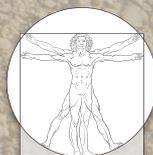




Progetto Formaldeide

Monitoraggio della formaldeide
nei suoli dei comuni
della bassa pianura
mantovana e reggiana:
studio pilota



Associazione per la Prevenzione dei Tumori
Guastalla (RE) - O.D.V. ETS

*“Ci deve essere un modo migliore per fare
le cose che vogliamo, un modo che non
inquinì il cielo, o la pioggia, o la terra”*

Sir Paul McCartney

Finito di stampare nel mese di giugno 2025
presso Litocolor snc di Guastalla (RE)

Monitoraggio della formaldeide nei suoli dei comuni della bassa pianura mantovana e reggiana: studio pilota

Mario Franzini¹, Roberto Spaggiari², Rubens Busana³
Associazione Prevenzione Tumori - Guastalla O.D.V. ETS

Riassunto

L'inquinamento da formaldeide nel suolo del polo industriale italiano del legno truciolare nella bassa pianura mantovana è stato documentato monitorando la concentrazione della molecola nel terreno. Come parametri di riferimento sono stati utilizzati i limiti proposti dall'Istituto Superiore di Sanità nel protocollo AMPP/IA.12 22282 - 03/05/2006. I valori riscontrati eccedevano costantemente, anche in modo notevolmente significativo, in molti dei siti campionati più esposti alla deriva inquinante: tra essi anche un asilo infantile, il campo sportivo, abitazioni private e altri luoghi di aggregazione. Questi riscontri contrastano con l'assunto che, data la sua elevata volatilità, la formaldeide non venga adsorbita, non si legghi e non persista nel suolo, ove essa viene rapidamente degradata dalla luce solare, dal microbiota e dalla fauna terricola. Le concentrazioni di formaldeide accertate nel suolo si aggiungono ai dati significativi acquisiti da precedenti indagini sulle acque superficiali e di falda nello stesso distretto, rimarcando il sospetto che il cancerogeno abbia un ruolo cruciale nell'epidemiologia di questo territorio. Questi dati, alla luce delle recenti acquisizioni sugli effetti della formaldeide sul sistema immunitario in soggetti predisposti, suggerirebbero di rivalutare l'effettivo ruolo cancerogenetico della molecola, ben più complesso di quello dei cancerogeni "ad effetto soglia" tra i quali essa è attualmente annoverata. I danni all'ecosistema del suolo andrebbero pure studiati e approfonditi con ulteriori specifiche indagini. Il monitoraggio della formaldeide nel terreno potrebbe rappresentare un valido e semplice indicatore delle caratteristiche ambientali e sanitarie di un territorio.

Abbreviazioni usate nel testo

ADHS	Alcool Deidrogenasi
ADLH2	Aldeide Deidrogenasi mitocondriale 2
ARPAE	Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia Emilia-Romagna
ECHA	<i>European Chemical Agency</i> (Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche)
EPA	<i>Environment Protection Agency</i> (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente USA)
FA	Formaldeide
HPL	<i>High Performance Liquid Chromatography</i> (Cromatografia Liquida ad Alte Prestazioni)
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i> (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro)
ISS	Istituto Superiore di Sanità
MDL	<i>Method Detection Limit</i> (Limite di Rilevabilità)
PEC	<i>Predicted Environmental Concentration</i> (Valore Calcolato di una Sostanza Chimica nell'Ambiente)
PM	<i>Particulate Matter</i> (Particolato)
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals</i> (Regolamento per la Registrazione, Valutazione, Autorizzazione e Restrizione delle Sostanze Chimiche)
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i> (Composto Organico Volatile)

Introduzione

La Formaldeide (di seguito FA) è il Composto Organico Volatile (VOC)¹ più presente nell'ambiente *indoor* e *outdoor* [25] ed è classificata come cancerogeno del gruppo 1 – “cancerogeno accertato” – dall'Organizzazione Mondiale della Sanità [15]. Numerosi studi hanno precisato i rischi per la salute umana derivanti specificamente dall'esposizione *indoor* all'inalazione della FA negli ambienti di lavoro, fissandone la dose-soglia di 0,369 mg/m³, ovvero 0,3 ppm [24], come concentrazione media di FA riferita ad un'esposizione di 8 ore [14], correlata con un rischio significativo di sviluppare il cancro del rinofaringe e leucemie. Essa è annoverata pertanto tra i “cancerogeni con effetto soglia”, ipotizzando che esista un unico livello di esposizione al di sotto del quale non si prevedono effetti cancerogeni. Per converso è assai carente la letteratura inerente agli effetti sulla salute della FA all'aperto [18], soprattutto a bassi livelli d'inquinamento e/o per esposizioni croniche come quelle dei residenti in aree metropolitane densamente popolate o di insediamenti industriali [23].

La FA viene prodotta e utilizzata a volumi enormi per la produzione industriale del pannello truciolare nel distretto di due comuni limitrofi, Viadana e Pomponesco, situati sulla riva mantovana del Po. In questo sito sono insediate le due maggiori industrie italiane che producono e utilizzano colle a base di urea-formaldeide. Secondo il rapporto ECHA sulla FA del 2013, nello stabilimento di Viadana venivano prodotte a quella data 250.000 tonnellate di FA all'anno, in quello di Pomponesco 160.000 [25]. Non ci risultano disponibili dati più recenti sulle attuali produzioni, ma le colle a base di urea-formaldeide continuano ad essere prodotte ed impiegate nell'industria del legno truciolare, nonostante esse possano essere sostituite con prodotti alternativi molto meno tossici.

Dai primi anni 2000 il distretto del pannello truciolare è stato teatro di alcuni importanti studi epidemiologici sulla popolazione residente, in particolare su quella infantile – gli studi Viadana I [5], II [9, 18] e III [20, 21] – che hanno dimostrato un significativo impatto dell'esposizione della popolazione, con tassi più elevati di allergie, oftalmopatie, accessi al pronto soccorso

1. Composto Organico Volatile, in inglese VOC: *Volatile Organic Compound*.

e ricoveri per pneumopatie nei residenti in prossimità delle industrie entro un raggio di 4 km [20]. Inoltre, nei bambini di età compresa tra 3 e 12 anni, fu dimostrato l'effetto genotossico sulle cellule della mucosa buccale [9]. Si trattava tuttavia di esposizione alla FA unitamente ad una combinazione dei più frequenti inquinanti antropici presenti nella Pianura Padana, tra i quali il biossido d'azoto, il benzene, le PM 10 e 2,5, il *black carbon*, l'ozono. Nessuna valutazione venne tratta circa il ruolo specifico della FA, mentre l'associazione dei vari inquinanti ha certamente avuto un effetto di potenziamento rispetto alle molecole prese singolarmente, com'è comprovato per il cosiddetto "effetto *cocktail*".

Si conviene che, data la sua elevata volatilità, la FA non venga adsorbita, non si leghi e non persista nell'acqua e nel suolo [8]. È dimostrato infatti che, essendo altamente reattiva, essa si trasforma e si degrada rapidamente nell'ambiente, a causa della luce solare e ad opera della flora batterica [26]. Sembra quindi assai improbabile che in luoghi aperti la FA possa persistere e concentrarsi al punto da costituire un'effettiva minaccia per la salute. Ci si aspetta invece che essa possa persistere o accumularsi nell'ambiente esterno solo quando venga continuamente emessa in atmosfera, superando in tal modo la capacità di *clearance* naturale. A riprova di ciò si richiama una recente indagine ambientale in cui la FA è stata riscontrata in concentrazioni significative, talvolta massive, nelle acque superficiali del distretto, ed anche nell'acqua di pozzi irrigui e domestici, a conferma della persistente contaminazione del territorio e del potenziale pericolo per la salute della popolazione [13].

