amministrative, ($p=0,024$ per il toluene e $p=0,048$ per l'acido fenilgliosilico), mentre per lo stagno si è osservato l'andamento opposto (maggiore negli amministrativi, $p=0,025$). Non sono state riscontrate correlazioni con la **continuità lavorativa** presso l'impianto. Contestualmente è necessario ricordare che non tutte le sostanze ricercate nelle urine sono caratterizzate dallo stesso grado di specificità: come spiegato precedentemente, l'acido t,t-muconico è un metabolita del benzene, ma anche del sorbitolo usato come dolcificante (e quindi potenzialmente legato al consumo di alimenti e bevande dolci); inoltre può essere pesantemente affetto dall'esposizione al fumo di tabacco.

Per avere un quadro attendibile di esposizione ad inquinanti aerodispersi è necessario tenere in considerazione il modificarsi di diversi parametri che devono variare insieme e in modo coerente fra loro. Nel rapporto qui presentato capita spesso di incontrare significatività statistiche non associabili al quadro espositivo evidenziato nell'indagine: questo può essere dovuto alla precisione del metodo analitico che è spesso in grado di rilevare variazioni fini nel profilo degli inquinanti urinari dovute a fonti espositive diverse dalla combustione ma presenti nella vita quotidiana. Come ipotizzato in partenza, lo stile di vita e l'ambiente confermano la loro forte influenza sulle concentrazioni urinarie di inquinanti e rappresentano importanti cause di confondimento nella ricerca di traccianti indice di esposizione alle emissioni da incenerimento, il cui valore atteso è generalmente molto basso in riferimento all'insieme delle altre fonti di esposizione.

-Gli **hobbies** che potrebbero causare imbrattamento della pelle con sostanze chimiche o altri tipi di esposizione ad agenti inquinanti attualmente non risultano influire sulle concentrazioni urinarie degli analiti. Invece, sia fra i dipendenti del penitenziario che fra i detenuti;

- l'abitudine a svolgere regolarmente **attività fisica all'aperto** si riconferma in qualche modo collegabile ad una minor concentrazione urinaria di alcuni inquinanti sebbene non emerga un quadro coerente e forte di

tale relazione. In particolare tra i dipendenti, i soggetti “sportivi” sono caratterizzati da concentrazioni urinarie di acido mandelico e di nichel significativamente inferiori rispetto a quelli “non sportivi” (acido mandelico $p=0,022$; nichel $p=0,045$). Tra i detenuti, i soggetti che dichiarano di svolgere regolarmente attività fisica hanno concentrazioni urinarie di benzene significativamente inferiori rispetto agli altri ($p=0,011$), sebbene non sia disponibile un’informazione attendibile sul luogo dove viene svolta.

-Sebbene le informazioni ottenute per mezzo della georeferenziazione dei domicili non risultino per il momento indicative di diversi gradi di esposizione, tuttavia i dipendenti che risiedono in caserma (entro il perimetro dell’istituto penitenziario) hanno concentrazioni urinarie di xileni superiori rispetto a chi risiede fuori ($p=0,006$), mentre non si sono riscontrate differenze relative alla diversa mansione svolta o al lavoro effettuato all’aperto o al chiuso.

-Come osservato nell’ante operam, anche nel campionamento in fase di esercizio provvisorio si sono osservate differenze nelle concentrazioni urinarie dei detenuti alloggiati nelle diverse **sezioni/piani** del penitenziario. Tuttavia di nuovo tali differenze non consentono di tracciare alcun quadro coerente di esposizione. Per quanto riguarda il diverso **orientamento delle finestre**, in questo campionamento si è osservato che la concentrazione urinaria di diversi inquinanti risulta maggiore per il lato est rispetto al lato ovest. In particolare le molecole interessate sono: xileni ($p=0,038$), stirene ($p=0,037$), AFG ($p<0,0001$), AFIEM ($p<0,0001$), VP ($p=0,018$), naftolo ($p<0,0001$) e cromo ($p=0,020$).

