



Valutazione della salubrità ambientale della Lomellina

*Relazione relativa alle
ricerche sperimentali effettuate nel
semestre caldo*

Primavera 2012-Estate 2012

e nel semestre freddo

Autunno 2012-Inverno 2012/2013

Unità d'Igiene Industriale ed Ambientale

Laboratorio di Chimica e Tossicologia dell'Ambiente

Mario Negri

Renzo Zuppi



DIPARTIMENTO
Ambiente e Salute



Funzione e ruolo della nostra Fondazione

*L'Istituto di Ricerche Farmacologiche "Mario Negri" è una
Fondazione Scientifica che opera nel campo della*

Ricerca Biomedica.

*È stato costituito giuridicamente nel 1961 e ha iniziato le
attività nella sede di Milano il 1° febbraio 1963, fin dall'inizio
diretto dal prof. Silvio Garattini.*

*Scopo fondamentale delle attività dell'Istituto è contribuire
alla difesa della salute e della vita umana.*

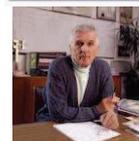
*Il nostro istituto è una **fondazione senza scopo di lucro** elevata
ad **ente morale** con decreto del presidente della Repubblica, ed è sia per statuto,
che per etica professionale "**super partes**".*

*Il nostro istituto dimostrando eccellenza nella organizzazione e gestione dei
servizi sanitari e nello sviluppo della ricerca nel campo biomedico, in seguito ad
una attenta valutazione da parte del Ministero della Salute, nel gennaio 2013 ha
ricevuto il "riconoscimento del carattere scientifico nell'area clinica di
competenza", ed è stato quindi qualificato come **IRCCS***

(Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico)

*nella disciplina «Farmacologia e sperimentazione clinica sulle malattie
neurologiche, rare ed ambientali».*

*L'indipendenza da istituzioni pubbliche e private, ci porta a svolgere sempre i
nostri studi applicando le conoscenze scientifiche più aggiornate, nell'interesse
della protezione della salute e dell'ecosistema nel quale viviamo.*



Laboratorio di Chimica e ossicologia dell'Ambiente



Unità d'Igiene Industriale ed Ambientale



Sommario

Parte 1 - Premessa	4
Introduzione	5
Criteri generali per lo svolgimento delle indagini sperimentali di monitoraggio ambientale della Lomellina 2010÷2014	6
Criteri generali per lo svolgimento delle Indagini per la Valutazione della Qualità dell'ARIA	8
Criteri generali per la Valutazione della Qualità delle Acque ad uso Irriguo	9
Criteri generali per la Valutazione dei suoli superficiali	11
Parte 2 – Normative e Valori di Riferimento in Campo Ambientale	13
Il Quadro Normativo in materia di Qualità dell'aria	14
Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -Diossine e Furani-	18
Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -PCB ed Esaclorobenzene-	21
Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -IPA-	23
Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -Metalli-	24
Deposizioni Atmosferiche- Linee guida per Diossine, Furani e PCB-	26
Deposizioni Atmosferiche- Linee guida per i Metalli-	27
Il Quadro Normativo in materia di Qualità dei Suoli	28
Valori di riferimento in materia di Qualità dei Suoli –Diossine e Furani-	32
Il Quadro Normativo in materia di Qualità delle Acque Superficiali	34
Parte 3 – Risultati delle Indagini Sperimentali	43
Indagini Sperimentali condotte nel Primo Semestre (Primavera 2012 – Estate 2012) Secondo Semestre (Autunno 2012 – Inverno 2013) del Terzo Anno (Primavera 2012 – Inverno 2013)	44
Qualità delle Acque Superficiali	44
Qualità dell'Aria	46
Qualità dei Suoli Superficiali	50
Parte 4 – Studio del potenziale rischio eco tossicologico con modelli computazionali "in silico"	53
L'utilizzo di un indice di qualità dell'aria	54
L'utilizzo dell'analisi di rischio	57
Il nostro approccio metodologico	60
Applicazione degli indici di qualità estesi	63
Parte 5 – Saggi Tossicologici	71
Studio del potenziale rischio tossicologico ed eco tossicologico con organismi modello	72
Preparazione dei campioni	72
Il saggio di tossicità acuta con <i>C. elegans</i>	73
Valutazione della tossicità acquatica acuta con <i>Daphnia magna</i>	75
Il saggio di fitotossicità acuta con piante superiori	77
Il saggio di tossicità a 72 ore con cellule epatiche	80
Quadro riassuntivo degli studi con biosaggi	85



Parte 1 - Premessa



Introduzione

In seguito all'accordo di collaborazione stipulato tra l'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri e il C.L.I.R. s.p.a. (Consorzio Lomellino Incenerimento Rifiuti), è in corso il progetto di monitoraggio ambientale del territorio dei Comuni aderenti al CLIR.

Tale iniziativa, affiancata a quelle ufficiali di ARPA ed ASL, è orientata allo sviluppo, su un arco temporale di quattro anni, a partire dalla primavera 2010, di un sistema integrato di monitoraggio della qualità ambientale che consentirà di ottenere una più approfondita conoscenza dello stato di salute del territorio, partendo dall'acquisizione di dati riguardanti un'ampia serie di matrici ambientali (aria, acqua, suolo, vegetali) e di fattori impattanti (emissioni industriali, emissioni civili, traffico veicolare, agricoltura).

Il nostro Istituto di Ricerche, constatato il comune interesse per il miglioramento delle conoscenze dell'impatto ambientale sul territorio del Consorzio CLIR, derivanti dalle attività antropiche, conviene che questo obiettivo sia perseguibile unicamente mediante l'attuazione di una fattiva e trasparente collaborazione fra tutti i soggetti firmatari, l'ARPA, le ASL e le realtà produttive con lo scopo finale di tutelare l'uomo e l'ecosistema dagli effetti dell'inquinamento.

L'efficacia delle azioni di tutela degli interessi ambientali è infatti strettamente correlata alla creazione di una corretta e sostenibile distribuzione di oneri che contribuisca ad accrescere le responsabilità nei confronti dell'ambiente dei vari soggetti coinvolti coniugando insieme le esigenze di sviluppo economico e quelle di protezione dell'ambiente.

Il progetto di ricerca ha previsto di acquisire tramite una prima ricognizione, sulla base delle informazioni forniteci e di analisi dirette, un quadro di partenza, su cui poter approfondire le indagini per le realtà più critiche. Al termine del piano vi sarà un monitoraggio ambientale di almeno un punto per tutti i comuni facenti parte degli aderenti al CLIR.

Il monitoraggio prevede l'esecuzione di misure medie dello stato dell'ambiente nei due periodi climatologici caldo e freddo durante quattro anni (dal 2010 al 2013) e si prefigge le seguenti finalità:

- Valutare lo stato di salute del territorio dei Comuni della Lomellina, in particolare di quelli consorziati;
- Individuare le principali situazioni di criticità presenti;
- Caratterizzare la natura degli inquinanti coinvolti;
- Proporre misure di controllo nel tempo;
- Valutare l'andamento temporale dell'inquinamento, in relazione alle misure adottate;



- Esporre alla popolazione i contenuti delle ricerche

Di seguito si riporta un diagramma cronologico delle attività in corso di svolgimento nel quadriennio 2010-2014, precisando che per semestre freddo si intende la stagione climatologica autunnale ed invernale (21 settembre ÷ 21 marzo), e per semestre caldo si intende la stagione climatologica primaverile ed estiva(21 marzo ÷ 21 settembre).

Tabella 1:Attività sperimentali previste nel quadriennio 2010-2014.

	sem.Caldo_2010	sem.Freddo_2010/11	sem.Caldo_2011	sem.Freddo_2011/12	sem.Caldo_2012	sem.Freddo_2012/13	sem.Caldo_2013	sem.Freddo_2013/14	fine 2014
monitoraggio aria									
monitoraggio acque									
monitoraggio suolo									
Biomonitoraggio									
Biotest cellulare									
Valutazione modellistica diffusione/dispersione inquinanti									
ERICA_ITRA									
Web- GIS									
presentazione risultati 2010-2014									

Criteri generali per lo svolgimento delle indagini sperimentali di monitoraggio ambientale della Lomellina 2010÷2014

Per descrivere in maniera attendibile la globalità dello stato di qualità dell'ambiente interessato, occorre selezionare una pluralità di *indicatori* e accorpate le osservazioni condotte su di essi integrandole tramite procedure di tipo statistico.

Partendo dalla valutazione quali-quantitativa di specifiche caratteristiche chimiche o fisiche di emissione, scarico e consumo legate alle attività antropiche, si sta valutando, tramite l'identificazione, la misurazione e l'osservazione di opportuni indicatori ambientali, la pressione esercitata sull'ambiente circostante in termini di modifiche di tipo chimico, fisico e ecologico osservabili a livello delle singole componenti ambientali.

Il termine "Monitoraggio Integrato della Qualità Ambientale" sottintende, quindi, una valutazione globale del problema, specialmente se si considera il sistema produttivo oggetto di indagine (industrie, aziende agricole, centri abitati e infrastrutture) come integrato in un ecosistema in cui le azioni di disturbo sono molteplici e gli effetti ai fini della qualità ambientale si sommano tra loro.

In questo senso, le informazioni ottenute sulle sorgenti impattanti e i risultati analitici delle azioni di monitoraggio condotte sulle diverse matrici ambientali e le molteplici misurazioni ottenute, al termine verranno necessariamente integrati per ottenere una visione globale della qualità

ambientale, fornire un'interpretazione sintetica e dare un'informazione organica degli impatti ambientali.

Risulterà così concretamente possibile ottenere utili indicazioni per la valutazione del fenomeno, per la comprensione della sua estensione spaziale e del suo andamento temporale

Il monitoraggio della qualità dell'Ambiente rappresenta il processo che permette di caratterizzare da un punto di vista quali-quantitativo le matrici ambientali. Essendo i comparti ambientali caratterizzati da un'alta variabilità spazio-temporale, il monitoraggio, così come definito, richiede un'attenta valutazione degli ambiti spaziale e temporale a cui deve essere esteso, al fine di soddisfare gli scopi per cui esso viene predisposto.

Lo stato di salute del territorio risulta determinato dalla combinazione di una serie di fattori influenzanti (condizioni meteorologiche, configurazione geomorfologica del territorio, andamento quali-quantitativo delle emissioni, ecc) ognuno dei quali presenta una propria variabilità spazio-temporale.

Le indagini sperimentali proposte nel presente progetto si stanno protraendo a partire dal 2011 e interessano il territorio della Lomellina indicato nella seguente figura, in cui data l'estensione, l'area d'indagine è stata suddivisa in quattro sub-aree, come di seguito identificate.

Le indagini stanno riguardando, per ogni sub-area i seguenti comparti ambientali:

- ARIA AMBIENTE
- DEPOSIZIONI TOTALI
- SUOLO SUPERFICIALE
- PRODOTTI AGRICOLI
- ACQUE DESTINATE ALL'USO AGRICOLO



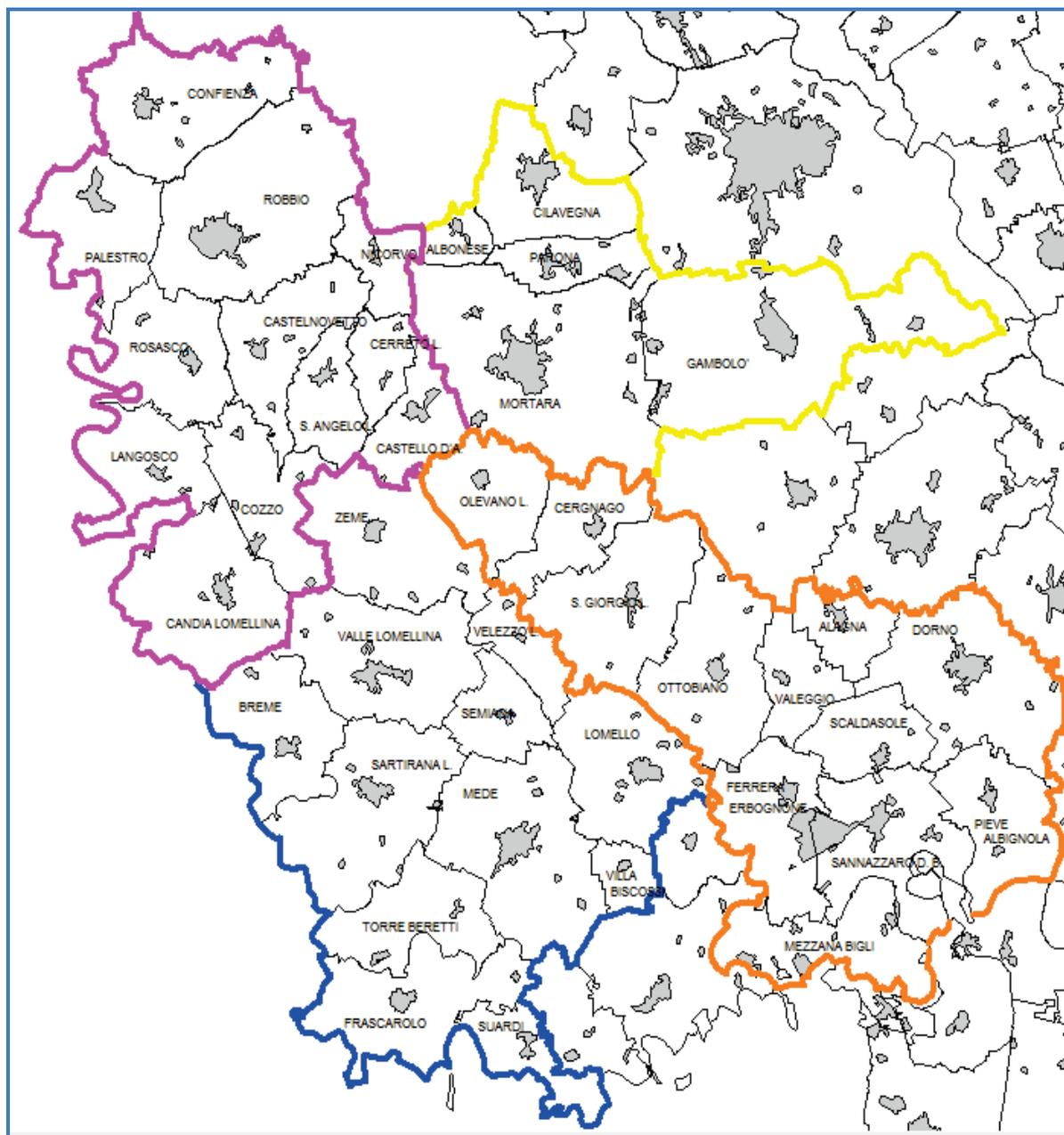


Figura 1: Area di indagine.

Criteri generali per lo svolgimento delle Indagini per la Valutazione della Qualità dell'ARIA

La qualità dell'aria è una variabile multidimensionale risultante dalla combinazione di una serie di fattori influenzanti (condizioni meteorologiche, configurazione geomorfologica del territorio, andamento quali-quantitativo delle emissioni, ecc) ognuno dei quali presenta una propria variabilità spazio-temporale.

Definire in maniera completa la qualità dell'aria, quindi, è un processo che richiede delle campagne di misura prolungate nel tempo per tenere in opportuna considerazione tutti i fattori influenzanti e le loro possibili combinazioni.



In linea generale il semestre invernale è indicato per le tipologie di campagne finalizzate allo studio di episodi acuti o di condizioni conservative, in cui interessano:

- frequenti condizioni atmosferiche di accumulo;
- emissioni antropogeniche a regime;
- inquinanti primari;
- inquinanti secondari prodotti in reazioni non necessariamente attivate da radiazione solare ed alte temperature ambientali.

Il semestre estivo è indicato per le tipologie di campagne in cui interessano:

- alte temperature e intensa radiazione solare, nel caso di inquinanti fotochimici;
- condizioni di massimo rimescolamento atmosferico, nel caso di inquinanti primari o secondari non fotochimici;
- sorgenti attive nei mesi primaverili - estivi (es. attività agricole: fitofarmaci, pesticidi).

Di seguito riportiamo la visualizzazione dei punti di rilievo di qualità dell'aria

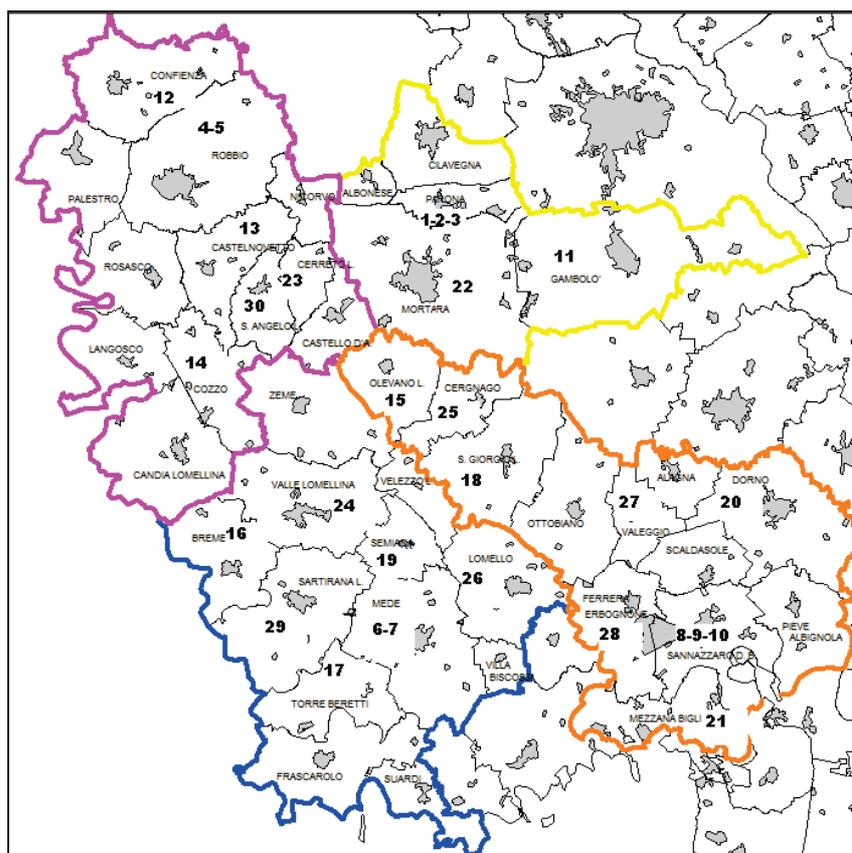


Figura 2: Punti di rilievo di qualità dell'aria.

Criteria generali per la Valutazione della Qualità delle Acque ad uso Irriguo

L'irrigazione rappresenta uno dei principali elementi tecnologici, insieme alla meccanizzazione, la fertilizzazione e l'uso di fitofarmaci di cui l'agricoltura si avvale per migliorare la produzione.



Per il territorio della Lomellina l'irrigazione ha rappresentato e rappresenta il principale fattore che ha inciso sull'assetto territoriale, trasformando l'ecosistema naturale originario, formato da acquitrini, aridi dossi sabbiosi e foreste nell'attuale ecosistema agricolo-irriguo caratterizzato da una rete di canali, rogge e fontanili così fitta e continua da attribuire al territorio l'appellativo di "Terra d'Acqua". L'"Est Sesia" rappresenta infatti il Consorzio d'irrigazione maggiore in Italia. Il comprensorio è costituito da quella parte di Pianura Padana delimitata a Est dal Fiume Sesia, a Ovest dal Fiume Ticino e a Sud dal Fiume Po.

Nella figura seguente è possibile apprezzare la densità delle aste irrigue presenti

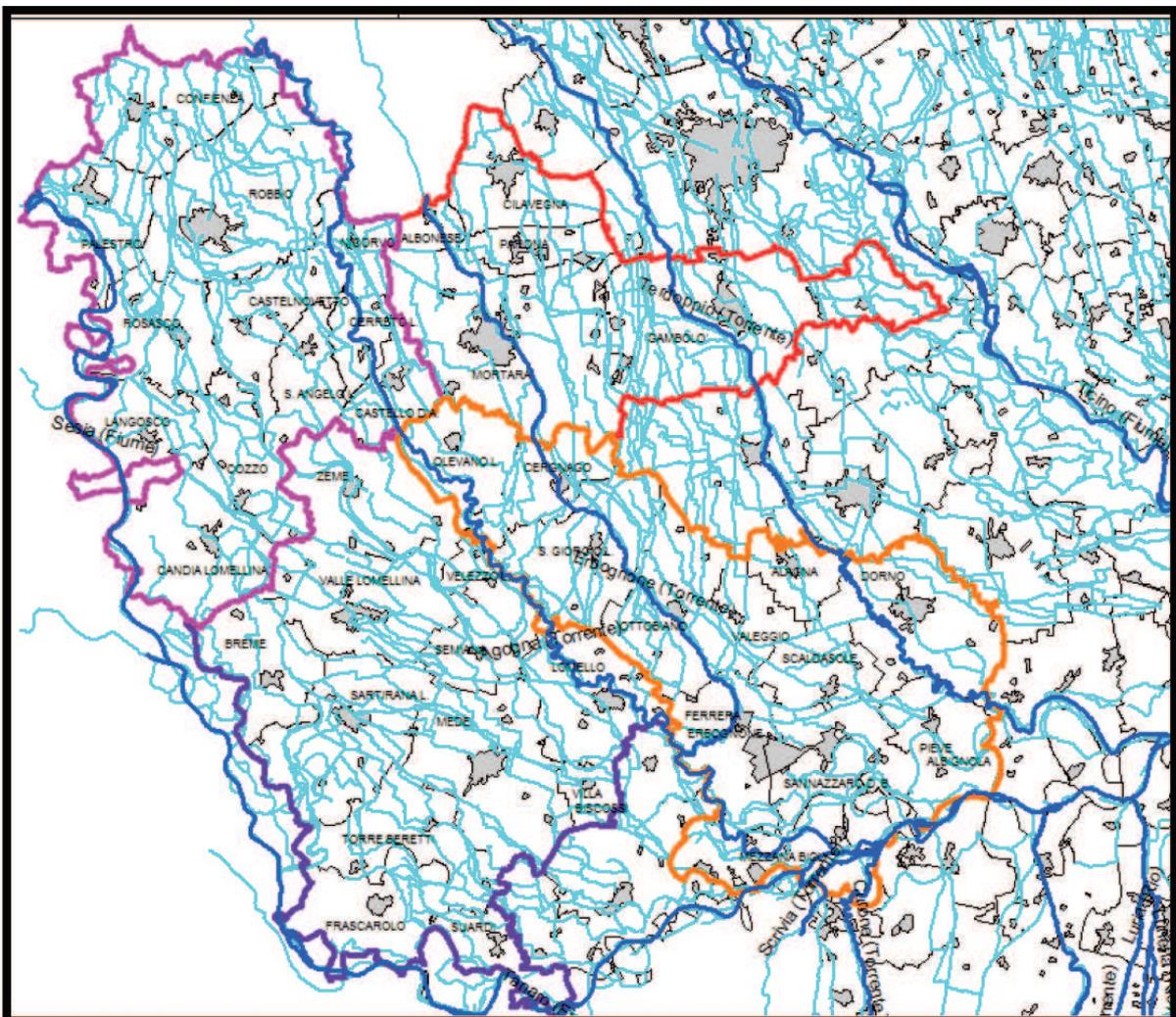


Figura 3: densità delle aste irrigue presenti sul territorio della Lomellina.

Sul territorio sono presenti tre principali corsi d'acqua: il Torrente Agogna, il Torrente Erbognone e il Torrente Terdoppio.

In questa terza fase dell'indagine, è stata valutata la qualità delle acque (per quanto riguarda la determinazione di microinquinanti organici (Pesticidi e composti endocrini) e inorganici (Metalli) di questi corsi d'acqua campionati in diversi punti del loro alveo.

Criteria generali per la Valutazione dei suoli superficiali

E' stata determinata una griglia di campionamento a maglia quadrata di 3 km di raggio e il prelievo del suolo è avvenuto in tutti i nodi di tale griglia. Questa scelta è stata effettuata per ricalcare la strategia utilizzata dalla Provincia di Pavia per il progetto di Valutazione della Qualità dei suoli della Provincia di Pavia ("Il suolo della Provincia di Pavia, 2006, ed. Torchio de' Ricci, Certosa di Pavia). Tale strategia si basava sulla rete LUCAS EUROSTAT (Land Use Cover Area From Statistical Survey), nata dalla collaborazione tra l'Ufficio Statistico della Commissione Europea (EUROSTAT) e la Direzione Generale Agricoltura e finalizzata al monitoraggio della copertura dei suoli europei. La rete LUCAS prevede maglie di 18 x 18 km con il rilevamento nell'intorno di ogni nodo della griglia, denominato Primary Sampling Unit (PSU) di un numero pari a 10 siti denominati Secondary Sampling Unit (SSU). Nella Provincia di Pavia i nodi della rete LUCAS sono 7. L'unico nodo ricadente nel territorio dell'indagine in oggetto presenta le seguenti coordinate Gauss-Boaga X: 1477552 Y: 5001930 ed è situato nel territorio amministrativo di Valle Lomellina (denominato di seguito sw13).

