

SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Parma

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

Piano operativo biomonitoraggio

RAPPORTO SUI RISULTATI DEFINITIVI DELLE CAMPAGNE RELATIVE AI LAVORATORI DEL PAIP (anni 2013-2019)

AUTORI:

Responsabile scientifico

Dr.ssa Natalia Sodano

Collaboratori del Dipartimento di Sanità Pubblica

Dr.ssa Gaia Fallani

Dr.ssa Rosanna Giordano

Dr.ssa Elisa Mariani

Collaboratori del Tavolo Tecnico-Scientifico

Servizio Sanità Pubblica Regione Emilia-Romagna

CTR Ambiente-Salute, ARPAE Emilia Romagna

Università degli Studi di Parma - Centro Eccellenza Ricerca Tossicologica

Azienda Ospedaliero-universitaria di Parma

ARPAE Sezione di Parma

Servizio Interdip.le di Epidemiologia e Comunicazione AUSL di Reggio

Dr. Maurizio Impallomeni, già Direttore Area Igiene Ambientale AUSL Parma

DICEMBRE 2024

COMPENDIO

INTRODUZIONE. La linea di indagine riguardante il biomonitoraggio su campioni di urine fa parte del Progetto di Sorveglianza Sanitaria del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP) nel filone biotossicologico-epidemiologico incentrato sull'uomo.

Quest'analisi di biomonitoraggio prevede la ricerca di alcuni marcatori urinari di esposizione a sostanze provenienti da processi di combustione, tra cui l'incenerimento di rifiuti non pericolosi, in soggetti che lavorano all'interno dell'area PAIP. I campioni oggetto di questo rapporto sono stati raccolti in otto campagne in un arco di tempo che va da marzo 2013 (fase ante operam, precedente all'accensione dell'inceneritore) a novembre 2019. Il biomonitoraggio consente di individuare, con strumenti sensibili, concentrazioni urinarie di sostanze che riflettono un'esposizione a breve termine valutandone la variazione nel tempo.

OBIETTIVI. Il piano di biomonitoraggio ha due obiettivi:

-Contribuire a caratterizzare l'esposizione dei lavoratori del PAIP attraverso il confronto tra i valori rilevati nelle urine raccolte e i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione generale non professionalmente esposta. Tuttavia, considerando che l'esposizione riguarda spesso sostanze presenti negli ambienti di lavoro, per le quali esistono limiti di esposizione professionale (BEI, EKA,...), si è ritenuto opportuno utilizzare anche questi se presenti, o provenienti da studi occupazionali riportati in articoli pubblicati su riviste internazionali;

-Cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando, su un piano descrittivo, i fattori di esposizione che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine e la plausibilità di un ruolo attribuibile alle emissioni dell'inceneritore.

METODI. Sono stati arruolati su base volontaria alcuni dipendenti del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP) impiegati sia in mansioni tecniche/operative che amministrative; di essi sono stati raccolti i campioni di urina ed è stato compilato un questionario sulle loro abitudini e gli stili di vita.

RISULTATI. Il presente fa seguito ad un primo rapporto che ha illustrato i risultati delle prime due campagne di prelievo (ante operam e post operam in fase di esercizio provvisorio discontinuo). Nella presente relazione vengono descritti i risultati di tutte e otto le campagne di campionamento per i lavoratori del PAIP. Relativamente alle analisi sugli inquinanti ambientali, in generale, nella stazione posta in Via Burla per i primi quattro campionamenti e nelle postazioni di Sorbolo-Bogolese e Parma- Paradigna, è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con la stazione di "fondo urbano" (Parma-Cittadella).

È rilevante osservare che la maggior parte delle mediane, per tutti i composti considerati e in tutti i tempi è risultata essere compresa nei rispettivi intervalli dei valori di riferimento relativi alla popolazione generale, evidenziando che la coorte dei lavoratori del PAIP è da considerarsi al pari della popolazione generale in termini di esposizione ai composti chimici analizzati. È interessante notare che nei soggetti fumatori si osserva una maggior variabilità dell'intervallo di concentrazioni urinarie dei composti volatili contenuti nel fumo di sigaretta (Benzene, VP) o dei loro metaboliti (t,t-MA, AFM, NOH) rispetto ai soggetti Non Fumatori o Ex Fumatori. Tale andamento è attribuibile al numero di sigarette fumate e dal tempo intercorso tra l'ultima sigaretta fumata e la raccolta del campione estemporaneo di urine. L'unico composto per cui sono state riscontrate differenze significative nelle concentrazioni urinarie in funzione delle diverse campagne di reclutamento è un trend costante e coerente sia nei soggetti non fumatori che in quelli fumatori è il Cadmio.

CONCLUSIONI: Tra gli indicatori urinari analizzati per caratterizzare il profilo degli inquinanti aereodispersi, i metalli sono gli unici che potenzialmente potrebbero accumularsi all'interno dell'organismo. Proprio per questi composti non si sono osservati andamenti crescenti nel tempo, anzi il cadmio è l'unico composto per cui si è osservato un andamento decrescente sia per i soggetti Non Fumatori & Ex Fumatori che per i soggetti Fumatori. Il monitoraggio biologico, così applicato, ha mostrato una sensibilità sufficiente ad individuare fluttuazioni anche molto piccole nelle concentrazioni urinarie, senza evidenziare dei profili espositivi importanti, ad eccezione di quello attribuito all'abitudine al fumo.

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

È prevista la continuazione del confronto con i medici competenti di IREN-PAIP per concordare ulteriori valutazioni dei dati e le modalità della restituzione, quando richiesta, di dati individuali.

Sommario

COMPENDIO.....	1
INTRODUZIONE.....	4
STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO OPERATIVO BIOMONITORAGGIO.....	5
SVILUPPO DELLE AZIONI.....	6
Premessa.....	6
Identificazione del contesto territoriale interessato alle ricadute dell'impianto PAIP.....	7
Popolazione monitorata.....	9
Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione.....	9
Campagne di raccolta dati.....	9
Analisi di laboratorio.....	10
Valori limite biologici per soggetti professionalmente esposti.....	11
Considerazioni su metodi e significato dei VR e VLB.....	11
Trattamento dati.....	16
Metodologia statistica.....	16
Statistica descrittiva.....	16
Variazioni temporali.....	16
RISULTATI E DISCUSSIONE.....	18
Premessa.....	18
Confronto con i valori limite di esposizione professionale e con i valori di riferimento della popolazione generale.....	19
Risultati analisi ambientali.....	19
Risultati monitoraggio biologico.....	20
Considerazioni preliminari sul confronto fra campionamenti.....	21
Commento dei risultati principali.....	22
Non fumatori.....	22
Fumatori.....	23
Confronto Non Fumatori verso Fumatori.....	24
Conclusioni.....	31

INTRODUZIONE

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 eventuali segnali di effetto associabili all'esposizione al forno inceneritore che si manifestano in modo coerente. Nel marzo 2018 è stato pubblicato il Rapporto sui risultati della fase post-operam (anni 2014-2015) che rappresenta la valutazione conclusiva dell'indagine biotossicologica svolta presso gli Istituti Penitenziari e spiega le motivazioni della cessazione di questa linea di indagine che prosegue invece per il gruppo dei dipendenti del PAIP. Il "Piano operativo per il biomonitoraggio di soggetti che lavorano in area potenzialmente esposta alle emissioni dell'impianto, terzo documento contenuto nel Progetto di Sorveglianza Sanitaria dell'Impianto di trattamento rifiuti di Parma (PAIP), è proseguito infatti, per il gruppo dei dipendenti PAIP fino all'ottava campagna di monitoraggio avvenuta nel 2019.

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

Riassumiamo nella tabella sottostante 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 potenzialmente esposte su luogo di lavoro, ossia dipendenti IREN impiegati all'interno del polo ambientale integrato oppure lavoratori impiegati presso aziende che operano in stabilimenti collocati entro il raggio di 4 Km dal camino del PAIP	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 processo dei dati provenienti dai questionari	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.)
2.1.1.7. Data management e presentazione dei risultati	DSP - Università degli Studi di Parma/Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (C.E.R.T.) e ARPA/CTR Amb. Sal. Modena

Tabella 1. Azioni previste dal piano operativo per il biomonitoraggio

STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO OPERATIVO BIOMONITORAGGIO

Questo Rapporto presenta l'ultima rendicontazione tecnica delle modalità e degli esiti di tutte le raccolte dei campioni di urine dei lavoratori del PAIP.

È necessario ricordare che il DSP, coordinatore del Progetto, con decisione già condivisa dal Gruppo Tecnico Biomonitoraggio e riportata nel verbale dell'incontro del 1-06-2016, ha ritenuto opportuno interrompere il campionamento biologico sui soggetti presenti negli II.PP. di via Burla dopo la campagna effettuata nel marzo 2015. La decisione è motivata, in una logica più generale di costo/efficacia, dalle difficoltà di gestione delle procedure di campionamento e raccolta dei questionari dentro le carceri e dall'alto turn-over dei soggetti consenzienti. I due gruppi sotto osservazione hanno mostrato di possedere 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.

Il quadro aggiornato dell'avanzamento del Piano Biomonitoraggio dei lavoratori del PAIP al novembre 2019 è quello illustrato di seguito sinteticamente.

	STATO IN ESERCIZIO DEL PAIP	CAMPAGNA DI CAMPIONAMENTO
marzo 2013	Nessun esercizio	1ª campagna (ante operam) marzo 2013
da settembre 2013 a marzo 2014	esercizio provvisorio con combustione continuativa di rifiuto, ma non a pieno regime	2ª campagna ottobre 2013
aprile 2014	esercizio continuativo di marcia controllata	3ª campagna marzo-aprile 2014
da maggio 2014 in poi	esercizio continuativo	4ª campagna marzo 2015
	esercizio continuativo	5ª campagna novembre 2015
	esercizio continuativo	6ª campagna aprile 2017
	esercizio continuativo	7ª campagna novembre 2018
	esercizio continuativo	8ª campagna novembre 2019

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

SVILUPPO DELLE AZIONI

Premessa

A partire dal marzo 2013, è stata predisposta ed avviata un'indagine 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 lavoratori presso il PAIP. I lavoratori del PAIP sono stati individuati come sottogruppo di popolazione potenzialmente esposta nell'area di massima ricaduta dell'inceneritore, sul luogo di lavoro. Questa impostazione è legata, oltre che al modello di ricaduta delle emissioni dell'impianto, anche al fatto che ad oggi non esiste un tracciante specifico dell'esposizione a emissioni da inceneritore. Per caratterizzare al meglio tale esposizione sono state prese in considerazione sostanze caratteristiche di un processo di combustione: metalli, composti organici volatili e due traccianti della classe degli idrocarburi policiclici aromatici caratteristici per bassa e media volatilità.

Il piano di biomonitoraggio ha due obiettivi primari:

- contribuire a caratterizzare l'esposizione dei lavoratori del PAIP attraverso il confronto tra i valori rilevati nelle urine raccolte e i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione generale non professionalmente esposta. Tuttavia, considerando che l'esposizione riguarda spesso sostanze presenti negli ambienti di lavoro, per le quali esistono limiti di esposizione professionale (BEI, EKA,), si è ritenuto opportuno utilizzare anche questi se presenti, o provenienti da studi occupazionali riportati in articoli pubblicati su riviste internazionali;
- cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam individuando, su un piano descrittivo, quali sono i fattori di esposizione che possono essere associati alle variazioni delle sostanze ricercate nelle urine e la plausibilità di un ruolo attribuibile alle emissioni dell'inceneritore.

Tra i limiti dell'indagine già considerati nel Piano Operativo e nei precedenti Rapporti ci sono l'assenza di valori limite di riferimento dell'esposizione lavorativa per alcuni indicatori, la bassa numerosità dei soggetti e l'elevato turn-over degli stessi per l'individuazione di una possibile variazione delle concentrazioni urinarie nel tempo. Da un punto di vista metodologico, non è stato possibile individuare, all'interno della popolazione generale di Parma, due gruppi distinti e con sufficiente numerosità campionaria classificabili come "esposti" e "non esposti" alle emissioni dell'impianto di incenerimento del PAIP da utilizzare come confronto /termine di paragone per i lavoratori del PAIP. Tuttavia, poiché i campionamenti sono cominciati prima dell'accensione dell'impianto, i gruppi coinvolti possono fungere da controllo di loro stessi, permettendo un confronto temporale fra fase ante operam e quella post operam, in cui le sostanze presenti nei campioni di urina 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 generalmente riconosciuto che l'esecuzione di misure ripetute nel tempo consente solo un parziale controllo sui confondenti ambientali, in quanto gli scenari di esposizione ambientale sono caratterizzati da elevata variabilità, esposizioni multiple a basse concentrazioni e largamente diffuse nel territorio la cui complessa valutazione a livello individuale è al di fuori della portata del presente studio.