Concentrazione media di PM10 durante il giorno di raccolta del campione

Come per la fase ante operam, anche durante la fase di esercizio provvisorio nel cortile antistante il penitenziario è stato collocato il laboratorio mobile di ARPA per la misurazione di PM10, metalli e idrocarburi policiclici aromatici. Per ottenere il massimo dei dati estrapolabili la centralina ARPA è rimasta attiva per 21 giorni consecutivi entro i quali sono state svolte tutte le attività di campionamento. La media del PM10 nei giorni del campionamento ante operam e in quelli di esercizio provvisorio è rispettivamente di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e di $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nell’ottobre 2013 gli inquinanti che sono risultati correlare positivamente con le concentrazioni di PM10 sono stati soltanto l’acido fenilgliosilico ($r=0,427$; $p<0,0001$) e gli acidi S-idrossietilfenilmercapturici ($r=0,353$; $p=0,003$), diversi da quelli correlati nella prima campagna. Quindi si conferma, nell’esperienza di questa ricerca, l’assenza di una chiara evidenza di associazione tra “qualità dell’aria” presso gli I.P. e le sostanze rilevate nelle urine.

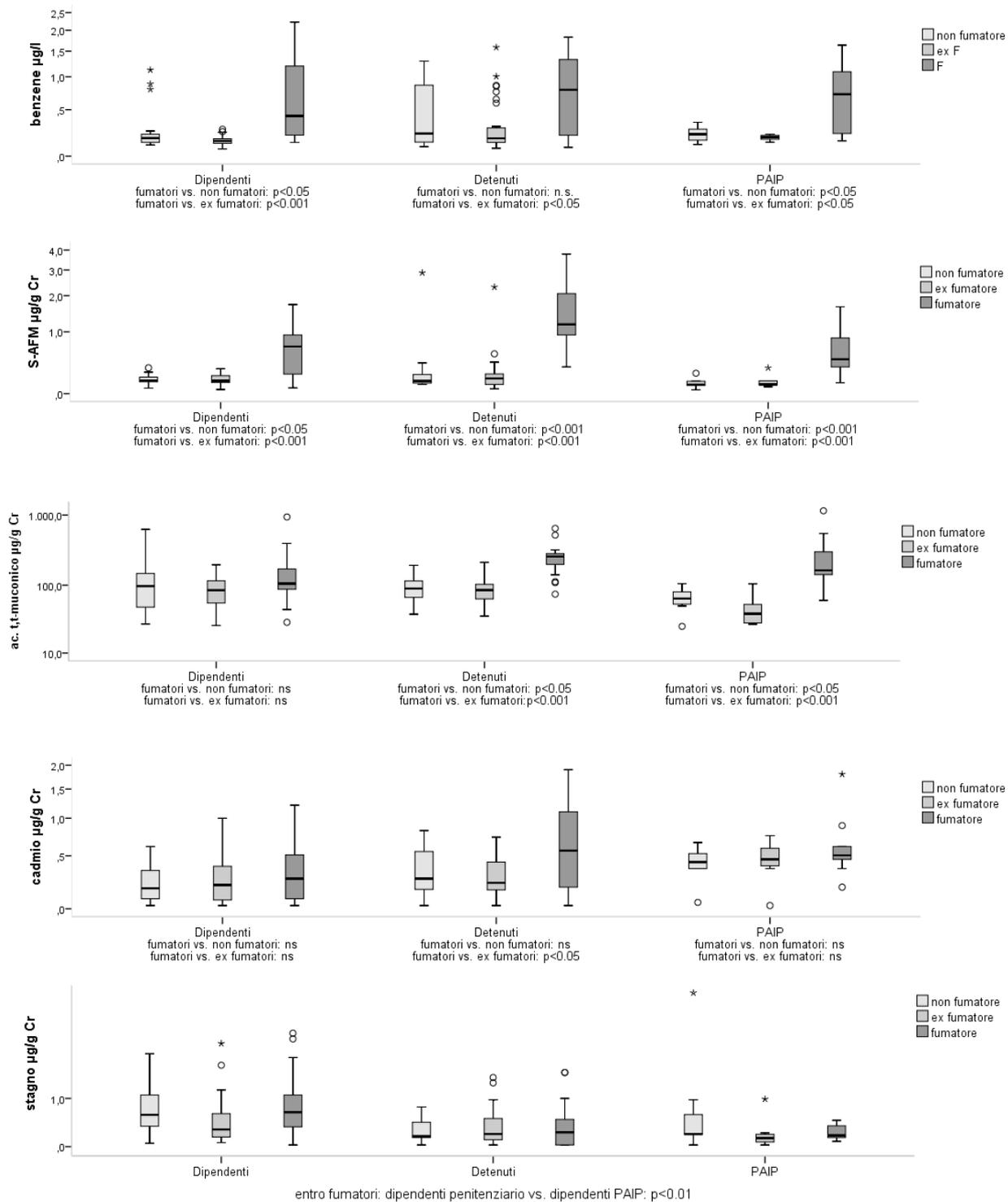


Figura 5. Dosaggio di benzene, metaboliti del benzene, cadmio e tallio nel gruppo dei dipendenti del penitenziario, dei detenuti e dei dipendenti del PAIP (ns per “non significativo”). Campionamento in fase di esercizio provvisorio, per gli intervalli di riferimento si rimanda alla Tabella 4.