A partire da questo nodo è stata predisposta una griglia a maglia regolare di 3 km di lato e nei nodi di tale griglia sono stati identificati i suoli oggetto dell'indagine.

I punti sono stati denominati sulla base della sub-area in cui ricadono rispetto al territorio oggetto d'indagine (ne=nord-est; nw=nord-ovest; se=sud-est; sw=sud-ovest).

I punti denominati par- e san- rappresentano invece i punti della griglia coincidenti con altrettanti punti che sono stati già oggetto della citata indagine sulla qualità dei suoli condotta dalla Provincia di Pavia i cui risultati sono stati pubblicati nel 2006. In questo modo sarà possibile avere un certo numero di campioni per raffrontare i valori di concentrazione ottenuti dalle analisi condotte 4 anni fa e avere informazioni per una migliore interpretazione del fenomeno inquinamento, integrando su scala temporale tali informazioni.

I criteri di prelievo dei suoli cui si è fatto riferimento riferimento sono stati quelli indicati nel Decreto 13 settembre 1999 del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, "Approvazione dei Metodi di Analisi Chimica dei Suoli". La metodica di campionamento è definita anche sulla base del protocollo operativo utilizzato dall'ARPA Piemonte per la propria rete di monitoraggio dei suoli, adattandola alla specifica realtà locale.

In particolare si è proceduto al campionamento di due tipologie di suolo:



- zona coltivata: il campionamento è finalizzato alla determinazione della concentrazione di inquinanti della zona di aratura, essendo il suolo agricolo rivoltato, all'inizio di ogni nuova stagione agricola, per una profondità di circa 30 cm;
- zona indisturbata dalle lavorazioni agricole: il campionamento ha riguardato il suolo superficiale ai bordi della zona coltivata. Tale suolo non essendo mai soggetto ad aratura, sarà utilizzato per la determinazione delle concentrazioni di inquinanti nella porzione più superficiale.

Nella figura seguente si riporta la griglia così ottenuta.

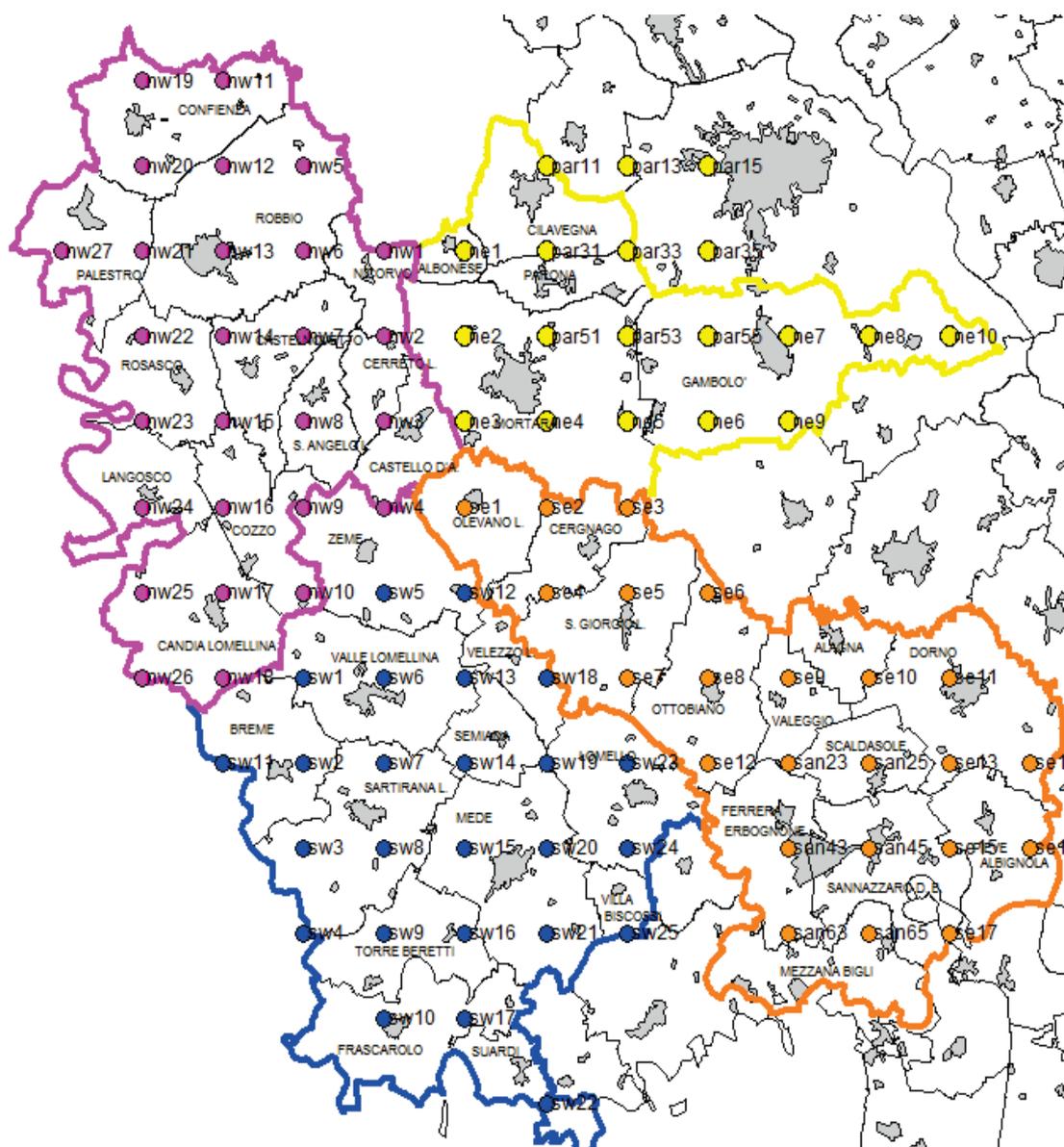


Figura 4: Griglia di Monitoraggio della qualità dei suoli.

Parte 2 – Normative e Valori di Riferimento in Campo Ambientale



Il Quadro Normativo in materia di Qualità dell'aria

Nel corso del 2010 il quadro normativo in materia di qualità dell'aria ha subito sostanziali modifiche. La normativa precedente, articolata in una legge quadro (D.L. 351/99) ed in decreti attuativi (che fornivano modalità di misura, indicazioni sul numero e sulla collocazione delle postazioni di monitoraggio, limiti e valori di riferimento per i diversi inquinanti), è stata sostituita da una unica norma, il Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n.155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa"⁽¹⁾.

Il Decreto del 2010 - recepimento della direttiva europea 2008/50/CE - introduce importanti novità nell'ambito del complesso e stratificato quadro normativo in materia di qualità dell'aria in ambiente, introducendo nuovi strumenti che si pongono come obiettivo di contrastare più efficacemente l'inquinamento atmosferico.

Oltre a fornire una metodologia di riferimento per la caratterizzazione delle zone (zonizzazione), definisce i valori di riferimento che permettono una valutazione della qualità dell'aria, su base annuale, in relazione alle concentrazioni dei diversi inquinanti.

In particolare vengono definiti:

Valore Limite (VL): Livello che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato.

Valore Obiettivo: Livello da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

Livello Critico: Livello oltre il quale possono sussistere rischi o danni per ecosistemi e vegetazione, non per gli esseri umani.

Margine di Tolleranza: Percentuale del valore limite entro la quale è ammesso il superamento del VL.

Soglia di Allarme: Livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive.

Soglia di Informazione: Livello oltre il quale sussiste pericolo per la salute umana per alcuni gruppi sensibili, il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive.

Obiettivo a lungo termine: Livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate.

Indicatore di esposizione media: Livello da verificare sulla base di selezionate stazioni di fondo nazionali che riflette l'esposizione media della popolazione.

Obbligo di concentrazione dell'esposizione: Livello da raggiungere entro una data prestabilita.

¹Decreto Legislativo del 13 agosto 2010, n.155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa".



Obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione: Riduzione percentuale dell'esposizione media rispetto ad un anno di riferimento, da raggiungere entro una data prestabilita.

Nella tabelle che seguono sono riportati, per ogni inquinante, i valori limite e di riferimento contenuti nel D.L. 155/2010.

Tabella 2: Valori limite (Allegato XI D.L. 155/10).

Inquinante	Periodo di Mediazione	Valore Limite
Biossido di Zolfo	Orario (non più di 24 volte all'anno)	350 µg/m ³
	Giornaliero (non più di 3 volte all'anno)	125 µg/m ³
Biossido di Azoto	Orario (per non più di 18 volte all'anno)	200 µg/m ³
	Annuo	40 µg/m ³
Benzene	Annuo	5 µg/m ³
Monossido di Carbonio	Media max giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³
Particolato PM ₁₀	Giornaliero (non più di 35 volte all'anno)	50 µg/m ³
	Annuo	40 µg/m ³
Particolato PM _{2,5}	Annuo al 2010 (+MT) [valore di riferimento]	29 µg/m ³
	Annuo al 2015	25 µg/m ³
Piombo	Anno	0.5 µg/m ³

Tabella 3: Livelli critici per la vegetazione (Allegato XI D.L. 155/10).

Inquinante	Periodo di Mediazione	Valore Limite
Biossido di Zolfo	Annuale	20 µg/m ³
	Invernale (1 Ott.- 31 Mar.)	20 µg/m ³
Ossidi di Azoto (NO _x)	Annuo	30 µg/m ³

Tabella 4: Soglie di allarme per inquinanti diversi dall'ozono (SO₂ e NO₂) (Allegato XII D.L. 155/2010).

Inquinante	Periodo di Mediazione	Valore Limite
Biossido di Zolfo	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 km ²	500 µg/m ³
Biossido di Azoto (NO ₂)	Per 3 ore consecutive in una stazione con rappresentatività > 100 km ²	400 µg/m ³

Anche l'ozono – inquinante secondario che si forma, attraverso reazioni fotochimiche, a partire da inquinanti precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) in presenza della luce del sole – ha effetti sulla salute dell'uomo e sulla vegetazione. Il Decreto Legislativo n. 155/10, recependo quanto già contenuto nel DL 183/04, mantiene in essere un sistema di sorveglianza

dell'inquinamento da ozono in tutto il territorio nazionale, confermando valori obiettivo, obiettivi a lungo termine, soglia di informazione e soglia di allarme da perseguire secondo una tempistica stabilita (Tabella 5 e Tabella 6).

Tabella 5: Valori obiettivo e obiettivi a lungo termine per l'ozono (Allegato VII D.L. 155/2010).

Valori Obiettivo			
Finalità	Periodo di Mediazione	Valore Obiettivo (1.1.2010)	Data di Raggiungimento ²
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2013 (dati 2010 – 2012)
Protezione della vegetazione	AOT40 ¹ Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	18000 µg/m ³ h come media su 5 anni	2015 (dati 2010 – 2014)
Obiettivi A lungo termine			
Finalità	Periodo di Mediazione	Valore Obiettivo (1.1.2010)	Data di Raggiungimento ³
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³	Non definito
Protezione della vegetazione	AOT40 ¹ Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h	Non definito

(1) AOT40 (espresso in µg/m³h) si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni > 80 µg/m³ e 80 µg/m³ rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00 (ora dell'Europa centrale).
(2) Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo
(3) Data entro la quale deve essere raggiunto l'obiettivo a lungo termine

Tabella 6: Soglie di informazione e di allarme per l'ozono (Allegato XII D.L. 155/2010).

Finalità	Periodo di Mediazione	Soglia
Informazione	1 Ora	180 µg/m ³
Allarme	1 Ora ⁽¹⁾	240 µg/m ³

⁽¹⁾ Per l'applicazione dell'art.10 comma 1, deve essere misurato o previsto un superamento per tre ore consecutive

La registrazione del superamento della soglia di informazione o di allarme comporta l'obbligo, per la Regione (art.14 comma 1), di fornire al pubblico informazioni relativamente a:

- superamenti registrati (località, tipo di soglia superata, data, ora di inizio e durata del fenomeno, concentrazione oraria più elevata e concentrazione media più elevata sulle 8 ore);
- previsioni sull'evoluzione del fenomeno con l'indicazione dell'area geografica prevedibilmente interessata dai superamenti;

- previsioni sull'evoluzione del fenomeno con l'indicazione dell'area geografica prevedibilmente interessata dai superamenti;
- informazioni sui settori colpiti della popolazione e sui possibili effetti sulla salute e sulla condotta raccomandata (informazione sui gruppi di popolazione a rischio; descrizione dei sintomi riscontrabili gruppi di popolazione a rischio; precauzioni che i gruppi interessati devono prendere; riferimenti per ottenere ulteriori informazioni);
- informazioni sulle azioni preventive per la riduzione dell'inquinamento e/o per la riduzione dell'esposizione all'inquinamento con l'indicazione dei principali settori cui si riferiscono le fonti e delle azioni raccomandate per la riduzione delle emissioni.

Il D.L. 155/2010 fissa anche valori obiettivo (riportati in **Tabella 7**) per la concentrazione di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene nell'aria ambiente per evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi di tali inquinanti sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. Il valore obiettivo del benzo(a)pirene viene usato come *marker* per il rischio cancerogeno degli idrocarburi policiclici aromatici.

Tabella 7: Valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene (Allegato XIII D.L.155/2010).

Inquinante	Periodo di Mediazione	Valore Obiettivo	Data di raggiungimento ⁽¹⁾
Arsenico	Tenore totale di ciascun inquinante presente	6.0 ng/m ³	31.12.2012
Cadmio	nella frazione PM ₁₀ del materiale particolato,	5.0 ng/m ³	
Nichel	calcolato come media su un anno civile	20.0 ng/m ³	
Benzo(a)pirene		1.0 ng/m ³	

1) art.9 – comma 2 del Decreto

La norma prevede che debbano essere adottate, nei limiti delle risorse disponibili, le misure che non comportino costi sproporzionati necessarie a perseguire il raggiungimento del valore obiettivo entro il 31 dicembre 2012, con priorità per quelle azioni che intervengono sulle principali fonti di emissione. Suggerisce inoltre, in un numero limitato di stazioni, di effettuare, contestualmente al benzo(a)pirene la misurazione delle concentrazioni nell'aria ambiente di benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene e dibenzo(a,h)antracene, al fine di verificare la costanza dei rapporti nel tempo e nello spazio tra il benzo(a)pirene e gli altri idrocarburi policiclici aromatici di rilevanza tossicologica.

Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -Diossine e Furani-

Per **Valore di riferimento** di un inquinante, si intendono dei valori tipici di concentrazione non riportati in nessuna normativa nazionale e internazionale, ma riscontrati da studi effettuati dalla comunità scientifica e/o dagli organi nazionali ed internazionali.

Per la concentrazione in atmosfera sia di **diossine e furani (PCDD/F) che di policlorobifenili (PCB)** non è stata proposta dall'OMS alcuna linea guida perché l'inalazione diretta di questi composti rende conto solo di una frazione minima (dell'ordine di 1-5%) dell'esposizione totale attribuibile all'assunzione tramite la catena alimentare⁽²⁾. Le concentrazioni atmosferiche medie di **PCDD/F** in ambiente urbano sono stimate pari a circa 0.1 pg/m³ anche se sono possibili variazioni molto significative nei differenti siti di misura. Sebbene tali livelli di concentrazione atmosferica rappresentino un contributo minimo all'esposizione umana diretta costituiscono però un'importante fonte di contaminazione della catena alimentare. Nonostante tali evidenze scientifiche è però difficile calcolare l'esposizione in diretta da contaminazione da cibo dovuta alla deposizione atmosferica. Dal punto di vista dei riferimenti tecnico-normativi esiste un orientamento della Commissione Consultiva Tossicologica Nazionale che prevede per l'ambiente atmosferico esterno una concentrazione pari a 40 fg I-TEQ/m³⁽³⁾, mentre per l'OMS una presenza in aria di 300 fg I-TEQ/m³⁽⁴⁾ è un possibile indice di sorgenti locali di emissione che devono essere opportunamente identificate e controllate. In Germania, la Commissione degli Stati Federali per la protezione dalle Immissioni ha proposto nel 1994 un limite cautelativo per l'aria ambiente di 150 fg I-TEQ/m³. Successivamente nel 2004, la stessa commissione, a seguito di una revisione congiunta con WHO ha adottato un limite per la concentrazione totale in aria di miscele di **PCDD, PCDF e PCB-DL** pari a 150 fg WHO-TEQ/m³ (e, quindi, comprendendo in questo caso anche alcuni congeneri, quali PCB-DL, che tipicamente risultano presenti in concentrazione più elevate)⁽⁵⁾.

Da studi effettuati su diverse tipologie di aree, relative a Paesi europei, emerge come la concentrazione media di **PCDD/PCDF** espressa in termini I-TEQ sia dell'ordine dei fg/m³ fino a centinaia di fg/m³ nell'aria atmosferica^(6,7,8).

²WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen

³Di Domenico A., 1988. Orientamenti per la definizione di livelli d'azione ambientali per policlorodibenzodiossine (PCDD) e policlorodibenzofurani (PCDF). Roma, Istituto Superiore di Sanità, ISTISAN 88/3.

⁴World Health Organisation (WHO). Air quality guidelines for Europe. Second Edition. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Regional Publications; 2000. (European Series, n. 91).

⁵LAI, 2004. Bericht des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI). Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind - Orientierungswerte für die Sonderfallprüfung und für die Anlagenüberwachung sowie Zielwerte für die langfristige Luftreinhalteplanung unter besonderer Berücksichtigung der Beurteilung krebserzeugender Luftschadstoffe. <http://www.lanuv.nrw.de/gesundheit/pdf/LAI2004.pdf>.

⁶Fiedler H, Buckley-Golder D, Coleman P, King K, Petersen A. Compilation of EU dioxin exposure and health data: environmental levels. *Organohalogen Compounds* 1999;43:151-4.



Di seguito vengono riportati alcuni esempi di concentrazione di diossine e furani riscontrati in diversi paesi membri dell'UE:

Tabella 8: Concentrazione media di PCDD/PCDF espressa in fg(I-TEQ)/m³ rilevata in alcuni Paesi della UE in materiale particolare sospeso.

Paese	Siti Urbani	Siti Rurali
Belgio	68-129	70-125
Italia	47-277	
Lussemburgo		30-64
Olanda	54-77	9-63
Svizzera	0.2-54	
Regno Unito	17-103	6-12

Ulteriori dati sono desumibili da uno studio, condotto nella regione di Oporto (Portogallo), nel quale è stata valutata la concentrazione di **PCDD/PCDF**, in diverse matrici e in diversi siti, nelle vicinanze di un grosso impianto d'incenerimento per rifiuti solidi urbani (RSU). Per l'aria ambiente sono stati considerati due punti, uno urbano posto ad una distanza di circa 500 m dall'impianto e uno suburbano ad una distanza di circa 1000 m. I risultati riportati in **Tabella 9**⁽⁹⁾ e riguardo alle concentrazioni di PCDD/PCDF nell'aria atmosferica non emergono significative differenze tra le aree urbane e suburbane, e i risultati ottenuti hanno suggerito l'esistenza di importanti sorgenti di PCDD/PCDF diffuse nell'intera regione.

Tabella 9: Concentrazione di PCDD/PCDF espressa in fg(I-TEQ)/m³ rilevata in aria nei pressi di un impianto di incenerimento di RSU ad Oporto (Portogallo).

Tipologia del sito	Valore minimo	Valore Massimo	Valore Medio
Urbano (500m dall'impianto)	35,9	490	181
Suburbano (circa 1000m dall'impianto)	46.4	306	116

Un importante studio sui livelli di **PCDD/PCDF** presenti nei comparti ambientali (aria, suolo) è stato condotto in Germania, nella periferia della cittadina di Augsburg⁽¹⁰⁾. In questo lavoro, della durata di un anno, è stata analizzata sia la fase gassosa sia la fase particolata al fine di determinare la concentrazione delle **PCDD/PCDF**. La raccolta dei campioni è stata effettuata in due aree distinte di cui

⁷Fattore, E., Di Guardo, A., Mariani, G., Guzzi, A., Benfenati, E., Fanelli, R., 2003. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the air of Seveso, Italy, 26 years after the explosion. Environ. Sci. Technol. 37, 1503-1508.

⁸Colombo, A., Benfenati, E., Mariani G., Lodi, M., Marras, R., Rotella, G., Senese, V., Fattore, E., Fanelli, R., 2009. PCDD/Fs in ambient air in north-east Italy: The role of a MSWI inside an industrial area. Chemosphere 77, 1224-1229.

⁹Couthino M, Boia C, Borrego C, Mata P, Costa J, Rodrigues R, Gomes P, Neves M. Environmental baseline levels of dioxins and furans in the region of Oporto. Organohalogen Compounds 1999;43:131-6.

una alla periferia della città e l'altra in una zona rurale a circa 15 km dalla città. Dallo studio è risultata una maggior concentrazione di **PCDD/PCDF**, pari a circa due volte, nei siti di campionamento alla periferia della città rispetto a quello della zona remota. Inoltre, è stato evidenziato come i livelli di **PCDD/PCDF** nell'atmosfera seguano un andamento stagionale, con concentrazioni fino a 9 volte superiori nella stagione invernale rispetto a quella estiva. In **Tabella 10** sono riportate le concentrazioni totali di **PCDD/PCDF** rilevate nell'aria, considerando entrambe le frazioni (particellare e gassosa) e la percentuale di **PCDD/PCDF** rilevata nella frazione gassosa. La concentrazione totale di **PCDD/PCDF** rilevata nel suddetto studio è compresa in un range che va da 10 a 250 fgI-TEQ/m³ con un valore medio di 49 fgI-TEQ/m³, mentre la percentuale di frazione gassosa rilevata sui campioni medi è risultata essere compresa in un intervallo tra 5.1 e 52%.

Tabella 10: Concentrazione media di PCDD/PCDF espressa in fg(I-TEQ)/m³ rilevata in aria ambiente in 6 stazioni di campionamento scelte nell'area di Augsburg (Germania).

Periodo di Campionamento	Concentrazione	
1992	Marzo – Aprile	40
	Maggio – Giugno	19
	Giugno – Luglio	14
	Luglio – Settembre	15
	Settembre – Ottobre	42
	Ottobre – Novembre	60
1992-1993	Novembre – Gennaio	120
1993	Gennaio- Febbraio	87
Media del periodo		49

In un altro studio condotto a Mantova⁽¹¹⁾, i cui risultati sono riportati in **Tabella 11**, si possono notare le differenze di concentrazione di **PCDD/PCDF** rilevate in stagioni diverse.

Tabella 11: Concentrazione media di PCDD/PCDF espressa in fg(I-TEQ)/m³ rilevata in aria ambiente in 6 stazioni di campionamento nell'area di Mantova.

Periodo di Campionamento	Concentrazione
Stagione Calda	4.42-6.24
Stagione Intermedia	4.70-7.18
Stagione Fredda	62-195

I dati riscontrati in letteratura consentono di avere un quadro di riferimento su quelli che sono i valori presenti normalmente nell'ambiente; tali dati tuttavia sono influenzati una grossa variabilità nelle

¹⁰Hippelein M, Kaupp H, Dorr G, McLachlan M, Hutzinger O. Baseline contamination assessment for new resource recovery facility in Germany. Part II: atmospheric concentrations of PCDD/F. *Chemosphere* 1996;32 (8):1605-16.

concentrazioni tra diversi siti sia nella stessa area sia da Paese a Paese. Questo può essere imputato anche ad un effetto della variabilità delle condizioni meteorologiche e dell'andamento stagionale.

La raccolta dei dati ottenuti nei diversi studi ha permesso di ricavare dei valori tipici di diossine e furani in base alla tipologia del sito considerato, riportati di seguito in **Tabella 12**⁽¹²⁾.

Tabella 12: Valori tipici di concentrazione di PCDD/Fs in base alla tipologia di area.

Tipologia del sito	Σ PCDD/Fs	Σ I-TEQ
Area Remota	<0.5	< 0.01 pg/m ³
Area Rurale	0.5-4	0.02-0.05 pg/m ³
Area Urbana/Industriale	10-100	0.1-0.4 pg/m ³

Inoltre l'U.S. EPA ha fissato anche dei livelli di fondo o background: 0.12±0.094 pg/m³ (0.03-0.2 pg/m³) per le aree urbane e 0.013 pg/m³ per le aree rurali⁽¹³⁾.

Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -PCB ed Esaclorobenzene-

Per quanto riguarda i **PCB** in **Tabella 13** riassumiamo dei valori di concentrazione in aria, espressi come WHO-TEQ⁽¹⁴⁾, misurati in diverse realtà italiane.

Tabella 13: Valori tipici di concentrazione di PCB (pg/m³), espressi come WHO-TEQ, misurati in diverse località.

Luogo o Città	Tipologia del Sito	Concentrazione
Brescia	Urbano /Industriale	0.01-0.05
Gioia Tauro	Rurale	0.0007-0.0091
Lomello	Rurale	0.0015-0.013
Lago Maggiore	-	0.007

I valori riportati in **Tabella 12** sono desunti dalla concentrazione in ambiente di 12 congeneri, le cui proprietà tossicologiche sono simili a quelle dei 17 congeneri PCDD/PCDF⁽¹⁵⁾. In realtà questi rappresentano un sottoinsieme di questa famiglia chimica di composti che complessivamente è

¹¹Viviano G., Mazzoli P., Settimo G. "Microinquinanti organici e inorganici nel comune di Mantova: studio dei livelli ambientali". Rapporti ISTISAN 06/43.