Il punto di forza di questo progetto risiede nel fatto che l'analisi dei biomarcatori urinari è molto sensibile: mediante questa tecnica è possibile evidenziare non soltanto gli effetti di esposizioni significative (come a volte può accadere nel caso delle esposizioni professionali) ma anche profili di concentrazioni indicanti

abitudini alimentari, voluttuarie oppure legate ad attività hobbistiche. Ipotizzando che l'attività dell'inceneritore non si discosti dai parametri fissati nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), è presumibile che il biomonitoraggio evidenzii per prime le esposizioni dovute all'attività quotidiana delle persone e che invece non emergano differenze significative dovute al funzionamento dell'inceneritore. Le persone infatti sono esposte in modo più rilevante a sostanze derivanti dal consumo di tabacco, dolcificanti, alimenti grigliati o affumicati, emissioni veicolari o 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 (come abitualmente può essere respirata 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 contesto territoriale interessato alle 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 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 rispetto alle ricadute dell'impianto PAIP.

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).

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/m^2).

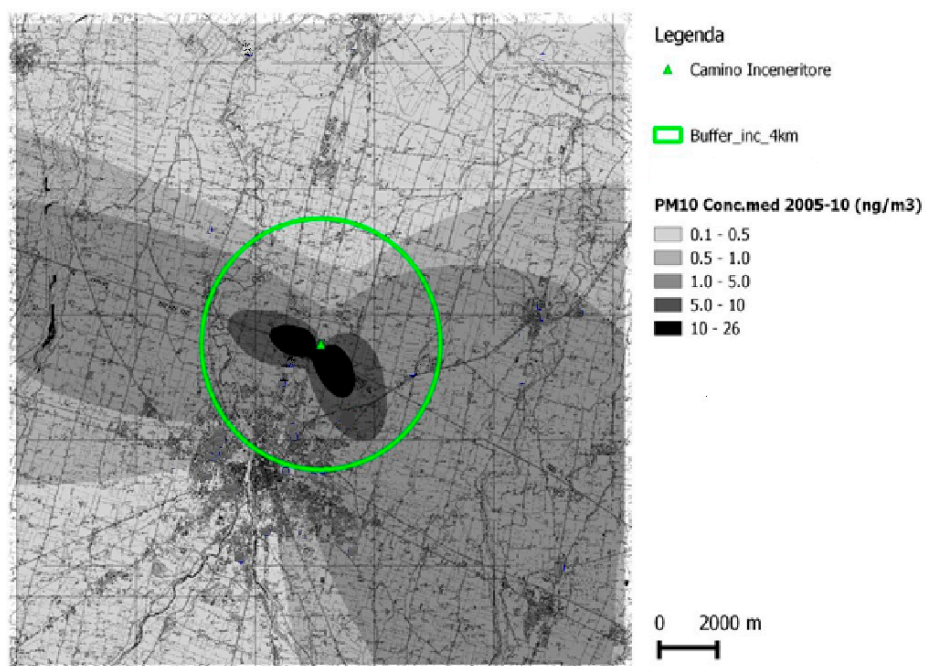


Figura 1. Localizzazione dell'inceneritore rispetto alle ricadute dell'impianto PAIP. Dominio di calcolo del modello 20 x 20 km.

Popolazione monitorata

Questo biomonitoraggio rientra nel più ampio Progetto di Sorveglianza dell'Inceneritore e, come è stato anticipato in premessa, sono stati arruolati alcuni dipendenti del Polo Ambientale Integrato di Parma (PAIP) impiegati sia in mansioni tecniche/operative che amministrative; 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.

Individuazione e controllo di altri fattori di esposizione

Un piano di biomonitoraggio comporta la ricerca periodica di molecole la cui presenza possa costituire un indice di esposizione ad inquinanti di vita e/o di lavoro e associati all'abitudine di vita/mansione specifica. Le sostanze presenti nelle urine dei lavoratori del PAIP possono avere origine da diversi tipi di combustione (tra cui quella di rifiuti), oltre che da abitudini di vita (es. consumo di tabacco o di cibi affumicati) e altre esposizioni ambientali. 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.

Poiché tra le esposizioni ambientali l'inquinamento atmosferico è un fattore di rischio considerato diffuso e rilevante, sono stati utilizzati i dati derivanti dalle centraline di ARPae poste nelle vicinanze del PAIP in grado di registrare la concentrazione media giornaliera del PM10, inserita come variabile indipendente aggiuntiva nell'elaborazione statistica dei dati.

In particolare, i dati del PM10 sono stati recuperati dall'unità mobile di Arpae posizionata nel cortile degli istituti giudiziari per i primi 4 campionamenti e dalle centraline fisse Arpae posizionate in Cittadella, Sorbolo-Bogolese e Parma-Paradigna in corrispondenza dei giorni in cui sono stati raccolti i campioni urinari dei lavoratori del PAIP per tutte e otto le campagne di campionamento.

Campagne di raccolta dati

Questa azione riassume i punti 2.1.1.3 e 2.1.1.4 e 2.1.1.5. del Piano operativo. Maggiori dettagli riguardo le prime sei campagne di campionamento sono disponibili nei precedenti rapporti riguardanti il Biomonitoraggio, pubblicati sul sito di AUSL Parma⁴. Le ultime due campagne di campionamenti sono state effettuate nel novembre 2018 e nel novembre 2019, nella fase continuativa di attività dell'impianto.

In Tabella 3 si riportano le descrittive relative ai lavoratori del PAIP che hanno partecipato alle varie campagne.

Caratteristiche	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
N	20	24	30	29	21	26	21	21
Sesso (M/F)	19/1	21/3	27/3	26/3	19/2	24/2	19/2	20/1
Età media (anni, media±DS)	44±9	44±8	44±8	45±8	45±8	47±8	44±9	50±9
Non fumatori&Ex fumatori/fumatori	13/7	14/10	19/11	19/10	13/8	17/9	14/7	16/5
Mansione PAIP (amm.vi/tecnici)	17/3	19/5	26/4	26/3	19/2	24/2	19/2	19/2

⁴ http://www.ausl.pr.it/azienda/report_piani_operativi/progetto_biomonitoraggio_soggetti_lavoratori_residenti_area.aspx

Tabella 3. Descrizione della coorte dei lavoratori PAIP.

Le urine sono state raccolte alla fine del turno del mattino e 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 (CERT), secondo le specifiche illustrate nel Piano operativo.

La collaborazione con il CERT è stata oggetto di un accordo con il Dipartimento di Sanità Pubblica: lo stesso CERT 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 dell'AUSL di Parma e portati presso il laboratorio di Tossicologia Industriale (CERT), dove sono stati aliquotati e conservati a -20°C fino al momento dell'analisi. Per i campioni raccolti nelle campagne 1-5, le aliquote preparate per la quantificazione 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 per l'analisi dei metalli mediante ICP-MS.

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

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

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

Si segnala inoltre che nel caso del fumo di tabacco si è in presenza di due diverse situazioni espositive: fumo di main-stream e fumo di side-stream. Per mainstream si intende il flusso aereo attraverso la sigaretta che permette di raggiungere temperature fino a 900°C e contiene gli IPA più "pesanti" come il pirene, mentre il sidestream è il flusso sprigionato, durante le pause tra le inalazioni, dalla punta della sigaretta che brucia ad una temperatura di circa 400°C e contiene gli IPA più "leggeri" tra cui il naftalene. Di conseguenza il fumatore attivo è esposto a entrambi i due flussi, mentre il soggetto esposto a fumo passivo è prevalentemente interessato dal sidestream.

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

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

Per alcuni dei composti analizzati esiste un valore limite soglia per i lavoratori professionalmente esposti riportato nelle Linee Guida per il Monitoraggio Biologico della SIMILII (Società Italiana di Medicina del Lavoro ed Igiene Industriale) e anche un intervallo di valori di riferimento relativo alla popolazione generale non professionalmente esposta, indicato dalla SIVR (Società Italiana dei Valori di Riferimento).

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 normale. 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 esprimere le concentrazioni in funzione della creatinina sebbene molti autori preferiscano ancora utilizzare la concentrazione tal quale (è questo il motivo per cui vengono forniti valori di riferimento non corretti per la concentrazione di creatinina). Per le analisi statistiche dei metalli sono stati quindi adottati gli stessi criteri di inclusione descritti per naftolo etc. (criterio di inclusione: $0,3 \text{ g/L} < [\text{creatinina}] < 3,0 \text{ g/L}$). Agli analiti la cui concentrazione è risultata al di sotto della soglia di rilevabilità strumentale è stato attribuito (come da prassi) un valore pari a metà della soglia di rilevabilità stessa. Le analisi statistiche sono state estese soltanto alle molecole la cui concentrazione è risultata superiore ai limiti di rilevazione in più del 40% dei campioni.

Per le metodologie di laboratorio si fa riferimento alle relazioni prodotte dal Centro di Eccellenza per la Ricerca Tossicologica (CERT) dal titolo "Monitoraggio biologico dell'esposizione ad inquinanti aerodispersi nei pressi del Polo Ambientale Integrato di Parma-PAIP" allegato ai report precedenti.

Valori limite biologici per soggetti professionalmente esposti

L'utilizzo dei valori limite biologici è previsto all'interno della sorveglianza sanitaria che è finalizzata alla tutela dello stato di salute e sicurezza dei lavoratori, in relazione all'ambiente di lavoro, ai fattori di rischio professionali ed alle modalità di svolgimento dell'attività lavorativa ed è regolamentata dal decreto legislativo 81/2008 - Testo Unico sulla salute e sicurezza dei lavoratori.

Considerazioni su metodi e significato dei VR e VLB

È bene ribadire che il confronto con i valori di riferimento rappresenta una finalità della sorveglianza eseguita, tesa ad individuare le concentrazioni urinarie di alcune sostanze tipiche della popolazione monitorata 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. Visto che le concentrazioni di esposizione alle emissioni dell'impianto di incenerimento sono nell'ordine dei ng (nanogrammi), non ci si attende che tale esposizione sia in grado di per sé di determinare un superamento dei valori di riferimento. Lo scopo del confronto con i VR è quello di caratterizzare gruppi di popolazione presenti nell'area di ricaduta per ragioni lavorative, come quella dei lavoratori del PAIP (analogamente a quanto è stato fatto per gli Istituti Penitenziari), soprattutto in relazione ad alcune abitudini e comportamenti (specie il fumo).

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

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

Valore di riferimento (VR): è il valore di un determinato indicatore ottenuto dalla elaborazione statistica delle sue concentrazioni dosate in campioni biologici prelevati da una popolazione o da un gruppo di riferimento non professionalmente esposto, costituito quindi da soggetti non esposti alla sostanza in esame per ragioni lavorative. In particolare, trattandosi di determinazioni di sostanze ubiquitarie, i valori di riferimento presentati nella seguente relazione sono calcolati sulla base dei campioni di urina della popolazione di Parma, elaborati dal CERT.

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

Indice Biologico di Esposizione (BEI- Biological Exposure Index- ACGIH, American Conference of Government Industrial Hygienist): rappresentano i valori di concentrazione di un indicatore biologico corrispondenti ad una esposizione ambientale del relativo agente chimico pari alla concentrazione del TLV-TWA (Threshold Limit Values-Time Weighted Average). I valori di TLV-TWA indicano, per ogni sostanza chimica, le concentrazioni atmosferiche alle quali si ritiene che la quasi totalità di un gruppo di lavoratori possa rimanere esposta, ripetutamente, giorno dopo giorno, senza subire effetti dannosi alla salute. La valutazione del loro significato, quindi, non avviene a livello individuale ma di gruppi omogenei di lavoratori.

Limiti Biologici Equivalenti (LBE): sono i livelli di un indicatore biologico, quantificato in una matrice biologica accessibile, attesi (equivalenti, stimati) in funzione delle concentrazioni di un determinato agente chimico in ambiente, definito sulla base della reale situazione e non necessariamente in un contesto lavorativo.

Nella tabella 4 sono descritte le diverse sostanze ricercate nelle urine, il loro significato quale indicatore di esposizione, i valori di riferimento raccolti nei diversi studi riguardanti la popolazione generale e i valori limite biologici. Nell'ultima colonna "possibili interferenti" sono riportati le condizioni, le sostanze e/o le abitudini voluttuarie che possono aumentare o diminuire la concentrazione urinaria del composto che si va a cercare andando a sovra- o sottostimare l'esposizione del soggetto al composto stesso. Queste interferenze sono associate o ad attivazioni o ad inibizioni del metabolismo di alcune di queste sostanze (alcool), o ad esposizioni aggiuntive individuali legate ad abitudini voluttuarie (fumo di tabacco). La dicitura "non noto" sta ad indicare che a oggi non sono note sostanze o abitudini individuali che vanno ad alterare le concentrazioni urinarie dei composti analizzati e quindi non influenzano la stima dell'esposizione.