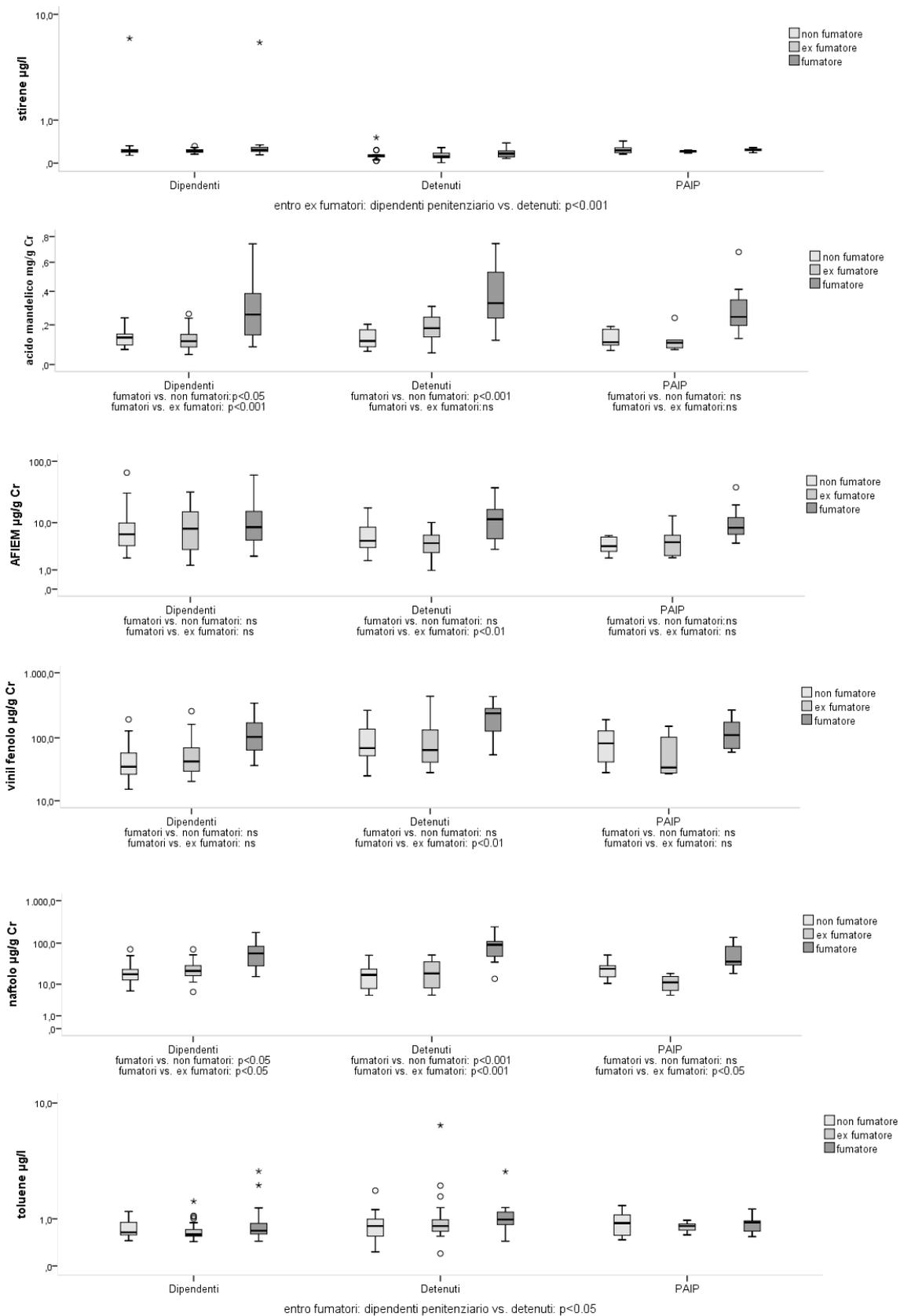


Figura 6. Dosaggio di stirene e suoi metaboliti, naftolo e toluene nel gruppo dei dipendenti del penitenziario, dei detenuti e dei dipendenti del PAIP (ns per "non significativo"). Campionamento in fase di esercizio provvisorio, per gli intervalli di riferimento si rimanda alla Tabella 4.

Confronto fra fase ante operam e fase di esercizio provvisorio

Il confronto fra pre e post accensione indaga le differenze temporali eventualmente riscontrabili in persone coinvolte in entrambe le sessioni di campionamento. Per questo motivo si parla di campioni "dipendenti", per l'analisi dei quali è stato utilizzato il test non parametrico di Wilcoxon. Poiché la numerosità del campione è più bassa delle precedenti, soprattutto per quanto riguarda i dipendenti (dipendenti penitenziario: n=35, detenuti: n=58, dipendenti PAIP: n=19) non sono state operate stratificazioni in funzione del fumo e di altre variabili indipendenti diverse dal gruppo di appartenenza.