Il monitoraggio della FA nel suolo del distretto del legno truciolare, che verrà qui di seguito illustrato, oltre ad essere un completamento imprescindibile della ricerca già effettuata sulle acque di superficie e di falda, vuole rappresentare un contributo originale, idoneo a comprendere le dinamiche della diffusione ambientale del cancerogeno, e di illustrare il carico inquinante per un'area così geograficamente ristretta come il polo del pannello truciolare. Si tratta inoltre di uno studio pilota, poiché in letteratura non sono disponibili dati di monitoraggio della FA nel suolo, se si escludono sporadiche e datate indagini inerenti alla bonifica di singoli complessi industriali [11].

Materiali e metodi

Dal 4 novembre 2021 al 14 novembre 2022 sono stati prelevati campioni di terreno per la ricerca della FA in sette successivi periodi, in condizioni climatiche e stagionali differenti, nei comuni di Viadana e Pomponesco – distretto del legno truciolare – e nei comuni confinanti: Guastalla, Gualtieri, Boretto, Brescello, Reggiolo, Novellara e Poviglio nella provincia di Reggio Emilia; Dosolo, Sabbioneta e Suzzara in provincia di Mantova; Casalmaggiore in Provincia di Cremona; Sorbolo e Colorno in provincia di Parma.

I siti di campionamento sono stati individuati in modo da descrivere un primo perimetro all'intorno degli insediamenti industriali, un secondo perimetro a distanza di circa 4 km ed un terzo a distanza di circa 6-8 km. Questa distribuzione dei punti di campionamento “a cerchi concentrici” ha avuto in primo luogo lo scopo di stabilire se esistesse, come in effetti è, un rapporto diretto tra l'inquinamento da FA, la distanza degli insediamenti industriali e la direzione del vento (fig. 1); secondariamente, verificare l'effetto della deriva (Tavola 1 allegata). La Tavola 1 riporta sinteticamente i dati salienti dell'indagine: l'ubicazione del distretto del legno truciolare alla sinistra del fiume Po con gli insediamenti industriali di Viadana e Pomponesco; i siti numerati dei punti di monitoraggio della FA; le fasce di concentrazioni di FA per ogni campione, indicate con lo score cromatico. Le ellissi concentriche racchiudono l'areale della diffusione dell'inquinamento in rapporto alla distanza dagli insediamenti e la tendenza prevalente della deriva da est verso ovest e viceversa secondo la direzione prevalente dei venti.

I dati relativi alla direzione e velocità del vento sono stati ricavati dalle elaborazioni medie su base annua effettuate da ARPAE² di Reggio Emilia, contenute nel “Rapporto annuale della qualità dell'aria”. La figura 1 riporta le rose dei venti degli anni 2021 e 2022. In esse viene raffigurata la provenienza del vento – dai punti cardinali verso il centro del diagramma – che presenta velocità scarse, generalmente comprese, alla superficie della pianura interna, tra 2 e 2,5 m/s, con depressioni invernali fino a 1,5 m/s [1, 2]. Si tratta di venti molto deboli caratterizzati da un andamento prevalente da ovest-est/est-ovest, accompagnati da oscillazioni all'intorno. Tale situazione può essere mediamente associabile al bacino padano centrale.

I campioni di terreno sono stati prelevati secondo le indicazioni riportate

2. ARPAE: Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente Energia Emilia-Romagna.

nel DM Politiche Agricole 13/09/1999 - Approvazione dei “Metodi ufficiali di analisi chimica dei terreni” [4], adattate alle finalità esplorative dell’indagine. I prelievi sono stati eseguiti su aree verdi pubblico/private e, a seguito dell’eliminazione della parte aerea della vegetazione e della cotica, si è proceduto con una pala a campionare i primi 20 cm di suolo, che, omogeneizzati, sono stati ermeticamente rinchiusi in un vaso di vetro da 1 litro e posti al buio.

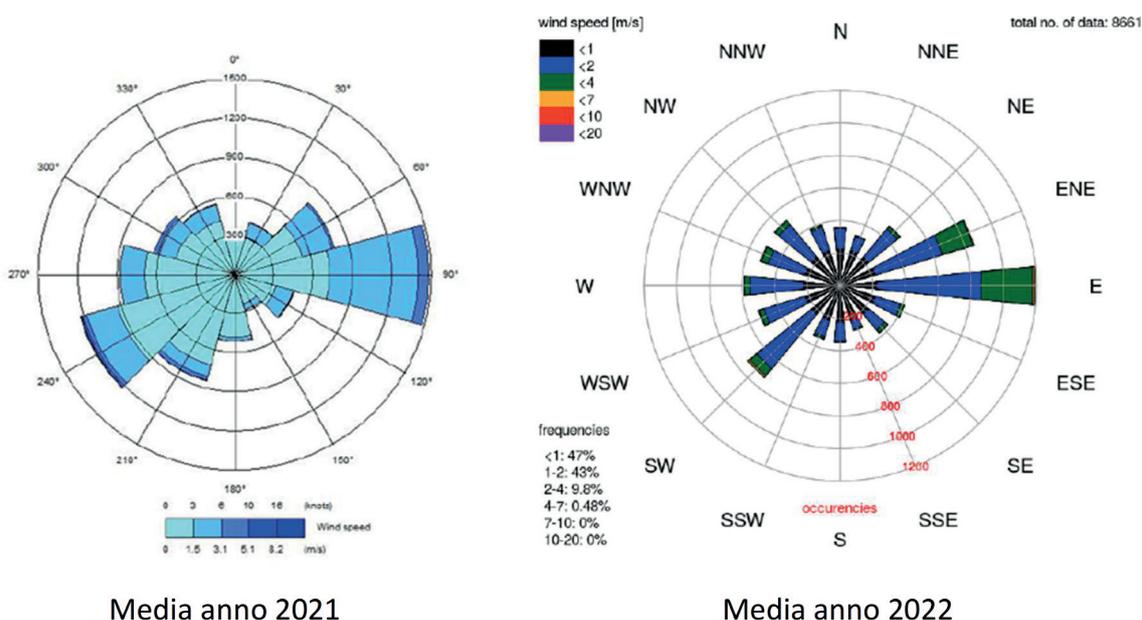


Figura 1. La figura rappresenta le “rose dei venti”, sovrapponibili all’area oggetto dell’indagine per gli anni 2021 e 2022.

Le analisi della FA sono state eseguite da CHELAB SRL (ACCREDIA 0094L) di Volpiano (TO) con il metodo accreditato EPA 8315 A 1996, applicato ai terreni per la determinazione delle aldeidi. Il campione viene pesato, addizionato di acqua, acido acetico e idrossido di sodio; estratto mediante agitazione per 18 ore e poi sottoposto a derivatizzazione con DNPH (2,4-dinitrofenilidrazina) a pH3 con tampone citrato alla temperatura di 40°C. La soluzione viene purificata su cartuccia SPE C18, eluita con acetonitrile e iniettata in sistema HPLC³. La MDL⁴ mediamente si pone a 0,014 mg di FA/Kg di terreno.