Funzione	Sigla del composto	Nome e caratteristiche del composto	Valori di riferimento (NF=non fumatore F=fumatore)	Livelli equivalenti al VLP*	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, insetticida (Carbaryl), antitarme
	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)	BEI 2,5 µg/L	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.	<0,7 µg/g creat (NF) <7,5 µg/g creat (F)	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 400 mg/g creat (AM+AFG)	Alcool, etilbenzene;
	AFG	Acido fenilgliosilico. È un indicatore di esposizione a stirene.	0.1-3.5 mg/g creat		Alcool, etilbenzene;
	AFIEM	Acidi fenilidrossietilmercapturici. Sono indicatori di esposizione a stirene.	Non noto		Non noto
	VP	4-vinilfenolo. È un indicatore di esposizione a stirene.	160 µg/g creat (NF) 450 µg/g creat (F)		Fumo di tabacco, Vino e birra
DOSAGGIO URINARIO di BTEX, STIRENE e MTBE	Benzene*	È indicatore di esposizione a benzene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<1,80 µg/l		Fumo di tabacco
	Toluene*	È indicatore di esposizione a toluene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<1,78 µg/l		Non noto
	EtilBenzene*	È indicatore di esposizione a etilbenzene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0,98 µg/l		Non noto
	Xileni*	È indicatore di esposizione a xileni, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0,571 µg/l		Non noto
	Stirene*	È indicatore di esposizione a stirene, inquinante ubiquitario dell'aria.	<0.001 – 2.700 µg/L		Non noto
	MTBE*	Metil-tert-butiletere. È indicatore di esposizione a traffico veicolare.	<3,14 µg/l		Non noto
Metalli	Cd	Cadmio	0.1-1.5 µg/l	BEI 5 µg/g creat	Fumo di tabacco; età;
	Cr	Cromo	0,05-0,35 µg/l	BEI 25 µg/g creat	Fumo di tabacco; età;
	Sn	Stagno	0,15-8,72 µg/l		Non noto
	Tl	Tallio	0.05 – 0.5 µg/l		Fumo di tabacco
	Ni	Nichel	0.1-2.0 µg/l	EKA 15 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	EKA 35 µg/g creat	Non noto

	Pd	Palladio	Non noto		Non noto
	Be	Berillio	10-40 ng/l		Non noto
	Hg	Mercurio	0.1-5.0 µg/l	BEI 35 µg/g creat	Dieta: pesce, mitili e crostacei

Tabella 4. Composti ricercati nelle urine nell'ambito del piano di bio-monitoraggio del PSS-PAIP. Si segnala inoltre una variazione, in questa relazione, dei valori di riferimento relativi al dosaggio dei BTEX, in base all'aggiornamento dei dati del laboratorio che ha effettuato le analisi (CERT). * VLP, Valori limite professionale; BEI: Biological Exposure Index, indice biologico di esposizione; EKA, exposure equivalents for carcinogenic substances.

Trattamento dati

Sempre nell'ambito dell'azione 2.1.1.6 e della 2.1.1.7, descritte nel Piano Operativo, sono state raccolte, tramite questionari riguardanti i dati personali, le informazioni utili al controllo dei confondenti. Poiché dalle analisi dei primi quattro tempi 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 ma non hanno evidenziato nessuna correlazione o andamento con le concentrazioni degli analiti quantificati nelle urine. Si è deciso, pertanto, nell'analisi statistica, di inserire solo l'abitudine al fumo e la concentrazione media di PM10 atmosferico registrato dalle stazioni fisse rappresentative dell'esposizione della zona.

Metodologia statistica

Le analisi statistiche sono state eseguite mediante l'utilizzo dei software SPSS 29. L'obiettivo è descrivere le concentrazioni urinarie degli indicatori associati all'inquinamento, le loro variazioni nel tempo e come si posizionano rispetto ai valori di riferimento o ai valori limite biologici previsti dalla normativa vigente, nella popolazione dei lavoratori del PAIP.

Statistica descrittiva

La distribuzione delle variabili è stata verificata applicando il test di Kolmogorov-Smirnov⁵. Poiché la maggior parte delle distribuzioni dei dosaggi differiscono significativamente dalla distribuzione normale, si è preferito descrivere le tendenze centrali come mediana e range interquartile. La media è infatti fortemente affetta dalla presenza di valori estremi (molto alti o molto bassi): per questo si utilizza la mediana che rappresenta il valore dell'unità centrale all'interno della distribuzione ordinata dei dati. Differenze fra gruppi o fra i diversi tempi di raccolta sono state verificate applicando gli opportuni test non parametrici come il test Mann-Whitney e il test di Kruskal-Wallis; è stato poi utilizzato il test di Jonkeere-Terpstra (campioni indipendenti) per valutare l'esistenza di un andamento temporale. La correlazione fra le variabili di interesse è stata verificata applicando il test di Spearman. I risultati ottenuti sono stati considerati statisticamente significativi per $p < 0,05$. Maggiori informazioni riguardo l'applicazione di questi test vengono fornite nel capitolo dedicato al confronto delle campagne di campionamento.

Variazioni temporali

Poiché questa relazione rappresenta la fase conclusiva dell'attività di monitoraggio, un peso particolare è stato attribuito all'analisi dei cambiamenti che hanno subito le concentrazioni dei vari analiti nel tempo. Il presente rapporto illustra in breve il risultato delle otto campagne di campionamento identificando i principali fattori di confondimento. I risultati delle campagne vengono confrontati fra loro per descrivere eventuali variazioni che le concentrazioni urinarie di inquinanti hanno subito nel tempo, tenendo presente che i composti analizzati, in particolare BTEX e metaboliti, hanno un'emivita che va dalle 2 alle 16 ore per cui riflettono un'esposizione recente, relativa alla giornata precedente e non risentono di una ipotetica esposizione in funzione dell'anzianità lavorativa. Aumenti progressivi nel tempo rifletterebbero una concentrazione ambientale aumentata nel tempo e non un accumulo. I confronti temporali dovrebbero essere eseguiti mediante due tipi diversi di procedura a causa del parziale ricambio degli aderenti al progetto:

⁵ Test utilizzato per testare se la distribuzione campionaria differisce in modo significativo dalla distribuzione normale

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

Nel nostro caso il secondo data-set ha una numerosità talmente scarsa (6 soggetti) che non ha permesso l'analisi di tale campione.

Le campagne rappresentate nel primo dataset sono da considerarsi come campioni indipendenti, giacché non comprendono sempre gli stessi individui: sebbene sia disponibile una numerosità campionaria piuttosto alta, questi dati si prestano soltanto a delle considerazioni generali circa l'andamento temporale degli esiti nelle campagne.

A seguire verrà presentata una sintesi delle statistiche descrittive delle campagne effettuate e i confronti fra i tempi di campionamento con la relativa discussione dei risultati.

RISULTATI E DISCUSSIONE

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 della dose assorbita (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.
- Eventuale modificazione delle concentrazioni urinarie degli inquinanti nei lavoratori del PAIP nell'arco di tempo investigato.

NOTA: data la complessità dell'elaborato e la mole di informazioni ottenibili, di seguito verranno menzionati soltanto i risultati considerati maggiormente informativi ai fini del piano di sorveglianza sanitaria in atto. Si segnala inoltre, che a bassi livelli di concentrazione, come quelli rilevati in questo studio, la variabilità sia intra- che inter-individuale è generalmente piuttosto elevata.

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

Confronto con i valori limite di esposizione professionale e con i valori di riferimento della popolazione generale.

Come accennato nei capitoli precedenti, per tutelare la salute dei soggetti professionalmente esposti ad agenti chimici che possono avere effetti avversi sulla salute, organizzazioni scientifiche nazionali e internazionali definiscono dei valori limite di esposizione professionale (es., VLEP, BEI, EKA...) che non devono essere superati negli ambienti di lavoro. Nel caso in cui questi agenti chimici siano anche sostanze ubiquitarie, come gli inquinanti analizzati in questo studio, società scientifiche come la SIVR e/o la SIMLII hanno individuato dei valori di riferimento della popolazione generale, più bassi rispetto ai valori limite di esposizione professionale, utili per classificare i lavoratori in esposti e/o potenzialmente esposti.

Per quei composti per i quali non sono previsti intervalli o valori limite forniti da organismi istituzionali, l'interpretazione dei risultati si ricava dal confronto dei dati ottenuti nelle diverse campagne con i valori di riferimento ottenuti dal CERT e calcolati sulla base dei campioni di urina della popolazione generale di Parma.

Il monitoraggio biologico, per sua stessa definizione, è "la misura periodica di un indicatore biologico da confrontare con appropriati livelli di riferimento". Per cui il singolo dato non ha di per sé alcun significato e va confermato e seguito nel tempo per valutare l'esistenza di un eventuale andamento dipendente da fonti di esposizioni (siano esse legate ad esposizioni professionale e/o ad abitudini voluttuarie o fonti esterne).

È importante ricordare che per quanto riguarda i valori limite di esposizione professionale questi sono definiti su base statistica ed è atteso che il 5% della popolazione lavorativa mostri valori eccedenti pur non manifestando effetti avversi alla salute. Anche per i valori di riferimento della popolazione generale, è possibile che un 5% della stessa possa avere comunque concentrazioni urinarie dei composti analizzati superiori senza comunque essere considerata professionalmente esposta.

Inoltre, ricordiamo che in questo studio l'esposizione a molecole quali il benzene e lo stirene viene valutata mediante il dosaggio di numerosi metaboliti: una concentrazione superiore al valore di riferimento per uno solo di questi non può essere considerata indice attendibile di esposizione ad idrocarburi monociclici aromatici.

Risultati analisi ambientali

In tabella 5 si riportano le medie dei valori dei PM10 registrati dall'unità mobile di Arpae posizionata nel cortile degli istituti giudiziari per i primi 4 campionamenti e dalle centraline fisse Arpae posizionate in Cittadella, Sorbolo-Bogolese e Parma-Paradigna in corrispondenza dei giorni in cui sono stati raccolti i campioni urinari dei lavoratori del PAIP per tutte e otto le campagne di campionamento. In generale, nella stazione posta in Via Burla per i primi quattro campionamenti e nelle postazioni di Sorbolo-Bogolese e Parma-Paradigna, è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con la stazione di "fondo urbano" (Parma-Cittadella); la variazione delle condizioni meteo-climatiche crea una condizione di esposizione uniforme sull'intero bacino padano, soggetta a fluttuazioni stagionali.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo	Unità Mobile	Parma - Cittadella	Sorbolo - Bogolese	Parma - Paradigna
T1	22 marzo - 17 aprile 2013	25	24	n.d	n.d
T2	16 - 24 ottobre 2013	43	41	52	55
T3	31 marzo - 08 aprile 2014	28	30	30	30
T4	23-31 marzo 2015	33	30	20	24
T5	13 - 26 novembre 2015	-	36	36	36
T6	07 - 12 aprile 2017	-	33	26	27
T7	16 - 23 novembre 2018	-	29	26	24
T8	27 novembre - 14 dicembre 2019	-	41	39	38

Tabella 5. Media di PM10, relativi alle otto campagne di campionamento nelle varie centralini prese in considerazione.

Sui valori dei PM10 registrati dalle varie centraline Arpae nei giorni delle campagne di raccolta sono stati applicati il test di Kruskal Wallis e il test di Jonckheere-Terpstra per verificare la presenza di differenze significative tra i diversi tempi di campionamento e/o l'esistenza di un andamento crescente o decrescente. L'analisi statistica non ha rilevato né differenze fra le diverse postazioni (Cittadella Bogolese e Paradigna) né un trend.

Successivamente, sono state valutate le possibili correlazioni tra la concentrazione urinaria degli indicatori biologici e le concentrazioni di PM10 misurate dalle varie centraline ARPAE. Il confronto tra i dati biologici e il dato ambientale non presenta correlazioni e quindi non è possibile definire un profilo di associazione con il PM10, quale indicatore base di qualità dell'aria ambiente, stante le conoscenze disponibili in letteratura.

Risultati monitoraggio biologico

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 2011⁶).

Poiché in tutte le campagne è risultato evidente come l'abitudine tabagica sia il parametro che maggiormente influisce sulla concentrazione degli inquinanti analizzati, i risultati dei dosaggi relativi ai campioni urinari sono riportati in tabella 6 per i lavoratori del PAIP non fumatori e in tabella 7 per quelli fumatori riportando mediane e range interquartile dei vari composti analizzati.

Per una miglior caratterizzazione di tale abitudine, i fumatori sono stati distinti dai non fumatori in funzione della concentrazione urinaria di cotinina, piuttosto che delle risposte (a volte variabili) fornite nei questionari. Sulla base delle indicazioni fornite da Zielińska-Danch et al. (2007)⁷ sono stati quindi identificati due soli gruppi:

- Non fumatori: con concentrazioni urinarie di cotinina al di sotto dei 50 $\mu\text{g}/\text{g cr}$ ⁸
- Fumatori: con concentrazioni urinarie di cotinina pari o superiori ai 50 $\mu\text{g}/\text{g cr}$ ¹⁰

I soggetti che nel questionario hanno dichiarato di essere Ex Fumatori sono stati inseriti nel gruppo dei Non Fumatori. Per effettuare l'analisi dei campioni sono stati confrontati i dati relativi a tutti i soggetti che hanno partecipato al progetto, indipendentemente dal fatto che essi abbiano partecipato alle diverse raccolte o soltanto ad alcune (campioni indipendenti).

⁶ ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

⁷ Zielińska-Danch W1, Wardas W, Sobczak A, Szołtysek-Bołdys I., 2007. Estimation of urinary cotinine cut-off points distinguishing non-smokers, passive and active smokers. Biomarkers Sep-Oct;12(5):484-96.