¹² Lohmann, R.; Jones, K. C., 1998. Dioxins and furans in air and deposition: a review of levels, behaviour and processes. Sci. Total. Environ. 219, 53-81.

¹³ U.S. E.P.A. Environmental Protection Agency (1994) Health assessment document for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds. U.S. Environmental Protection Agency (EPA/600/BP-92/001a-c).

¹⁴ Castro-Jiménez J., Mariani G., Eisenreich S.J., Christoph E. H., Hanke G., Canuti E., Skejo H., Umlauf, G., 2008. Atmospheric input of POPs into Lake Maggiore (Northern Italy): PCDD/F and dioxin-like PCB profiles and fluxes in the atmosphere and aquatic system Chemosphere 73, S122-S130.

¹⁵ Van den Berg, M.; Birnbaum, L. S.; Denison, M.; De Vito, M.; Farland, W.; Feeley, M.; Fiedler, H.; Hakansson, H.; Hanberg, A.; Haws, L.; Rose, M.; Safe, S.; Schrenk, D.; Tohyama, C.; Tritscher, A.; Tuomisto, J.; Tysklind, M.; Walker, N.; Peterson, R. E., 2008. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. Toxicol. Sci. 93, 223-241.

costituita da 209 congeneri. Di seguito vengono riportate in **Tabella 13** alcune situazioni, desunte dalla letteratura internazionale, relative al contenuto di PCB in aria ambiente^(16,17,18,19,20,21,22,23,24,25).

Tabella 14: Livelli di concentrazione in aria di PCB in diversi paesi.

Paese	Località e/o Tipo di campione	Concentrazione
Canada	Territori a NW	0.002-0.07 ng/m ³
Giappone	Interno Impianti Industriali: PCB Vapori	13-540 µg/m ³
	Interno Impianti Industriali: PCB Particolato	4-650 µg/m ³
	Oceano Pacifico, Indiano, Antartico e Sud Antartico	0.1-0.3 ng/m ³
Svezia	Oceano Nord Atlantico	0.5 ng/m ³
	Località diverse	0.8-3.9 ng/m ³
USA	11 siti (rurale-2000)	7-983 pg/m ³
	Vicino costa NE	5 ng/m ³
Jugoslavia	Località diverse	1-50 ng/m ³
	300 m da impianto industriale	4-7 µg/m ³
	Vicino Discarica	45 µg/m ³
Francia	Oltre fiume Kruga	2-5 µg/m ³
	Parigi (zona urbana – 1986/1990)	60-200 pg/m ³
Italia	Località diverse	69-19289 pg/m ³
Grecia	Creta (Rurale-2000)	17 pg/m ³

L'U.S. EPA ha inoltre riportato dei livelli di fondo o background per l'aria⁽¹³⁾: 0.0009 pg/m³ per le aree urbane e 0.00071 pg/m³ per le aree rurali espressi come TEQ. Tali valori sono molto conservativi soprattutto se confrontati con i valori riscontrati in aria in diverse località italiane e in diversi paesi.

Le concentrazioni in aria di **Esaclorobenzene (HCB)** risultano essere in genere molto simili in siti remoti, rurali e remoti. In Europa diversi studi hanno riportato valori medi di concentrazione che

¹⁶Bidleman T.F., Rice C.P. & Olney C.E. "High molecular weight chlorinated hydrocarbons in the air and sea: rates and mechanisms of the air/sea transfer". In: Windom H. & Duce R.A., ed. Marine pollutant transfer, Lexington, DC, Heath and Co. 1978: 323-351.

¹⁷Tatsukawa K. & Watanabe I. "Air pollution by PCBs".

¹⁸Tatsukawa K. & Tanabe S. "Environmental monitoring: geochemical and biochemical behaviour of PCBs in the open ocean environment". In: Barros M.C., Könemann H. & Visser R., ed. Proceeding of the PCB Seminar, The Hague, 28-30 September 1983: 99-118.

¹⁹Ekstedt J. & Oden S. "Chlorinated Hydrocarbons in the lower atmosphere in Sweden". Uppsala, Sweden, Royal Agricultural College, Department of Soil Science 1974: 1-16.

²⁰Backe C., Larsson L., Okla L. "Polychlorinated biphenyls in the air of southern Sweden – spatial and temporal variation". Atmospheric Environment 2000; 34(9): 1481-1486

²¹Harvey G.R. & Steinhauer W.G. "Atmospheric transport of polychlorobiphenyls to the North Atlantic". Atmospheric Environment 1974; 8: 777-782.

²²WHO/EURO. "PCBS, PCDDs and PCDFs in breast milk: Assessment of health risks". World Health Organization, Regional Office for Europe (Environmental Health Series 29) 1988.

²³Jan J., Tratnik M. & Kenda A. "Atmospheric contamination with polychlorinated biphenyls in Bela Krajina (Yugoslavia). Emissions from industrial plant, landfill and river areas". Chemosphere 1988; 17(4): 809-813.

²⁴Granier L., Chevreuil M. "Automobile traffic: A source of PCBs to the atmosphere". Chemosphere 1991; 23(6): 785-788.

variano da decine di pg/m^3 fino a decine di ng/m^3 per siti molto contaminati. Tali valori sono riassunti in **Tabella 15**⁽²⁶⁾.

Tabella 15: : Valori tipici di concentrazione di Esaclorobenzene (pg/m^3) misurati in diversi Paesi.

Paese	Tipologia del sito	Concentrazione
Canada	Urbano/industriale	167 (70-310)
	Rurale	94 (20-310)
Germania	Urbano/industriale/Suburbano e Residenziale	600 (300-2500)
	-	210 (58-520)
Norvegia	-	162 (55-234)
Svezia	-	70 (54-130)
Spagna	Vicino ad Impianti Chimici	35000 (11000-44000)

L'U.S. EPA nel 1993 ha stimato una concentrazione media di **HCB** pari a $210 \text{ pg}/\text{m}^3$ ⁽²⁶⁾, mentre studi più recenti hanno stimato un valore di background di concentrazione in aria pari a $18 \text{ pg}/\text{m}^3$ misurati all'emisfero Sud e $55 \text{ pg}/\text{m}^3$ all'emisfero Nord (valore Massimo $104 \text{ pg}/\text{m}^3$)⁽²⁷⁾.

Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -IPA-

Gli **Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)** possono formarsi in gran numero e sono associati a diverse sorgenti di combustione. Sono inquinanti ubiquitari e si ritrovano quindi in tutti i comparti ambientali, nei quali entrano principalmente per via atmosferica.

Sono stati inoltre individuati nel particolato atmosferico⁽²⁸⁾ e nel fumo di tabacco⁽²⁹⁾. Possiedono scarsa solubilità in acqua, sono solubili in molti solventi organici⁽³⁰⁾ e sono notevolmente lipofili⁽³¹⁾. Tra gli IPA il **benzo[a]pirene** è sicuramente il composto più largamente studiato dal punto di vista tossicologico e più frequentemente determinato nella varie matrici, sia ambientali che alimentari.

²⁵Mandalakis M., Tzapakis M., Stephanou E.G. "Optimization and application of high-resolution gas chromatography with ion trap tandem mass spectrometry to the determination of polychlorinated biphenyls in atmospheric aerosols". Journal of Chromatography A 2001; 925(1-2): 183-196.

²⁶<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc195.htm#SubSectionNumber:5.1.1>

²⁷Jonathan L. Barber, Andrew J. Sweetman, Dolf van Wijk, Kevin C. Jones Hexachlorobenzene in the global environment: Emissions, levels, distribution, trends and processes. Science of The Total Environment, Volume 349, Issues 1-3, 15 October 2005, Pages 1-44.

²⁸Lee M. L., Novotny M., Bartle K.D. "Gas chromatography/mass spectrometric and nuclear magnetic resonance determination of polynuclear aromatic hydrocarbons in airborne particulates". Anal Chem 1976; 48: 1566-1572.

²⁹Lee M.L., Novotny M., Bartle K.D. "Analytical Chemistry of polycyclic aromatic compounds". New York: Academic Press; 1981.

³⁰Lide D.R. "CRC handbook of chemistry and physic, 83rd edition, 2002-2003". Boca Raton (FL): CRC Press.

³¹Menichini E. "Polycyclic aromatic hydrocarbons: identity, physical and chemical properties, analytical methods". Rapporti ISTISAN 94/5.

In **Tabella 16** sono riportati alcuni esempi di presenza di **IPA** in varie aree a differente antropizzazione di alcuni paesi europei ed extraeuropei^(32,33,34,35,36).

Tabella 16: Livelli di concentrazione (ng/m³) degli IPA in varie aree.

Paese	Aree Rurali	Aree Urbane	Aree Industriali
Spagna	0.132	148	
Danimarca	6.69		
Olanda	7.25		17.3-38.2
Canada	7.36	6.93-73.5	137-1200

Valori di riferimento in materia di Qualità dell'aria -Metalli-

La presenza di **Metalli Pesanti** nell'ambiente è associata al materiale particellare presente nell'aria atmosferica, sotto forma di metallo, sale, ossido od anche sotto forma gassosa (composti metallorganici) che, a sua volta, può risultare adsorbita nelle polveri.

Le sorgenti di **Metalli** possono essere sia naturali che antropogeniche. Tra queste ultime un ruolo importante lo rivestono le combustioni di *prodotti petroliferi*; in particolare la concentrazione di questi inquinanti alle emissioni è legata sia alla concentrazione di **Metalli** negli oli combustibili, che varia considerevolmente in relazione al tipo di greggio di provenienza; sia alle modalità di combustione, alle temperature di combustione, alla presenza e tipologia di sistemi di abbattimento. Anche i *trasporti stradali* contribuiscono alla emissione di **Metalli** anche nel caso di autoveicoli che utilizzano combustibili senza additivi contenenti piombo; la loro provenienza è attribuibile anche alla corrosione di parti metalliche che vengono a contatto con i gas di scarico e a processi cracking dei residui più pesanti dell'olio di lubrificazione. Analogamente si hanno emissioni anche dall'utilizzo di *carburanti*, quali oli combustibili, per motori marini. Comparazioni effettuate tra aree a diverse intensità di traffico veicolare, non hanno evidenziato sostanziali differenze per quanto riguarda l'arsenico e il cadmio, questo porterebbe a considerare di scarsa influenza l'apporto da sorgenti mobili.

³²Simó R., Colom-Altés M., Grimalt J.O. & Albaigés J. "Background levels of atmospheric hydrocarbons, sulfate and nitrate over the western Mediterranean". Atmos Environ 1991; 25A: 1463-1471.

³³Albaiges J., Bayona J.M., Fernandez P., Grimalt J., Rosell A. & Simó R. "Vapor particle partitioning of hydrocarbons in western Mediterranean urban and marine atmospheres". Mikrochim Acta 1991; 2: 13-27.

³⁴Nielsen T. "Reactivity of polycyclic aromatic hydrocarbons toward nitrating species". Environ Sci Technol 1984; 18: 157-163.

³⁵De Raat W.K., Kooijman S.A.L.M. & Gielen J.W.J. "Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles in the Netherlands and their correlation with mutagenicity". Sci Total Environ 1987b, 66: 95-114

³⁶Canada. Canadian Environmental Protection Act. "Priority substances list assessment report: Polycyclic aromatic hydrocarbons". Ottawa, Ministry of Supply and Services 1994; 61 pp.



L'incenerimento di rifiuti contribuisce anch'esso, in relazione alla composizione dei rifiuti ed alle tecnologie di combustione e di abbattimento utilizzate, alla immissione di metalli pesanti nell'ambiente.

Per diverse specie metalliche e semi-metalliche l'OMS⁽²⁾ ha indicato valori guida, o valori di rischio unitario, per orientare le valutazioni di qualità dell'aria. I primi, espressi in termini di concentrazioni, si riferiscono a sostanze potenzialmente non cancerogene; i secondi valgono per le sostanze di riconosciuta attività cancerogena ed esprimono il rischio individuale di persone esposte dalla nascita, e per la durata della vita, alla concentrazione di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'agente di rischio. Questi parametri sono riassunti in **Tabella 17**.

Tabella 17: Linee Guida OMS sulla qualità dell'aria per alcuni metalli.

Inquinanti	Valori Fissati Nelle Linee Guida
Arsenico	$1,5 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Cadmio	$1,8 \times 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime) ($5 \text{ ng}/\text{m}^3$; 1 anno)*
Piombo	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 anno)
Manganese	$0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 anno)
Mercurio Inorganico	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 anno)
Nichel	$3,8 \times 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (UR/lifetime)
Vanadio	$1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 ore)

* Per prevenire qualsiasi ulteriore incremento di cadmio nel suolo agricolo capace di incrementare l'assunzione con la dieta delle future generazioni. I valori guida di qualità dell'aria indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene. Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dall'OMS nel lavoro originale, della WHO del 2000⁽²⁾.

L'OMS ha inoltre compilato delle linee guida per la qualità dell'aria, che riassumono i valori tipici di concentrazione di Mercurio in aria in base alla tipologia di area (background $2 \text{ ng}/\text{m}^3$, area urbana $0.1-5 \text{ ng}/\text{m}^3$). Diverse indagini sperimentali condotte hanno evidenziato range di concentrazione diversi in base alla tipologia di area. In **Tabella 18** sono riassunti i valori tipici attesi nell'ambiente.

Tabella 18: Linee guida e valori tipici delle concentrazioni di Mercurio in ng/m^3 per la qualità dell'aria.

Livello di Background	<2
Area rurale	2-10
Area urbana	10-40

Per quanto riguarda gli altri **Metalli**, in particolare **Arsenico (As)**, **Cadmio (Cd)** e **Nichel (Ni)**, in **Tabella 19** sono riportate le concentrazioni tipiche di fondo in aria ambiente rilevate in diversi Paesi Europei⁽³⁷⁾, considerando diverse tipologie di aree.

Tabella 19: Concentrazioni tipiche di fondo nell'aria ambiente per As, Ni e Cd in diverse tipologie di aree europee.

Metallo	Unità di Misura	Area Rurale	Area urbana	Area industriale
Arsenico	ng/m ³	0.2 - 1.4	0.5 - 2.5	2 - 20
Cadmio	ng/m ³	0.1 - 0.4	0.2 - 2	2 - 20
Nichel	ng/m ³	0.5 - 2	2 - 20	10 - 100

Deposizioni Atmosferiche- Linee guida per Diossine, Furani e PCB-

Le **deposizioni atmosferiche**, umide e secche, rappresentano un buon indice per i flussi di contaminazione ambientale. I valori di flussi di deposizione riscontrati, in Italia e in alcuni Paesi Europei, per le PCDD/Fs sono riportati in **Tabella 20**^(6,14).

Tabella 20: Concentrazione media di PCDD/F rilevata in alcuni Paesi Europei nella deposizione atmosferica totale (pg I-TEQ/m²d).

Paese	Siti Urbani	Siti Rurali
Belgio	0.9-12	0.7-3.1
Germania	0.5-464	
Italia		140*
Regno Unito	0.4-312	nv-517

*Area suburbana concentrazioni espresse in pg/m²

In uno studio condotto nell'area urbana di Osaka (Giappone), caratterizzata da una elevata presenza di sorgenti di diossine, è stata determinata la concentrazione di PCDD/F presente nella deposizione atmosferica totale (frazione secca e umida), nel materiale particolato sospeso, nel materiale particolato depositato sulla superficie di un tetto e nel primo strato (0-5 cm) di terreno di un parco cittadino. I campionamenti sono stati effettuati in diversi anni, dal 1995 al 1998; le concentrazioni medie annuali di PCDD/F, espresse in TEQ, vengono riportate nella **Tabella 21**⁽³⁸⁾.

³⁷European Communities. Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper. Prepared by the Working Group On As, Cd and Ni compounds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001. Disponibile all'indirizzo:

http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf; ultima consultazione: 20/11/2005.

³⁸Watanabe I, Ugawa M. Halogenated dibenzo-p-dioxin and -dibenzofurans in atmospheric deposition in an urban area (Osaka) in Japan. Organohalogen Compounds 1999;43:243-7.

Tabella 21: Concentrazione media di PCDD/F espressa in pg I-TEQ/(m²d) rilevate nelle deposizioni (secche e umide) nell'area urbana di Osaka (Giappone).

Campionamento (Anno e Mese)	Valore Minimo (Media Mensile)	Valore Massimo (Media Mensile)	Valore Medio (Media Annuale)
1995 (Aprile-Dicembre)	48	174	85
1996 (Gennaio-Aprile)	60	173	102
1997 (Aprile-Dicembre)	33	128	70
1998 (Gennaio-Settembre)	15	94	41

Dalla analisi della tabella si evidenzia una diminuzione del flusso di deposizione di circa il 60% considerando il periodo 1998 rispetto ai periodi precedenti. Inoltre i valori riportati per la città di Osaka, sono simili a quelli rilevati in Tokyo e altre aree urbane giapponesi, mentre risultano significativamente maggiori di quelli rilevati in aree rurali o semirurali (6-30 pg I-TEQ/m²d)⁽³⁹⁾.

Per la valutazione dei livelli di deposizione di diossine e furani, viene spesso preso in considerazione in uno studio condotto in Belgio da L. Van Lieshout⁽⁴⁰⁾, che ha proposto un valore guida di deposizione di diossine e furani pari a 7 pg TEQ/m²d.

Per i **PCB** in Nord Italia (Lago Maggiore) è stata osservata una deposizione atmosferica settimanale pari a 28 WHO-TEQ pg m⁻²(14). La mancanza di dati in letteratura per i PCB nelle deposizioni atmosferiche rende difficile un confronto con altre realtà. Valori simili sono stati trovati in Giappone in aree urbane⁽³⁹⁾.

Deposizioni Atmosferiche- Linee guida per i Metalli-

Per quanto riguarda i **Metalli** in particolari aree sono stati riscontrati anche valori considerevolmente alti nelle vicinanze di industrie chimiche, produzione di coke, lavorazioni di metalli: per l'**Arsenico** (126 - 243 µg/m²d); per il **Cadmio** (11.3 - 40.7 µg/m²d), per il **Nichel** (53 - 76 µg/m²d).

In alcuni Paesi sono stati stabiliti dei valori limite per i flussi di deposizione espressi in termini di **deposizioni atmosferiche totali** e limitatamente al **Cadmio (Cd)**, **Piombo (Pb)** e al **Tallio (Tl)**, su un periodo di riferimento annuale (**Tabella 22**)⁽⁴¹⁾.

³⁹Ogura, I., Masunaga, S., Nakanishi, J., 2001. Atmospheric deposition of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans, and dioxin-like polychlorinated biphenyls in the Kanto Region, Japan. Chemosphere 44, 1473-1487.

⁴⁰L. Van Lieshout, M. Desmedt, E. Roekens, R. De Fré, R. Van Cleuvenbergen, M. Wevers. 2001. Deposition of dioxins in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values. Atmospheric environment, 35, s83-s90.

⁴¹Cattani G, Viviano G. Stazione di rilevamento dell'Istituto Superiore di Sanità per lo studio della qualità dell'aria: anni 2003 e 2004. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/13)

Tabella 22: Valori limite internazionali per le deposizioni atmosferiche totali e per alcuni elementi contenuti nelle deposizioni

Paese	Deposizione atmosferica totale (media annuale) mg/m ² d	Cd μg/m ² d	Pb μg/m ² d	Tl μg/m ² d
Austria	–	2	–	–
Germania	350-650*	5	250	10
Svizzera	–	2	–	–
Spagna	200	–	–	–
Finlandia	333	–	–	–
Argentina	333	–	–	–
Canada	153-180	–	–	–
USA	183-262	–	–	–

Per **Arsenico (As), Cadmio (Cd) e Nichel (Ni)**, in **Tabella 23** sono riportate le concentrazioni nelle deposizioni atmosferiche rilevate in diversi Paesi Europei⁽⁴²⁾, considerando diverse tipologie di aree.

Tabella 23: Deposizioni atmosferiche per As, Cd e Ni in diverse tipologie di aree europee.

Metallo	Unità di Misura	Area Rurale	Area urbana	Area industriale
Arsenico	mg/m ² d	0.082 - 0.43	0.22 - 3.4	2.0 - 4.3
Cadmio	mg/m ² d	0.011 - 0.14	0.16 - 0.90	0.12 - 4.6
Nickel	mg/m ² d	0.03 - 4.3	5 - 11	2.3 - 22

Il Quadro Normativo in materia di Qualità dei Suoli

Per i Suoli si fa riferimento al Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale", in particolare al Titolo V, "Bonifica di siti contaminati", della parte Quarta, "Norme in materia di gestione rifiuti e di bonifica dei siti inquinati"⁽⁴³⁾.

Tale decreto è entrato in vigore il 29/04/06, e ha sostituito integralmente la previgente normativa di cui all'art. 17 del D.Lvo 05/02/97, n. 22 (detto "Ronchi") e il relativo decreto applicativo D.M. 25/10/99, n. 471.

Per stabilire quando scatti l'obbligo di bonifica il DLgs. 152/2006 utilizza un criterio misto che parte con dei valori tabellari di screening definiti "concentrazioni soglia di contaminazione (Csc)" e, nel caso del loro superamento, prosegue con l'applicazione dell'analisi di rischio sanitaria ed ambientale sito-specifica che serve a determinare le "concentrazioni soglia di rischio (Csr)", al cui superamento scatta la messa in sicurezza e la bonifica.

⁴²European Communities. Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds. Position Paper. Prepared by the Working Group On As, Cd and Ni compounds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2001. Disponibile all'indirizzo:http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/pp_as_cd_ni.pdf;ultima consultazione: 20/11/2005.

⁴³Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".



Quindi, il sito è "potenzialmente contaminato" quando uno o più valori delle sostanze inquinanti rilevate risultino superiori ai valori Csc contenuti nell'allegato 5 (agli allegati della parte IV, titolo V, DLgs. 152/2006) per suolo e sottosuolo - diversi a seconda se il sito è ad uso verde pubblico, privato e residenziale o ad uso commerciale e industriale - e per le acque sotterranee (per le acque superficiali nessuna menzione).

La nota finale che recita "per le sostanze non esplicitamente indicate in Tabella 1 i valori di concentrazione limite accettabili sono ricavati adottando quelli indicativi per la sostanza tossicologicamente più affine" trova posto solo nella Tabella 1 relativo al suolo. Una volta accertato il superamento dei valori Csc diventa obbligatoria la caratterizzazione del sito e l'analisi di rischio specifica che, condotta nel rispetto dei criteri generali contenuti nell'allegato 1 (agli allegati della parte IV, titolo V, DLgs. 152/2006) porta alla determinazione dei Csr che rappresentano i limiti di accettabilità per il sito.

Se anche i valori Csr risultano superati il sito diventa ufficialmente "contaminato" e sono necessarie la messa in sicurezza e la bonifica.

Di seguito in **Tabella 24** sono riportati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione rispettivamente per i suoli, contenuti nell'allegato 5 del decreto legislativo n. 152 del 2006.

Tabella 24: Concentrazione soglia di contaminazione nel suolo sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare.