3. HPLC *High Performance Liquid Chromatography*: Cromatografia Liquida ad Elevate Prestazioni.

4. MDL è acronimo di *Method Detection Limit* (Limite di Rilevabilità) sec. EPA, Agenzia per la protezione dell’Ambiente, USA.

Risultati

La tabella 1 mostra in dettaglio i risultati dei campionamenti di suolo suddivisi per sito (fig. 2) e data del prelievo. Le concentrazioni di FA, dosata in mg/kg di terreno, sono evidenziate secondo il codice colore.

Data la carenza in letteratura di dati sul monitoraggio della FA nel suolo e considerando cruciale la sua suscettibilità alla rapida degradazione biotica e abiotica in tutte le matrici, per la FA non è neppure stata calcolata una PEC⁵ [12], né da *European Environment Agency* (Agenzia Europea per l'Ambiente), né dal Regolamento REACH di ECHA (Agenzia Europea per le Sostanze Chimiche). In Italia, invece, nel 2006 l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) ha emesso il "Protocollo AMPP/IA.12 22282 - 03/05/2006" [16], che stabilisce concentrazioni di riferimento per la FA nelle matrici ambientali, identiche a quelle validate per il benzene, in base al suo comportamento ambientale (mobilità della molecola nel suolo) e tossicologico (tossico e cancerogeno del gruppo 1 secondo IARC [15]), che sono analoghi per entrambe le molecole. Detti valori sono così definiti:

- suolo ad uso residenziale/verde pubblico: 0,1 mg di FA/kg di suolo;
- suolo ad uso industriale/commerciale: 2 mg di FA/kg di suolo;
- acque sotterranee: 1 µg di FA/L di acqua.

La maggior parte dei campioni analizzati presenta valori di FA ben superiori a quelli fissati dal protocollo dell'ISS [16]. La persistenza e la concentrazione del cancerogeno nei siti di maggiore rilevanza – i comuni di Viadana e Pomponesco – sono documentate dall'entità della FA riscontrata nei campioni, dal numero e dalla ripetitività dei riscontri. Come già osservato per l'inquinamento delle acque superficiali e di falda [13], le maggiori concentrazioni di FA nel terreno sono state rilevate in prossimità degli insediamenti industriali di Viadana e Pomponesco, ma anche a maggiore distanza come a Guastalla e Riva di Suzzara, e, inaspettatamente, a Novellara, Paviglio, Sorbolo, Colorno, Casalmaggiore e Sabbioneta, comuni che distano dai siti di emissione circa 8 km in linea d'aria.

5. PEC: *Predicted Environmental Concentration* è il valore calcolato di una sostanza chimica nell'ambiente sulla base di modelli di esposizione come il sistema dell'Unione Europea per la valutazione delle sostanze chimiche, utilizzato nel contesto delle certificazioni per la sicurezza chimica.

SCORE	mg/Kg
<0,1÷0,1	
0,11÷0,5	
0,51÷1,0	
1,1 ÷1,5	
1,51÷2,0	
2,1÷3,0	
>3,1	

Tabella 1. La tabella riporta: i siti dei campionamenti di terreno nei diversi comuni; le date dei campionamenti da novembre 2021 a novembre 2022; i valori della formaldeide rilevati, evidenziati in base allo score di appartenenza.

LOCALITÀ	COMUNE	04/11/21	09/02/22	27/03/22	19/04/22	28/04/22	03/10/22	14/11/22
1. Ghiarole	Brescello	1,56	1,84		4,23	4,45		4,49
2. Via Peppone e don C.	Brescello		3,38	3,37				
3. Via Peppone e don C. bis	Brescello			1,5	1,2	1,13		
4. Via Argine	Boretto	1,07	0,82		1,71	1,49		
5. Pieve Saliceto	Gualtieri	1,28	0,62		1,34	2,84		
6. Golena	Gualtieri	2,04	0,68		1,85	2,26		
7. Via Este	Gualtieri		4,9	2,56				
8. Via De Amicis	Guastalla	1,74	4,9	4,6	4,4	5,5	3,87	5,4
9. Lido Po	Guastalla						2,13	3,76
10. Ghiare	Guastalla	1,5	3,54	4,9				2,9
11. San Girolamo via Ville	Guastalla		0,86					
12. Via Salami	Pomponesco	7,2	9		11,8	14,2	8,8	
13. Campo Sportivo	Pomponesco	1,75	6		3,21	2,32		
14. Via Viazza	Pomponesco	3,18	8,1		6,7	5,8	6	
15. Via Confine	Pomponesco						4,5	6,1
16. Correggio Verde	Dosolo	0,83	2,37		1,78	1,85		
17. Campo Sportivo	Dosolo	0,122	1,54		1,36	1,25		
18. Via Aroldi	Viadana	2,9	8,4					
19. Via Aroldi bis	Viadana			6,9	4,3	2,02		4,15
20. Via Guerra	Viadana	0,267	0,87					
21. Vicolo Madonna	Viadana	0,97	0,82		2,57	2,13		
22. Via Villa S. Maria	Viadana	1,08	1,36					
23. Via Villa S. Maria bis	Viadana			6,4	6,1	6,2		4,9
24. Via Camillina Banzuolo	Viadana	1,54	2,96		3,14	2,71		
25. Via Corbari Buzzoletto	Viadana	0,62	2,26		3,91	1,25		
26. Via don Mazzi Cogozzo	Viadana	1,21	1,27		1,41	2,03		
27. Cavallara via Bugno	Viadana		1,89					
28. San Matteo/Chiaviche	Viadana			2,37	0,58	1,36	0,51	
29. Salina	Viadana		1,06					
30. Via Viazza	Viadana		0,85					
31. Roncadello via Ferrari	Casalmaggiore		0,96					
32. Fogarino	Luzzara		1,47	3,58	1,73	1,13		
33. Riva	Suzzara			4,04	3,24	4,9		3,61
34. Bettolino	Reggiolo			5,8	1,3	2,28		
35. San Bernardino	Novellara			4,19	1,29	1,1		
36. Meletole	Poviglio			2,81	3,08	2,04		
37. Cimitero	Sorbolo			3,38	1,95	3,09		
38. Colorno	Colorno			4,44	4,9	3,11		
39. Strada Sabbionetana	Casalmaggiore			2,37	1,04	1,47		
40. Breda Cisoni	Sabbioneta			3,23	1,38	0,94		