⁸ I valori sono aggiustati in funzione della concentrazione urinaria di creatinina

Considerazioni preliminari sul confronto fra campionamenti

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

Persistenza/eliminazione dei traccianti dall'organismo. Poiché l'emivita delle molecole e degli elementi indagati è diversa, ci si aspetta che anche la modificazione delle concentrazioni urinarie a seguito di esposizione sia differente. Gli inquinanti di origine organica vengono smaltiti dall'organismo in un arco temporale che va dalle poche ore per i composti eliminati tal quali (come il Benzene) a qualche giorno al massimo (per i metaboliti) per cui nell'interpretazione del significato biologico delle variazioni osservate tale aspetto va tenuto in considerazione. In questo senso l'eventuale associazione con l'esposizione alle emissioni dell'inceneritore nel tempo ha senso considerata la continuità del funzionamento dell'impianto e la costanza della tipologia dei rifiuti trattati. Si specifica che nei giorni immediatamente precedenti e durante il campionamento non sono stati documentati eventi eccezionali relativamente al funzionamento dell'inceneritore stesso. Parlando invece della concentrazione urinaria di metalli, è noto come questi elementi tendano al bio-accumulo quindi, in caso di esposizione costante e prolungata, dovrebbe essere possibile osservare un progressivo innalzamento dei valori mediani nel tempo. Data la diversità nelle dinamiche seguite dai traccianti nell'organismo, per confrontare le concentrazioni degli analiti nei diversi campionamenti è stato fatto uso di test statistici diversi: per le sostanze organiche sono stati impiegati il test di Kruskal Wallis (campioni indipendenti), mentre per i metalli sono stati utilizzati i test specifici per il trend di Jonckheere-Terpstra (campioni indipendenti).

Plausibilità dei traccianti. Come mostrato in Tabella 4, i biomarcatori organici sono suddivisi per "famiglie" (naftolo e 1-idrossipirene; metaboliti del Benzene e della Nicotina; metaboliti dello stirene; BTEX, stirene e MTBE). La variazione della concentrazione di un inquinante o dei suoi metaboliti può essere considerata indice di esposizione soltanto se coerente con la variazione delle altre molecole appartenenti alla stessa famiglia, in caso contrario non è possibile formulare ipotesi plausibili sulla causa della singola modificazione osservata. Per quanto riguarda i metalli invece, si deve tener conto del fatto che alcuni elementi seguono delle vie di assunzione preferenziali la cui dinamica è normalmente molto più efficace rispetto all'assunzione per via aerea. Evidenze ormai consolidate fanno riferimento all'assorbimento del mercurio - che avviene principalmente attraverso l'alimentazione e particolarmente a seguito del consumo di pesce e molluschi - e all'assorbimento del cadmio nei fumatori ove, data la costanza nell'esposizione al fumo di sigaretta, è spesso possibile osservare un gradiente di accumulo.

Commento dei risultati principali

Non fumatori

In tabella 6 si riportano le mediane e i range interquartili delle concentrazioni ambientali dei PM10 e delle concentrazioni urinarie dei composti organici e dei metalli determinate nei lavoratori del PAIP non fumatori e suddivise per tempo di campionamento.

PAIP, non fumatori								
Analiti	T1 n=13	T2 n=14	T3 n=19	T4 n=19	T5 n=13	T6 n=18	T7 n=13	T8 n=16
PM10	34.0 [25.0-42.0]	54.0 [43.0-69.0]	32.0 [27.3-34.8]	25.0 [20.0-53.0]	34.0 [29.0-42.5]	26.5 [21.5-32.0]	24.0 [21.4-27.5]	28.0 [23.0-42.0]
Benzene (ug_l)	0.18 [0.14-0.20]	0.19 [0.15-0.22]	0.10 [0.09-0.13]	0.17 [0.12-0.23]	0.46 [0.28-0.50]	0.31 [0.18-0.47]	0.34 [0.25-0.38]	0.30 [0.16-0.39]
Toluene (ug_l)	0.80 [0.62-1.00]	0.82 [0.60-0.97]	0.47 [0.32-0.72]	0.72 [0.44-1.30]	1.38 [1.02-1.42]	0.67 [0.36-1.07]	0.69 [0.54-0.96]	0.96 [0.39-1.02]
Etilbenzene (ug_l)	0.44 [0.37-0.50]	0.42 [0.21-0.54]	0.13 [0.11-0.19]	0.16 [0.12-0.24]	0.31 [0.25-0.35]	0.40 [0.24-0.54]	0.46 [0.38-0.62]	0.44 [0.36-0.48]
Xileni (ug_l)	0.20 [0.19-0.20]	0.19 [0.18-0.21]	0.15 [0.15-0.18]	0.11 [0.09-0.14]	0.38 [0.30-0.48]	0.29 [0.22-0.34]	0.22 [0.16-0.32]	0.23 [0.14-0.32]
Stirene (ug_l)	0.23 [0.20-0.28]	0.22 [0.19-0.24]	0.07 [0.06-0.11]	0.07 [0.06-0.11]	0.23 [0.21-0.27]	0.46 [0.35-0.50]	0.34 [0.22-0.49]	0.33 [0.17-0.51]
MTBE (ug_l)	2.29 [0.76-3.40]	1.18 [0.91-1.75]	0.29 [0.23-0.40]	0.21 [0.16-0.32]	0.32 [0.14-0.39]	1.87 [0.97-2.26]	1.96 [1.20-2.29]	1.34 [1.15-2.20]
Creat (g_l)	1.49 [0.78-1.85]	1.60 [1.07-1.81]	1.4 [0.86-1.79]	1.45 [0.98-1.94]	1.35 [1.01-1.71]	1.40 [0.63-1.78]	0.92 [0.41-1.52]	0.88 [0.68-1.19]
tt_MA (ug_g cr)	23.4 [13.8-54.3]	52.9 [33.4-80.2]	28.1 [25.5-33.2]	24.9 [21.4-53.5]	31.0 [22.5-47.0]	34.2 [25.9-44.1]	41.4 [27.0-76.4]	59.9 [31.4-122]
AFM (ug_g cr)	0.23 [0.16-0.38]	0.11 [0.10-0.15]	0.12 [0.10-0.17]	0.18 [0.10-0.28]	0.16 [0.13-0.20]	0.21 [0.10-0.30]	0.21 [0.13-0.30]	0.25 [0.14-0.30]
AM (mg_g cr)	0.35 [0.24-0.44]	0.11 [0.09-0.18]	0.18 [0.10-0.25]	0.11 [0.08-0.15]	0.12 [0.10-0.14]	0.09 [0.05-0.14]	0.08 [0.05-0.20]	0.11 [0.06-0.18]
AFG (mg_g cr)	0.19 [0.16-0.29]	0.18 [0.10-0.64]	0.16 [0.15-0.19]	0.08 [n.d-0.12]	0.08 [n.d-0.18]	0.27 [0.21-0.37]	0.35 [0.16-0.50]	0.16 [0.14-0.33]
AM+AFG (mg_g cr)	0.55 [0.41-0.67]	0.33 [0.21-0.88]	0.33 [0.26-0.44]	0.19 [0.13-0.25]	0.20 [0.16-0.31]	0.37 [0.25-0.47]	0.43 [0.25-0.66]	0.31 [0.23-0.43]
AFIEM (ug_g cr)	5.32 [4.30-9.28]	3.71 [2.42-5.81]	4.77 [1.22-7.72]	0.67 [0.36-1.03]	-	-	-	-
VP (ug_g cr)	172 [145-376]	56.4 [29.0-127]	64.2 [36.9-205]	113 [77.1-152]	184 [101-268]	92.6 [62.8-112]	83.6 [42.8-184]	128 [101-237]
NOH (ug_g cr)	92.5 [60.8-106]	15.7 [10.6-26.0]	21.1 [12.7-31.2]	15.9 [10.2-30.4]	19.4 [9.20-35.8]	42.7 [22.0-56.9]	36.3 [23.1-54.1]	50.1 [41.4-110]
1OHP (ug_g cr)	0.29 [0.13-0.38]	0.35 [0.30-0.50]	0.26 [0.04-0.49]	0.29 [0.16-0.46]	0.28 [0.18-0.44]	0.28 [0.26-0.36]	0.36 [0.15-0.43]	0.37 [0.27-0.55]
COT (ug_g cr)	1.54 [1.22-2.02]	1.43 [0.86-2.76]	2.99 [1.78-3.46]	1.39 [0.91-2.71]	1.72 [1.05-2.12]	1.45 [1.16-1.94]	0.70 [0.30-1.40]	0.74 [0.32-1.03]
Cd (ug_g cr)	0.28 [0.22-0.45]	0.27 [0.23-0.41]	0.31 [0.21-0.38]	0.08 [0.06-0.15]	0.07 [n.d.-0.22]			
Cr (ug_g cr)	0.13 [0.09-0.18]	0.17 [0.11-0.37]	0.13 [0.08-0.18]	0.08 [n.d.-0.30]	0.25 [n.d.-0.41]			
Sn (ug_g cr)	0.09 [0.06-0.26]	0.10 [0.08-0.36]	0.25 [0.15-0.67]	0.25 [0.14-0.49]	0.18 [0.16-0.31]			
Tl (ug_g cr)	0.20 [0.14-0.22]	0.15 [0.11-0.20]	0.22 [0.15-0.37]	0.16 [0.10-0.33]	0.18 [0.12-0.54]			
Ni (ug_g cr)	1.29 [0.67-1.62]	1.14 [0.56-2.00]	0.50 [0.16-1.06]	1.27 [0.55-2.10]	2.44 [2.01-2.64]			
Mn (ug_g cr)	0.07 [n.d.-0.16]	0.34 [0.19-1.09]	0.24 [0.18-0.31]	0.51 [0.35-0.64]	0.24 [0.09-0.49]			
V (ug_g cr)	0.05 [n.d.-0.07]	0.09 [0.06-0.12]	0.08 [n.d.-0.11]	n.d.	n.d.	-	-	-
Hg (ug_g cr)	0.38 [0.31-0.61]	0.46 [0.25-0.58]	0.68 [0.35-1.11]	0.42 [0.16-0.94]	0.20 [0.08-0.34]	-	-	-

Tabella 6. Lavoratori del PAIP, non fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”.

Fumatori

In tabella 7 si riportano le mediane e i range interquartili delle concentrazioni ambientali dei PM10 e delle concentrazioni urinarie dei composti organici e dei metalli determinate nei lavoratori del PAIP fumatori e suddivise per tempo di campionamento.