Inquinante		Siti ad uso Verde pubblico, Privato e Residenziale (mg kg ⁻¹ espressi come ss)	Siti ad uso Commerciale e industriale (mg kg ⁻¹ espressi come ss)
Composti inorganici			
1	Antimonio	10	30
2	Arsenico	20	50
3	Berillio	2	10
4	Cadmio	2	15
5	Cobalto	20	250
6	Cromo totale	150	800
7	Cromo VI	2	15
8	Mercurio	1	5
9	Nichel	120	500
10	Piombo	100	1000
11	Rame	120	600
12	Selenio	3	15
13	Stagno	1	350
14	Tallio	1	10
15	Vanadio	90	250

16	Zinco	150	1500
17	Cianuri (liberi)	1	100
18	Fluoruri	100	2000
Aromatici			
19	Benzene	0,1	2
20	Etilbenzene	0,5	50
21	Stirene	0,5	50
22	Toluene	0,5	50
23	Xilene	0,5	50
24	Sommatoria organici aromatici (da 20 a 23)	1	100
Aromatici policiclici [1]			
25	Benzo(a)antracene	0,5	10
26	Benzo(a)pirene	0,1	10
27	Benzo(b)fluorantene	0,5	10
28	Benzo(k,)fluorantene	0,5	10
29	Benzo(g, h, i,)perilene	0,1	10
30	Crisene	5	50
31	Dibenzo(a,e)pirene	0,1	10
32	Dibenzo(a,1)pirene	0,1	10
33	Dibenzo(a,i)pirene	0,1	10
34	Dibenzo(a,h)pirene.	0,1	10
35	Dibenzo(a,h)antracene	0,1	10
36	Indenopirene	0,1	5
37	Pirene	5	50
38	Sommatoria policiclici aromatici (da 25 a 34)	10	100
Alifatici clorurati cancerogeni [1]			
39	Clorometano	0,1	5
40	Diclorometano	0,1	5
41	Triclorometano	0,1	5
42	Cloruro di Vinile	0,01	0,1
43	1,2-Dicloroetano	0,2	5
44	1,1 Dicloroetilene	0,1	1
45	Tricloroetilene	1	10
46	Tetracloroetilene (PCE)	0,5	20
Alifatici clorurati non cancerogeni [1]			
47	1,1-Dicloroetano	0,5	30
48	1.2-Dicloroetilene	0,3	15
49	1,1,1-Tricloroetano	0,5	50
50	1,2-Dicloropropano	0,3	5
51	1,1,2-Tricloroetano	0,5	15
52	1,2,3-Tricloropropano	1	10
53	1,1,2,2-Tetracloroetano	0,5	10
Alifatici alogenati Cancerogeni [1]			
54	Tribromometano	0,5	10



	(bromofornio)		
55	1,2-Dibromoetano	0,01	0,1
56	Dibromoclorometano	0,5	10
57	Bromodiclorometano	0,5	10
Nitrobenzeni			
58	Nitrobenzene	0,5	30
59	1,2-Dinitrobenzene	0,1	25
60	1,3-Dinitrobenzene	0,1	25
61	Cloronitrobenzeni	0,1	10
Clorobenzeni [1]			
62	Monoclorobenzene	0,5	50
63	Diclorobenzeni non cancerogeni (1,2-diclorobenzene)	1	50
64	Diclorobenzeni cancerogeni (1,4 -diclorobenzene)	0,1	10
65	1,2,4 -triclorobenzene	1	50
66	1,2,4,5-tetracloro-benzene	1	25
67	Pentaclorobenzene	0,1	50
68	Esacclorobenzene	0,05	5
Fenoli			
69	Fenoli non clorurati [1]		
70	Metilfenolo (o-, m-, p-)	0,1	25
71	Fenolo	1	60
Fenoli clorurati [1]			
72	2-clorofenolo	0,5	25
73	2,4-diclorofenolo	0,5	50
74	2,4,6 - triclorofenolo	0,01	5
75	Pentaclorofenolo	0,01	5
Ammine Aromatiche [1]			
76	Anilina	0,05	5
77	o-Anisidina	0,1	10
78	m,p-Anisidina	0,1	10
79	Difenilamina	0,1	10
80	p-Toluidina	0,1	5
81	Sommatoria Ammine Aromatiche (da 73 a 77)	0,5	25
Fitofarmaci			
82	Alaclor	0,01	1
83	Aldrin	0,01	0,1
84	Atrazina	0,01	1
85	alfa-esaccloroetano	0,01	0,1
86	beta-esaccloroetano	0,01	0,5
87	gamma -esaccloroetano (Lindano)	0,01	0,5
88	Clordano	0,01	0,1



89	DDD, DDT, DDE	0,01	0,1
90	Dieldrin	0,01	0,1
91	Endrin	0,01	2
Diossine e furani			
92	Sommatoria PCDD, PCDF (conversione T.E.)	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
93	PCB	0,06	5
Idrocarburi			
94	Idrocarburi Leggeri C inferiore o uguale a 12	10	250
95	Idrocarburi pesanti Altre sostanze	50	750
96	Amianto	1000 [*]	1000 [*]
97	Esteri dell'acido ftalico (ognuno)	10	60

[*] Corrisponde al limite di rilevabilità della tecnica analitica (diffattometria a raggi X oppure I.R. - Trasformata di Fourier)

[1] In Tabella sono selezionate, per ogni categoria chimica, alcune sostanze frequentemente rilevate nei siti contaminati. Per le sostanze non esplicitamente indicate in Tabella i valori di concentrazione limite accettabili sono ricavati adottando quelli indicati per la sostanza tossicologicamente più affine.

Valori di riferimento in materia di Qualità dei Suoli –Diossine e Furani-

Nel già citato lavoro riferito ad alcuni Paesi Europei⁽⁶⁾ sono state rilevate le concentrazioni medie di **PCDD/PCDF**, espresse in termini di TEQ, in diversi suoli suddivisi in relazione al loro utilizzo. L'indagine ha evidenziato concentrazioni dell'ordine della frazione di ng fino alle decine di ng per kg di sostanza secca (ss). Per i suoli contaminati le concentrazioni rilevate risultano dell'ordine delle migliaia decine di migliaia di ng per kg di sostanza secca (**Tabella 25**).

Tabella 25: Concentrazione media di PCDD/PCDF espressa in ng[I-TEQ]/kg ss rilevata in suoli a diversa destinazione per alcuni Paesi della UE.

Paese	Foresta	Pascolo	Arato	Rurale	Contaminato
Austria	0.01-64	1.6-14	-	-	332
Belgio	-	-	-	2.1-2.7	-
Finlandia	-	-	-	-	85000
Germania	10-30	0.004-30	0.03-25	1	30000
Grecia	-	-	-	-	1144
Irlanda	4.8	0.8-13	-	-	-
Italia	-	0.1-43	1.9-3.1	-	-
Lussemburgo	6.0	-	-	1.4	-
Olanda	-	-	-	2.2-17	98000
Spagna	-	-	-	0.1-8.4	-
Svezia	-	-	-	0.11	11446
Regno Unito	-	-	-	0.78-20	1585

Per quanto riguarda le concentrazioni di **PCDD/PCDF** nelle aree intorno al già citato impianto d'incenerimento nell'area di Oporto, nel caso delle concentrazioni rilevabili al suolo sono stati considerati siti sub-urbani, posti a differenti distanze dall'impianto stesso (da un minimo di 300 m ad un massimo di 2500 m) e siti rurali (uno a distanza di 1250 m e l'altro a distanza di 4500 m). I dati hanno evidenziato una concentrazione di PCDD/PCDF più elevata nel sito sub-urbano posto a maggior distanza dallo stesso impianto. Nel suolo i livelli di **PCDD/PCDF** riscontrati sono estremamente bassi, ad eccezione di un sito sub-urbano in cui il range di concentrazione è tipico di un'area urbana (16,39 ng/kg ss) (**Tabella 26**)⁽⁹⁾. Nella stessa tabella vengono riportati i valori di concentrazione delle PCDD/PCDF rilevati nel comune di Reggio Emilia a diverse distanze dall'impianto di termovalorizzazione, in confronto con quelli rilevati in un sito di riferimento⁽⁴⁴⁾.

Tabella 26: Concentrazione di PCDD/PCDF, espressa in ng/kg, rilevata nei suoli nei pressi di un impianto di incenerimento di RSU ad Oporto (Portogallo) e a Reggio Emilia.

Tipologia del sito	Valore Minimo	Valore Massimo
Oporto		
Siti sub-urbani (4 siti tra 300 m e 2500 m dall'impianto)	2.04	16,4
Siti rurali (2 siti tra 1250 m e 4500 m dall'impianto)	0.79	0,85
Reggio Emilia		
5 siti tra 0 e 1000 m dall'impianto	52.2	739
13 siti tra 1000 m e 3000 m dall'impianto	30.7	272
16 siti tra 3000 m e 5000 m dall'impianto	42.1	287
Sito di riferimento		94.7

Un monitoraggio effettuato in diversi siti nelle vicinanze di un impianto d'incenerimento per rifiuti urbani nei pressi di Barcellona (Spagna)^(45,46) ha evidenziato livelli nel suolo risultavano compresi in un intervallo di concentrazione tra 0,06 e 127 ng[I-TEQ]/kgss, con un valore medio di 9,95 ng[I-TEQ]/kgss e una mediana di 4,8 ng[I-TEQ]/kgss. In Italia è stata rilevata la presenza di diossine nell'area della Laguna di Venezia, con particolare attenzione alla zona industriale di Porto Marghera. L'indagine è stata realizzata su 108 campioni di suolo prelevati, nel periodo agosto-settembre 1998, in 43 diversi siti di cui, 34 in area industriale a distanze decrescenti rispetto alla stessa, 4 in area di riferimento agricola, 5 in area urbana (città di Mestre) e 5 in suolo non coltivato. Le concentrazioni di **PCDD/PCDF**

⁴⁴Capuano F, Cavalchi B, Martinelli G, Pecchini G, Renna E, Scaroni I, et al. Environmentalprospection for PCDD/PCDF, PAH, PCB and heavy metals around the incinerator power plant of Reggio Emilia town (Northern Italy) and surrounding main roads. Chemosphere 2005,58:1563-9.

⁴⁵Schuhmacher M., Granero S., Domingo J.L., Llobet J.M. and de Kok A.M. "Monitoring PCDD/F in the vicinity of an old municipal waste incinerator, 1996-1998. Part II: Vegetation monitoring". Organohalogen Compounds 1999; 43: 123-126.

⁴⁶Schuhmacher M., Domingo J.L., Llobet J.M., Muller L., Sunderhauf W., Jager J. "Baseline concentrations of PCDD/F's in vegetation samples collected in the vicinity of a new hazardous waste incinerator in Catalonia, Spain". Chemosphere 1998; 36: 2581-2591.

rilevate nei campioni di suolo non coltivato, risultavano generalmente più elevate; questo indica che le pratiche agricole possono determinare una diluizione della concentrazione dei contaminanti. Va inoltre considerato che i pattern di **PCDD/PCDF**, presenti nei suoli della fascia costiera della Laguna, sono influenzati da specifiche sorgenti di emissione industriale, mentre nel caso dei suoli di riferimento (background), si ha un'influenza dei meccanismi di trasporto a lunga distanza (**Tabella 27**)⁽⁴⁷⁾.

Tabella 27: Concentrazione media di PCDD/PCDF espressa in ng/kg rilevata nei suoli nei pressi della zona industriale di Porto Marghera.

Tipologia del sito	Media	Deviazione Standard
Di riferimento (4 siti)	0.14	0.06
Urbano (5 siti)	3.6	3.6
Rurale (non coltivato)	20	16
200-1600 m dall'area industriale	13	11
2-15 km dall'area industriale	2.3	1.4

Il Quadro Normativo in materia di Qualità delle Acque Superficiali

Le acque superficiali possono rappresentare un efficientissimo veicolo per la propagazione di sostanze inquinanti, anche in altre matrici ambientali (terreni e acque sotterranee). La legislazione per le acque superficiali fa riferimento al Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale", in particolare all'allegato 1 della parte terza dal titolo Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale⁽⁴³⁾. Tale allegato stabilisce i criteri per individuare i corpi idrici significativi e per stabilire la qualità ambientale di ciascuno di essi.

Sono considerati significativi i seguenti corsi d'acqua

- tutti i corsi d'acqua naturali di primo ordine (cioè quelli recapitati direttamente in mare il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 200 km²;
- tutti i corsi naturali di secondo ordine o superiore il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 400 km²;

Non sono considerati significativi i corsi d'acqua che per motivi naturali hanno avuto una portata uguale a zero per più di 120 giorni all'anno.

Sono invece da monitorare e classificare:

- tutti quei corpi idrici che, per valori naturalistici e/o paesaggistici o per particolari utilizzazioni in atto; hanno rilevante interesse ambientale;

⁴⁷Della Sala S., Scazzola R., Terrabujo C., Giandon P., Wenning R.J., Dodge D.G., Luxemburg W.J. and Weagraff S.W. "Assessment of PCDD/Fs, PCBs, and heavy metals in soil: a measure of impact of the industrial zone of Porto Marghera on in land coastal areas of Italy". Organohalogen Compounds 1999; 43: 137-142

- tutti quei corpi idrici che, per il carico ad essi convogliato, possono avere un'influenza negativa rilevante sui corpi idrici significativi.

Per i fiumi sono definiti dei parametri che definiscono lo stato chimico delle acque superficiali, per definire i criteri di qualità delle acque superficiali. Lo stato chimico è definito in base alla media aritmetica annuale delle concentrazioni di sostanze pericolose nelle acque superficiali.

Ai fini della prima classificazione, la valutazione dello stato chimico dei corpi idrici superficiali è effettuata in base ai valori soglia di seguito riportati in **Tabella 28**, le autorità competenti possono altresì effettuare il rilevamento di parametri aggiuntivi relativi ad inquinanti specifici elencati in **Tabella 29**, individuati in funzione delle informazioni delle analisi di impatto della attività antropica, come definito nell'Allegato 3 del DLgs. 152 del 2006 e al piano di tutela come, definito nell'Allegato 4 del DLgs. 152 del 2006.

Sulla base della decisione 2455/2001/CEE, le sostanze prioritarie sono indicate con P; le sostanze prioritarie pericolose con PP; le sostanze alle quali l'attribuzione della qualifica di sostanze prioritarie è soggetta a riesame sono indicate con PP.

Tabella 28: Parametri di base da controllare nelle acque superficiali.

CAS	Inquinante	Concentrazione (µg/L)
1. Inquinanti Inorganici		
7740-38-2	Arsenico (***)	10
7740-43-9	Cadmio e i suoi composti PP (*)	1
7740-47-3	Cromo totale (***)	50
7439-97-6	Mercurio e i suoi composti PP (*)	1
7740-02-0	Nichel e i suoi composti P (***)	20
7439-92-1	Piombo e i suoi composti PP (***)	10
2. Idrocarburi Policiclici Aromatici		
Non Applicabile	IPA PP (**)	0.2
3. Idrocarburi Aromatici		
71-43-2	Benzene P (***)	1
3.1 Idrocarburi Aromatici Alogenati		
12002-48-2	Triclorobenzene PP	0,4
4. Idrocarburi Alifatici Alogenati		
107-06-02	1,2-DicloroEtano P	10
75-01-4	Cloroetene (Cloruro di Vinile)	0,5
75-09-2	DicloroMetano	20
87-68-3	Esaclorobutadiene PP (*)	0,1
67-66-3	Triclorometano (cloroformio) P (*)	12
79-01-6	TricloroEtilene (*)	10
127-18-4	TetracloroEtilene (PercloroEtilene) (*)	10
5. Prodotti Fitosanitari ed Biocidi (***)		

Prodotti fitosanitari e biocidi (totali)		1
5.1 Ciclodiene derivati		
309-00-2	Aldrin	0,1
60-57-1	Dieldrin	0,1
72-20-8	Endrin	0,1
465-73-6	isodrin	0,1
5.2 Organo clorurati		
Diclorotrifeniltricloroetano (DDT)		0,1
115-29-7	Endosulfan PP	0,1
959-98-8	Alfa endosulfan	0,1
608-73-1	Esaclorocicloesano PP	0,1
58-89-9	Lindano	0,1
118-74-1	Esaclorobenzene PP	0,1
5.3 Fenilurea derivati		
330-54-1	Diuron PP	0,1
34123-59-6	Isoproturon PP	0,1
5.4 Alotriazine		
1912-24-9	Atrazina PP	0,1
122-34-9	Simazina PP	0,1
5.5 Organo Fosforici		
470-90-6	Clorfenvinfos P	0,1
5.6 Organotiofosforici		
2921-88-2	Clorpyrifos PP	0,1
5.7 Altri Fitosanitari e biocidi		
15972-60-8	Alaclor P	0,1
1582-09-8	Trifuralin PP	0,1
87-86-5	Pentaclorofenolo PP (*)	0,4
6 Composti Organici Semivolatili		
Tetracloruro di Carbonio		12

Tranne che nel caso della presenza naturale di certi composti, la presenza di inquinanti con concentrazioni superiori a quelle indicate in **Tabella 28**, determina la classificazione come “scadente” o “pessimo” del corpo idrico superficiale e l’adozione nei piani di tutela delle misure atte a prevenire un ulteriore deterioramento e conseguire successivamente lo stato “sufficiente” e “buono”.

I valori indicati con * sono ricavati dalle direttive figlie della Direttiva 76/464/CEE.

I valori indicati con ** sono stati ricavati dall’Allegato 2 del DLgs. 152 del 2006, acque destinate alla produzione di acqua potabile.

I valori indicati con *** sono ricavati dal DLgs. 31/01, acque destinate al consumo umano.



Tabella 29: Parametri aggiuntivi da monitorare nelle acque superficiali.

CAS	Inquinante
1. Inquinanti Inorganici	
7440-50-8	Rame
7440-66-6	Zinco
2. Organo metalli	
688-73-3	Composti del Tributilstagno PP
36643-28-4	[Tributilstagno-catione]
683-18-1	Dicloro di dibutilstagno
818-08-6	Dibutilstagno catione
1461-25-2	Tetrabutilstagno
	Trifenilstagno
3. Idrocarburi Policiclici Aromatici	
50-32-8	Benzo(a)pirene
205-99-2	Benzo(b)fluorantene
207-08-9	Benzo(ghi)perilene
191-24-2	Benzo(k)fluorantene
193-39-5	Indeno(123cd)pirene
120-12-7	Antracene PP
206-44-0	Fluorantene P (2)
91-20-3	Naftalene PP
4. Idrocarburi Aromatici	
100-41-4	Etilbenzene
98-82-8	Isopropilbenzene (cumene)
108-88-3	Toluene
1330-20-7	Xileni
5. Idrocarburi Aromatici Clorurati	
108-90-7	Clorobenzene
95-50-1	1,2 Diclorobenzene
541-73-1	1,3 Diclorobenzene
106-46-7	1,4 Diclorobenzene
95-49-8	2-Clorotoluene
108-41-8	3-Clorotoluene
106-43-4	4-Clorotoluene
120-82-1	1,2,4-Triclorobenzene
6. Idrocarburi Alifatici Clorurati	
107-05-1	3-Cloropropene (Cloruro di Allile)
75-34-3	1,1 Dicloroetano
75-35-4	1,1 Dicloroetene
540-59-0	1,2 Dicloroetene
78-87-5	1,2 Dicloropropano
106-93-4	1,2 Dibromometano
542-75-6	1,3 Dicloropropene



78-88-6	2,3 Dicloropropene
79-34-5	1,1,2,2 Tetracloroetano
71-55-6	1,1,1 Tricloroetano
79-00-5	1,1,2 Tricloroetano
79-01-6	Tricloroetilene
127-18-4	Tetracloroetilene (percloroetilene)
107-07-3	2-Cloroetano
92-23-1	1,3-Dicloro-2-propanolo
108-60-1	Dicloro-di-isopropiletero
7. Nitroaromatici Clorurati	
97-00-7	1-Cloro-2,4-dinitrobenzene
89-21-4	1-Cloro-2-nitrobenzene
88-73-3	1-Cloro-3-nitrobenzene
121-73-3	1-Cloro-4-nitrobenzene
89-59-8	4-cloro-2-nitrotoluene
	Cloronitrotolueni
	Dicloronitrobenzeni
8. Alofenoli	
95-57-8	2-Clorofenolo
108-43-0	3-Clorofenolo
106-48-9	4-Clorofenolo
95-95-4	2,4,5-Triclorofenolo
88-06-2	2,4,6-Triclorofenolo
120-83-2	2,4-Diclorofenolo
95-85-2	2-Ammino-4-clorofenolo
59-50-7	4-Cloro-3-metilfenolo
9. Aniline e derivati	
95-51-2	2-Cloroanilina
108-42-9	3-Cloroanilina
106-47-8	4-cloroanilina
95-76-1	3,4-Dicloroanilina
89-63-4	4-Cloro-nitroanilina
10. Prodotti Fitosanitari e Biocidi	
10.1 Acidi Carbossilici Clorurati	
79-11-8	Acido cloro acetico
120-36-5	Acido 2,4-diclorofenossipropanoico (diclorprop)
93-65-2	Acido 2,4-metilclorofenossipropanoico (mecoprop)
94-74-6	Acido 2,4-metilclorofenossi acetico (mcpa)
10.2 Organo Clorurati	
57-74-9	Clordano
	Diclorodifenildicloroetilene (DDE)
	Diclorodifeniledicloroetano (DDD)
76-44-8	Eptacloro
10.3 Fenilurea derivati	
330-55-2	Linuron
1746-81-2	Monolinuron



10.4 Aloatrazine

108-77-0	2,4,6-Tricloro1,3,5triazina (cloruro di cianurile)
----------	--

10.5 Organo fosforici

298-03-3	Demeton
----------	---------

60-51-5	Dimetoato
---------	-----------

298-04-4	Disulfoton
----------	------------

10265-92-6	Metamidofos (tiofosforamidato di O,S-dimetile)
------------	--

7786-34-7	Mevinfos
-----------	----------

56-72-4	Cumafos
---------	---------

62-73-7	Diclorvos
---------	-----------

10.6 Organo tiofosforici

1113-02-6	Ometoato
-----------	----------

302-12-2	Ossidementon-metile (dementon o metile) (tiofosfato)
----------	--

14816-18-3	Foxim
------------	-------

24017-47-8	Triazofos
------------	-----------

2642-71-9	Azinfos etile
-----------	---------------

86-50-0	Azinfos metile
---------	----------------

121-75-5	Malation
----------	----------

56-38-2	Paration etile
---------	----------------

298-00-0	Paration metile
----------	-----------------

55-38-9	Fention
---------	---------

122-14-5	Fentitrotion
----------	--------------

10.8 Altri Fitosanitari e biocidi

52-68-6	Triclorfon
---------	------------

709-98-8	Proponile
----------	-----------

92-52-4	Bifenile
---------	----------

1698-60-8	Pirazone (cloridazon-iso)
-----------	---------------------------

25057-89-0	Bentazone
------------	-----------

2,4D

2,4,5T

11. Composti Organici Semivolatili

608-93-5	Pentaclorobenzene PP
----------	----------------------

118-81-7	Di(2etilesiftalato) PP
----------	------------------------

85535-84-8	Cloroalcani C ₁₀ -C ₁₃ P
------------	--

32534-81-9	Pentabromo difeniletere
------------	-------------------------

Non applicabile	Difenileteri bromurati totali
-----------------	-------------------------------

25154-52-3	Nonilfenoli PP
------------	----------------

104-40-5	4(para)-Nonilfenolo
----------	---------------------

1806-26-4	Octilfenoli PP
-----------	----------------

140-66-9	Para-terz-ottilfenolo
----------	-----------------------

92-87-5	Benzidina (diamminodifenile)
---------	------------------------------

	Diclorobenzidine (diclorodiamminodifenile)
--	--

Cloronaftaleni

100-44-7	Clorotoluene (cloruro di benzile)
----------	-----------------------------------

98-87-3	Diclorotoluene (cloruro di benzilidene)
---------	---

95-94-3	1,2,4,5-Tetraclorobenzene
---------	---------------------------



67-72-1	Esacloroetano
	PCB
	PCB 28
	PCB 52
	PCB 101
	PCB 118
	PCB 126
	PCB 138
	PCB 153
	PCB 156
	PCB 180
	Clorotoluidine
615-65-6	2-Cloro-para-toluidina
95-74-9	2-Cloro-4-amminotoluene
	Cloroamminotolueni
126-99-8	2-Cloro-1,3-butadiene
76-13-1	1,1,2-Triclorotrifluoroetano
126-73-8	Tributilfosfato
109-89-7	Dietilammina
124-40-3	Dimetilammina
	2,3,7,8TCDD TEQ
106-98-8	Epicloridrina

In ogni caso l'applicazione degli standard riportati in **Tabella 28** non dovrà comportare un peggioramento anche solo temporaneo dei corpi idrici; le regioni e le altre autorità locali dovranno provvedere affinché la concentrazione delle sostanze pericolose ed in particolare quelle definite "prioritarie" vengano ulteriormente ridotte ove le **Migliori Tecniche Disponibili (MTD)** lo consentano, e che tali concentrazioni diventino oggetto di misura che tendano ad arrestarne o ad eliminarne gradualmente le emissioni, gli scarichi e le perdite entro il 15 Dicembre 2021.

Qualora non sia possibile raggiungere i valori fissati in **Tabella 28** con le **MTD**, l'autorità dovrà indicare i valori di concentrazione residui che le misure adottate consentono di raggiungere. Detti valori dovranno essere sottoposti dall'autorità competente a successiva valutazione e convalidati a seguito di una specifica analisi di rischio sanitario e ambientale.

Il ritrovamento degli inquinanti riportati in **Tabella 29**, la cui presenza non derivi da cause naturali, sarà segnalato dalle regioni al Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio, il quale provvederà alla predisposizione di un decreto che determinerà i limiti di concentrazione da rispettare nelle more della determinazione dei medesimi da parte dei competenti organi comunitari. Nel relativo piano di tutela dovranno, pertanto, essere individuate le misure che in base alle **MTD** consentano di prevenire un

ulteriore deterioramento e a conseguire progressivamente concentrazioni che, a seguito di una specifica analisi di rischio, risultino cautelative per la salute umana.

Inoltre nell'Allegato 2 del DLgs. 152 del 2006 stabilisce i criteri vengono riportati i criteri per la classificazione della acque superficiali utilizzate o destinate ad essere utilizzate per la produzione di acqua potabile dopo i trattamenti.

Per quanto riguarda la composizione chimico-fisica, le acque superficiali vengono classificate in base ai criteri riportati in **Tabella 30**.