Nelle tabelle 8, 9, 10 sono riportate le mediane degli analiti rispettivamente per dipendenti del penitenziario, detenuti e dipendenti PAIP, con le relative significatività per le differenze fra fase ante operam e fase di esercizio provvisorio. È visibile come gran parte delle concentrazioni siano diminuite passando dal primo al secondo campionamento, nonostante il PM10 atmosferico in tutte le centraline di misura (indicatore generale di qualità dell'aria) fosse più alto e l'impianto di incenerimento fosse in funzione, sebbene in esercizio parziale. La diminuzione di alcuni valori potrebbe essere in parte attribuita alla diminuzione nell'abitudine al fumo, evidenziata da un calo significativo della cotinina nel gruppo dei dipendenti del penitenziario e nei detenuti.

Il tt-AM, metabolita del benzene, è l'unica sostanza che aumenta nelle urine di tutti i tre gruppi indagati, passando dalla prima alla seconda campagna; l'AFG, metabolita dello stirene, aumenta nei dipendenti I.P. e nei detenuti; Il cadmio aumenta solo nei detenuti, mentre MTBE aumenta solo nel gruppo dei dipendenti degli I.P.

Si è attualmente in attesa delle analisi relative alla terza e alla quarta sessione di campionamento per delineare un quadro più esaustivo, e probabilmente definitivo, delle variazioni temporali.