PAIP, fumatori								
Analiti	T1 n=7	T2 n=10	T3 n=11	T4 n=10	T5 n=9	T6 n=7	T7 n=7	T8 n=4
PM10	28.0 [25.0-42.0]	69.0 [57.0-76.0]	33.0 [30.8-51.0]	22.5 [19.0-29.0]	39.8 [33.0-45.5]	26.5 [21.5-26.5]	27.5 [15.0-38.5]	28.0 [28.0-28.0]
Benzene (ug_l)	0.27 [0.27-0.47]	0.72 [0.21-1.16]	1.08 [0.43-1.50]	0.96 [0.30-1.29]	1.70 [0.78-1.74]	1.22 [0.78-1.50]	0.90 [0.31-1.14]	1.00 [0.65-1.25]
Toluene (ug_l)	0.90 [0.58-1.01]	0.90 [0.67-0.95]	0.73 [0.48-0.92]	1.08 [0.90-1.48]	1.24 [1.07-1.37]	0.72 [0.50-0.83]	0.64 [0.51-0.89]	0.91 [0.74-1.17]
Etilbenzene (ug_l)	0.43 [0.37-0.51]	0.40 [0.19-0.50]	0.14 [0.12-0.23]	0.50 [0.19-0.86]	0.40 [0.33-0.46]	0.43 [0.33-0.82]	0.53 [0.30-0.63]	0.39 [0.27-0.59]
Xileni (ug_l)	0.20 [0.19-0.23]	0.21 [0.20-0.25]	0.18 [0.15-0.27]	0.25 [0.13-0.65]	0.46 [0.35-0.71]	0.23 [0.18-0.33]	0.27 [0.23-0.33]	0.30 [0.19-0.42]
Stirene (ug_l)	0.19 [0.18-0.37]	0.23 [0.22-0.26]	0.09 [0.05-0.19]	0.14 [0.08-0.30]	0.19 [0.12-0.22]	0.40 [0.29-0.49]	0.44 [0.31-0.46]	0.33 [0.18-0.63]
MTBE (ug_l)	0.93 [0.81-3.17]	1.14 [0.42-1.49]	0.26 [0.20-0.33]	0.62 [0.25-1.25]	0.15 [0.06-0.42]	1.62 [0.68-1.98]	1.49 [0.78-2.18]	1.19 [0.58-2.29]
Creat (g_l)	1.01 [0.66-1.48]	1.58 [1.18-2.10]	1.37 [1.01-1.81]	1.54 [0.69-1.77]	1.11 [0.64-1.31]	1.38 [1.00-1.47]	1.06 [0.81-1.26]	0.79 [0.43-0.87]
tt_MA (ug_g cr)	61.0 [55.7-13]	163 [132-361]	99.1 [53.4-173]	72.6 [68.2-123]	71.9 [49.5-117]	67.5 [41.7-175]	65.0 [60.8-121]	65.9 [46.7-122]
AFM (ug_g cr)	0.81 [0.35-1.61]	0.47 [0.35-0.89]	0.37 [0.27-0.96]	0.65 [0.50-1.03]	0.56 [0.44-0.82]	0.53 [0.31-0.78]	0.40 [0.21-0.54]	0.50 [0.43-0.77]
AM (mg_g cr)	0.82 [0.41-0.83]	0.25 [0.19-0.36]	0.29 [0.24-0.45]	0.17 [0.14-0.28]	0.17 [0.14-0.28]	0.22 [0.18-0.23]	0.20 [0.09-0.24]	0.21 [0.08-1.70]
AFG (mg_g cr)	0.38 [0.26-0.69]	0.56 [0.26-0.63]	0.23 [0.16-0.36]	0.13 [0.08-0.22]	0.20 [0.09-0.26]	0.23 [0.18-0.50]	0.31 [0.26-0.54]	0.50 [0.20-3.40]
AM+AFG (mg_g cr)	1.11 [0.79-1.44]	0.80 [0.43-1.06]	0.52 [0.45-0.65]	0.27 [0.22-0.42]	0.37 [0.23-0.45]	0.45 [0.36-0.67]	0.51 [0.45-0.63]	0.70 [0.28-5.09]
AFIEM (ug_g cr)	8.98 [4.56-11.4]	8.24 [5.78-14.1]	10.1 [6.61-14.9]	0.98 [0.71-1.68]	-	-	-	
VP (ug_g cr)	479 [326-1179]	111 [68.7-192]	185 [107-382]	269 [164-533]	439 [168-835]	187 [101-273]	208 [128-226]	281 [181-335]
NOH (ug_g cr)	127 [114-144]	36.5 [28.4-91.7]	47.8 [24.5-91.4]	44.8 [22.8-71.5]	52.78 [23.5-73.4]	109 [66.4-183]	120 [48.6-158]	96.5 [72.4-178]
10HP (ug_g cr)	0.45 [0.19-0.70]	0.27 [0.16-0.51]	0.92 [0.57-1.65]	0.51 [0.32-0.89]	0.51 [0.31-0.83]	0.55 [0.51-0.64]	0.77 [0.52-0.82]	1.05 [0.95-1.11]
COT (ug_g cr)	1265 [720-2295]	643 [454-1378]	698 [269-1745]	555 [324-1001]	615 [293-1129]	717 [403-1496]	758 [589-2242]	982 [650-1317]
Cd (ug_g cr)	0.43 [0.32-0.49]	0.39 [0.27-0.55]	0.44 [0.26-0.63]	0.19 [0.12-0.35]	0.20 [0.10-0.43]			
Cr (ug_g cr)	0.12 [0.07-0.21]	0.20 [0.09-0.33]	0.14 [0.09-0.15]	0.10 [n.d.-0.24]	0.18 [n.d.-0.42]			
Sn (ug_g cr)	0.10 [0.08-0.24]	0.11 [0.08-0.17]	0.34 [0.27-0.53]	0.22 [0.16-	0.24 [0.18-0.66]			

Tl (ug_g cr)	0.19 [0.18-0.23]	0.16 [0.10-0.20]	0.17 [0.14-0.30]	0.66] 0.16 [0.09- 0.20]	0.20 [0.15-0.44]			
Ni (ug_g cr)	1.31 [0.60-2.04]	1.26 [0.49-1.51]	0.92 [0.14-1.70]	1.05 [0.84- 2.18]	2.03 [1.24-3.87]			
Mn (ug_g cr)	0.05 [n.d.-0.14]	0.46 [0.20-0.91]	0.15 [0.11-0.26]	0.38 [0.18- 0.65]	0.13 [0.05-0.42]	-	-	-
V (ug_g cr)	0.09 [0.05-0.14]	0.07 [n.d.-0.15]	0.09 [0.06-0.11]	n.d.	n.d.	-	-	-
Hg (ug_g cr)	0.41 [0.10-0.47]	0.21 [0.11-0.66]	0.46 [0.21-1.24]	0.21 [0.11- 0.96]	0.08 [n.d.-1.91]	-	-	-

Tabella 7. PAIP, fumatori. Per ciascun analita vengono riportati il numero di casi disponibili e la tendenza centrale per ciascuna raccolta espressa come “mediana [primo quartile – terzo quartile]”.

Confronto Non Fumatori verso Fumatori

È rilevante osservare che la maggior parte delle mediane, per tutti i composti e in tutti i tempi è risultata essere compresa nei rispettivi intervalli dei valori di riferimento relativi alla popolazione generale, evidenziando che la coorte dei lavoratori del PAIP è da considerarsi al pari della popolazione generale in termini di esposizione ai composti chimici analizzati. Proprio perché confrontabili con i valori della popolazione generale i risultati ottenuti nei campioni di urine dei lavoratori del PAIP sono ben al di sotto dei valori di esposizione professionale.

Nelle due tabelle sono evidenziate in grassetto le mediane dei composti che superano, anche se di poco, i rispettivi intervalli dei valori di riferimento della popolazione generale e riguardano il VP e il N-OH ma non si ritiene che tali differenze, anche se statisticamente significative, siano attribuibili all'attività dell'inceneritore. È opportuno ricordare infatti che il VP è un metabolita dello stirene ma è anche una sostanza presente tal quale nei vini e nelle birre, in quanto prodotto di degradazione dei lieviti, e aroma addizionato a cibi e tabacco; il N-OH è metabolita del naftalene, che oltre che essere un composto a basso peso molecolare presente nelle miscele di idrocarburi aromatici (IPA) è anche un inquinante indoor, poiché presente negli insetticidi utilizzati come antitarma e componente dell' inquinamento causato dal traffico veicolare. Inoltre, sia per VP che per N-OH uno dei tempi di campionamento in cui si è riscontrata una concentrazione superiore all'intervallo di riferimento della popolazione generale è il primo, quando ancora l'inceneritore non era in funzione.

In Tabella 8 sono riportate le differenze statisticamente significative delle concentrazioni urinarie degli inquinanti stratificati in base alle abitudini tabagiche dei lavoratori del PAIP suddivisi nelle otto campagne ottenute applicando il test di Mann-Withney.

NF vs F	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Benz_ug_L	<,001 ^c	,002 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	,009 ^c	<,001 ^c	0,038	<,001 ^c
Tol_ug_L	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Etilb_ug_L	n.s.	n.s.	n.s.	,024	,036	n.s.	n.s.	n.s.
Xil_ug_L	n.s.	n.s.	n.s.	,003	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Stir_ug_L	n.s.	n.s.	n.s.	,021 ^c	,049	n.s.	n.s.	n.s.
MTBE_ug_L	n.s.	n.s.	n.s.	,011 ^c	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Creat_g_l	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
tt_AM_ug_g_Creat	,017 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	n.s.,	,003 ^c	n.s.	n.s.
AFM_ug_g_Creat	,005 ^c	<,001 ^c	,012 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	,003 ^c	,037	,003 ^c
AM_mg_g_Creat	,028 ^c	<,001 ^c	,001 ^c	,006 ^c	n.s.	<,001 ^c	n.s.	n.s.
AFG_mg_g_Creat	,022 ^c	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
AM+AFG (mg_g cr)	,007	,026	,002	,050	0,28	n.s.	n.s.	n.s.
VP_ug_g_Creat	,005 ^c	n.s.	n.s.	<,001 ^c	n.s.	n.s.	,046	,039 ^c
N_OH_ug_g_Creat	,045 ^c	<,001 ^c	,006 ^c	,006 ^c	,034 ^c	<,001 ^c	,002 ^c	n.s.
OH_P_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	,006 ^c	n.s.	,028 ^c	<,001 ^c	,014 ^c	<,001 ^c
Cot_ug_g_Creat	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c	<,001 ^c
Cd_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	,047 ^c	,022 ^c	n.s.			
Cr_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Sn_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Tl_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Ni_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Mn_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
V_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
Hg_ug_g_Creat	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			

Tabella 8. Valori di p ottenuti applicando il test di Mann-Withney. Legenda: n.s., non significativo

Le concentrazioni urinarie di Benzene, dei suoi metaboliti, t,t-MA e AFM, dell'OH-P, metabolita del pirene, della cotinina, metabolita della nicotina e del N-OH, metabolita del naftalene sono risultate essere significativamente superiori nei soggetti fumatori rispetto ai soggetti non fumatori in quasi tutte le campagne di raccolta, a conferma della loro presenza nel fumo di sigaretta e della loro sensibilità come indicatori biologici di esposizione.

Applicando il test di Kruskal Wallis per verificare la presenza di differenze significative tra i diversi tempi di campionamento, e il test di Jonckheere-Terpstra per valutare la possibilità di un andamento temporale, si è osservato che le mediane delle concentrazioni urinarie di alcuni composti sono significativamente diverse nei vari tempi, ma tali differenze non rivelano un andamento crescente o decrescente o hanno una plausibilità biologica associabile all'esposizione ai fumi dell'inceneritore.

L'esposizione a benzene è stata caratterizzata quantificando nelle urine sia il benzene tal quale sia i suoi due metaboliti principali, t,t-AM e AFM. Nelle figure 2, 3 e 4 si riportano le concentrazioni urinarie di Benzene (2) t,t-AM (3) e AFM (4), espresse come mediana e range interquartile e stratificando i risultati per abitudine

al fumo. Applicando il test di Kruskal Wallis, per tutti e tre i composti, si osservano differenze significative tra i diversi tempi di campionamento sia nel gruppo dei Non Fumatori&Ex Fumatori (NF&ExF) che nel gruppo dei Fumatori (F) ma tali differenze non sono riscontrate negli stessi tempi di campionamento per i tre analiti né evidenziano un andamento crescente o decrescente nel tempo.

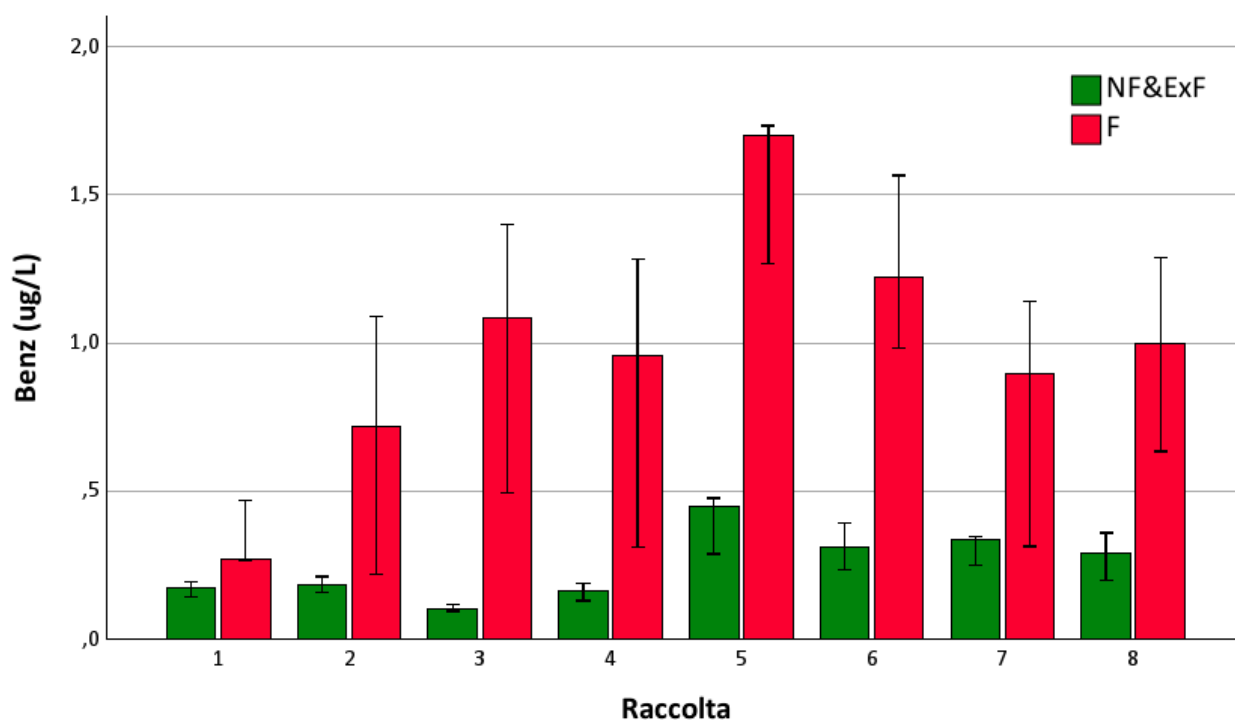


Figura 2. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di Benzene nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori)

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli urinari di benzene nel tempo si osserva che in entrambi i gruppi, NF&ExF e F, i livelli minimi sono stati riscontrati ai tempi T1 e T2 mentre i valori massimi al tempo T5. Non si osserva un trend temporale crescente o decrescente ma un calo nelle concentrazioni di benzene urinario dopo il T5. In generale nei soggetti fumatori si osserva una maggior variabilità che dipende dal numero di sigarette fumate dai singoli soggetti. Si ricorda che per il benzene urinario il 95% percentile della popolazione di riferimento non professionalmente esposta è pari a 1,80 ug/l.