Tabella 30: Caratteristiche di qualità per acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile

Parametro	Unità di Misura	A1		A2		A3	
		G	I	G	I	G	I
pH	Unità pH	6.5-8.5	-	5.5-9	-	5.5-9	-
Colore (dopo semplice filtrazione)	mg/L scala pt	10	20 (o)	50	100 (o)	50	200 (o)
Totale materie in sospensione	mg/L MES	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	25 (o)	22	25 (o)	22	25 (o)
Conduttività	µS/cm a 20 °	1000	-	1000	-	1000	-
Odore	Fattore di diluizione a 25 °C	3	-	10	-	20	-
Nitrati*	mg/L NO ₃	25	50 (o)	-	50 (o)	-	50 (o)
Fluoruri [1]	mg/L F	0.7/1	1.5	0.7/1.7	-	0.7/1.7	-
Cloro organico totale estraibile	mg/L Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro disciolto*	mg/L Fe	0.1	0.3	1	2	1	-
Manganese*	mg/L Mn	0.05	-	0.1	-	1	-
Rame	mg/L Cu	0.02	0.05 (o)	0.05	-	1	-
Zinco	mg/L Zn	0.5	2	1	5	1	5
Boro	mg/L B	1	-	1	-	1	-
Berillio	mg/L Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/L Co	-	-	-	-	-	-
Nichel	mg/L Ni	-	-	-	-	-	-
Vanadio	mg/L V	-	-	-	-	-	-
Arsenico	mg/L As	0.01	0.05	-	0.05	0.05	0.1
Cadmio	mg/L Cd	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.005
Cromo totale	mg/L Cr	-	0.05	-	0.05	-	0.05
Piombo	mg/L Pb	-	0.05	-	0.05	-	0.05
Selenio	mg/L Se	-	0.01	-	0.01	-	0.01
Mercurio	mg/L Hg	0.0005	0.001	0.0005	0.001	0.0005	0.001
Bario	mg/L Ba	-	0.1	-	1	-	1
Cianuro	mg/L CN	-	0.05	-	0.05	-	0.05
Solfati	mg/L SO ₄	150	250	150	250 (o)	150	250 (o)
Cloruri	mg/L Cl	200	-	200	-	200	-
Tensioattivi (che reagiscono col blu di metilene)	mg/L (Solfato di laurile)	0.2	-	0.2	-	0.5	-
Fosfati* (2)	mg/L di P ₂ O ₅	0.4	-	0.7	-	0.7	-
Fenoli (indice fenoli) paranitroanilina. 4-amminoantipirina)	mg/L C ₆ H ₅ OH	-	0.001	0.001	0.005	0.01	0.1
Idrocarburi disciolti o emulsionati (dopo estrazione con etere di petrolio)	mg/L	-	0.05	-	0.2	0.5	1
Idrocarburi policiclici aromatici	mg/L	-	0.0002	-	0.0002	-	0.001
Antiparassitari totale (Parathion. HCH. Dieldrine)	mg/L	-	0.001	-	0.0025	-	0.005
Domanda chimica ossigeno (COD)*	mg/L O ₂	-	-	-	-	30	-

Tasso di saturazione dell'ossigeno disciolto*	% O ₂	> 70	-	> 50	-	> 30	-
A 20°C senza nitrificazione domanda biochimica di ossigeno (BOD5)*	mg/L O ₂	< 3	-	< 5	-	< 7	-
Azoto Kjeldahl (tranne NO ₂ e NO ₃)	mg/L N	1	-	2	-	3	-
Ammoniaca	mg/L NH ₄	0.05	-	1	1.5	2	4 (o)
Sostanze estraibili al cloroformio	mg/L SEC	0.1	-	0.2	-	0.5	-
Carbonio organico totale	mg/L C	-	-	-	-	-	-
Carbonio Organico residuo (dopo flocculazione e filtrazione su membrana da 5µ) TOC	mg/L C	-	-	-	-	-	-

Legenda:

Categoria A1 – Trattamento fisico semplice e disinfezione;

Categoria A2 – Trattamento fisico e chimico normale e disinfezione;

Categoria A3 – Trattamento fisico e chimico spinto. affinazione e disinfezione;

I = Imperativo;

G = Guida;

(o) e * = Sono possibili deroghe in conformità con il DLgs. 152 del 2006

Note:

[1] = I valori indicati costituiscono i limiti superiori determinati in base alla temperatura media annua (alta e bassa temperatura);

[2] = Tale parametro è inserito per soddisfare le esigenze ecologiche di taluni ambienti.



Parte 3 – Risultati delle Indagini Sperimentali



Indagini Sperimentali condotte nel Primo Semestre (Primavera 2012 – Estate 2012) Secondo Semestre (Autunno 2012 – Inverno 2013) del Terzo Anno (Primavera 2012 – Inverno 2013)

Come da programma, in questo anno erano previste indagini sperimentali riguardanti il BIOMONITORAGGIO, ovvero un'approfondimento degli effetti tossicologici di danno riscontrabili nei campioni di acque, suolo ed aria.

Per quanto riguarda il comparto acque, è stato per questo necessario effettuare nuovi prelievi di campioni ambientali, in particolare di acque dei corsi superficiali precisamente, nell'inverno 2013 sono stati effettuati campionamenti di acque per un periodo di una giornata consecutiva, in modo da rendere maggiormente rappresentativi i campioni di acque prelevati; anche per quanto riguarda il comparto aria si è deciso di effettuare nuovi prelievi di campioni di particolato aerodisperso, e microinquinanti Organici ed Inorganici a Parona in zona industriale e zona residenziale. Da evidenziare che rimangono comunque da considerare campioni di screening.

Per quanto riguarda il comparto suoli, sono stati utilizzati i campioni medi che sono stati conservati appositamente.

Riportiamo ora le concentrazioni degli inquinanti prioritari che sono presenti nei campioni sui quali è stata svolta la ricerca tossicologica.

Qualità delle Acque Superficiali

Per i fiumi sono definiti dei parametri che definiscono lo stato chimico delle acque superficiali, per definire i criteri di qualità delle acque superficiali. Lo stato chimico è definito in base alla media aritmetica annuale delle concentrazioni di sostanze pericolose nelle acque superficiali. Ai fini della prima classificazione, la valutazione dello stato chimico dei corpi idrici superficiali è effettuata in base ai valori soglia riportati in Tabella 1/A dell'Allegato 1 del Dlgs. 152 del 2006. Le autorità competenti possono altresì effettuare il rilevamento di parametri aggiuntivi relativi ad inquinanti elencati in Tabella 1/B dell'Allegato 1 del Dlgs. 152 del 2006, individuati in funzione delle informazioni delle analisi di impatto della attività antropica, come definito nell'Allegato 3 e al piano di tutela come, definito nell'Allegato 4 del medesimo decreto. Inoltre nell'Allegato 2 del Dlgs 152 del 2006 in Tabella 1/A vengono riportati i criteri per la classificazione della acque superficiali utilizzate o destinate ad essere utilizzate per la produzione di acqua potabile dopo i trattamenti.

Le concentrazioni di **Metalli**, **Pesticidi** e **Sostanze Anioniche** nei campioni di acque superficiali sono di seguito riassunte in **Tabella 31**.



Tabella 31: Confronto dei risultati ottenuti per, Metalli, Pesticidi e Sostanze Anioniche con i valori dei parametri di base e con i parametri che identificano le caratteristiche di qualità delle acque superficiali per la produzione di acque potabili, stabiliti dal DLgs 152 del 2006.

Inquinante	Unità di Misura	Standard di Qualità DLgs. 152 del 2006	Caratteristiche di Qualità delle Acque Superficiali per la produzione di Acque Potabili												ERBOGNONE
			A1			A2			A3			CAVOPLEZZA	AGOGNA	TERDOPPIO	
			G	I	G	I	G	I	G	I					
As	µg/L	10	10	50	-	50	100	100	1.05	1.54	1.16	1.38	1.38	1.38	<0.002
Cd	µg/L	1	1	5	1	5	1	5	0.02	0.02	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cr	µg/L	50	-	50	-	50	-	50	0.42	1.41	0.67	0.56	0.56	0.56	0.56
Hg	µg/L	1	5	1	5	1	5	1	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09	<0.09
Ni	µg/L	20	-	-	-	-	-	-	1.79	2.67	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55
Pb	µg/L	10	-	50	-	50	-	50	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Zn	µg/L	500	2000	1000	1000	5000	5000	5000	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Sb	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Co	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.25	0.28	0.15	0.15	0.15	0.15
V	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Mn	µg/L	-	50	-	100	-	1000	-	105.3	212.5	77.9	372.1	372.1	372.1	372.1
Cu	µg/L	-	20	50	50	-	1000	-	5.03	4.12	4.57	4.36	4.36	4.36	4.36
Sn	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	µg/L	-	-	10	-	10	-	10	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Atrazina	ng/L	100	-	-	-	-	-	-	5.33	6.03	4.28	12.60	12.60	12.60	12.60
Atrazina-desetil	ng/L	-	-	-	-	-	-	-	1.84	3.56	2.80	3.11	3.11	3.11	3.11
Atrazina-desisopropil	ng/L	-	-	-	-	-	-	-	6.07	4.10	3.54	5.57	5.57	5.57	5.57
Terbutilazina	ng/L	-	-	-	-	-	-	-	7.13	13.99	7.53	14.07	14.07	14.07	14.07
Terbutilazina-desetil	ng/L	-	-	-	-	-	-	-	15.32	9.44	14.34	8.41	8.41	8.41	8.41
Simazina	ng/L	100	-	-	-	-	-	-	11.53	7.13	3.59	14.38	14.38	14.38	14.38
F ⁻	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.08	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02
Cl ⁻	mg/L	-	200	-	200	-	200	-	11.56	21.60	10.58	27.69	27.69	27.69	27.69
NO ₂ ⁻	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Br ⁻	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
NO ₃ ⁻	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	5.53	6.33	6.39	4.95	4.95	4.95	4.95
SO ₄ ⁻	mg/L	-	150	250	150	250 (o)	150	250 (o)	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Ammoniaca	mg/L	-	0.05	-	1	1.5	2	4 (o)	-	-	-	-	-	-	-



Per quanto attiene i **Metalli** i valori riscontrati sono tutti inferiori a quanto previsto dal Dlgs 152 del 2006 per i parametri di base da monitorare nelle acque superficiali. Le analisi hanno riscontrato inoltre la presenza di Rame, per il quale il Dlgs 152 del 2006 non fissa dei valori di concentrazione, ma rientra nella lista dei parametri aggiuntivi da monitorare nelle acque superficiali. Inoltre confrontando le concentrazioni di Metalli riscontrate nelle Acque superficiali con i parametri previsti per soddisfare le caratteristiche di qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile, è possibile assegnare ai corsi d'acqua indagati la categoria A1, per la quale è prevista un trattamento fisico e disinfezione delle acque. L'unica eccezione è rappresentata dal Manganese le cui concentrazioni permettono di assegnare ai corsi d'acqua indagati la categoria A2, per la quale è prevista un trattamento fisico, chimico e disinfezione se utilizzata per la produzione di acqua potabile.

Per le Sostanze Anioniche Dlgs 152 del 2006 fissa dei valori di concentrazione per **Cloruri e Solfati** col fine di definire le caratteristiche di qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile. Le determinazioni analitiche hanno evidenziato concentrazioni che soddisfano le caratteristiche di qualità delle acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile, è possibile assegnare ai corsi d'acqua indagati la categoria A1, per la quale è prevista un trattamento fisico e disinfezione delle acque.

Per quanto attiene i **Pesticidi** degli analiti riscontrati il Dlgs 152 del 2006 fissa un valore di standard per la qualità delle acque superficiali di 0.1 µg/L (100 ng/L) per l'Atrazina e la Simazina. Nel caso dell'atrazina le concentrazioni riscontrate sono risultate essere da 8 a 23 volte inferiori al valore limite, mentre per quanto riguarda la simazina le concentrazioni determinate nei campioni prelevati sono risultate essere da 7 a 28 volte inferiori al valore limite imposto dal Dlgs 152 del 2006 .

Va tuttavia precisato che valori riportati dal Dlgs 152 del 2006 sono applicabili ai corsi d'acqua significativi, ovvero tutti i corsi d'acqua naturali di primo ordine (cioè quelli recapitati direttamente in mare il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 200 km² e tutti i corsi naturali di secondo ordine o superiore il cui bacino imbrifero abbia una superficie maggiore di 400 km². Inoltre va precisato che lo stato chimico dei fiumi è definito in base alla media aritmetica annuale delle concentrazioni di sostanze pericolose e su un più ampio spettro di inquinanti, quindi i risultati riportati rappresentano solo un primo screening della qualità delle acque superficiali della Lomellina.

Qualità dell'Aria

Si è proceduto alla valutazione (in periodo climatologico "freddo" e "caldo") della qualità dell'aria, in sette comuni con tecniche sperimentali attive, rispettivamente Parona, Mortara, Robbio, Mede,



S.Nazzaro dei Burgundi, Ferrera Erbognone e Albonese, eseguendo le indagini sperimentali in punti anche contemporaneamente in un sito a destinazione d'uso civile ed uno a destinazione d'uso industriale. Il monitoraggio di qualità dell'aria ha coinvolto anche gli altri comuni, dove sono state adottate tecniche sperimentali passive. Le dettagliate risultanze analitiche ed osservazioni sono riportate nelle precedenti relazioni Di seguito viene fornito un quadro riassuntivo di quanto determinato.

Le concentrazioni di **Biossido di Azoto**, **Biossido di Zolfo**, **Benzene** e **Piombo** determinate durante le indagini sperimentali sono state confrontate con i valori limite riportati nel D.L. 155 del 2010 e sono riassunti in **Tabella 32**.

Il **Biossido di Azoto** è stato determinato con una concentrazione media di $21.3 \pm 11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore circa la metà del valore limite annuo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il **Biossido di Zolfo** è stato determinato con una concentrazione media di $1.4 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore centinaia di volte inferiori al valore limite annuo di $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il **Benzene** è stato determinato con una concentrazione media di $0.85 \pm 0.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valore circa 5 volte inferiore al valore limite annuo di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Per il **Piombo** le determinazioni analitiche hanno mostrato una concentrazione media nell'aria di $0.00004 \pm 0.00003 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ovvero migliaia di volte inferiore al valore limite annuo di $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

In **Tabella 33** sono riassunti i risultati ottenuti per Ozono, Arsenico, Cadmio, Nichel, e Benzo(a)pirene, confrontati con i valori obiettivo riportati nel D.L. 155 del 2010.

Nello specifico i valori obiettivo fissati dal D.L. 155 del 2010 sono: $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media sulle 8 ore) da non superare per più di 25 volte in un anno per l'**Ozono**, $6 \text{ ng}/\text{m}^3$ per l'**Arsenico**, $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ per il **Cadmio** e per il $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ **Nichel**. Le concentrazioni determinate per i metalli sono tutte in linea con questi valori obiettivo. L'**Arsenico** presenta una concentrazione media di $1.5 \pm 0.6 \text{ ng}/\text{m}^3$, il **Cadmio** presenta una concentrazione media di $0.3 \pm 0.1 \text{ ng}/\text{m}^3$ e il **Nichel** una concentrazione media di $2.8 \pm 1.3 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Il valore obiettivo per il **Benzo(a)pirene** sancito dal D.L. 155 del 2010 è pari a $1 \text{ ng}/\text{m}^3$, le determinazioni analitiche hanno verificato quantità in aria di questo inquinante in linea con tale valore obiettivo, mostrando una concentrazione media nell'area indagata pari a $0.8 \pm 1.0 \text{ ng}/\text{m}^3$.



Tabella 32: Confronto dei risultati ottenuti (concentrazioni medie) con i valori limite imposti dal D.L. 155 del 2010.

Inquinante	Tipo di Limite	Periodo di mediazione	Limite	Area SE	Area SW	Area NE	Area NW	Media
CO	VL	media max giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	-	-	-	-	-
NO ₂	VL	anno civile	40 µg/m ³	20.0	23.2	24.7	17.1	21.3 ± 11.1
		Orario (non più di 18 volte per anno civile)	200 µg/m ³					
NO _x	VL per la protezione della vegetazione	anno civile	30 µg/m ³	-	-	-	-	-
		anno civile	40 µg/m ³					
PM ₁₀	VL	giornaliero (non più di 35 volte per anno civile)	50 µg/m ³	-	-	-	-	-
		giornaliero (non più di 3 volte per anno civile)	125 µg/m ³					
SO ₂	VL	Orario (non più di 24 volte per anno civile)	350 µg/m ³	2.0	1.7	1.0	1.2	1.4 ± 1.5
		giornaliero	20 µg/m ³					
PM _{2,5}	VL	anno civile (al 2010)	29 µg/m ³	-	-	-	-	-
		anno civile (al 2015)	25 µg/m ³					
Benzene	Valori limite	anno civile	5 µg/m ³	0.76	0.76	1.33	0.56	0.85 ± 0.98
		anno civile	0.5 µg/m ³					
Pb	VL	anno civile	0.5 µg/m ³	0.00002	0.00002	0.00007	0.00002	0.00004 ± 0.00003

Tabella 33: Confronto dei risultati ottenuti (concentrazioni medie) con i valori obiettivo imposti dal D.L. 155 del 2010.

Inquinante	Periodo di mediazione	Limite	Area SE	Area SW	Area NE	Area NW	Media
O ₃	Media su 8 ore massima	120 µg/m ³	41.6	42.2	37.7	42.7	41.1 ± 43.9
	(non più di 25 volte all'anno per l'anno civile come media dei 3 anni)	18000 µg/m ³ h					
Benzo(a)pirene	Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio (al 2015)	1.0 ng/m ³	1.4	0.6	0.7	1.2	0.8 ± 1.0
	anno civile	6.0 ng/m ³					
As	anno civile	5.0 ng/m ³	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3 ± 0.1
Cd	anno civile	20 ng/m ³	3.2	1.4	3.6	2.6	2.8 ± 1.3



Tabella 34: Confronto dei risultati ottenuti (concentrazioni medie) con i valori di riferimento.

Inquinante	Valore di Riferimento	Area SE	Area SW	Area NE	Area NW	Media
PCDD/Fs	Area Remota					
	Area Rurale					
	Area Urbana/Industriale	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02 ± 0.02
	BackGround Area Urbana	0.12±0.094 pg/m ³				
	BackGround Area Rurale	0.013 pg/m ³				
PCB	Area Rurale					
	Area Urbana/Industriale	0.01-0.05 pg/m ³				
	BackGround Area Rurale	0.00071 pg/m ³	0.003	0.003	0.003	0.003 ± 0.003
	BackGround Area Urbana	0.0009pg/m ³				
	BackGround	18-55 pg/m ³				
Esaclorobenzene	U.S. EPA	81.0	55.7	78.5	61.1	70.3 ± 16.2
	BackGround					
Mercurio	Area Rurale / Urbana	0.03	0.03	0.01	0.04	0.02 ± 0.02
	BackGround	< 2 ng/m ³				
	Area Rurale / Urbana	2-10 / 10-40 ng/m ³				



Per quanto riguarda invece **Diossine (PCDD), Furani (PCDF), PoliCloroBifenili (PCB), Esaclorobenzene (HCB) e Mercurio** non esistono dei valori limite o obiettivo. I risultati ottenuti sono riassunti in **Tabella 34** e confrontati con i valori di riferimento trovati in letteratura e/o ottenuti da studi precedentemente condotti.

La concentrazione media in aria di **diossine e furani** si attesta intorno ai 0.02 ± 0.02 pg/m³, i valori ottenuti sono all'interno del range di concentrazioni tipiche per le aree rurali (0.02-0.05 pg/m³).

Per i **PCB** la concentrazione media in aria si attesta intorno ai 0.003 ± 0.003 pg/m³, valore all'interno del range di concentrazioni riscontrato in diverse aree rurali.

La concentrazione media in aria di **Esaclorobenzene (HCB)**, risulta essere pari a 70.3 ± 16.2 pg/m³, tale valore risulta superiore al range di valori di background (18-55pg/m³).

Per il **Mercurio** la concentrazione media in aria (nel PTS) si attesta intorno ai 0.02 ± 0.02 ng/m³, quantità inferiore al valore di 2 ng/m³, valore indicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità come valore di background nelle linee guida per la qualità dell'aria; è però da notare che è solamente la parte di Mercurio "Non Volatile" in quanto conglobato nel particolato atmosferico (PTS).

Ricordiamo che i monitoraggi sperimentali effettuati sono limitati nel tempo e non possono essere considerati perfettamente rappresentativi ai sensi delle normative vigenti per un confronto diretto con i valori limite di riferimento. Si assume che quanto riscontrato, con un criterio di casualità, possa essere il valore tipico dell'area in esame e quindi vengono confrontati con i valori medi di riferimento.

Qualità dei Suoli Superficiali

Le concentrazioni di **Microinquinanti Organici e Metalli**, determinate nei suoli durante il periodo di indagine sono riassunte in **Tabella 35** e confrontate con i valori di concentrazione soglia di contaminazione nel sottosuolo imposti dal DLgs. 152 del 2006 per i siti ad uso verde, pubblico, privato e residenziale e siti ad uso commerciale ed industriale.

Per quanto attiene la concentrazione media di **Microinquinanti Organici**, le determinazioni analitiche mostrano per **diossine e furani** un range di concentrazione da 3.4×10^{-7} a 1.4×10^{-6} mg/kg, ovvero 7-29 volte inferiore al valore di riferimento di 1×10^{-5} mg/kg. Per quanto riguarda i **PCB** il range di concentrazione è compreso tra **0.003** e **0.015** mg/kg, ovvero 4-21 volte inferiore al valore di riferimento, **0.06** mg/kg.



Tabella 35: Confronto dei risultati ottenuti per i Microinquinanti Organici ed Inorganici con i valori di concentrazione soglia di contaminazione nel sottosuolo (mg/kg di ss) imposti dal DLgs. 152 del 2006.

Inquinante	Area				Media	Siti ad uso Pubblico, Privato e Residenziale		Siti ad uso Commerciale e Industriale	
	SE	SW	NE	NW		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Unità di Misura	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Pirene	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.013 ± 0.004	0.022 ± 0.007	0.02 ± 0.02	5	0.02	5	50
Benzo(a)antracene	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.007 ± 0.002	0.014 ± 0.004	0.01 ± 0.01	0.5	0.01	0.5	10
Crisene	0.03 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.011 ± 0.003	0.018 ± 0.005	0.02 ± 0.01	5	0.02	5	50
Benzo(b)fluorantene	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.5	0.02	0.5	10
Benzo(k)fluorantene	0.02 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.005 ± 0.001	0.011 ± 0.003	0.01 ± 0.01	0.5	0.01	0.5	10
Benzo(a)pirene	0.04 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.014 ± 0.004	0.025 ± 0.007	0.02 ± 0.02	0.1	0.02	0.1	10
Indeno(1,2,3cd)pirene	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.011 ± 0.003	0.017 ± 0.005	0.01 ± 0.01	0.1	0.01	0.1	5
Benzo(ghi)perilene	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.011 ± 0.003	0.018 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.1	0.02	0.1	10
Dibenzo(a,h)antracene	0.005 ± 0.002	0.005 ± 0.002	0.006 ± 0.002	0.008 ± 0.002	0.004 ± 0.003	0.1	0.004	0.1	10
Dibenzo(a,e)pirene	0.005 ± 0.001	0.0011 ± 0.0003	0.0004 ± 0.0001	0.0006 ± 0.0002	0.001 ± 0.002	0.1	0.001	0.1	10
Dibenzo(a,h)pirene	0.002 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	0.0003 ± 0.0001	0.0005 ± 0.0001	0.001 ± 0.001	0.1	0.001	0.1	10
Dibenzo(a,i)pirene	0.003 ± 0.001	0.001 ± 0.0002	0.0001 ± 0.00002	0.0001 ± 0.00003	0.001 ± 0.001	0.1	0.001	0.1	10
Dibenzo(a,j)pirene	0.0009 ± 0.0003	0.00016 ± 0.00005	0.00005 ± 0.00002	0.00008 ± 0.00002	0.0002 ± 0.0003	0.1	0.0002	0.1	10
ΣIPA	0.26 ± 0.08	0.32 ± 0.10	0.09 ± 0.03	0.16 ± 0.05	0.15 ± 0.11	10	0.15	10	100
Diossine (Esprese come TEQ)	3.4E-07 ± 1.0E-07	5.3E-07 ± 1.6E-07	1.4E-06 ± 4.2E-07	5.9E-07 ± 1.8E-07	5.1E-07 ± 4.4E-07	1x10 ⁻⁵	5.1E-07	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁴
PCB	0.003 ± 0.001	0.003 ± 0.001	0.015 ± 0.004	0.003 ± 0.001	0.0042 ± 0.00471	0.06	0.0042	0.06	5
Esaclorobenzene	0.00011 ± 0.00003	0.00012 ± 0.00004	0.00041 ± 0.0001	0.00010 ± 0.00003	0.0001 ± 0.0001	0.05	0.0001	0.05	5
Vanadio	55.0 ± 16.5	62.6 ± 18.8	72.3 ± 21.7	92.7 ± 27.8	48.5 ± 30.0	90	48.5	90	250
Arsenico	5.2 ± 1.6	3.7 ± 1.1	4.5 ± 1.3	6.2 ± 1.8	3.4 ± 2.0	20	3.4	20	50
Cobalto	9.5 ± 2.8	13.1 ± 3.9	18.7 ± 5.6	20.5 ± 6.2	10.6 ± 7.1	20	10.6	20	250
Cromo Totale	71.0 ± 21.3	153.6 ± 46.1	93.7 ± 28.1	121.4 ± 36.4	76.5 ± 49.3	150	76.5	150	800
Rame	8.1 ± 2.4	12.3 ± 3.7	21.9 ± 6.6	20.2 ± 6.1	10.7 ± 7.7	120	10.7	120	600
Piombo	33.2 ± 10.0	23.3 ± 7.0	48.7 ± 14.6	36.1 ± 10.8	24.7 ± 15.3	100	24.7	100	1000
Cadmio	0.2 ± 0.1	0.14 ± 0.04	0.39 ± 0.12	0.20 ± 0.06	0.2 ± 0.1	2	0.2	2	15
Nickel	26.9 ± 8.1	61.0 ± 18.3	43.7 ± 13.1	52.3 ± 15.7	31.9 ± 20.6	120	31.9	120	500
Tallio	0.2 ± 0.1	0.04 ± 0.01	0.14 ± 0.04	0.07 ± 0.02	0.1 ± 0.1	1	0.1	1	10
Mercurio	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.47 ± 0.14	0.07 ± 0.02	0.1 ± 0.2	1	0.1	1	5



L'**Esaclorobenzene** si attesta in un range di concentrazione compreso tra **0.0001** e **0.0004** mg/kg ovvero 120-499 volte inferiore al valore limite di riferimento, **0.05** mg/kg.