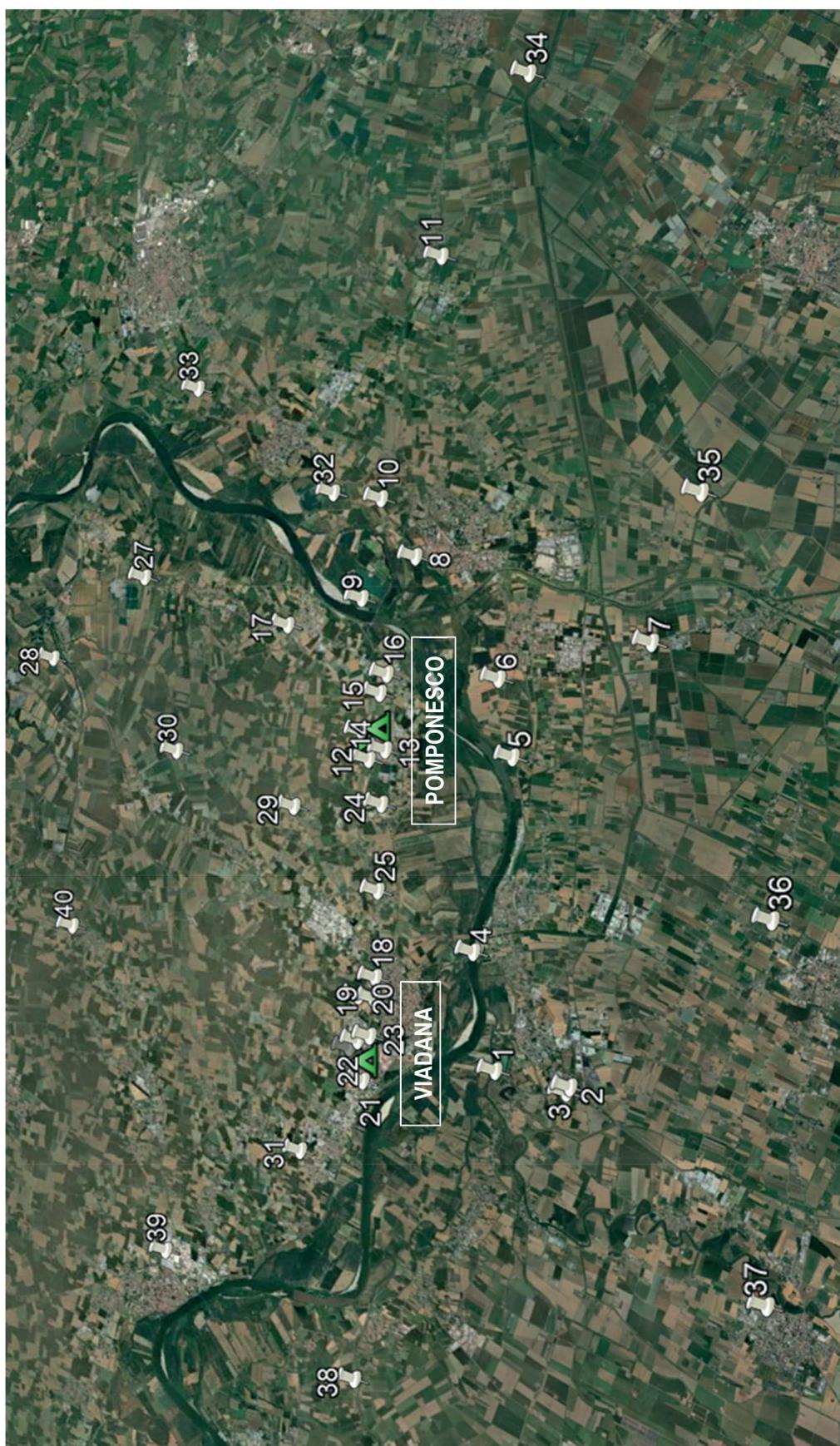


Figura 2.  Punto di campionamento dei terreni  Insediamenti industriali

Il riscontro di valori entro i limiti (0,1 mg/Kg) per i suoli rurali/residenziali non si è mai verificato.

Il grafico di figura 3 mostra la distribuzione dei campioni in rapporto alle date dei campionamenti in ascisse ed alle concentrazioni di FA riscontrate in ordinate.

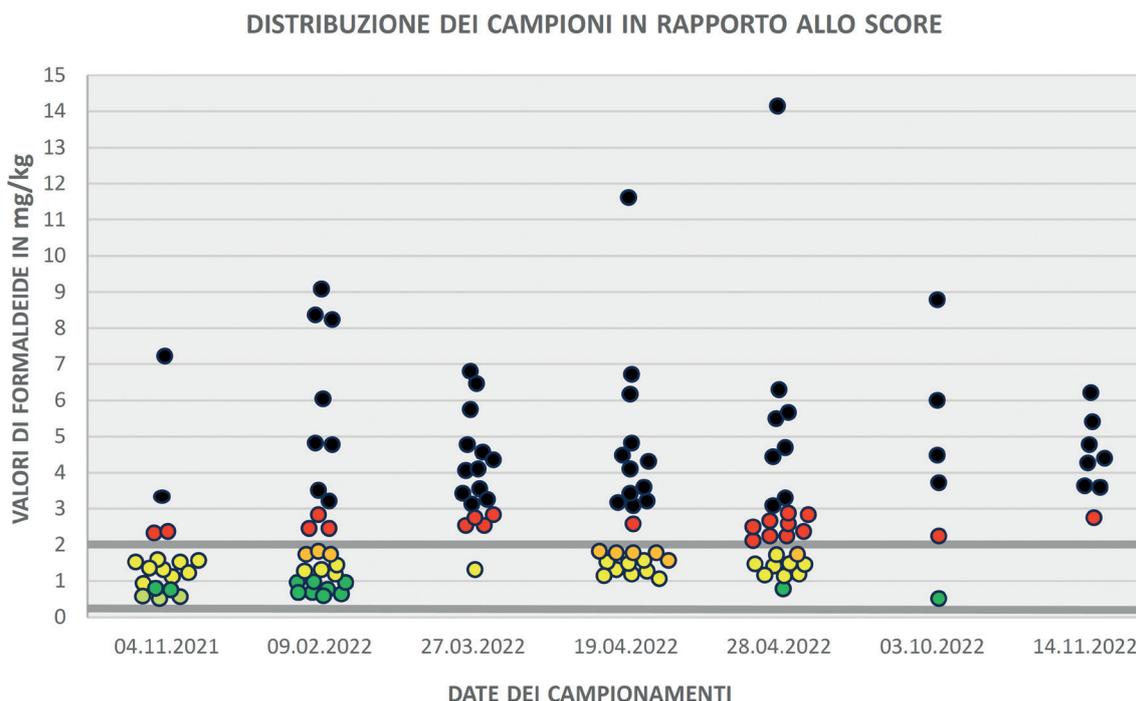


Figura 3. Distribuzione dei campioni raggruppati per data del campionamento. Le due rette parallele in grassetto individuano i limiti di FA per kg di suolo indicati da ISS. (NB: per il colore delle etichette si rimanda allo score della Tabella 1).

La traccia corrispondente al valore 0,1 si riferisce al limite di 0,1 mg di FA/Kg di suolo, proposto da ISS per il suolo ad uso residenziale/verde pubblico, mentre la traccia corrispondente al valore 2 si riferisce al limite di 2 mg/Kg indicato da ISS per il suolo ad uso industriale o commerciale. Nonostante i campionamenti siano stati eseguiti nella loro interezza su suoli rurali/residenziali, il limite dei 2 mg/Kg viene evidenziato per richiamare l'attenzione sui numerosi sforamenti della FA ben oltre la soglia relativa ai siti produttivi.

Occorre precisare che i siti indagati sono stati 40, mentre le osservazioni 126 in tutto, avendo privilegiato, per una conferma analitica, i campionamenti nei siti in cui la FA era significativamente più concentrata.

Inoltre non si può trascurare il fatto che la FA nel suolo si modifica in riferimento alle quantità emesse in atmosfera, alla direzione del vento, alla piovosità del periodo, ai processi fotochimici, oltre che alle dinamiche di degradazione della molecola imputabili a fattori biotici.

Proprio per verificare tale assunto, un'aliquota dei campioni di terreno, prelevati nella prima sessione di campionamenti del 4 novembre 2021 e conservati al buio in sacchetti di polietene ermeticamente chiusi, è stata di nuovo analizzata a distanza di 2 anni e 8 mesi, riscontrando un significativo decadimento della concentrazione di FA, a riprova della labilità della molecola. Nella tabella 2 sono messi a confronto i risultati.