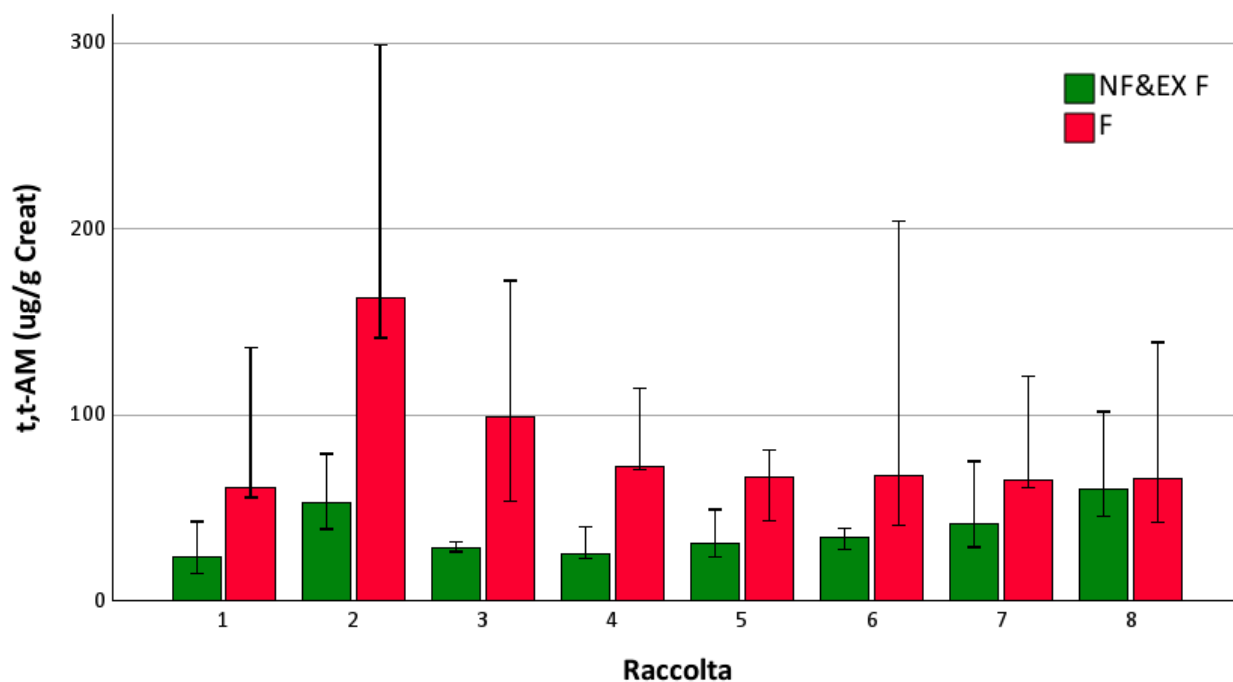


Figura 3. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di acido trans,trans Muconico (t,t-AM) nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori)

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli urinari di t,t-AM nel tempo si osserva che in entrambi i gruppi, NF&ExF e F, i livelli sono confrontabili nei vari tempi di campionamento tranne per il tempo T2 per cui si riscontrano valori superiori. Non si osserva un trend temporale crescente o decrescente. In generale nei soggetti fumatori si osserva una maggiore variabilità che dipende dal numero di sigarette fumate dai singoli soggetti.

In particolare per questo composto, si evidenzia un'elevata variabilità nei range interquartili in entrambi i sottogruppi stratificati per abitudine al fumo; tale variabilità è probabilmente associabile alla dieta in quanto il t,t-AM è anche metabolita dell'acido sorbico utilizzato come dolcificante negli alimenti. Si ricorda che per il t,t-AM urinario il 95% percentile della popolazione di riferimento non professionalmente esposta è pari a 165 ug/g Creat e il valore dell'Indicatore di esposizione biologico (BEI) è pari a 500 ug/g Creat.

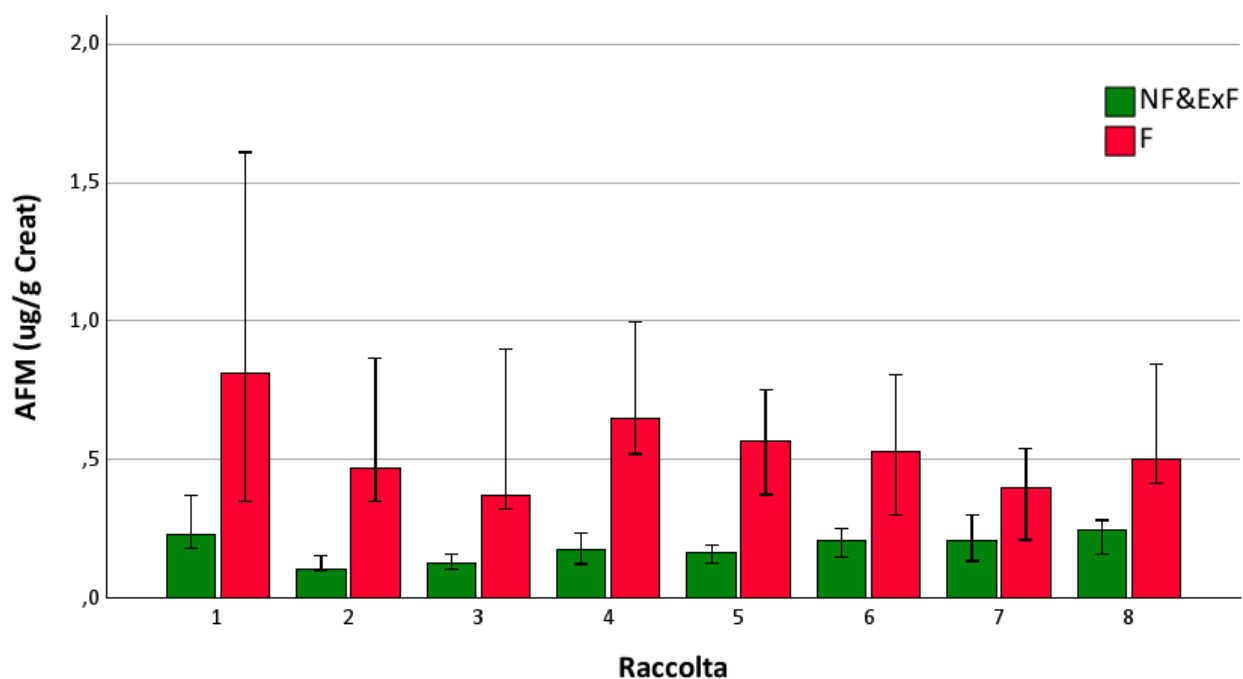


Figura 4. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di Acido S-fenilmercapturico (AFM) nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori)

Per quanto riguarda l'andamento dei livelli urinari di AFM nel tempo si osserva che in entrambi i gruppi, NF&ExF e F, i livelli sono confrontabili nei vari tempi di campionamento. Non si osserva un trend temporale crescente o decrescente. I risultati ottenuti in questo studio sono assolutamente in accordo con i dati riportati dall'INAIL nel 2023 per cui il 95% percentile di AFM nella popolazione di riferimento non professionalmente esposta e non Fumatrice è pari a 0,5 ug/g Creat mentre per i fumatori non professionalmente esposti è di circa 7,5 ug/g Creat. Il valore dell'Indicatore di esposizione biologico (BEI) è pari a 25 ug/g Creat.

Pur non mostrando un trend temporale crescente o decrescente, si osserva che negli ultimi tre tempi di campionamento i livelli urinari di NOH (Figura 5) e MTBE (Figura 6) in entrambi i gruppi, NF&ExF e F, hanno concentrazioni più elevate dei tempi di raccolta 2-5 e si riallineano con i valori della Raccolta 1 (ante operam). E' importante ricordare che il naftalene, idrocarburo aromatico che ha come metabolita principale il naftolo, e l'MTBE sono componenti e additivi dei carburanti.

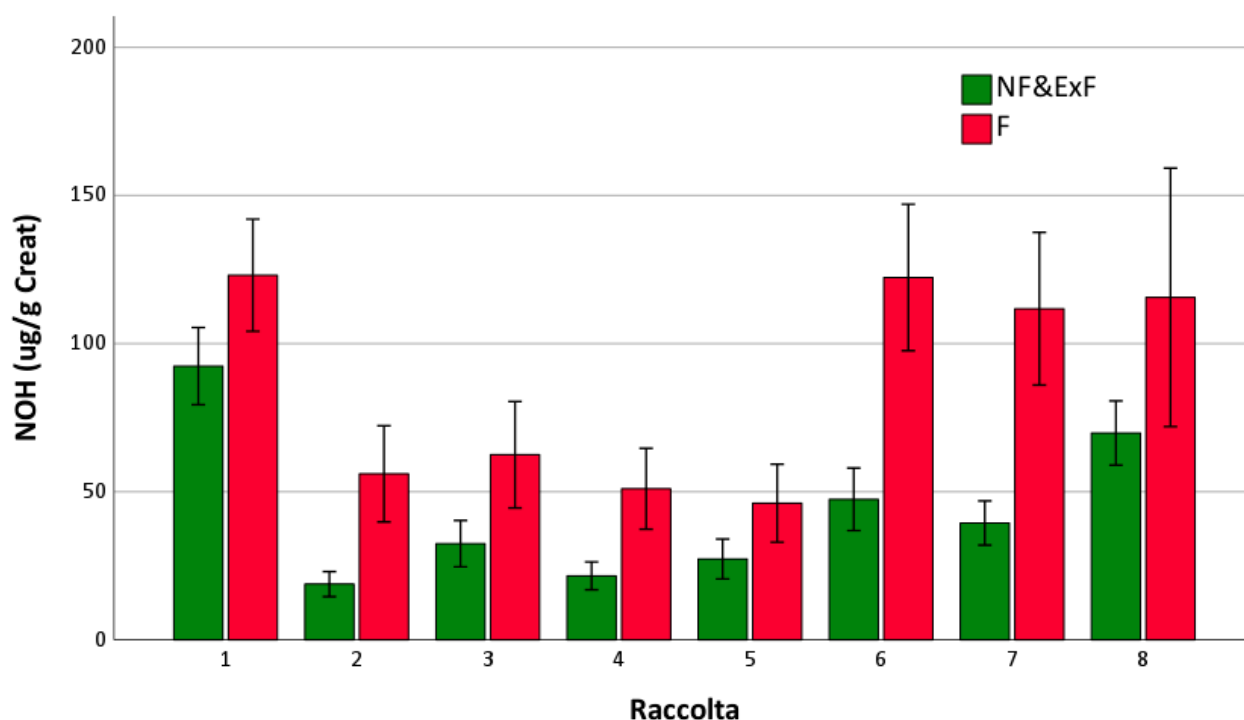


Figura 5. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di Naftolo (NOH) nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori)

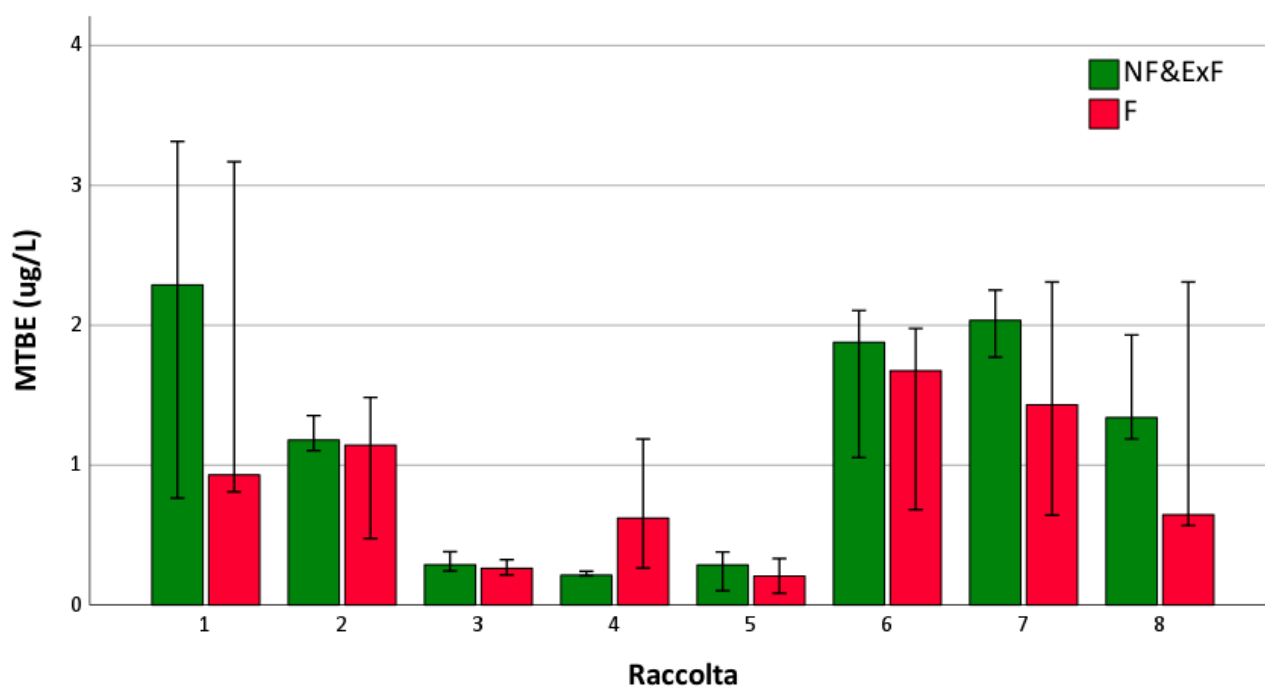


Figura 6. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di MTBE nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori).