La concentrazione di **IPA** dedotta dalla somma di Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(ghi)perilene, Crisene, Dibenzo(a,e)pirene, Dibenzo(a,l)pirene, Dibenzo(a,i)pirene, e Dibenzo(a,h)pirene, risulta essere compresa tra **0.09** e **0.32** mg/kg ovvero 31-107 volte inferiore il valore di riferimento, **10** mg/kg.

Per gli **IPA** il DLgs. 152 del 2006 fissa dei valori limite anche per i singoli congeneri, le determinazioni analitiche evidenziano che per ciascuno di questi composti le concentrazioni trovate nei campioni di suolo sono al di sotto di tali valori.

Per quanto attiene la concentrazione di **Metalli** nei suoli le determinazioni analitiche mostrano per **Arsenico, Rame, Piombo, Cadmio, Nichel, Tallio e Mercurio** concentrazioni 1.2-24 volte inferiori ai valori di concentrazione soglia di contaminazione nel sottosuolo imposti dal DLgs. 152 del 2006 per i siti ad uso verde, pubblico, privato e residenziale.

Per i rimanenti metalli si possono trarre le seguenti considerazioni:

- il **Vanadio** nell' "Area NW" è stato riscontrata una concentrazione pari a **92.7±27.8** mg/kg, valore di poco superiore al valore limite per siti ad uso verde, pubblico, privato e residenziale di **90** mg/kg, mentre nelle rimanenti aree le concentrazioni determinate risultano essere 1.1-2.4 volte inferiori a tale valore di riferimento;
- il **Cobalto** nell' "Area NW" è stato riscontrata una concentrazione pari a **20.5±6.2** mg/kg, valore di poco superiore al valore limite per siti ad uso verde, pubblico, privato e residenziale di **20** mg/kg, mentre nelle rimanenti aree le concentrazioni determinate risultano essere 1-2 volte inferiori a tale valore di riferimento;
- **Cromo** nell' "Area SW", dove la concentrazione media riscontrata si attesta intorno ai **153.6±46.1** mg/kg, superiore al valore di riferimento per i siti ad uso verde, pubblico, privato e residenziale di **150** mg/kg. Nelle rimanenti aree il cromo si attesta con valori di concentrazione 1.2-2 volte inferiori al valore di riferimento di **150** mg/kg.

Tuttavia per questi metalli risulta in ogni caso rispettato il valore di concentrazione soglia di contaminazione nel sottosuolo imposti dal DLgs. 152 del 2006 per i siti ad uso commerciale e industriale, pari a **250** mg/kg per **Vanadio** e **Cobalto** e **800** mg/kg per il **Cromo**.



Parte 4 – Studio del potenziale rischio eco tossicologico con modelli computazionali “*in silico*”



L'utilizzo di un indice di qualità dell'aria

E' possibile servirsi anche di ulteriori strumenti per valutare la qualità dell'aria, ovvero gli indici di qualità. Il sistema degli indici è un ottimo strumento anche per comunicare con la popolazione, in modo semplice e immediato.

Tale sistema, proposto originariamente dall'Agenzia per la protezione dell'ambiente americana (E.P.A.), prende il nome di *Air Quality Index* (AQI); anche in Europa molti Stati applicano un indice paragonabile a quello americano come strumento per sensibilizzare l'opinione pubblica alla qualità dell'aria.

Di solito, per creare un indice di qualità dell'aria si procede nella maniera seguente:

- I. Si scelgono alcuni inquinanti di riferimento (solitamente quelli che hanno effetti noti a breve termine sulla salute umana, quali, ad es., PM₁₀, monossido di carbonio CO, biossido di azoto NO₂ etc.)
- II. Si crea un sottoindice per ciascun inquinante (dividendo il valore per il limite previsto dalla legislazione per la difesa della salute e moltiplicando per 100, come fattore di sicurezza. Nel caso di più limiti, si sceglie, per essere il più conservativi possibile, quello più basso).
- III. Si costruisce poi un indice sintetico unico. Questo rappresenta un punto cruciale nella definizione degli indici. Le soluzioni adottabili in questo ambito si possono ricondurre a due categorie: si sceglie come valore dell'indice sintetico il più elevato tra tutti i sottoindici calcolati oppure si calcola il valore dell'indice sintetico come media tra tutti o alcuni dei sottoindici, con eventualmente qualche correzione. La "ragionevolezza" tossicologica porterebbe a ipotizzare un effetto additivo o moltiplicativo di una miscela di diversi inquinanti. La scelta del sottoindice massimo permette l'assegnazione di un valore pari ad almeno 100 in corrispondenza del superamento del limite di legge di anche uno solo degli inquinanti, cosa che non avviene nel caso di scelte di mediazione tra i vari sottoindici. I valori di indice vengono poi raggruppati in più classi, che saranno indicatrici (magari in associazione con un determinato colore) della qualità dell'aria del sito in analisi. Il numero e la definizione delle classi di indice sono determinati da esigenze di natura comunicativa più che da motivazioni di tipo epidemiologico o tossicologico.

L'EPA è stato uno dei primi organismi internazionali ad utilizzare questo tipo di approccio, e l'indice in questione si chiama "Air Quality Index", di solito riportato come AQI. Si sviluppa



focalizzandosi in modo particolare su alcuni inquinanti, definiti “macroinquinanti”, ovvero: O₃ (orario e su 8 ore), PM_{2,5}, PM₁₀, CO e a questi valori si associa il valore corrispondente del sottoindice relativo a quell’inquinante. Il valore finale dell’indice coincide con il massimo valore del sottoindice peggiore di ogni centralina, specificando qual è l’inquinante responsabile del valore assunto dall’indice. Ad ogni livello assunto dall’AQI vengono associati dei giudizi di qualità (buona, moderata...) e dei consigli sanitari. L’indice presenta un range di valori da 1 a 500.

A partire dalla concentrazione dei macroinquinanti e dai parametri per il calcolo dell’ AQI come precedentemente descritto, si individuano per tali inquinanti 5 classi di danno così distribuite:

Tabella 36: Categorie di qualità dell’aria secondo l’AQI dell’U.S. EPA.

CATEGORIE DI QUALITÀ DELL’ARIA-AQI CATEGORIES (U.S. EPA)		
BUONA-GOOD	0	50
MODERATO-MODERATE	51	100
INSALUBRE PER I GRUPPI SENSIBILI-UNHEALTHY FOR SENSITIVE GROUPS	101	150
INSALUBRE-UNHEALTHY	151	200
MOLTO INSALUBRE-VERY UNHEALTHY	201	300
PERICOLOSO-DANGEROUS	301	500

Anche altre nazioni europee utilizzano indici specifici per la stima della qualità dell’aria, sfruttando il dato ottenuto anche per la comunicazione dello stato dell’aria alla popolazione. Di solito o fanno riferimento ai limiti di legge in vigore nel paese, oppure si rifanno ai limiti dell’EPA. Esempi di questi indici sono l’indice ATMO in Francia e l’indice API della Gran Bretagna.

Come descritto, quindi, è possibile fare uso di diverse tipologie di indici, ciascuno dei quali, tuttavia, dà come output un numero, adimensionale, che, all’interno di una scala di riferimento, dà la stima di quanto l’aria è salubre o meno: a seconda di come si procede nel costruire e nel valutare un indice (ovvero a seconda di quali parametri di riferimento si utilizzino, di come si stimino i sottoindici, e poi di come si scelga il valore definitivo di definizione e di come si costruisca infine una scala di riferimento) si possono ottenere giudizi variabili, che sono correlati a una “valutazione” della qualità dell’aria.

Occorre precisare quanto segue:

- laddove i valori delle analisi dell’inquinante siano risultati inferiori ai limiti di rilevabilità (L.O.D.) dello strumento, si è convenzionalmente considerata la presenza di una concentrazione pari alla metà dello stesso L.O.D., e si è incluso tale valore nel pool utilizzato per la media;

- In alcune postazioni non è stata effettuata la misurazione di tutti i macroinquinanti, e tale mancanza rende incompleta l'analisi del rischio. Per sopperire a tale mancanza si è ragionevolmente assunto di poter utilizzare invece del dato mancante i valori di concentrazioni delle stazioni di rilevamento ARPA, ed i dati sperimentali rilevati a Parona e Mortara, in questo modo abbiamo ottenuto un unico valore, che si assume valido mediamente per tutta la Lomellina.

Il risultato ottenuto col confronto con i limiti suggeriti dall'EPA (NAAQs) è il seguente:

Tabella 37: Risultati per la qualità dell'aria relativamente alla tossicità umana ottenuti dal confronto con i limiti suggeriti dall'EPA (NAAQs).

EPA	NO _x	SO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Lomellina	21.3	1.8	8.5	27.9	23.0	171.6

Non ci si è limitati solo alla valutazione della qualità dell'aria rispetto alla salute umana, ma si è messa a punto anche l'analisi del rischio per l'ecosistema. Per i macroinquinanti si procede allo stesso modo.

Il calcolo degli AQI sull'ecosistema, sempre raffrontando i limiti EPA (USA) si presenta come segue:

Tabella 38: Risultati per la qualità dell'aria relativamente alla tossicità per l'ecosistema ottenuti dal confronto con i limiti suggeriti dall'EPA (NAAQs).

EPA	NO _x	SO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Lomellina	21.3	0.1	8.5	27.9	23.0	171.6

In questa maniera la qualità dell'aria per la salute umana e per l'ecosistema risulta essere insalubre a causa del PM_{2.5}.

L'utilizzo dell'analisi di rischio

Per quanto riguarda i limiti tossicologici, è necessario fare dei distinguo fra la valutazione **di rischio per la salute umana e per l'ecosistema**.

Nella valutazione del **rischio per la salute umana** si valutano sia il potenziale tossico "a breve termine" (effetto acuto) sia il potenziale tossico a "lungo termine" (effetto cronico) compresa la probabilità di sviluppare un tumore utilizzando per la loro computazione le linee guida proposte dall'Istituto Superiore di Sanità, l'ISPRa o l'U.S. EPA (Environmental Protection Agency).

Il potenziale tossico a breve termine viene ottenuto attraverso l'Hazard Index (HQ) ottenuto dal rapporto tra la Chronic Daily Intake (CDI) e la Reference Dose (RfD), mentre il potenziale tossico a lungo termine, Cancer Risk (CR), è dato dal prodotto tra la CDI e lo Slope Factor (SF).

La CDI rappresenta la dose cronica giornaliera di esposizione ed è correlata alla concentrazione dell'inquinante e alle diverse vie di esposizione, la RfD, che rappresenta la dose giornaliera di esposizione alla quale si può essere esposti senza effetti tossici e lo SF rappresenta un fattore di probabilità di incremento di tumori.

La valutazione del rischio per l'ecosistema, Qualità Ecologica (EQ), viene ottenuta dal semplice rapporto di due fattori, detti PEC (=predicted environmental concentration, la concentrazione stimata o misurata di contaminante nel comparto ambientale in esame) e PNEC (=predicted no effect concentration, ovvero la concentrazione più bassa della sostanza in esame a cui non si verificano effetti tossici). Le PNEC sono elaborate per tre livelli trofici di base (produttori, consumatori primari e secondari per ogni matrice abiotica) e derivano dai database internazionali, dalla letteratura scientifica oppure possono essere predetti con gli opportuni modelli QSAR (Quantitative Structure Activity Relationship). *Si sceglie una sola PNEC per sostanza valutando quale sia il target più sensibile: questa è una scelta volta a garantire il più alto livello di protezione possibile, perché tutelando la specie più sensibile è più probabile tutelare l'intero sistema.*

Per gli effetti acuti (short term) si otterrà il superamento della soglia di rischio se l'HQ e l'EQ sono >1 sia per le singole sostanze che per la miscela (che viene valutata come sommatoria); mentre per gli effetti cronici (long term) si otterrà il superamento della soglia di rischio se $CR > 10^{-6}$ per le singole sostanze, e $CR > 10^{-5}$ per le miscele (per tenere conto degli effetti cumulativi).

I risultati ottenuti dall'analisi di rischio relativi ai dati di qualità dei suoli superficiali, delle acque superficiali e dell'aria ottenuti nel corso delle indagini sperimentali condotte nella Lomellina sono riassunti di seguito da **Tabella 39**.



Tabella 39: Riepilogo dei risultati dell'analisi di Rischio per gli effetti a breve lungo termine sulla tossicità umana e sull'ecosistema ricavati dai dati di qualità dei suoli superficiali e di qualità dell'aria della Lomellina.

Suoli Superficiali	HQ				CR				EQ ECO		
	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni	Ragazzi 12-19 anni	Adulti	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni		Ragazzi 12-19 anni	Adulti
Arsenico	6.1E-02	8.1E-02	3.2E-02	2.5E-02	2.4E-02	2.0E-07	1.8E-06	1.2E-06	1.1E-06	3.7E-06	1.9E-01
Cadmio	1.3E-03	1.5E-03	2.1E-04	1.2E-04	1.1E-04	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	4.4E-01
Cromo totale	8.6E-01	2.8E-04	6.8E-05	4.9E-05	4.5E-05	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	2.9E+00
Mercurio	1.3E-03	2.1E-03	5.1E-04	3.7E-04	3.4E-04	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	5.7E-03
Nichel	3.6E-01	8.8E-03	2.1E-03	1.5E-03	1.4E-03	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	8.4E-01
Piombo	2.8E-01	3.9E-02	9.4E-03	6.8E-03	6.3E-03	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	2.2E+00
IPA (BaP EPA eq)	2.6E-03	2.6E-07	1.7E-07	1.4E-07	1.3E-07	4.0E-08	2.8E-07	3.1E-07	3.1E-07	1.0E-06	2.7E-04
Diossine (TCDD eq)	9.2E-09	1.8E-03	7.2E-04	5.7E-04	5.4E-04	3.0E-09	1.8E-08	1.8E-08	1.7E-08	5.5E-08	4.2E-02
PCB (TCDD eq)	4.7E-09	9.5E-04	3.7E-04	2.9E-04	2.8E-04	1.5E-09	1.4E-08	9.5E-09	8.8E-09	2.8E-08	2.2E-02
EsaCloroBenzene	5.6E-06	2.2E-06	1.3E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.9E-11	1.4E-10	1.5E-10	1.4E-10	4.7E-10	3.2E-06
Rischio Cumulativo	1.57	0.14	0.05	0.03	0.03	2.4E-07	2.2E-06	1.6E-06	1.5E-06	4.8E-06	6.72
Aria											
Inquinante	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni	Ragazzi 12-19 anni	Adulti	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni	Ragazzi 12-19 anni	Adulti	EQ ECO
Arsenico	1.2E-03	2.7E-03	2.1E-03	1.3E-03	1.1E-03	3.9E-08	6.0E-07	8.1E-07	5.7E-07	1.6E-06	7.5E-05
Cadmio	1.4E-03	3.0E-03	2.4E-03	1.4E-03	1.2E-03	3.5E-09	5.4E-08	7.3E-08	5.1E-08	1.5E-07	1.3E-05
Cromo totale	3.6E-06	8.0E-06	6.2E-06	3.7E-06	3.2E-06	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	7.6E-04
Mercurio	6.5E-05	1.4E-04	1.1E-04	6.7E-05	5.7E-05	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	1.5E-09
Nichel	3.5E-05	7.7E-05	6.0E-05	3.6E-05	3.0E-05	4.2E-09	6.4E-08	8.6E-08	6.1E-08	1.8E-07	5.7E-06
Piombo	2.7E-07	6.0E-07	4.7E-07	2.8E-07	2.4E-07	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	2.0E-09
Benzene	2.4E-02	5.4E-02	4.2E-02	2.5E-02	2.1E-02	4.1E-08	6.3E-07	8.4E-07	5.9E-07	1.7E-06	2.7E-05
IPA (BaP EPA eq)	6.3E-08	1.4E-07	1.1E-07	6.5E-08	5.5E-08	1.0E-08	1.6E-07	2.1E-07	1.5E-07	4.3E-07	2.9E-04
Diossine (TCDD eq)	9.9E-04	2.2E-03	1.7E-03	1.0E-03	8.6E-04	4.3E-09	6.7E-08	8.9E-08	6.2E-08	1.8E-07	5.3E-04
PCB (TCDD eq)	1.3E-04	2.8E-04	2.2E-04	1.3E-04	1.1E-04	5.6E-10	8.7E-09	1.2E-08	8.1E-09	2.4E-08	6.9E-05
EsaCloroBenzene	2.2E-05	4.7E-05	3.7E-05	2.2E-05	1.9E-05	2.0E-10	3.0E-09	4.1E-09	2.9E-09	8.3E-09	4.4E-08
Rischio Cumulativo	0.03	0.06	0.05	0.03	0.02	1.0E-07	1.6E-06	2.1E-06	1.5E-06	4.3E-06	1.8E-03
Acque Superficiali											
Inquinante	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni	Ragazzi 12-19 anni	Adulti	Neonati 0-6 mesi	Bambini 6 mesi-4 anni	Bambini 4-11 anni	Ragazzi 12-19 anni	Adulti	EQ ECO
Arsenico	1.08E-01	1.07E-01	7.16E-02	4.93E-02	6.25E-02	3.5E-07	2.4E-06	2.8E-06	2.2E-06	9.6E-06	1.84
Cadmio	1.05E-03	1.04E-03	6.95E-04	4.79E-04	6.07E-04	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	0.02
Cromo totale	3.50E-05	3.48E-05	2.33E-05	1.60E-05	2.03E-05	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	0.44
Mercurio	6.47E-03	6.43E-03	4.30E-03	2.96E-03	3.75E-03	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	0.16
Nichel	2.45E-03	2.44E-03	1.63E-03	1.12E-03	1.42E-03	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	0.03
Piombo	4.30E-03	4.27E-03	2.86E-03	1.97E-03	2.49E-03	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	NON CANC.	0.41
Atrazina	4.16E-06	4.13E-06	2.76E-06	1.90E-06	2.41E-06	2.3E-10	1.6E-09	1.8E-09	1.5E-09	6.4E-09	0.52
Rischio Cumulativo	0.12	0.12	0.08	0.06	0.07	3.5E-07	2.4E-06	2.8E-06	2.2E-06	9.6E-06	3.42

Per quanto attiene la **qualità dei suoli superficiali** dall'analisi di rischio condotta si può osservare che:

- si evidenzia un rischio potenziale ($EQ > 1$) a seguito di una esposizione a breve termine per l'ecosistema analizzando gli effetti di Cromo e Piombo;
- si evidenzia inoltre un rischio potenziale della miscela delle singole sostanze, con conseguenti effetti acuti a seguito di una esposizione a breve termine sia per la tossicità umana sia per l'ecosistema ($HQ > 1$, $EQ > 1$);
- si evidenzia un rischio potenziale ($CR > 10^{-6}$) per gli effetti cancerogeni a seguito di una esposizione a lungo termine (effetto cronico) all'arsenico per bambini, ragazzi ed adulti;
- non si osserva nessun rischio potenziale ($CR < 10^{-5}$) analizzando gli effetti della miscela di inquinanti.

Per quanto attiene la **qualità dell'aria** dall'analisi di rischio si possono trarre le seguenti conclusioni:

- non si evidenzia nessun rischio potenziale con conseguenti effetti acuti sulla salute a seguito di una esposizione a breve termine sia per la tossicità umana che per l'ecosistema ($HQ < 1$, $EQ < 1$), analizzando gli effetti dei singoli composti della miscela che vanno a comporre;
- si evidenzia un rischio potenziale ($CR > 10^{-6}$) per gli effetti cancerogeni a seguito di una esposizione a lungo termine per il benzene e l'arsenico negli adulti;
- non si osserva nessun rischio potenziale ($CR < 10^{-5}$) analizzando gli effetti della miscela di inquinanti.

Per quanto attiene la **qualità delle acque superficiali** si possono trarre le seguenti conclusioni:

- non si evidenzia nessun rischio potenziale con conseguenti effetti acuti sulla salute a seguito di una esposizione a breve termine sia per la tossicità umana ($HQ < 1$), analizzando gli effetti dei singoli composti della miscela che vanno a comporre;
- si evidenzia un rischio potenziale ($EQ > 1$) per gli effetti acuti a seguito di una esposizione a breve termine per l'ecosistema analizzando gli effetti dell'arsenico;
- si evidenzia inoltre un rischio potenziale con conseguenti effetti acuti a seguito di una esposizione a breve termine sia per l'ecosistema ($EQ > 1$), analizzando gli effetti della miscela di inquinanti;
- si evidenzia un rischio potenziale ($CR > 10^{-6}$) per gli effetti cancerogeni a seguito di una esposizione a lungo termine all'arsenico per bambini, ragazzi ed adulti;
- non si osserva nessun rischio potenziale ($CR < 10^{-5}$) analizzando gli effetti della miscela di inquinanti.



Il nostro approccio metodologico

La valutazione della qualità ambientale è finora stata valutata in base a :

- Confronto primario diretto delle concentrazioni degli inquinanti determinate in aria con i valori limite, obiettivo del Dlgs. 155 del 2010 e valori di riferimento ricavati dalla letteratura scientifica nazionale ed internazionale;
- Confronto primario diretto delle concentrazioni degli inquinanti determinate nei suoli e nelle acque superficiali con i valori limite del Dlgs. 152 del 2006;
- L'indice AQI, per determinare la qualità dell'aria, sviluppato dell'EPA per i macro inquinanti (NO_x; SO_x; O₃; CO; PM₁₀; PM_{2.5});
- L'analisi di rischio per valutare i potenziali effetti nocivi sull'uomo e sull'ecosistema dei microinquinanti (As, Cd, Pb, Cr, Ni, Hg, IPA espressi come B(a)P equivalenti; Benzene, Atrazina, PCDD+PCDF+PCB espressi come TEQ; Esaclorobenzene).

Ognuno di questi approcci, a nostro giudizio, fornisce una valutazione della qualità ambientale basata su informazioni parziali, rispetto all'effettiva esposizione dei recettori alle sostanze inquinanti.

Abbiamo quindi sviluppato un nuovo approccio, con l'obiettivo di effettuare una valutazione più completa della salubrità ambientale che si traduce nello sviluppo dei seguenti indici di qualità:

- **indice di qualità dell'aria esteso**, che integra in modo pesato le informazioni derivanti dall'AQI e dall'analisi di rischio cumulativa, per valutare prioritariamente gli effetti cumulativi acuti e cronici della miscela di inquinanti presi in considerazione.
- **indice di qualità dei suoli esteso** che integra in modo pesato le informazioni derivanti dall'analisi di rischio cumulativa condotta sui suoli superficiali, per valutare prioritariamente gli effetti cumulativi acuti e cronici della miscela di inquinanti presi in considerazione;
- **indice di qualità delle acque esteso** che integra in modo pesato le informazioni derivanti dall'analisi di rischio cumulativa condotta sulle acque superficiali, per valutare prioritariamente gli effetti cumulativi acuti e cronici della miscela di inquinanti presi in considerazione.

Ognuno di questi indici è composto da una serie di profili differenti per esposizione in modo da rendere maggiormente realistica la valutazione di rischio, tenendo conto sia della salubrità per l'uomo che per l'ambiente. Inoltre, per quanto riguarda la salute umana si è voluta approfondire l'analisi inserendo un'altra variabile: non si considera l'uomo in generale come unico recettore ma si valuta l'effetto della sostanza su più recettori, diversi per età, parametri fisiologici, attività e localizzazione.



Ciascun indice viene ricavato assegnando dei pesi ai diversi livelli di contaminazione e/o rischio e/o qualità dell'aria, suoli ed acque superficiali, secondo i criteri riportati di seguito in **Tabella 40**.