STAZIONI	LOCALITÀ	COMUNE	FORMALDEIDE MG/KG DI SUOLO	
			04/11/21	24/06/24
1	Ghiarole	Brescello RE	1,56	0,47
6	Golena	Gualtieri RE	2,04	0,34
8	Via De Amicis	Guastalla RE	1,74	0,54
12	Via Salami	Pomponesco MN	7,2	0,77
13	Campo Sportivo	Pomponesco MN	1,75	0,34
14	Via Viazza	Pomponesco MN	3,18	0,53
16	Correggio Verde	Dosolo MN	0,83	0,25
18	Via Aroldi	Viadana MN	2,9	0,68
21	Vicolo Madonna	Viadana MN	0,97	0,59
26	Via don Mazzi Cogozzo	Viadana MN	1,21	0,58

Tabella 2. Risultati a confronto su aliquote diverse dello stesso campione analizzate dopo 2 anni e 8 mesi.

Discussione

La presenza ubiquitaria della FA in tutti i campioni di terreno esaminati, a valori che oltrepassano più o meno marcatamente i limiti indicati da ISS, è il dato più significativo di questo studio. La prossimità ai siti industriali del pannello truciolare è contraddistinta da picchi di FA talora quadruplicati, ed anche oltre, rispetto al valore di 2 mg di FA per kg di terreno, limite proposto per il suolo ad uso industriale/commerciale. Nessun campione prelevato nelle aree residenziali/rurali è risultato inferiore a 0,1 mg di FA per kg di suolo, come limite riportato dal protocollo ISS, ma i riscontri sono stati spesso sovrapponibili a quelli prelevati in prossimità delle industrie. Valori elevati di FA sono stati rinvenuti, ad esempio, nel giardino di una scuola materna, in un campo sportivo, in zone urbane di aggregazione e molto frequentate. Si tratta di riscontri tutt'altro che sorprendenti se si considera l'ubicazione delle industrie all'interno del tessuto urbano, in un ristretto perimetro di territorio densamente abitato. La contiguità dei due siti industriali di Viadana e Pomponesco – la distanza tra di essi non supera i 7 km in linea d'aria – potrebbe comportare anche la sovrapposizione dell'ambito di ricaduta degli inquinanti, favorendone l'accumulo proprio nei due abitati. A tale proposito conviene richiamare quanto riportato per il sito industriale di Viadana, nell'“Allegato D6 – Identificazione e Quantificazione degli Effetti delle Emissioni in Atmosfera e Confronto con gli Standard di Qualità dell'Aria” [19], in cui le mappe indicano, entro il dominio di calcolo applicato, un ambito di ricaduta di soli 2-3 km sull'asse est-ovest dal sito produttivo. Nello stesso documento viene inoltre certificato, su tutto l'ambito, il rispetto dei limiti delle linee guida di riferimento per la qualità dell'aria al suolo. Ciò contrasta con i risultati dei campionamenti esposti nel presente lavoro, che indicano dimostrate ricadute sul suolo, con concentrazioni di FA altamente significative anche a distanze ben superiori ai 2-3 km. Inoltre i valori riscontrati nel suolo farebbero anche ipotizzare una più o meno estesa sovrapposizione degli ombrelli di ricaduta della FA tra gli insediamenti di Viadana e Pomponesco, con conseguente maggiore esposizione dei nuclei abitati.

D'altra parte, a causa della deriva e per la sua estrema volatilità, la FA è stata rinvenuta nel suolo a chilometri di distanza dai siti industriali, secondo

una distribuzione che segue la direzione prevalente del vento, per lo più parallela al corso del Po, da ovest verso est o viceversa. Come è possibile osservare nella Tavola 1 (in allegato) la distribuzione delle massime concentrazioni di FA va da est a ovest, raggiungendo le estremità dell'asse maggiore della mappa, Riva di Suzzara e Colorno. Tuttavia sarebbe azzardato, con i dati disponibili, concludere che la deriva della FA possa raggiungere i 10 km dai siti di emissione, mentre è certo che diverse altre industrie, non solo quelle del legno, possono essere coinvolte nelle emissioni di FA.

Come detto, la FA è una molecola molto labile, rapidamente degradata nell'ambiente esterno per fenomeni fisici e biologici. Proprio per questo motivo, se la FA è presente nel terreno e viene sistematicamente rinvenuta a valori molto elevati, di necessità essa deve essere continuamente immessa in atmosfera e, in quanto più pesante dell'aria, propagarsi radente al suolo ed ivi depositarsi [10]. Inoltre l'inattivazione o meno della molecola dipende da diversi fattori di *clearance*, tra i quali in particolare i fattori biologici – il microbiota e la mesofauna⁶ – che non sono inesauribili, ma possono venire saturati e persino estinti dall'entità e dalla persistenza della contaminazione chimica.

Non potendo attribuire ai valori di FA riscontrati nel suolo un preciso significato igienico-sanitario, in quanto manca totalmente una letteratura inerente all'argomento – questo tipo di monitoraggio risulta essere il primo eseguito in Italia –, pare logico affermare che la FA può rivestire a buon diritto il significato di marcatore di qualità ambientale per questo territorio. Il controllo della contaminazione da FA delle acque e del suolo rientra per altro nelle finalità di tutela dell'ambiente e di prevenzione primaria, espresse dal Protocollo dell'ISS, "Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria. Formaldeide. AMPP/IA.12 22282 - 03/05/2006" [16], al quale abbiamo fatto riferimento. In tema di prevenzione ci si chiede quale altra finalità, se non la protezione della popolazione, dovessero prefiggersi gli studi epidemiologici Viadana I, II e III, le cui gravose conclusioni avevano evidenziato, vanamente (è trascorso ormai più di un decennio nell'inerzia), uno scenario preoccupante legato all'esposizione combinata ad un gruppo di inquinanti antropici tra i quali la FA. Scenario caratterizzato da eccesso di patologie respiratorie, allergie, incremento di ricoveri e accessi al pronto soccorso, genotossicità della

6. La mesofauna del suolo è composta da invertebrati di dimensioni comprese tra 0,1 mm e 2 mm, che vivono nel suolo o in uno strato di lettiera di foglie sulla superficie del suolo. I membri di questo gruppo includono nematodi, acari, collemboli, proturani, piccoli ragni, pauropodi, rotiferi, lombrichi, tardigradi, pseudoscorpioni, opiliones (raccoglitori), enchitreidi come i vermi, larve di insetti, piccoli isopodi e miriapodi. Svolgono un ruolo importante nel ciclo del carbonio e sono suscettibili di essere influenzati negativamente dai cambiamenti climatici [Wikipedia].

mucosa buccale nei bambini.