Funzione	Sigla del composto	Campionamento fase ante operam: mediana [25°-75°]	Campionamento fase di es. provvisorio: mediana [25°-75°]	Sign.	andamento
DOSAGGIO URINARIO di NAFTOLO E 1-IDROSSIPIRENE	N-OH (µg/g di creat.)	90.9 [35.8-115]	30.8 [19.1-54.4]	<0.0001	diminuzione
	1OH-P (µg/g di creat.)	0.48 [0.15-0.90]	0.51 [0.32-1.01]	n.s.	
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti del Benzene e della Nicotina	<i>t,t</i> -AM (µg/g di creat.)	33.7 [18.1-52.1]	87.6 [51.9-132]	<0.0001	aumento
	AFM (µg/g di creat.)	0.29 [0.21-0.65]	0.22 [0.15-0.40]	0.001	diminuzione
	Cotina (µg/g di creat.)	9.42 [4.71-1049]	6.22 [3.32-482]	<0.0001	diminuzione
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti dello stirene	AM (mg/g di creat.)	0.24 [0.16-0.47]	0.16 [0.13-0.26]	0.002	diminuzione
	AFG (mg/g di creat.)	0.22 [0.14-0.29]	0.41 [0.16-0.79]	0.03	aumento
	AFIEM (µg/g di creat.)	6.25 [4.33-12.6]	8.34 [4.00-17.2]	n.s.	
	VP (µg/g di creat.)	228 [170-483]	58.3 [41.1-97.2]	<0.0001	diminuzione
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene (µg/L)	0.3 [0.23-0.43]	0.19 [0.15-0.33]	n.s.	
	Toluene (µg/L)	0.91 [0.85-0.98]	0.6 [0.56-0.76]	0.001	diminuzione
	Etil Benz. (µg/L)	0.43 [0.41-0.46]	0.27 [0.19-0.38]	<0.0001	diminuzione
	Xileni (µg/L)	0.21 [0.20-0.22]	0.17 [0.14-0.22]	0.002	diminuzione
	Stirene (µg/L)	0.24 [0.23-0.27]	0.22 [0.19-0.27]	0.04	diminuzione
	MTBE (µg/L)	0.67 [1.83-1.57]	1.34 [1.03-2.27]	0.04	aumento
Metalli	Cd (µg/g di creat.)	0.16 [0.08-0.32]	0.17 [0.09-0.27]	n.s.	
	Cr (µg/g di creat.)	0.11 [n.d.-0.30]	0.07 [n.d.-0.54]	n.s.	
	Sn (µg/g di creat.)	0.3 [0.18-0.70]	0.37 [0.29-0.55]	n.s.	
	Tl (µg/g di creat.)	0.2 [0.14-0.35]	0.23 [0.18-0.37]	n.s.	
	Ni (µg/g di creat.)	1.39 [1.04-1.91]	1.03 [0.54-1.81]	n.s.	
	Sb (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	U (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Mn (µg/g di creat.)	n.d.	0.24 [n.d.-0.50]	–	
	V (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Pd (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Be (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	

Tabella 8. **DIPENDENTI PENITENZIARIO**. Dosaggi mediani e intervallo interquartile dei metaboliti in entrambe le sessioni di campionamento. **CONFRONTO PRE-POST ESEGUITO SUGLI STESSI SOGGETTI PRESENTI IN ENTRAMBE LE CAMPAGNE**