Tabella 40: Punteggio associato al rischio per la tossicità e al rischio di cancerogenesi per comparto.

HQ HUMAN ed ECO	CR	Punteggio
<0.01	$<10^{-7}$	0-1
0.01-0.1	$10^{-7}-10^{-6}$	1-4
0.1-1	$10^{-6}-10^{-5}$	4-8
1 (Soglia di rischio e qualità)	10^{-5} (Soglia di Rischio e qualità)	8
1-5	$10^{-5}-10^{-4}$	8-16
5-10	$10^{-4}-10^{-3}$	16-24
10-100	$10^{-3}-10^{-2}$	24-32
100-1000	$10^{-2}-10^{-1}$	32-64
>1000	$>10^{-1}$	64-128

Le scale così pensate sono utili per uniformare risultati altrimenti troppo diversi, come quelli calcolati con HQ e CR. Come si vede la soglia di rischio e qualità è rappresentata in ciascuna di queste scale dal valore di 8; quindi la soglia complessiva per le tre diverse componenti tossicologiche è 24.

Successivamente i valori così ottenuti vengono convertiti in una scala numerica continua, analoga a quella già adottata dall'EPA nell'AQI (**Tabella 41**) e dagli altri organismi internazionali, dove la soglia di rischio e/o valore limite di qualità è stabilito a 100.

Tabella 41: Scala di Giudizio Indice esteso di qualità (Aria, Acqua e Suoli).

Indice Esteso	Rischio Potenziale / Giudizio di Qualità
<1	Rischio Irrilevante / Q.A. Ottima
1-25	Rischio da Irrilevante a Molto Basso / Q.A. da Ottima a Buona
25-49	Rischio da Molto Basso a Basso / Q.A. da Buona a Moderata
50-99	Rischio da Basso a Moderato / Q.A. da Moderata a Insalubre per i gruppi sensibili
100-149	Rischio da Moderato ad Rilevante / Q.A. da Insalubre per i gruppi sensibili a Insalubre
150-199	Rischio da Rilevante a Alto / Q.A. da Insalubre a Molto Insalubre
200-299	Rischio da Alto a Molto Alto / Q.A. da molto Insalubre a Cattiva
300-399	Rischio da Molto Alto a Pericoloso / Q.A. da Cattiva a Molto Cattiva
> 400	Rischio Molto Pericoloso / Q.A. Pessima

Successivamente inserendo come ulteriore variabile la diversa esposizione alle matrici ambientali considerate, vengono assegnati dei pesi ai tre indici ottenuti per aria, acque e suoli superficiali, ottenendo un **indice esteso di qualità ambientale**, composto dai seguenti quattro differenti profili di esposizione:

- **Profilo 1 (Standard):** si assume che i recettori siano generalmente ugualmente esposti ai tre comparti ambientali, aria acque e suoli superficiali;
- **Profilo 2 (Riferimento):** rappresentativo della generale esposizione differenziale dei recettori ai tre comparti ambientali, aria acque e suoli superficiali;
- **Profilo 3 (Agricolo):** rappresentativo dell'esposizione differenziale dei recettori ai tre comparti ambientali, aria acque e suoli superficiali in ambiente agricolo;
- **Profilo 4 (Urbano):** rappresentativo dell'esposizione differenziale dei recettori ai tre comparti ambientali, aria acque e suoli superficiali in ambiente urbano.

I pesi applicato per ottenere questi profili sono di seguito riassunti in **Tabella 42**.

Tabella 42: Punteggio associato ai diversi profili espositivi per ottenere l'indice esteso di qualità ambientale.

Profili	Profilo 1 (Standard)	Profilo 2 (Riferimento)	Profilo 3 (Agricolo)	Profilo 4 (Urbano)
Aria	0.33	0.50	0.40	0.60
Suolo	0.33	0.35	0.45	0.30
Acqua	0.33	0.15	0.15	0.10

Applicazione degli indici di qualità estesi

Applicando “l’indice esteso di qualità dell’aria dei suoli di acque e suoli superficiali” ai risultati delle indagini sperimentali condotte nella Lomellina si ottiene la valutazione riportata in **Tabella 43-45**.

Tabella 43: Risultati dell’Indice Esteso di Qualità dell’Aria.

Recettore	Indice Esteso di Qualità dell’Aria	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	97	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Bambini 6 mesi-4 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	110	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	115	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	109 ± 7	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 44: Risultati dell’Indice Esteso di Qualità dei Suoli Superficiali.

Recettore	Indice Esteso di Qualità dei Suoli Superficiali	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	122	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	114	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	112	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	117	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	115 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 45: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità delle Acque Superficiali.

Recettore	Indice Esteso di Qualità delle Acque Superficiali	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	78	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Bambini 6 mesi-4 anni	90	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Bambini 4-11 anni	90	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Ragazzi 12-19 anni	88	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Adulti	102	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	90 ± 9	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-

Dai risultati sopra riportati si possono trarre le seguenti considerazioni:

- **l'indice esteso di qualità dell'aria** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**109 ± 7** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità dell'aria che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".
- **l'indice esteso di qualità dei suoli superficiali** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**115 ± 5** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità dei suoli che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".
- **l'indice esteso di qualità delle acque superficiali** si attesta con un valore pari a **90 ± 9**, inferiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**100**), tradotto in un giudizio per la qualità delle acque che risulta essere "Moderato", con un "Rischio Potenziale da Basso a Moderato". Tuttavia nel caso degli adulti il valore ottenuto è risultato essere superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**102** invece di **100**), tradotto in un giudizio per la qualità dei suoli che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".

Applicando "l'indice esteso di qualità ambientale" ai risultati delle indagini sperimentali condotte nella Lomellina si ottiene la valutazione riportata in **Tabella 46-49**.

Tabella 46: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 1.

Recettore	Profilo 1	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	99	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-
Bambini 6 mesi-4 anni	105	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	104	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	103	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	112	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	105 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 47: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 2.

Recettore	Profilo 2	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	103	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	109	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	108	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	107	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	114	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	108 ± 4	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 48: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 3.

Recettore	Profilo 3	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	105	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	109	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	108	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	107	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	114	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	109 ± 3	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-



Tabella 49: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 4.

Recettore	Profilo 4	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	103	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	110	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	109	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	108	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	115	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	109 ± 4	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Dai risultati ottenuti si possono trarre le seguenti osservazioni:

- l'indice esteso di qualità ambientale applicato al **Profilo 1** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**105 ± 5** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità ambientale che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".
- l'indice esteso di qualità ambientale applicato al **Profilo 2** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**108 ± 4** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità ambientale che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".
- l'indice esteso di qualità ambientale applicato al **Profilo 3** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**109 ± 3** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità ambientale che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".
- l'indice esteso di qualità ambientale applicato al **Profilo 4** è superiore alla soglia di rischio e/o valore limite di qualità (**109 ± 4** invece di **100**); tradotto in un giudizio per la qualità ambientale che risulta essere "Insalubre per i Gruppi Sensibili", con un "Rischio Potenziale da Moderato a Rilevante".

Per una maggiore comprensione e un maggiore inquadramento dei risultati ottenuti, gli indici qualità, calcolati dai dati sperimentali di qualità di aria, suoli e acque superficiali ottenuti durante il periodo di indagine nel territorio della Lomellina sono di seguito confrontanti, con i valori degli indici ottenuti da indagini condotte in altre realtà territoriali presenti in Lombardia.

Tabella 50: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità dell'Aria, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Giudizio	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	97	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	116	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	130	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	131	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	110	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	130	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	115	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	137	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	109 ± 7	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	129 ± 8	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 51: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità dei Suoli Superficiali, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Giudizio	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	122	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	163	Insalubre – Rischio da Rilevante ad Alto -
Bambini 6 mesi-4 anni	114	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	156	Insalubre – Rischio da Rilevante ad Alto -
Bambini 4-11 anni	112	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	145	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	111	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	144	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	117	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	169	Insalubre – Rischio da Rilevante ad Alto -
Media Profili	115 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	156 ± 11	Insalubre – Rischio da Rilevante ad Alto -



Tabella 52: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità delle Acque Superficiali, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Giudizio	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	78	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	105	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	90	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	116	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	90	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	116	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	88	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	113	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	102	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	140	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	90 ± 9	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	118 ± 13	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-

Tabella 53: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 1, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Giudizio	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	99	Qualità Moderata – Rischio da Basso a Moderato-	127	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	105	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	134	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 4-11 anni	104	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	132	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Ragazzi 12-19 anni	103	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	130	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Adulti	112	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	144	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Media Profili	105 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-	133 ± 7	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-



Tabella 54: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 2, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	103	131	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	109	138	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Bambini 4-11 anni	108	136	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Ragazzi 12-19 anni	107	135	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Adulti	114	145	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Media Recettori	108 ± 4	137 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante

Tabella 55: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 3, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	105	136	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	109	141	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Bambini 4-11 anni	108	138	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Ragazzi 12-19 anni	107	137	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Adulti	114	148	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Media Recettori	109 ± 3	140 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante

Tabella 56: Risultati dell'Indice Esteso di Qualità Ambientale applicato al Profilo 4, confrontati con altre realtà della Regione Lombardia.

Recettore	Lomellina	Gorla Maggiore	Giudizio
Neonati 0-6 Mesi	103	129	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante-
Bambini 6 mesi-4 anni	110	137	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Bambini 4-11 anni	109	136	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Ragazzi 12-19 anni	108	134	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Adulti	115	144	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante
Media Recettori	109 ± 4	136 ± 5	Qualità Insalubre per i Gruppi Sensibili – Rischio da Moderato a Rilevante



Dai risultati sopra riportati si può concludere che il giudizio di qualità ambientale e di rischio risultante dalle indagini condotte nell'area della Lomellina è confortabile con la qualità ambientale riscontrata in altre aree della Regione Lombardia

Parte 5 – Saggi Tossicologici



Studio del potenziale rischio tossicologico ed eco tossicologico con organismi modello

Con l'entrata in vigore del Testo Unico Ambientale in Italia, al monitoraggio di tipo chimico è stato affiancato il monitoraggio di tipo biologico. Infatti, gli effetti tossici registrabili sugli organismi viventi sono solo in parte prevedibili sulla base della valutazione quantitativa degli xenobiotici presenti nelle matrici ambientali analizzate. Inoltre, difficilmente è possibile conoscere a priori tutte le sostanze chimiche potenzialmente inquinanti presenti in ciascuna matrice e stabilire quale sia la loro frazione realmente biodisponibile. I due approcci sono complementari: semplificando, le analisi chimiche identificano e quantificano i diversi composti presenti in una matrice ambientale rispondendo ai requisiti previsti dalla norma mentre i biosaggi rispondono al carico tossicologico totale tenendo conto degli effetti additivi o sinergici che possono essere indotti negli organismi dall'esposizione contemporanea a più stressors, anche quelli non identificati dalla caratterizzazione chimica.

All'interno della campagna di monitoraggio da noi effettuata nei territori della Lomellina sono stati applicati biosaggi acuti che possono essere classificati in:

- Biosaggi tossicologici in grado di fornire informazioni sui rischi per la salute della popolazione umana;
- Biosaggi ecotossicologici che caratterizzano rischi per l'ecosistema e l'ambiente.

Rientrano nella prima categoria i saggi che impiegano le linee cellulari di origine umana (tumoral e immortalizzate) e il saggio di trasformazione cellulare mentre nel secondo gruppo sono compresi i saggi di immobilizzazione di *Daphnia magna*, il test di fitotossicità e il test su *Caenorhabditis elegans*.

I biosaggi applicati nella campagna di monitoraggio sono stati selezionati tra quelli prescritti all'interno del Testo Unico Ambientale, delle linee guida per l'analisi del suolo e delle acque redatte dalle agenzie ambientali nazionali ed internazionali oppure utilizzati da centri ricerca internazionali e pubblicati sulle riviste scientifiche di settore.

Di seguito saranno introdotti i diversi tipi di biosaggi utilizzati, raccolti per tipologia di matrice (acque, aria e particolato, suolo) con una breve spiegazione sulla tipologia di organismo impiegato, le modalità di esecuzione dei test e la guida all'interpretazione dei dati con annesso riferimento normativo, dove presente.

Preparazione dei campioni

Durante la campagna di campionamento sono stati raccolti 4 campioni composti di acque superficiali presenti nella zona in esame. Nel dettaglio sono stati analizzati i corpi idrici Agogna, Cavo Plezza, Erbogna e Dorno.



I campioni sono stati filtrati per rimuovere il particolato grossolano sospeso ed eventuali residui di materia organica e successivamente conservati in bottiglie scure a 4°C al buio fino al momento dell'analisi.

Per la matrice suoli sono stati compiuti due saggi ecotossicologici utilizzando piante e nematodi e uno studio di tossicità orientata alla tutela della salute umana con una linea cellulare epatica.

L'area oggetto di studio è stata suddivisa in 4 macroaree secondo distribuzione geografica e i suoli campionati in ciascuno dei comuni all'interno delle macroaree sono stati miscelati per formare un campione composito da sottoporre allo studio. Per ciascuna macroarea sono stati campionati due tipi di suoli: argini (suoli non rimescolati) e campi (suoli rimescolati) per un totale di 8 campioni.

Per quanto attiene alla matrice Aria, è stato possibile effettuare i test sperimentali solo sul campione Residenziale di Parona, in particolare sono stati utilizzati il PM10 e PM2,5.

Il saggio di tossicità acuta con *C. elegans*

Intro: *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) è un nematode sempre più utilizzato per studi in vivo, in particolare in campo biomedico e nel campo della tossicologia in quanto offre alcune caratteristiche complementari a quelle dei modelli cellulari. I vantaggi correlati all'uso di *C. elegans*, rispetto ad altri modelli animali utilizzati per questo tipo di studi (come per esempio il lombrico), comprendono: le sue ridotte dimensioni, la trasparenza del suo corpo, la velocità con cui si riproduce, la



breve durata della vita, oltre che la possibilità di essere congelato in modo analogo a quanto avviene per i sistemi cellulari. Inoltre, essendo *C. elegans* un vero e proprio organismo animale, è possibile condurre studi di tipo comportamentale, di caratterizzazione biochimica dei suoi processi metabolici e studi di tracciabilità genetica. E' noto, per esempio, che alcuni pathways metabolici di *C. elegans*, come la risposta allo stress ossidativo e l'espressione di enzimi antiossidanti e/o detossificanti, sono ben conservati nell'uomo. I valori di LD50 (Lethal Dose 50, la dose di composto che causa la morte del 50% degli animali trattati) ottenuti su *C. elegans* correlano con quelli ottenuti nei roditori, e questo lo rende un buon modello sperimentale per predire la tossicità nei mammiferi.

Protocollo: Tutti gli esperimenti sono stati eseguiti su *Caenorhabditis elegans*, utilizzando il ceppo ancestrale N2 proveniente dal *Caenorhabditis* Genetic Center (University of Minnesota, USA). I vermi

sono stati coltivati su piastre di agar contenente Nematode Growth Medium (NGM) e nutriti con E.coli (ceppo OP50, Caenorhabditis Genetic Center).

I campioni di terreni sono stati preparati idratando 1 g di terreno standard OECD (Terreno controllo) o prelevato in Lomellina con 1 ml di acqua e sono stati lasciati ad equilibrare per 2 ore.

Per la valutazione della tossicità, i vermi (50/200 µl) sono stati risospesi nei terreni idratati. Dopo due ore di incubazione a temperatura ambiente, i vermi sono stati depositati su un lato di una piastra di petri da 100 mm senza batteri e depositando all'estremo opposto della piastra 100 µl di E. coli OP50. Dopo 24 ore è stato determinato il numero di nematodi che dal terreno è migrato verso i batteri per evidenziare potenziali effetti tossici (mortalità). Successivamente, è stato effettuato il test del "pumping rate" registrando il numero di contrazioni che la faringe del verme compie in un minuto.

Analisi dei risultati: Non esistono riferimenti normativi per quanto riguarda la totossicità sui nematodi. L'analisi dei risultati prevede l'adozione di un approccio statistico volto all'individuare differenze tra organismi controllo ed organismo esposti e, in caso di effetti tossici marcati, viene ricavata la dose in grado di indurre effetti avversi nel 50% degli organismi esposte al trattamento (LD50/IC50).

Risultati: L'incubazione dei vermi nei terreni prelevati dalla Lomellina non causa nessuna variazione significativa della vitalità rispetto a quella osservata incubando i nematodi nel terreno controllo (Vitalità pari a 100% in tutti i gruppi sperimentali analizzati). Inoltre, come riportato in **Figura 5**, non è stato osservato nessun effetto sul comportamento alimentare dei vermi, misurato con il test del "pumping rate", ovvero del numero di contrazioni che la faringe del verme compie in un minuto.

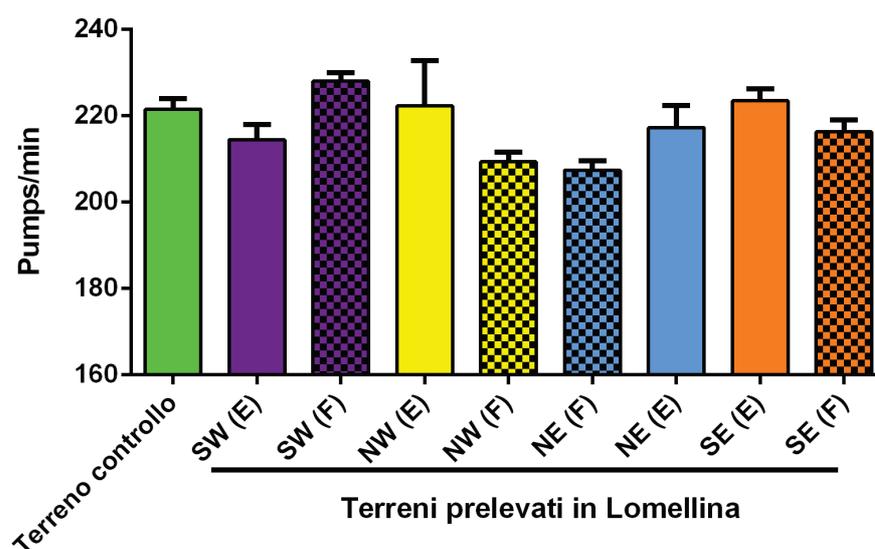


Figura 5: Test di tossicità con *C. elegans*: pumping rate.

Valutazione della tossicità acquatica acuta con *Daphnia magna*

Intro: Gli studi di ecotossicità sulla matrice “acqua” sono stati effettuati utilizzando il crostaceo di acqua dolce *Daphnia magna* come modello degli organismi acquatici. *Daphnia* è uno degli organismi più utilizzati nell’ecotossicologia acquatica e, a livello normativo, gli studi sui daphnidi possono essere utilizzati per a) il controllo degli effluenti, b) la valutazione degli effetti degli scarichi sui recettori, c) la valutazione degli effetti della disinfezione sulla tossicità degli effluenti depurati e d) il monitoraggio dei corpi idrici superficiali.



Protocollo: Il protocollo utilizzato è quello descritto nella UNI EN ISO 6341:1999.

Per i saggi di tossicità acuta vengono utilizzati i neonati di età inferiore alle 24 ore ottenuti a partire dagli efippi messi ad incubare in condizioni di temperatura controllata 72-80 ore prima dell’esecuzione del test. I neonati sono stati poi nutriti con una sospensione algale di spirulina per due ore, contanti e trasferiti in acqua standard per l’esecuzione del test. Per ciascun campione di acqua analizzato sono stati esposti 40 individui effettuando 8 replicati da 5 individui ciascuno secondo quanto previsto dalle linee guida nazionali IRSA-CNR. La prova poi è stata ripetuta in un esperimento indipendente per conferma. Gli organismi sono stati esposti per 48 ore a 20°C al campione di acqua tal quale con valutazione della mobilità (endpoint del test) a 24 e 48 ore. In parallelo è stato effettuato un test di controllo con bicromato di potassio per verificare la sensibilità degli organismi utilizzati per il saggio.

Analisi dei risultati: due sono i criteri di accettabilità contenuti nel DLgs 152/2006 per l’accettabilità del campione nel saggio di tossicità acuta con daphnia:

- Per gli scarichi in acque superficiali (criterio più affine al monitoraggio ambientale): I campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 50% del totale;
- Per gli scarichi in rete fognaria: il campione non è accettabile quando dopo 24 ore il numero degli organismi immobili è uguale o maggiore del 80% del totale.

Ulteriori criteri adottati da ARPA Lombardia sono:

- Un campione è considerato tossico per percentuali di immobilità > 20%.
- Un campione è considerato pretossico quando causa una percentuale di effetto pari al 10 %

Risultati: Nelle **Figure 6 e 7** sono riportati i risultati del test di immobilizzazione con *Daphnia magna* rispettivamente a 24 e 48 ore. I valori riportati rappresentano le medie delle due sedute indipendenti eseguite per ciascun campione (analisi in doppio). Focalizzandosi sul test richiesto dalla normativa

vigente (test a 24 ore, Figura 6) è possibile osservare che non vi sono effetti tossici indotti dai campioni analizzati nell'organismo modello. Il test è stato prolungato di ulteriori 24 ore ed è stata effettuata una nuova valutazione della mobilità degli organismi a 48 ore (Figura 7). A livello globale è stato registrato un leggero aumento di individui immobili ma la percentuale di immobilità per i campioni analizzati risulta comunque inferiore al 10% denotando assenza di tossicità.

24h Daphnia mobility inhibition test

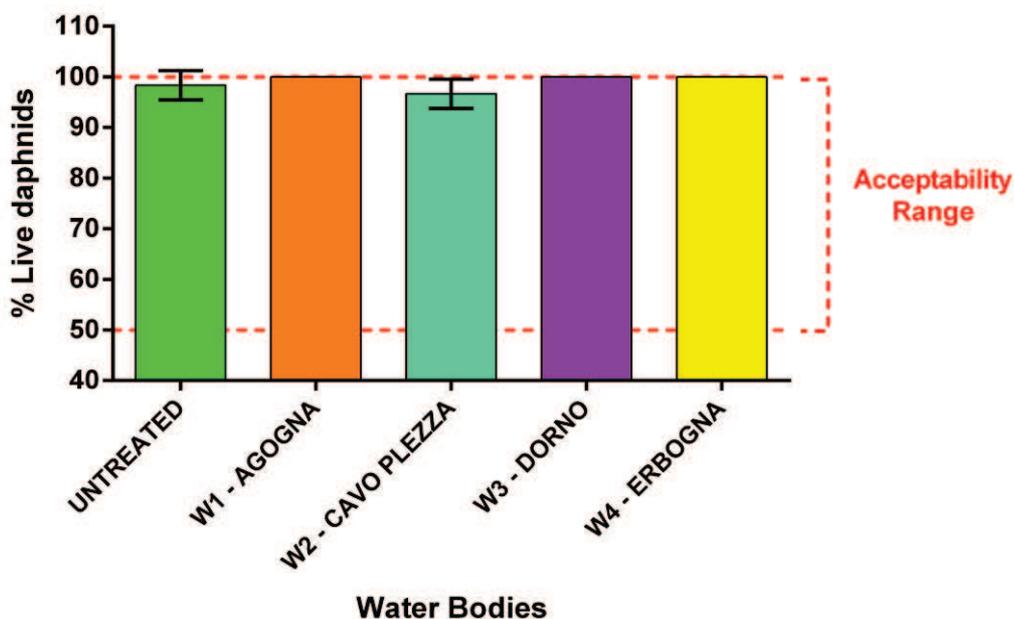


Figura 6: Test di immobilizzazione con D. magna: endpoint a 24 ore.

48h Daphnia mobility inhibition test

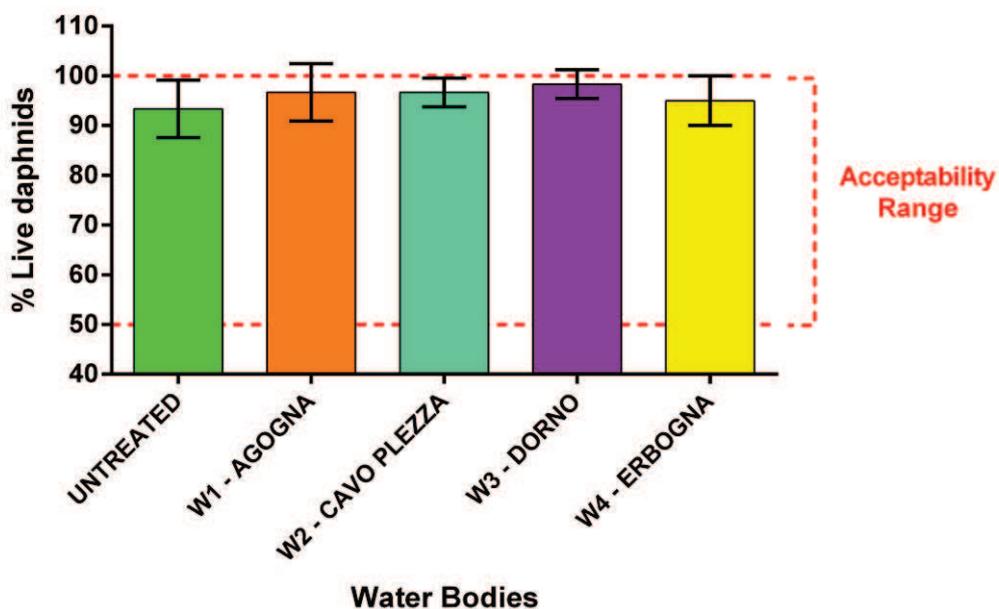


Figura 7: Test di immobilizzazione con D. magna: endpoint a 48 ore.