Per il cosiddetto “effetto *cocktail*”, di cui appunto sono responsabili gli inquinanti antropici, la compresenza di più molecole, anche a valori subliminari se prese singolarmente, determina conseguenze patologiche gravi, dovute all’effetto di potenziamento. La carenza di studi e letteratura inerenti ad esposizioni a “basse” concentrazioni di FA, come sono considerate quelle *outdoor*, non può più rappresentare una giustificazione per non rivalutare il ruolo di questo cancerogeno in situazioni eclatanti come quella del distretto del legno truciolare. La FA costituisce notoriamente un tipico inquinante *indoor*, ma numerose osservazioni riferiscono che i tassi di FA *outdoor* hanno ormai equiparato quelli *indoor* in molti siti industriali e nelle metropoli più inquinate [23]. Per le popolazioni esposte è stato stimato un rischio medio di malattia ben superiore a quello di 10^{-6} (1 caso su 1.000.000 di abitanti esposti) considerato ammissibile da US-EPA⁷, ma si attesterebbe, per le aree maggiormente esposte, intorno a 10^{-4} (1 caso su 10.000 esposti) [3, 28]. E sebbene il ruolo della FA *outdoor* sia stato storicamente considerato trascurabile nella valutazione del rischio di malattia, e di cancro in particolare, oggi l’esposizione totale al cancerogeno è aumentata e con essa sono accresciuti i rischi per la salute. A maggior ragione in quanto recenti ricerche su mammiferi e sull’uomo dimostrano che non soltanto il livello di esposizione, ma anche la carenza di enzimi endogeni – l’ADLH2 mitocondriale e l’ADHs citoplasmatico⁸ –, specificamente deputati alla detossificazione delle aldeidi, compromette l’emopoiesi midollare, riduce la popolazione delle staminali emopoietiche e dei progenitori linfoidei comuni, alterando gravemente il sistema immunitario e determinando l’insorgenza di leucemie [6]. Per questo la minaccia per la salute pubblica non può essere sottovalutata nella popolazione costantemente esposta, anche a concentrazioni “basse” del cancerogeno.

L’inquinamento ambientale antropico padano, persistente ed assurto ai massimi livelli continentali, è indicato con certezza dalla comunità scientifica, oltre che per gli effetti sull’ecosistema, soprattutto come principale causa di numerose patologie prevalenti nella popolazione, quali diabete di tipo II, obesità, cardiopatie, ipertensione e sindrome metabolica [17]. A tale riguardo sembra emergere oggi un ruolo sconosciuto della FA. Infatti è dimostrato da ricerche sperimentali che le cellule endoteliali vascolari e le cellule muscolari lisce sono facilmente danneggiate a causa della citotossicità della FA.

7. US-EPA (*United States - Environmental Protection Agency*): Agenzia statunitense per la Protezione dell’Ambiente.

8. L’aldeide deidrogenasi mitocondriale (ADLH) è coinvolto principalmente nella detossificazione dell’acetaldeide e di altre aldeidi tossiche. Le alcool deidrogenasi (ADHs) sono una famiglia di enzimi deputati all’ossidazione e all’eliminazione dell’etanolo.

Coerentemente con ciò, prove crescenti suggeriscono che anche il sistema cardiovascolare e gli stadi di sviluppo del cuore fin dalla fase embrionale sono suscettibili agli effetti dannosi della FA. Pertanto l'esposizione a questo cancerogeno da diverse fonti può indurre malattie cardiache congenite, aritmie, infarto del miocardio, insufficienza cardiaca, aterosclerosi e *stroke* [27].

È lecito chiedersi perché la FA, documentatamente tossica a livello cellulare, già naturalmente presente nell'ambiente e negli organismi viventi, dai quali entro i limiti fisiologici è degradata e detossificata, venga tuttora massicciamente impiegata – pur esistendo alternative molto meno tossiche e inquinanti – in numerosi processi industriali, per prodotti di vasto impiego, dai quali si libera indefinitamente nel tempo.

Quanto agli effetti sull'ecosistema, è noto che la FA possiede un marcato potere sterilizzante verso una nutrita serie di microrganismi: virus, batteri, funghi, alghe e protozoi. Le concentrazioni letali acute vanno da 0,3 mg/L a 22 mg/L. Inoltre la FA è uno dei presidi più efficaci per la disinfezione/sterilizzazione del suolo in caso di contaminazione da Antrace, le cui spore vengono completamente inattivate, indipendentemente dalla composizione del suolo, mediante una singola applicazione di 0,25 ml/cm³ di terreno di una soluzione di FA al 2.5% [22]. La maggioranza dei valori di FA da noi riscontrati nel suolo è superiore a 2 mg/kg – limite proposto da ISS per il terreno ad uso industriale/commerciale – con punte di 11,8 e 14,2 a Pomponesco e di 8,4 a Viadana: si tratta di valori assai rilevanti. È plausibile pertanto che la FA eserciti un impatto nocivo sulla biomassa e sul microbiota, considerati principali fattori di *clearance* della FA, non solo nel caso di sversamenti massicci nell'ambiente esterno, come riscontrati nel nostro precedente studio sulle acque di superficie [13], ma anche nella condizione di inquinamento cronico e diffuso, come avviene nel distretto del pannello truciolare. Ci si deve perciò interrogare sulla reale efficacia del ruolo detossificante del microbiota in un contesto di persistente contaminazione come quello riscontrato in questo territorio.

La FA nel suolo rappresenta una possibile minaccia ambientale per gli effetti che la molecola esercita sulla fauna terricola – lombrichi, nematodi e collemboli –, sulla vegetazione che ricopre il terreno, sulla biomassa dei germogli e delle radici delle piante. È dimostrato che una debole soluzione acquosa di formalina allo 0,4%, versata sul terreno, produce la dispersione dei lombrichi, la cui azione è fondamentale per l'aerazione del suolo, l'evoluzione della sostanza organica, la formazione dell'humus ed il decadimento

degli xenobiotici⁹ [7]. Come suaccennato, si suppone che in condizioni ambientali ideali la FA si degradi rapidamente nell'aria, nell'acqua e nel suolo, non sia persistente e non si accumuli [8]. Pertanto, in presenza di FA dispersa nel suolo, ci si aspetterebbero, se presenti, soltanto effetti a breve termine. Invece, l'applicazione di una soluzione debole di formalina allo 0,4% ha causato una flessione a lungo termine di tutte le variabili biologiche indagate, flessione che non si è stabilizzata neppure nel lungo periodo quando si verificavano siccità prolungata e condizioni climatiche sfavorevoli [7]. La persistenza della FA può quindi determinare il declino dei sistemi biologici deputati alla trasformazione della molecola, compromettendo uno dei principali fattori della *clearance* naturale.

La presente ricerca si è limitata al monitoraggio della FA nel suolo di un'area altamente esposta, ma essa andrebbe completata con lo studio dei parametri biologici che caratterizzano questo territorio, quali la presenza e il numero di lombrichi, collemboli e nematodi, la composizione degli acidi grassi fosfolipidici dei microrganismi, l'attività della deidrogenasi, con lo scopo di documentare l'effetto della FA sull'ecosistema.

9. Xenobiotico: in biologia" è qualunque sostanza estranea alla normale nutrizione dell'organismo e al suo metabolismo; si tratta sia di sostanze naturali (e in tal caso la nozione di xenobiotico è legata al tipo di organismo: per es., la nicotina è uno xenobiotico per l'uomo, ma non per la pianta di tabacco), sia di tutte le sostanze biologicamente attive sintetizzate ex novo in laboratorio (ad es. pesticidi, plastiche, idrocarburi policiclici aromatici) [Treccani mod.].

Conclusioni

La FA tende ad accumularsi nel suolo del distretto del pannello truciolare a causa della sua emissione persistente in atmosfera. Come precedentemente dimostrato per le acque superficiali ed i pozzi del distretto [13], il monitoraggio della FA presente nel suolo ha documentato l'entità e la frequenza degli sforamenti oltre i limiti fissati dall'ISS. Sebbene il ruolo della FA *outdoor* sia stato storicamente considerato trascurabile nella valutazione del rischio di malattia, e di cancro in particolare, l'esposizione totale al cancerogeno è andata progressivamente aumentando e con essa sono accresciuti i rischi per la salute.