Funzione	Sigla del composto	Campionamento fase ante operam: mediana [25°-75°]	Campionamento fase di es. provvisorio: mediana [25°-75°]	Sign.	andamento
DOSAGGIO URINARIO di NAFTOLO E 1-IDROSSIPIRENE	N-OH (µg/g di creat.)	65.2 [24.2-121]	28.1 [11.9-50.0]	0.001	diminuzione
	1OH-P (µg/g di creat.)	0.57 [0.23-1.55]	0.63 [0.40-1.11]	n.s.	
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti del Benzene e della Nicotina	<i>t,t</i> -AM (µg/g di creat.)	51.8 [30.4-99.7]	93.4 [68.9-192]	<0.0001	aumento
	AFM (µg/g di creat.)	0.69 [0.44-1.04]	0.24 [0.13-0.94]	<0.0001	diminuzione
	Cotina (µg/g di creat.)	9.42 [4.71-1049]	6.22 [3.32-482]	<0.0001	diminuzione
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti dello stirene	AM (mg/g di creat.)	0.38 [0.19-0.67]	0.19 [0.13-0.27]	<0.0001	diminuzione
	AFG (mg/g di creat.)	0.23 [0.16-0.33]	0.41 [0.11-0.69]	0.001	aumento
	AFIEM (µg/g di creat.)	7.82 [4.66-11.4]	5.73 [3.60-9.77]	n.s.	
	VP (µg/g di creat.)	297 [184-513]	111 [57.7-258]	<0.0001	diminuzione
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene (µg/L)	0.26 [0.21-0.31]	0.21 [0.14-0.85]	n.s.	
	Toluene (µg/L)	0.98 [0.95-1.02]	0.84 [0.67-1.1]	0.037	diminuzione
	Etil Benz. (µg/L)	0.42 [0.40-0.46]	0.32 [0.21-0.47]	0.001	diminuzione
	Xileni (µg/L)	0.21 [0.18-0.27]	0.2 [0.18-0.26]	n.s.	
	Stirene (µg/L)	0.23 [0.21-0.24]	0.13 [0.10-0.20]	<0.0001	diminuzione
	MTBE (µg/L)	0.45 [0.21-1.23]	0.54 [0.07-1.85]	n.s.	
Metalli	Cd (µg/g di creat.)	0.23 [0.12-0.38]	0.29 [0.15-0.48]	0.049	aumento
	Cr (µg/g di creat.)	0.07 [n.d.-0.83]	0.27 [0.10-0.64]	n.s.	
	Sn (µg/g di creat.)	0.36 [0.16-0.81]	0.18 [0.07-0.28]	<0.0001	diminuzione
	Tl (µg/g di creat.)	0.43 [0.25-1.45]	0.23 [0.18-0.37]	<0.0001	diminuzione
	Ni (µg/g di creat.)	1.26 [0.55-2.08]	1.3 [0.63-2.09]	n.s.	
	Sb (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	U (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Mn (µg/g di creat.)	n.d.	0.5 [0.36-0.67]	–	
	V (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Pd (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	
	Be (µg/g di creat.)	n.d.	n.d.	–	

Tabella 9. **DETENUTI**. Dosaggi mediani e intervallo interquartile dei metaboliti in entrambe le sessioni di campionamento. **CONFRONTO PRE-POST ESEGUITO SUGLI STESSI SOGGETTI PRESENTI IN ENTRAMBE LE CAMPAGNE**