Un andamento analogo dei due indicatori, NOH e MTBE, potrebbe riflettere una maggior esposizione a traffico veicolare dei lavoratori del PAIP nei tempi T1, T6, T7 e T8 rispetto agli altri tempi di campionamento.

È interessante notare che nei soggetti fumatori si osserva una maggior variabilità dell'intervallo di concentrazioni urinarie dei composti volatili contenuti nel fumo di sigaretta (Benzene, VP) o dei loro metaboliti (t,t-MA, AFM, NOH) rispetto ai soggetti Non Fumatori o Ex Fumatori. Tale andamento è

attribuibile al numero di sigarette fumate e dal tempo intercorso tra l'ultima sigaretta fumata e la raccolta del campione estemporaneo di urine.

In Tabella 9 si riportano i coefficienti di correlazione di Spearman (Rho) delle concentrazioni urinarie del Benzene, dei suoi metaboliti, del N-OH, del MTBE e della cotinina suddividendo i soggetti per abitudine al fumo.

NF&Ex vs F	Benz (ug/L)	t,t-AM (ug/L)	AFM (ug/L)	N-OH (ug/L)	MTBE (ug/L)	Cot (ug/L)
Benz (ug/L)		,308**	,180*	,221*	,232**	ns
t,t-AM (ug/L)	ns		,419**	,221*	ns	ns
AFM (ug/L)	,275*	,357**		,266**	ns	,196*
N-OH (ug/L)	ns	,315*	,296*		,332**	ns
MTBE (ug/L)	-,440**	ns	ns	ns		ns
Cot (ug/L)	ns	,375**	,333**	,449**	ns	

Tabella 9. Matrice di correlazione degli analiti secondo l'abitudine tabagica.

Legenda: * p<0,05; ** p<0,01; ns: non significativo

La cotinina correla positivamente con i metaboliti del benzene (t,t-AM e AFM) e del naftalene (N-OH) nei soggetti fumatori ma non con MTBE. Infatti, dei vari composti analizzati in questo studio, l'MTBE è uno dei pochi che non è contenuto nel fumo di sigaretta. L'assenza di correlazione tra cotinina e benzene nei soggetti fumatori è da attribuirsi principalmente alla diversa emivita dei due composti; infatti, il benzene urinario riflette l'esposizione a benzene delle ultime due ore. NOH e MTBE correlano positivamente solo nei soggetti non fumatori poiché in loro prevale la componente derivante dall'esposizione a traffico veicolare. Nei soggetti fumatori tale correlazione si perde perché il naftalene è presente nel fumo di sigarette a differenza dell'MTBE.

L'unico composto per cui sono state riscontrate differenze significative nelle concentrazioni urinarie in funzione delle diverse campagne di reclutamento e un trend costante e coerente sia nei soggetti non fumatori che in quelli fumatori è il Cadmio. Come riportato in figura 7 (in verde i soggetti non Fumatori o Ex Fumatori e in rosso quelli Fumatori) si può notare come tale andamento sia decrescente

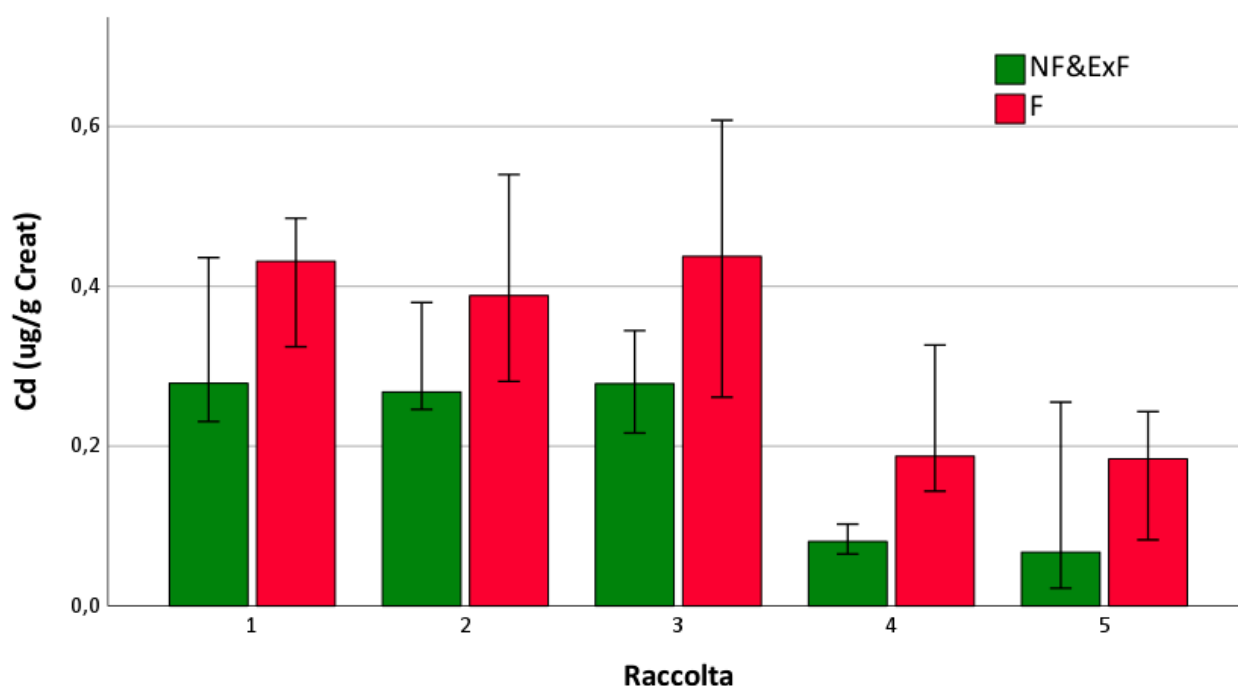


Figura 7. Mediane e range interquartile delle concentrazioni urinarie di Cadmio nei campioni dei lavoratori del PAIP suddivisi per tempo di campionamento e abitudine tabagica (in verde non Fumatori&Ex Fumatori; in rosso Fumatori)

Tra gli indicatori urinari analizzati per caratterizzare il profilo degli inquinanti aereodispersi, i metalli sono gli unici che potenzialmente potrebbero dare un effetto di accumulo all'interno dell'organismo e poiché proprio per questi composti non si sono osservati mai concentrazioni superiori al 95° percentile della popolazione generale né andamenti crescenti nel tempo, si è deciso di interromperle la loro quantificazione dalla 6° raccolta in poi.

Conclusioni

Il primo obiettivo dell'indagine è stato quello di caratterizzare l'esposizione dei lavoratori del PAIP a sostanze derivanti dai processi di combustione attraverso il confronto con i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione generale e i limiti di esposizione professionale. Considerando la forte correlazione dell'abitudine al fumo con le concentrazioni urinarie delle sostanze indagate, l'analisi è stata effettuata sui due sottogruppi di fumatori e non fumatori sulla base delle concentrazioni di cotinina che discrimina perfettamente tale abitudine voluttuaria. Infatti, i valori delle sostanze correlabili al fumo, rilevati nei fumatori sono, come atteso, mediamente superiori a quelli dei non fumatori. Tuttavia, per la maggior parte degli analiti, le concentrazioni urinarie dei dipendenti PAIP, sia fumatori che non fumatori, sono risultate essere in linea, ove presenti, con i valori di riferimento per la popolazione generale, differenziati per fumatori e non fumatori, e di molto inferiori ai valori limite di esposizione professionale. Di conseguenza il profilo di esposizione di entrambi i gruppi è comparabile, rispetto alle sostanze indagate, con il profilo di esposizione della popolazione generale di Parma.

Il secondo obiettivo dell'indagine è stato quello di cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase ante operam associabili al funzionamento dell'inceneritore. Le differenze riscontrate nei diversi tempi di campionamento, nelle concentrazioni dei composti organici volatili

considerati inquinanti ambientali ubiquitari, escreti tal quali nelle urine, o sotto forma di metaboliti, non mostrano un trend crescente nel periodo del monitoraggio. Si osservano solo alcuni superamenti sporadici dei valori di riferimento della popolazione generale nei diversi tempi di campionamento e limitatamente ad alcune sostanze, che tuttavia non evidenziano un andamento coerente con il funzionamento in continuo dell'inceneritore. Tale risultato è spiegabile dal fatto che questi indicatori, di esposizione ad inquinanti ambientali ubiquitari, riflettono un'esposizione a breve termine (24h) e che un innalzamento dei valori può essere interpretato da condizioni ambientali specifiche (meteo, aumento del traffico veicolare, stagionalità) o da abitudini di vita, più che da un accumulo in ambiente causato dalla persistenza di una fonte di emissione degli stessi

Tra gli indicatori urinari analizzati per caratterizzare il profilo degli inquinanti aereodispersi, i metalli sono gli unici che potenzialmente potrebbero accumularsi all'interno dell'organismo. Proprio per questi composti non si sono osservati andamenti crescenti nel tempo, anzi il cadmio è l'unico composto per cui si è osservato un andamento decrescente sia per i soggetti Non Fumatori & Ex Fumatori che per i soggetti Fumatori. Si è quindi deciso di interrompere la loro quantificazione dalla sesta raccolta in avanti.

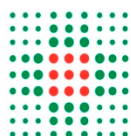
Il monitoraggio biologico, così applicato, ha mostrato una sensibilità sufficiente ad individuare fluttuazioni anche molto piccole nelle concentrazioni urinarie, senza evidenziare dei profili espositivi importanti, ad eccezione di quello attribuito all'abitudine al fumo.

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

Inoltre, le concentrazioni urinarie degli analiti d'interesse ottenute a seguito del monitoraggio biologico effettuato sui lavoratori del PAIP sono risultate paragonabili a quelle quantificate nei soggetti asmatici e già presentante nel quarto rapporto asmatici pubblicato nel 2021. Anche in quel contesto nelle conclusioni si osservava per nessun composto un andamento temporale crescente ma solo aumenti in singoli tempi attribuibili più ad andamenti casuali e puntuali che a trend associabili all'esposizione costante e progressiva ai fumi dell'inceneritore. Questo a dimostrazione della coerenza nei risultati delle due linee di indagine.

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

È prevista la continuazione del confronto con i medici competenti di IREN-PAIP per concordare ulteriori valutazioni dei dati e le modalità della restituzione, quando richiesta, di dati individuali.



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Unità Sanitaria Locale di Parma

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

Piano operativo biomonitoraggio

RAPPORTO SUI RISULTATI DEFINITIVI DELLE CAMPAGNE RELATIVE AI LAVORATORI DEL PAIP (anni 2013-2019)

SINTESI PER UNA LETTURA DIVULGATIVA

AUTORI:

Responsabile scientifico

Dr.ssa Natalia Sodano

Collaboratori del Dipartimento di Sanità Pubblica

Dr.ssa Gaia Fallani

Dr.ssa Rosanna Giordano

Dr.ssa Elisa Mariani

Collaboratori del Tavolo Tecnico-Scientifico

Servizio Sanità Pubblica Regione Emilia-Romagna

CTR Ambiente-Salute, ARPAE Emilia Romagna

Università degli Studi di Parma - Centro Eccellenza Ricerca Tossicologica

Azienda Ospedaliero-universitaria di Parma

ARPAE Sezione di Parma

Servizio Interdip.le di Epidemiologia e Comunicazione AUSL di Reggio

Dr. Maurizio Impallomeni, già Direttore Area Igiene Ambientale AUSL Parma

INTRODUZIONE

Nel marzo 2018 è stato pubblicato il Rapporto sui risultati della fase post-operam (anni 2014-2015) che rappresenta la valutazione conclusiva dell'indagine biotossicologica svolta presso gli Istituti Penitenziari e spiega le motivazioni della cessazione di questa linea di indagine che prosegue invece per il gruppo dei dipendenti del PAIP. Il "Piano operativo per il biomonitoraggio di soggetti che lavorano in area potenzialmente esposta alle emissioni dell'impianto, terzo documento contenuto nel Progetto di Sorveglianza Sanitaria dell'impianto di trattamento rifiuti di Parma (PAIP), è proseguito infatti, per il gruppo dei dipendenti PAIP fino all'ottava campagna di monitoraggio avvenuta nel 2019.

Il Piano operativo per il biomonitoraggio riguarda azioni di sorveglianza su coorti di lavoratori presenti nell'area di interesse mediante la ricerca di indicatori di esposizione nelle urine. Il documento che presenta il piano è reperibile sul sito dell'AUSL (www.ausl.pr.it nella sezione "Azienda" - "Progetti aziendali").

STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO OPERATIVO BIOMONITORAGGIO

Questo Rapporto presenta l'ultima rendicontazione tecnica delle modalità e degli esiti di tutte le raccolte dei campioni di urine dei lavoratori del PAIP.

Il quadro aggiornato dell'avanzamento del Piano Biomonitoraggio dei lavoratori del PAIP al novembre 2019 è quello illustrato di seguito sinteticamente.

	STATO IN ESERCIZIO DEL PAIP	CAMPAGNA CAMPIONAMENTO	DI
marzo 2013	Nessun esercizio	1ª campagna (ante operam)	marzo 2013
da settembre 2013 a marzo 2014	esercizio provvisorio con combustione continuativa di rifiuto, ma non a pieno regime	2ª campagna	ottobre 2013
aprile 2014	esercizio continuativo di marcia controllata	3ª campagna	marzo-aprile 2014
da maggio 2014 in poi	esercizio continuativo	4ª campagna	marzo 2015
	esercizio continuativo	5ª campagna	novembre 2015
	esercizio continuativo	6ª campagna	aprile 2017
	esercizio continuativo	7ª campagna	novembre 2018
	esercizio continuativo	8ª campagna	novembre 2019

Tabella 1. Quadro sintetico dell'avanzamento del Piano di Biomonitoraggio

OBIETTIVI E METODI

I lavoratori del PAIP sono stati individuati come sottogruppo di popolazione potenzialmente esposta nell'area di massima ricaduta dell'inceneritore, sul luogo di lavoro. Sono stati arruolati dipendenti impiegati sia in mansioni tecniche/operative che amministrative; 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.

Questa impostazione è legata, oltre che al modello di ricaduta delle emissioni dell'impianto, anche al fatto che ad oggi non esiste un tracciante specifico dell'esposizione a emissioni da inceneritore. Per caratterizzare al meglio tale esposizione sono state prese in considerazione sostanze caratteristiche di un processo di combustione: metalli, composti organici volatili (COV), come il benzene e due idrocarburi policiclici aromatici (IPA).

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 piano di biomonitoraggio ha due obiettivi primari:

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

Possibili limiti dell'indagine - di cui si è consapevoli- e che non consentono di generalizzare i risultati a tutta la popolazione di Parma, sono stati l'impossibilità di selezionare un adeguato campione dalla popolazione generale esposta e di introdurre un gruppo di controllo definibile come "non esposto" alle emissioni dell'impianto di incenerimento del PAIP, per lo scarso tempo a disposizione prima dell'avvio dell'impianto. Si deve tener conto inoltre di un parziale ricambio nel tempo degli aderenti all'indagine, cui si partecipa su base volontaria. La possibilità di eseguire misure ripetute nel tempo sullo stesso gruppo di soggetti 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. Per verificare l'eventuale presenza di fattori che possono determinare l'assunzione per via aerea, dermica e/o alimentare degli inquinanti indagati, è stato predisposto e somministrato a tutti i partecipanti un questionario. 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.

Il punto di forza di questo progetto risiede nel fatto che l'analisi dei biomarcatori urinari permette di evidenziare profili di concentrazioni indicanti abitudini alimentari, voluttuarie oppure legate ad attività hobbistiche. Le persone sono esposte a sostanze derivanti dal consumo di tabacco, dolcificanti, alimenti grigliati o affumicati e possono essere esposte ad emissioni veicolari o da solventi che, in condizioni normali, possono "mascherare" eventuali variazioni nelle concentrazioni urinarie di inquinanti derivanti dalla combustione dei rifiuti.

IDENTIFICAZIONE DEL DOMINIO TERRITORIALE INTERESSATO ALLA SORVEGLIANZA DELLE RICADUTE DELL'IMPIANTO PAIP

Il CTR-Ambiente-Salute dell'ARPA di Modena (ora ARPAE), collaboratore del Dipartimento di Sanità Pubblica che coordina il Progetto, ha curato l'elaborazione modellistica delle ricadute dell'inceneritore del PAIP. Sulla base del modello di ricaduta delle emissioni, sono stati indentificati alcuni gruppi di persone potenzialmente esposte nel luogo di residenza e/o lavoro.

METODOLOGIA STATISTICA

Per la rappresentazione delle caratteristiche dei gruppi in sorveglianza, delle loro variazioni nel tempo e come si posizionano i valori di concentrazione urinaria rilevati rispetto ai valori di riferimento, dove disponibili sono state usate tecniche di statistica descrittiva. Per valutare se le concentrazioni urinarie (effetto) siano influenzate da qualcuna delle variabili indipendenti indagate sono state usate tecniche inferenziali non parametriche. Per l'analisi delle variazioni nel tempo sono stati applicati test per campioni indipendenti o ripetuti.

RISULTATI

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 dose assorbita del biomarcatore in relazione alla variabilità ambientale e comportamentale.

Quindi 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). Gli aspetti investigati in questo monitoraggio sono stati i seguenti:

- Influenza di vari aspetti dello stile di vita e delle caratteristiche personali sulla concentrazione urinaria degli inquinanti.
- Eventuale modificazione delle concentrazioni urinarie degli inquinanti nei lavoratori del PAIP nell'arco di tempo investigato.

RISULTATI ANALISI AMBIENTALI

In tabella 2 si riportano le medie dei valori dei PM10 registrati dall'unità mobile di Arpae posizionata nel cortile degli istituti giudiziari per i primi 4 campionamenti e dalle centraline fisse Arpae posizionate in Cittadella, Sorbolo-Bogolese e Parma-Paradigna in corrispondenza dei giorni in cui sono stati raccolti i campioni urinari dei lavoratori del PAIP per tutte e otto le campagne di campionamento. In generale, nella stazione posta in Via Burla per i primi quattro campionamenti e nelle postazioni di Sorbolo-Bogolese e Parma-Paradigna, è stata registrata una concentrazione di PM10 in linea con la stazione di "fondo urbano" (Parma-Cittadella); la variazione delle condizioni meteo-climatiche crea una condizione di esposizione uniforme sull'intero bacino padano, soggetta a fluttuazioni stagionali.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo	Unità Mobile	Parma - Cittadella	Sorbolo - Bogolese	Parma - Paradigna
T1	22 marzo - 17 aprile 2013	25	24	n.d	n.d
T2	16 - 24 ottobre 2013	43	41	52	55
T3	31 marzo - 08 aprile 2014	28	30	30	30
T4	23-31 marzo 2015	33	30	20	24
T5	13 - 26 novembre 2015	-	36	36	36
T6	07 - 12 aprile 2017	-	33	26	27
T7	16 - 23 novembre 2018	-	29	26	24
T8	27 novembre - 14 dicembre 2019	-	41	39	38

Tabella 2. Media di PM10, relativi alle otto campagne di campionamento nelle varie centralini prese in considerazione.

L'analisi statistica non ha rilevato né differenze fra le diverse postazioni (Cittadella Bogolese e Paradigna) né un trend.

Successivamente, sono state valutate le possibili correlazioni tra la concentrazione urinaria degli indicatori biologici e le concentrazioni di PM10 misurate dalle varie centraline ARPAE, senza trovare alcuna correlazione; pertanto si può dedurre che quanto riscontrato nelle urine non è stato influenzato dall'inquinamento atmosferico ambientale.

RISULTATI MONITORAGGIO BIOLOGICO

Poiché in tutte le campagne è risultato evidente come l'abitudine tabagica sia il parametro che maggiormente influisce sulla concentrazione degli inquinanti analizzati, i risultati sono stati valutati in relazione a questo fattore. I soggetti pertanto sono stati divisi in Fumatori e Non Fumatori, quelli che nel questionario hanno dichiarato di essere Ex Fumatori sono stati inseriti nel gruppo dei Non Fumatori. Per effettuare l'analisi dei campioni sono stati confrontati i dati relativi a tutti i soggetti che hanno partecipato al progetto, indipendentemente dal fatto che essi abbiano partecipato a tutte le raccolte o soltanto ad alcune.

Confronto Non Fumatori verso Fumatori

È rilevante osservare che la maggior parte dei risultati, per tutti i composti e in tutti i tempi sono risultati essere compresi all'interno dei valori di riferimento relativi alla popolazione generale, evidenziando che la coorte dei lavoratori del PAIP è da considerarsi al pari della popolazione generale in termini di esposizione ai composti chimici analizzati.

Le concentrazioni urinarie di Benzene e dei suoi metaboliti, sono risultate essere significativamente superiori nei soggetti Fumatori rispetto ai soggetti Non Fumatori in tutte le campagne di raccolta, a conferma della loro presenza nel fumo di sigaretta.

Le analisi statistiche effettuate sugli esiti dei campioni per verificare la presenza di differenze significative tra i diversi tempi di campionamento, non rivelano un andamento crescente o decrescente costante o un andamento riconducibile all'attività dell'inceneritore.

Pur non mostrando un trend temporale crescente o decrescente, si osserva che negli ultimi tre tempi di campionamento i livelli urinari di uno dei due IPA analizzati (Idrossinaftolo) e un COV (MTBE) in entrambi i gruppi, Fumatori e Non Fumatori, hanno concentrazioni più elevate dei tempi di raccolta precedenti e si riallineano con i valori della Raccolta 1 (prima dell'accensione dell'inceneritore). È importante ricordare che entrambi i composti sono componenti e additivi dei carburanti. Pertanto questo loro andamento potrebbe riflettere una maggior esposizione a traffico veicolare dei lavoratori del PAIP nei tempi T1, T6, T7 e T8 rispetto agli altri tempi di campionamento.

Per quanto riguarda i metalli, l'unico composto per cui sono state riscontrate differenze significative nelle concentrazioni urinarie in funzione delle diverse campagne di reclutamento è un trend costante e coerente sia nei soggetti Non Fumatori che in quelli Fumatori è il Cadmio; tuttavia tale trend è risultato in diminuzione dalla prima all'ultima campagna di raccolta delle urine.

Inoltre, dal momento che i metalli sono gli unici che potenzialmente potrebbero dare un effetto di accumulo all'interno dell'organismo e poiché proprio per questi composti non si sono osservati mai aumenti di concentrazione, si è deciso di interromperle la loro quantificazione dalla 6° raccolta in poi.

Conclusioni

Il primo obiettivo dell'indagine è stato quello di caratterizzare l'esposizione dei lavoratori del PAIP a sostanze derivanti dai processi di combustione attraverso il confronto con i valori di riferimento (VR) disponibili per la popolazione generale. Considerando la forte correlazione dell'abitudine al fumo con le concentrazioni urinarie delle sostanze indagate, l'analisi è stata effettuata sui due sottogruppi di fumatori e non fumatori. Infatti, i valori delle sostanze correlabili al fumo, rilevati nei fumatori sono, come atteso, mediamente superiori a quelli dei non fumatori. Tuttavia, per la maggior parte degli analiti, le concentrazioni urinarie dei dipendenti PAIP, sia fumatori che non fumatori, sono risultate essere in linea, ove presenti, con i valori di riferimento per la popolazione generale, differenziati per fumatori e non fumatori.

Il secondo obiettivo dell'indagine è stato quello di cogliere eventuali variazioni nel tempo dei valori inizialmente rilevati nella fase pre-accensione dell'inceneritore associabili al funzionamento dello stesso. Le differenze riscontrate nei diversi tempi di campionamento, nelle concentrazioni dei COV considerati inquinanti ambientali ubiquitari, non mostrano un trend crescente nel periodo del monitoraggio.

Tra gli indicatori urinari analizzati per caratterizzare il profilo degli inquinanti aereodispersi, i metalli sono gli unici che potenzialmente potrebbero accumularsi all'interno dell'organismo. Proprio per questi composti non si sono osservati andamenti crescenti nel tempo, anzi il cadmio è l'unico composto per cui si è osservato un andamento decrescente sia per i soggetti Non Fumatori che per i soggetti Fumatori. Si è quindi deciso di interrompere la loro quantificazione dalla sesta raccolta in avanti.

Il monitoraggio biologico, così applicato, ha mostrato una sensibilità sufficiente ad individuare fluttuazioni anche molto piccole nelle concentrazioni urinarie, senza evidenziare dei profili espositivi importanti, ad eccezione di quello attribuito all'abitudine al fumo.

Inoltre, le concentrazioni urinarie degli analiti d'interesse ottenute a seguito del monitoraggio biologico effettuato sui lavoratori del PAIP sono risultate paragonabili a quelle quantificate nei soggetti asmatici e già presentante nel quarto rapporto asmatici pubblicato nel 2021. Anche in quel contesto nelle conclusioni non si osservava per alcun composto un andamento temporale crescente ma solo aumenti in singoli tempi attribuibili più ad andamenti casuali e puntuali; questo a dimostrazione della coerenza nei risultati delle due linee di indagine.

In definitiva, i dati attualmente disponibili suggeriscono che il contributo delle emissioni dell'inceneritore all'eventuale aumento di concentrazione di inquinanti nell'organismo, sia al momento non individuabile nelle concentrazioni urinarie dei metaboliti indagati.

È prevista la continuazione del confronto con i medici competenti di IREN-PAIP per concordare ulteriori valutazioni dei dati e le modalità della restituzione, quando richiesta, di dati individuali.