La FA è considerata un cancerogeno ad effetto soglia, ma recenti ricerche fanno propendere per un ruolo ben più significativo di essa anche nella patogenesi delle più comuni malattie cardiache e vascolari, a concentrazioni molto inferiori al valore soglia. Inoltre, nei mammiferi e nell'uomo, è stato dimostrato che la carenza congenita degli enzimi detossificanti le aldeidi può compromettere l'emopoiesi midollare provocando l'insorgenza di leucemie. Queste scoperte fanno comprendere quanto sia cruciale prevenire l'esposizione alla molecola anche al di fuori degli ambienti di lavoro, soprattutto a riguardo delle popolazioni più esposte per la prossimità ai siti industriali. La FA, pertanto, svolge un ruolo patogenetico in buona parte ancora da chiarire, ben più complesso di quello finora conosciuto.

A fronte di riscontri obiettivi come quelli presentati, indicativi di un inquinamento rilevante, occorre sottolineare l'inadeguatezza dei sistemi di contenimento della dispersione della FA nell'ambiente. E, a riguardo delle patologie prevalenti nella popolazione del distretto, messe in chiara evidenza dagli studi Viadana I, II e III, ci si interroga su quale strategia possa efficacemente ridurre l'incidenza, se non si modifica la situazione di fatto.

Infine, l'attività disinfettante e biocida della FA può determinare un danno più o meno marcato del biota, fino al suo "esaurimento", che si traduce in una modifica qualitativa e strutturale del terreno nelle aree contaminate. Pertanto la FA nel suolo potrebbe costituire un sensibile marcatore di qualità, sia a livello pedologico che sanitario.

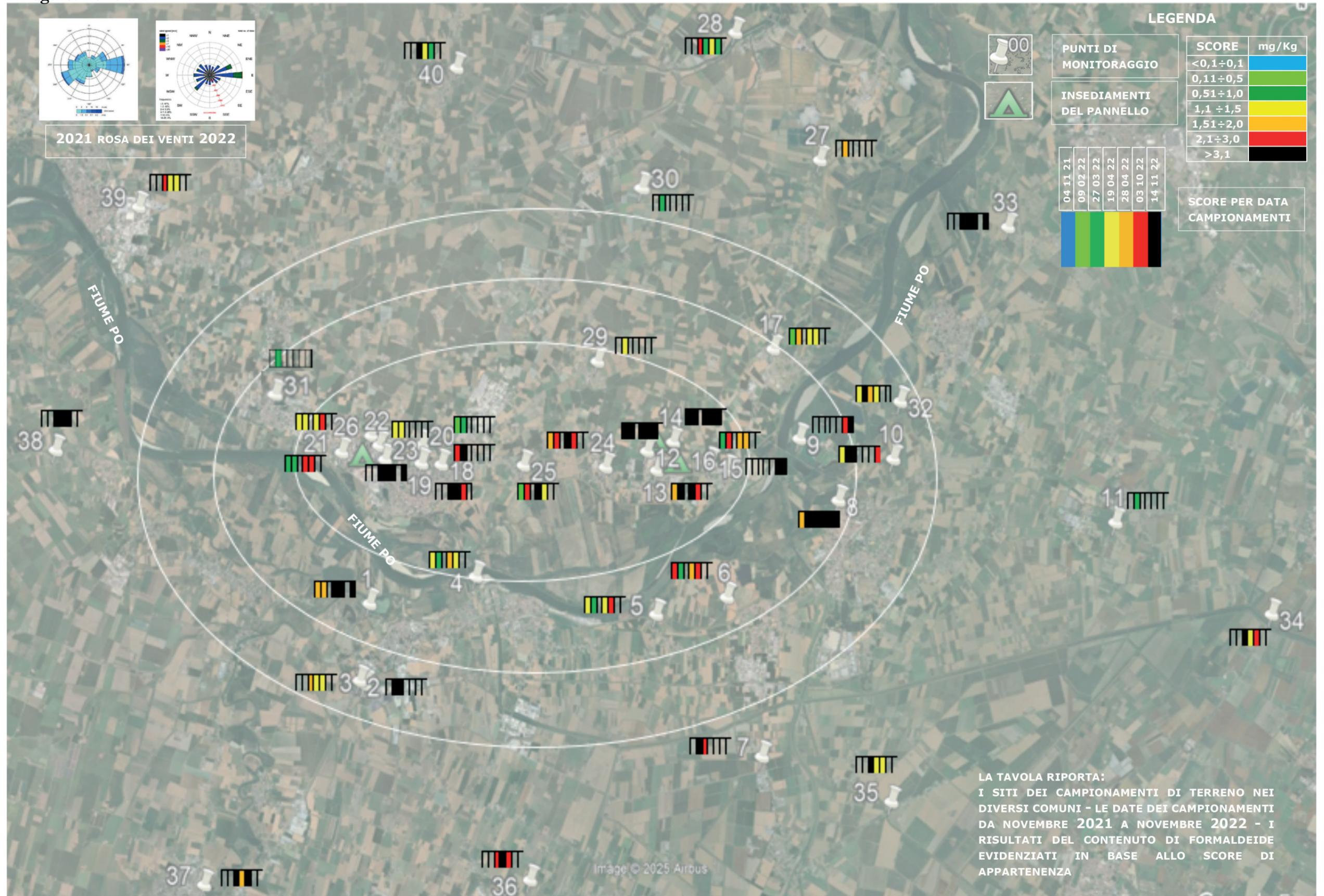
Bibliografia

1. ARPAE. Rapporto annuale sulla qualità dell'aria di Reggio Emilia, 2021, pag.12. file:///C:/Users/UTENTE/Downloads/Rapporto%202021%20(2).pdf
2. ARPAE. Rapporto annuale sulla qualità dell'aria di Reggio Emilia, 2022, pag.12. file:///C:/Users/UTENTE/Downloads/Rapporto%202022%20(1).pdf
3. Cong L, Xinyao M, Jingguang L. Outdoor formaldehyde matters and substantially impacts indoor formaldehyde concentrations. *Build Environ*, 158, 145-150, 2019.
4. Decreto Ministeriale 13/09/1999. Ministero per le Politiche Agricole - Approvazione dei "Metodi ufficiali di analisi chimica dei terreni". *Gazz. Uff. Suppl. Ordin.* n° 248 del 21/10/1999.
5. De Marco R, Marcon A, Rava M, Cazzoletti L, Pironi V, Silocchi C, Ricci P. Proximity to chipboard industries increases the risk of respiratory and irritation symptoms in children: the Viadana study. *Sci Total Environ*. Jan 1;408(3):511-7,2010.
6. Dingler FA, Wang M, Mu A, Millington CL, Oberbeck N, Watcham S, Pontel LB, Kamimae-Lanning AN, Langevin F, Nadler C, Cordell RL, Monks PS, Yu R, Wilson NK, Hira A, Yoshida K, Mori M, Okamoto Y, Okuno Y, Muramatsu H, Shiraishi Y, Kobayashi M, Moriguchi T, Osumi T, Kato M, Miyano S, Ito E, Kojima S, Yabe H, Yabe M, Matsuo K, Ogawa S, Göttgens B, Hodkinson MRG, Takata M, Patel KJ. Two Aldehyde Clearance Systems Are Essential to Prevent Lethal Formaldehyde Accumulation in Mice and Humans. *Mol Cell*. 2020 Dec 17; 80(6): 996–1012.e9.
7. Eichinger E, Bruckner A, Stemmer M. Earthworm expulsion by formalin has severe and lasting side effects on soil biota and plants. *Ecotoxicol Environ Saf*, Volume 67, Issue 2, June 2007, pp. 260-266.
8. EPA. United States Environmental Protection Agency. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention. Draft Environmental Risk Assessment for Formaldehyde. EPA Document #EPA-740-D-24-002. March 2024.
9. ESPOSIZIONE AD INQUINANTI INDUSTRIALI E BIOMARCATORI DI