Funzione	Sigla del composto	Campionamento fase ante operam: mediana [25°-75°]	Campionamento fase di es. provvisorio: mediana [25°-75°]	Sign.	andamento
DOSAGGIO URINARIO di NAFTOLO E 1-IDROSSIPIRENE	N-OH (µg/g di creat.)	105 [74.1-138]	30.8 [19.1-54.4]	<0.0001	diminuzione
	1OH-P (µg/g di creat.)	0.3 [0.17-0.47]	0.33 [0.22-0.41]	n.s.	
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti del Benzene e della Nicotina	<i>t,t</i> -AM (µg/g di creat.)	49.2 [16.6-85.9]	71.7 [39.0-144]	0.013	aumento
	AFM (µg/g di creat.)	0.35 [0.19-0.53]	0.15 [0.10-0.39]	0.001	diminuzione
	Cotina (µg/g di creat.)	1.99 [1.40-912]	3.1 [1.18-531]	n.s.	
DOSAGGIO URINARIO di metaboliti dello stirene	AM (mg/g di creat.)	0.42 [0.26-0.77]	0.18 [0.11-0.24]	<0.0001	diminuzione
	AFG (mg/g di creat.)	0.22 [0.17-0.34]	0.33 [0.12-0.64]	n.s.	
	AFIEM (µg/g di creat.)	5.72 [4.47-11.4]	5.35 [3.61-7.90]	n.s.	
	VP (µg/g di creat.)	306 [152-496]	89.4 [31.0-149]	<0.0001	diminuzione
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene (µg/L)	0.19 [0.17-0.58]	0.21 [0.16-0.65]	n.s.	
	Toluene (µg/L)	0.9 [0.58-1.00]	0.86 [0.67-0.96]	n.s.	
	Etil Benz. (µg/L)	0.43 [0.37-0.51]	0.46 [0.36-0.53]	n.s.	
	Xileni (µg/L)	0.2 [0.19-0.21]	0.2 [0.19-0.21]	n.s.	
	Stirene (µg/L)	0.21 [0.19-0.29]	0.23 [0.19-0.26]	n.s.	
	MTBE (µg/L)	2.25 [0.76-3.25]	1.24 [0.92-1.75]	0.008	diminuzione
	Metalli	Cd (µg/g di creat.)	0.32 [0.23-0.46]	0.32 [0.23-0.46]	n.s.
Cr (µg/g di creat.)	0.12 [0.08-0.18]	0.16 [0.09-0.25]	n.s.		
Sn (µg/g di creat.)	0.1 [0.07-0.24]	0.11 [0.08-0.21]	n.s.		
Tl (µg/g di creat.)	0.19 [0.14-0.22]	0.15 [0.11-0.19]	n.s.		
Ni (µg/g di creat.)	1.36 [0.68-1.77]	1.09 [0.55-1.89]	n.s.		
Sb (µg/g di creat.)	—	—	—	—	
U (µg/g di creat.)	—	—	—	—	
Mn (µg/g di creat.)	n.d.	0.32 [0.17-0.78]	—	—	
V (µg/g di creat.)	0.06 [n.d.-0.11]	0.1 [0.06-0.14]	n.s.		
Pd (µg/g di creat.)	—	—	—	—	
Be (µg/g di creat.)	—	—	—	—	

Tabella 10. **DIPENDENTI PAIP**. Dosaggi mediani e intervallo interquartile dei metaboliti in entrambe le sessioni di campionamento. **CONFRONTO PRE-POST ESEGUITO SUGLI STESSI SOGGETTI PRESENTI IN ENTRAMBE LE CAMPAGNE**

Considerazioni finali sulle prime due sessioni di campionamento nell'ambito del piano di biomonitoraggio

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.

La sensibilità dello strumento di analisi consente di evidenziare fluttuazioni anche molto piccole nelle concentrazioni molecolari, senza evidenziare dei profili espositivi importanti, ad eccezione di quello dei fumatori.

Il contributo del PAIP all'eventuale aumento di concentrazione di inquinanti nell'organismo non è al momento individuabile nel quadro generale delle variazioni delle concentrazioni urinarie dei metaboliti indagati, anche volendo fare riferimento a quelli ritenuti maggiormente informativi rispetto alla combustione di rifiuti solidi urbani o assimilabili, anche se in modo non esclusivo (2-naftolo, tallio e vanadio). Nonostante il passaggio dalla fase ante-operam a quella di esercizio provvisorio, nei soggetti che hanno partecipato ad entrambe le campagne di campionamento, si è osservato un calo temporale nella concentrazione urinaria della maggior parte delle sostanze, con l'eccezione dell'acido trans,trans-muconico e dell'acido fenilgliosilico.

Si evidenziano invece alcune variazioni attribuibili alle differenze personali che risultano incidere sull'esito di alcuni analiti, soprattutto per quanto riguarda il fumo. 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.

Si osserva tuttavia una minor concentrazione di alcuni analiti nelle urine di chi pratica abitualmente **attività fisica** all'aperto.

Riguardo alla **mansione svolta**, i risultati ottenuti per i lavoratori PAIP potrebbero indicare una certa differenza fra il personale amministrativo e gli addetti alla manutenzione/movimentazione, tuttavia, a causa dell'esiguo numero di campioni i risultati dovranno essere corroborati dai campionamenti futuri.

In generale la messa in esercizio del PAIP non sembra aver determinato, per il momento, variazioni significative nell'assunzione di inquinanti aerodispersi da parte dei partecipanti al piano di biomonitoraggio.