- DANNO CELLULARE PRECOCE NEI BAMBINI RESIDENTI NEL DISTRETTO DI VIADANA. Indagine epidemiologica “Viadana II” Relazione ufficiale del 02/04/2012 https://mycity.s3.sbg.io.cloud.ovh.net/18535/Report_Genotossicita_Viadana-II_-_ASL.pdf
- 10.FEDERCHIMICA. Schede ERIC. Formaldeide, 8-08. N.ONU 2209. Ed. EPC Libri, 2000.
 - 11.FORMALDEHYDE. Concise International Chemical Assessment Document 40. First draft prepared by R.G. Liteplo, R. Beauchamp, M.E. Meek, Health Canada, Ottawa, Canada, and R. Chénier, Environment Canada, Ottawa, Canada. World Health Organization. Geneva, 2002.
 - 12.Formaldehyde, November 2006. Australian Government. Priority Existing Chemical Report No 28.
 - 13.Franzini M, Spaggiari R, Busana R. Monitoraggio della formaldeide nell'acqua e nell'aria nei territori della bassa pianura mantovana e reggiana 2019. <http://www.prevenzionetumoriguastalla.org/ricerca/progetto-formaldeide>
 - 14.Giunta della Regione Lombardia. Seduta del 17 ottobre 2016. Rischio da esposizione a formaldeide: indirizzi regionali. https://olympus.uniurb.it/index.php?option=com_content&view=article&id=16136:2016lomb11665&catid=27&Itemid=137
 - 15.International Agency for Research on Cancer (IARC) - Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. Chemical agents and related occupations. 100:9-562, 2012. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100F/mono100F-29.pdf>
 - 16.Istituto Superiore di Sanità. Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria. Formaldeide. N. Protocollo AMPP/IA.12 22282 - 03/05/2006.
 - 17.Le Magueresse-Battistoni B, Vidal H, Naville D. Environmental Pollutants and Metabolic Disorders: The Multi-Exposure Scenario of Life. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2018; 9:582. Published online 2018 Oct 2. doi: 10.3389/fendo.2018.00582
 - 18.Marcon A, Fracasso ME, Marchetti P, Doria D, Girardi P, Guarda L, Pesce G, Pironi V, Ricci P, De Marco R. Outdoor formaldehyde and NO₂ exposures and markers of genotoxicity in children living near chipboard industries. *Environ Health Perspect* 122:639–645, 2014; <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307259>
 - 19.Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica - Metadato Riesame

- AIA ditta SADEPAN, Viadana MN, 2018 - Documenti procedura di riesame AIA. <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/MetadatoDocumento/286510>
20. Panunzi S, Marchetti P, Stafoggia M, Badaloni C, Caranci N, De Hoogh K, Giorgi Rossi P, Guarda L, Locatelli F, Ottone M, Silocchi C, Ricci P, Marcon A. Residential exposure to air pollution and adverse respiratory and allergic outcomes in children and adolescents living in a chipboard industrial area of Northern Italy. *Sci Total Environ* vol. 864 , 2023, pp. 1-8.
21. Relazione conclusiva dello studio “Viadana III” Indagine epidemiologica sulla salute respiratoria in età pediatrica e sull’incidenza di tumori nel distretto sanitario di Viadana 23 dicembre 2020. [file:///C:/Users/UTENTE/Downloads/REPORT%20VIADANA%20III%20\(23-12-2020\).pdf](file:///C:/Users/UTENTE/Downloads/REPORT%20VIADANA%20III%20(23-12-2020).pdf)
22. Richter W, Sunderman M, Willenberg Z, Calfee M, Serre S, Wood JP. Effectiveness of formaldehyde in various soil types as a wide area decontamination approach for *Bacillus anthracis* spores. *PLoS ONE* 17(11): e0277941, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277941>.
23. Salthammer T. Formaldehyde in the Ambient Atmosphere: From an Indoor Pollutant to an Outdoor Pollutant? *Angew Chem Int, Ed.* 2013, 52, 3320 – 3327.
24. SCOEL/REC/125, Formaldehyde. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. 23 Sept 2015.
25. SUBSTANCE EVALUATION CONCLUSION as required by REACH Article 48 and EVALUATION REPORT for Formaldehyde EC No 200-001-8 CAS No 50-00-0. 7 June 2019.
26. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR FORMALDEHYDE. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry July 1999.
27. Zhang Y, Yang Y, He X, Yang P, Zong T, Sun P, Sun R, Yu T, Jiang Z. The cellular function and molecular mechanism of formaldehyde in cardiovascular disease and heart development. *J Cell Mol Med.* 2021 Jun; 25(12): 5358–5371.
28. Wan-Kuen J, Jin-Woo L. Residential Exposure and Risk Levels to Ambient Formaldehyde and Acetaldehyde According to Distance from Industrial Area in Metropolitan City. *J Environ Sci,* 671-680, 2010.

Allegato: Tavola 1



RINGRAZIAMENTI

Questa ricerca è stata totalmente finanziata dall'Associazione Prevenzione Tumori O.D.V. ETS di Guastalla (RE), cui va il nostro più sincero ringraziamento.

Ringraziamo anche i tanti privati cittadini che, consapevoli dell'importanza dell'iniziativa per la tutela della salute, ci hanno consentito l'accesso alle loro proprietà per raccogliere i campioni di terreno.

L'Associazione Prevenzione Tumori O.D.V. ETS di Guastalla promuove la salvaguardia dell'ambiente come forma di prevenzione primaria delle malattie e dei tumori in particolare. Per tale motivo la presente pubblicazione è stata realizzata nel massimo rispetto dell'ambiente e stampata su carta riciclata con le seguenti specifiche: cellulosa proveniente da foreste gestite in modo sostenibile; assenza di metalli pesanti; assenza di acidi e di cloro; stampata con fonti energetiche rinnovabili e a km 0, a Guastalla (RE), per ridurre l'inquinamento da trasporto e per favorire la produzione locale.



Associazione per la Prevenzione dei Tumori
Guastalla (RE) - O.D.V. ETS

Via Rosario, 3/b - GUASTALLA (RE) - Tel. 0522 838941 - info@prevenzionetumoriguastalla.org
www.prevenzionetumoriguastalla.org

Sostieni la prevenzione fai una donazione
Per il 5% Codice Fiscale 90002210350

Coordinate bancarie:

IBAN: IT 33 R 05034 66360 000000002001 Banco BPM (BSGSP) Ag. di Guastalla
IBAN: IT58F070726636000000120444 Emilbanca Credito Cooperativo, Ag. di Guastalla
intestato a: Associazione Prevenzione Tumori
Conto Corrente Postale: 12804423