Il saggio di fitotossicità acuta con piante superiori

Intro: Lo studio della tossicità dei suoli per la flora è stato compiuto mediante test di fitotossicità (o fitotest) con piante superiori. Il test di fitotossicità è stato effettuato con tre semi, rappresentativi delle piante di interesse dal punto di vista nutrizionale, agronomico ed economico: sorgo (monocotiledone, *Sorghum saccharatum*, SOS), cetriolo (*Cucumis sativus*, CUS, dicotiledone) e crescione (*Lepidium sativum*, LES, dicotiledone).

I semi di ciascuna specie sono stati messi a dimora nei terreni raccolti durante la campagna di campionamento. I campioni sono stati utilizzati dopo setacciatura al vaglio di 2mm e successivamente essiccati all'aria.

Protocollo: Il test è condotto secondo il metodo UNICHIM 1651 (2003). 10 grammi di suolo sono stati prelevati, disposti all'interno di capsule Petri ed idratati. Il terreno reidratato è stato appianato e poi sulla superficie è stato disposto un filtro di carta precedentemente inumidito. Per ogni specie vegetale, sono stati preparati 4 replicati per ogni terreno. In ciascuna serie, 10 semi sono stati disposti sul filtro, sigillati con parafilm lungo i bordi delle capsule e incubati per 72 ore al buio ed a 25 °C. In parallelo è stato allestito un set di controllo, mettendo i semi in capsule contenenti un suolo standard OECD composto da sabbia quarzosa (70%), argilla (20%) e torba di sfagno (10%). Alla fine della prova sono stati registrati il numero dei semi germinati e la lunghezza radicale e successivamente i due valori sono stati combinati in un Indice di Germinazione che tiene conto sia della germinazione che dell'accrescimento radicale.

Analisi dei risultati: Gli effetti a carico delle specie vegetali analizzate sono stati quantificati mediante comparazione dell'indice di germinazione percentuale tra semi controllo (terreno OECD) e semi esposti ai terreni della Lomellina.

I parametri che concorrono al calcolo dell'indice di germinazione (IG) sono il numero di semi germinati (germinazione) e la lunghezza delle radici (allungamento radicale).

Per la valutazione della tossicità dei suoli della Lomellina sono stati utilizzati i seguenti criteri, proposti da Viarengo e Pasini e compresi nel protocollo redatto dal CESIRICERCA :

- IG% = 80-120: Assenza di effetti tossici (NT)
- IG% = 40-80: Effetti tossici da lievi a moderati (LMT)
- IG% < 40: Effetti tossici gravi (HT)
- IG% > 120: Presenza di effetti biostimolatori (B).

Risultati: Nelle **Figure 8, 9 e 10** sono riportati i risultati relativi ai campioni di suolo analizzati per il crescione, il sorgo e il cetriolo. Ad ogni campione è stato associato il relativo score di tossicità e i



risultati dell'analisi statistica effettuata applicando l'ANOVA a singola via e il test di Tukey per la comparazione multipla dei campioni.

Dal saggio condotto con LES i suoli 1,3,7 (campo) e 4,5,8 (argine) hanno mostrato un IG% medio statisticamente diverso dal non trattato.

Dal saggio condotto con CUS, i suoli 1, 7, (campo) e 5,8 (argine) hanno mostrato un IG% medio statisticamente diverso dal non trattato.

Dal saggio condotto con SOS, i suoli 6,7 (campo) e 4 (argine) hanno mostrato un IG% medio statisticamente diverso dal non trattato.

Applicando i criteri di classificazione (scoring) del campione basati sul posizionamento dei singoli valori di IG% relativi al campione, la classificazione dei suoli è la seguente:

Sample	SOS		LES		CUS	
	IG%	Score	IG%	Score	IG%	Score
SW argine (SWE)	96.3	NT	123.6	B	114.7	NT
SW campo (SWF)	105.6	NT	105.4	NT	99.2	NT
NW argine (NWE)	103.2	NT	113.5	NT	115.8	NT
NW campo (NWF)	120.8	B	113.2	NT	106.5	NT
NE campo (NEF)	100.8	NT	125.5	B	89.2	NT
NE argine (NEE)	80.4	NT	106.6	NT	93.7	NT
SE argine (SEE)	115.2	NT	114.9	NT	111.5	NT
SE campo (SEF)	108.2	NT	129.6	B	112.3	NT

Il saggio compiuto esponendo il cetriolo (CUS) ai suoli dell'area in esame non ha evidenziato effetti tossici.

Il test condotto con il sorgo (SOS) ha evidenziato biostimolazione nel suolo "NORD OVEST CAMPO" mentre effetti di biostimolazione sono stati riscontrati nei suoli "SUD OVEST ARGINE", "NORD EST CAMPO" e "SUD EST CAMPO" dall'analisi condotta con il crescione (LES).

In tutti i casi di biostimolazione l'effetto è contenuto ed è registrato principalmente in campioni provenienti da campi nei quali è possibile riscontrare la presenza di fertilizzanti e concimi che possono indurre fenomeni di aumentata crescita nelle piante.

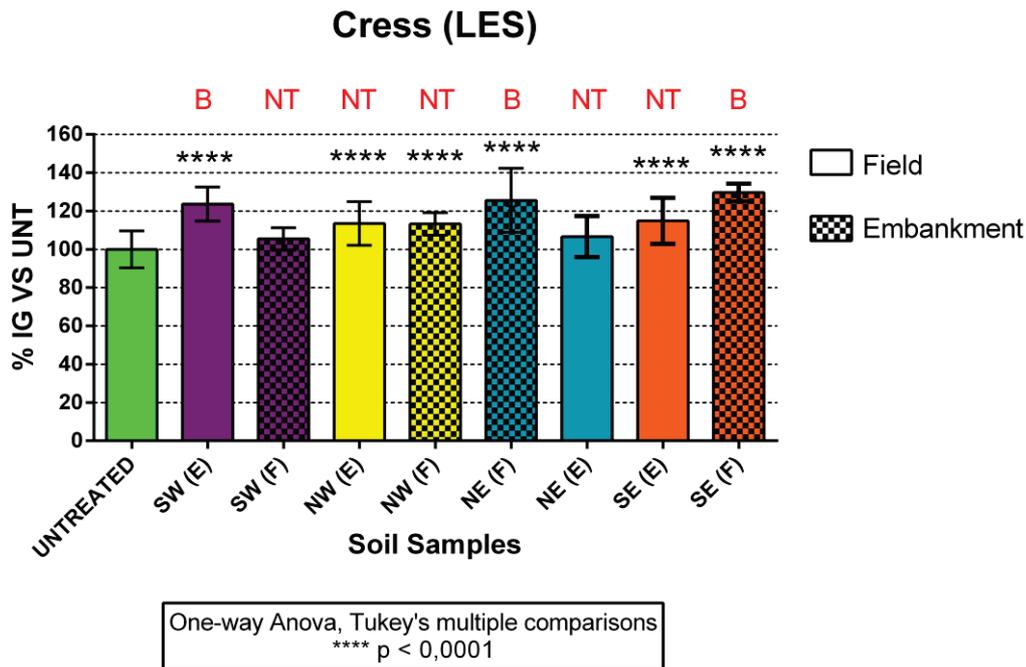


Figura 8: Test di fitotossicità: Crescione B=biostimolazione, NT=assenza di tossicità

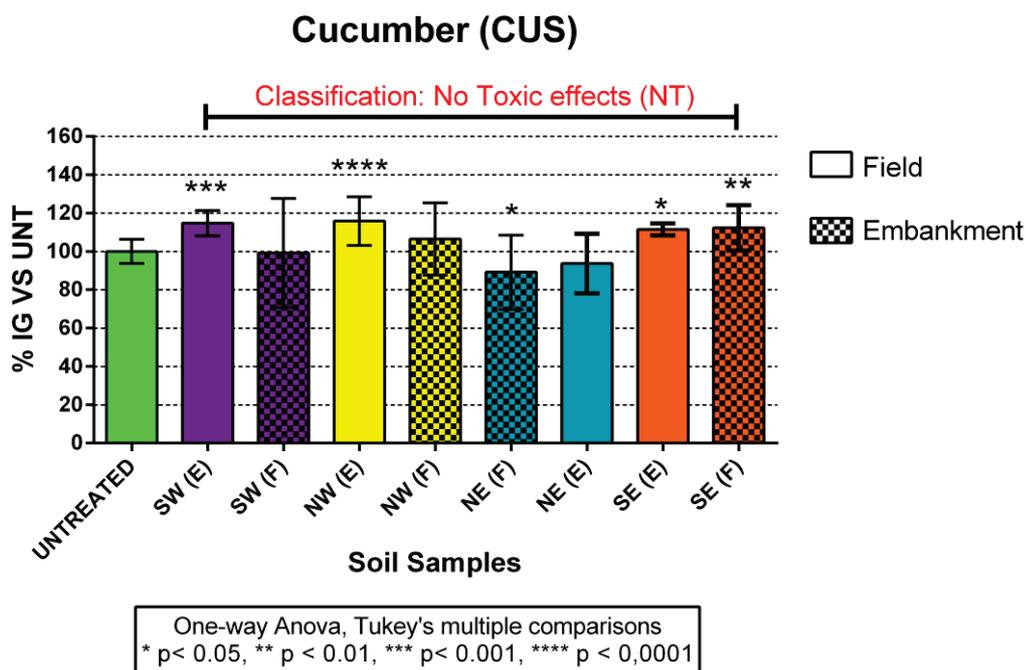


Figura 9: Test di fitotossicità: Cetriolo NT=assenza di tossicità.



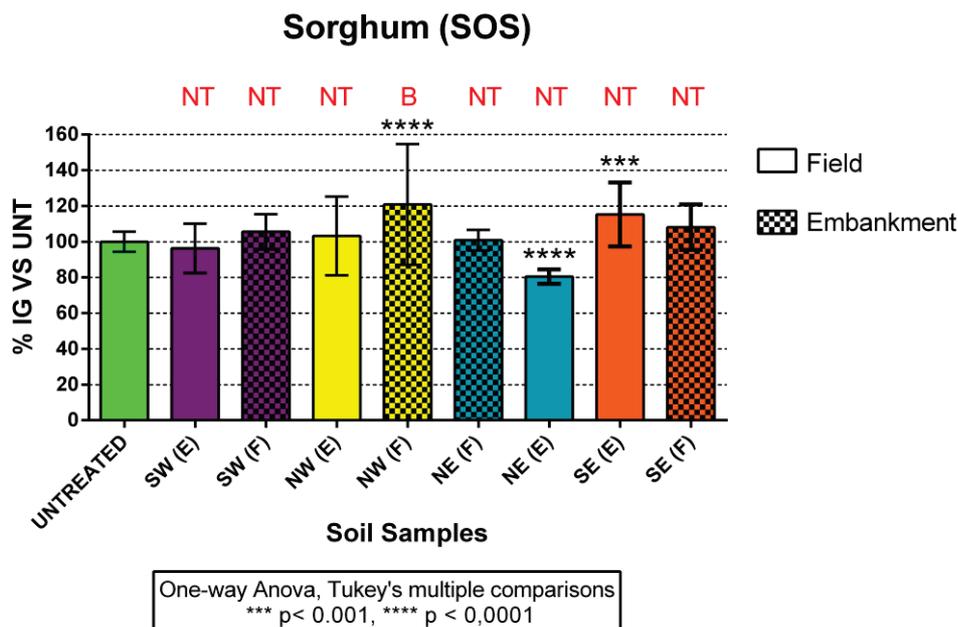


Figura 10: Test di fitotossicità: Cetriolo NT=assenza di tossicità.

Il saggio di citotossicità a 72 ore con cellule dell'apparato respiratorio

Intro: E' da ricordare che il periodo di prelievo del campione aeriforme è stato particolarmente piovoso, attenuando certamente la quantità di particolato aerodisperso .

Il particolato atmosferico raccolto nell'area in esame è stato sottoposto ad estrazione solido-liquido con diclorometano al fine di ottenere un estratto contenente gli inquinanti organici liposolubili (es. Diossine, IPA, PCBs). L'estratto è stato poi addizionato al medium di coltura delle cellule A549 e BEAS-2B, linee cellulari utilizzate come modello dell'apparato respiratorio, in particolare degli alveoli e dei bronchi rispettivamente.

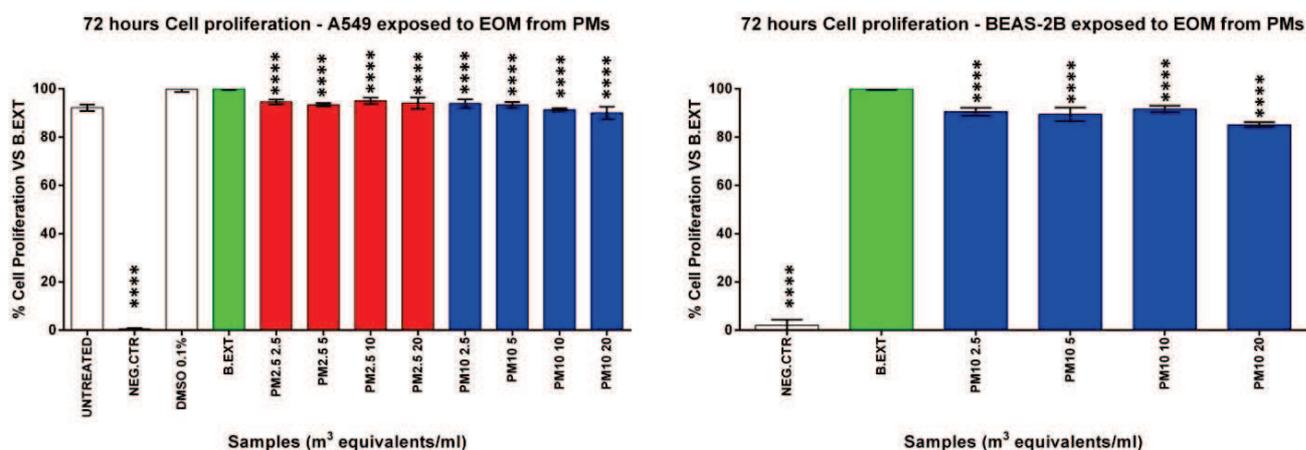
Protocollo: Il disegno sperimentale prevede che le cellule siano mantenute in coltura negli appositi medium addizionati con 10% FBS, 1% Pen-Strept e 1% Glutamina in un incubatore a 37°C, 5% CO2 e sono state successivamente seminate in piastra da 96 pozzetti. Il giorno successivo le cellule sono state esposte all'estratto organico dei particolati atmosferici a diverse concentrazioni. Il trattamento è durato 72 ore con valutazione degli endpoint di tossicità ogni 24 ore.

Sono stati valutati gli effetti sulla proliferazione cellulare (MTS assay) per valutare le differenze rispetto alle cellule esposte al bianco estrattivo (controllo).

Analisi dei risultati: Non esistono riferimenti normativi per quanto riguarda la citotossicità in vitro. L'analisi dei risultati è stata condotta mediante analisi statistica ed è stata poi ricavata la dose in grado di indurre effetti avversi nel 50% delle cellule esposte al trattamento (IC50) successivamente paragonata alla dose prevista dalle linee guida per l'analisi del rischio per l'inalazione di aria e polveri aerodisperse.

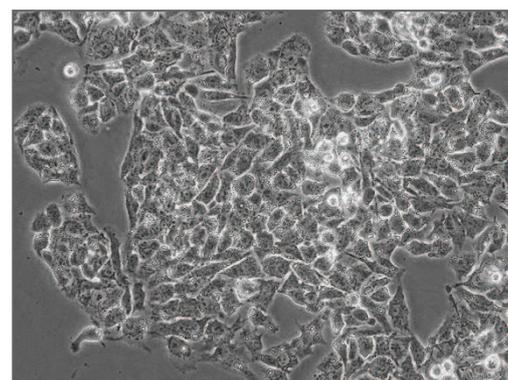
Risultati: Nella figura successiva sono riportati i risultati ottenuti dopo 72 ore di esposizione alle diverse concentrazioni di estratto organico del particolato atmosferico di tipo PM2.5 e PM10, campionati nell'area in esame in ambito residenziale.

Gli estratti organici inducono una leggera inibizione nella proliferazione cellulare. Tale inibizione, seppur statisticamente significativa, non è rilevante in termini biologici in quanto l'inibizione indotta è in tutti i casi inferiore al 20%. Nel dettaglio, le cellule A549 utilizzate come modello degli alveoli (la porzione più profonda dell'albero respiratorio) mostrano una inibizione molto limitata (<5-10%) mentre nelle cellule BEAS-2B, utilizzate come modello dei bronchi, è stata registrata una inibizione molto contenuta (<10-15%).



Il saggio di tossicità a 72 ore con cellule epatiche

Intro: i suoli dell'area in esame sono stati sottoposti ad estrazione solido-liquido con diclorometano al fine di ottenere un estratto contenente gli inquinanti organici liposolubili (es. Diossine, IPA, PCBs). L'estratto è stato poi addizionato al medium di coltura delle cellule HepG2, una linea cellulare di epatocarcinoma umana molto utilizzata negli studi di tossicità^(48,49,50) in quanto esprimono antiossidanti ed enzimi coinvolti nel metabolismo degli xenobiotici, la cui regolazione è simile a quella riscontrabile negli epatociti primari umani⁽⁵¹⁾.



Protocollo: Il disegno sperimentale è simile a quello riportato nell'articolo di Baderna et al., 2011.

⁴⁸ Baderna D., Maggioni S., Boriani E., Gemma S., Molteni M., Lombardo A., Colombo A., Bordonali S., Rotella G., Lodi M., Benfenati E., 2011. A combined approach to investigate the toxicity of an industrial landfill's leachate: Chemical analyses, risk assessment and in vitro assays. *Environmental Research*, 111(4): 603-613.

⁴⁹ Valentin-Severin, I., Le Hegarat, L., Lhuguenot, J.C., Le Bon, A.M., Chagnon, M.C., 2003. Use of HepG2 cell line for direct or indirect mutagens screening: comparative investigation between comet and micronucleus assays. *Mutat. Res.*, 53:79-90.

⁵⁰ Vidic, T., Lah, B., Berden-Zrimec, M., Marinsek-Logar, R., 2009. Bioassays for evaluating the water-extractable genotoxic and toxic potential of soils polluted by metal smelters. *Environ Toxicol*; 24(5):472-483.

⁵¹ Wilkening, S., Stahl, F., Baderna, A., 2003. Comparison of primary human hepatocytes and hepatoma cell line HepG2 with regard to their biotransformation properties. *Drug Metab Dispos.*, 31:1035-1042.

Le cellule HepG2 sono state mantenute in coltura in medium MEM addizionato con 10% FBS, 1% Pen-Strept, 1% Glutamina, 1% Sodio piruvato e 1% NEAA in un incubatore a 37°C, 5% CO₂ e sono state successivamente seminate in piastra da 96 pozzetti. Il giorno successivo le cellule sono state esposte all'estratto organico dei suoli a diverse concentrazioni. Il trattamento è durato 72 ore con valutazione degli endpoint di tossicità ogni 24 ore.

Sono stati valutati gli effetti sulla proliferazione cellulare (MTS assay) e sulla citotossicità (CellTox Green) per valutare le differenze rispetto alle cellule esposte al bianco estrattivo (controllo).

Analisi dei risultati: Non esistono riferimenti normativi per quanto riguarda la citotossicità in vitro. L'analisi dei risultati è stata condotta mediante analisi statistica ed è stata poi ricavata la dose in grado di indurre effetti avversi nel 50% delle cellule esposte al trattamento (IC50) successivamente paragonata alla dose prevista dalle linee guida per l'analisi del rischio (italiane e canadesi) per l'ingestione accidentale di suolo contaminato.

Risultati: Nelle **Figure 11, 12, 13 e 14** sono riportati i risultati ottenuti dopo 72 ore di esposizione alle diverse concentrazioni di estratto organico dei suoli campionati nell'area in esame.

Gli estratti organici di tutti i suoli sono in grado di inibire la proliferazione cellulare in modo dose dipendente e generalmente gli estratti provenienti dai terreni campionati presso gli argini risultano più tossici rispetto ai corrispettivi terreni prelevati nei campi (figure X e W). Per quanto riguarda i campi, i suoli con maggiore tossicità sono i suoli dell'area Nord-Est e Nord-Ovest mentre per i suoli campionati negli argini i suoli con maggiore tossicità sono i suoli dell'area Nord-Est e Sud-Ovest.

Dall'analisi dei dati ottenuti dai test di citotossicità (Figure Y e Z) è possibile affermare che gli estratti organici dei suoli sono in grado di indurre mortalità nelle cellule esposte alle concentrazioni medio alte di estratto.

Nella **Figura 15** sono riportati i valori di IC50 relativi agli otto campioni composti di suolo e sono evidenziate le concentrazioni di suolo relative all'ingestione accidentale per bambini e adulti come descritte dalle linee guida italiane e canadesi dell'analisi del rischio legato al suolo. Il quadro complessivo mostra come l'ingestione accidentale di suolo risulta generalmente sicura per bambini e adulti secondo l'approccio canadese (meno conservativo) in quanto tutti i terreni presentano valori di IC50 superiori a 80 e 20 mg, porzioni di suolo assunte accidentalmente rispettivamente da bambini e adulti secondo il ministero della sanità canadese. Per quanto riguarda l'approccio italiano, i suoli NORD OVEST ARGINE, NORD-EST ARGINE e NORD EST CAMPO risultano potenzialmente pericolosi per i bambini in quanto la IC50 di questi terreni è inferiore a 200 mg che costituiscono l'assunzione accidentale di suolo per i bambini nelle linee guida italiane.



72 hours Cell proliferation - HepG2 exposed to EOM from soils

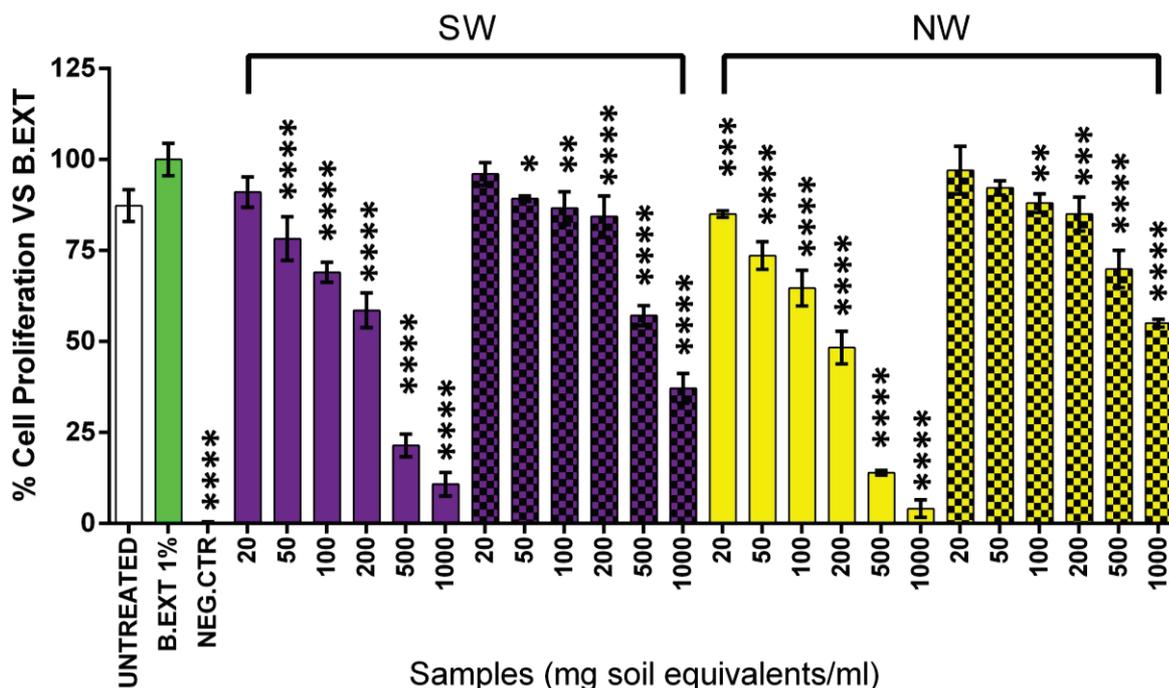


Figura 11: Effetti degli estratti organici dei suoli sulle cellule HepG2: proliferazione cellulare. Il grafico a tinta unita si riferisce ai suoli di tipo "argine" mentre quello a quadretti è riferito al tipo "campo". ANOVA+Tukey post hoc **** p<0.0001

HepG2 DNA release after 72 h exposure to EOMs from soils L1-L4

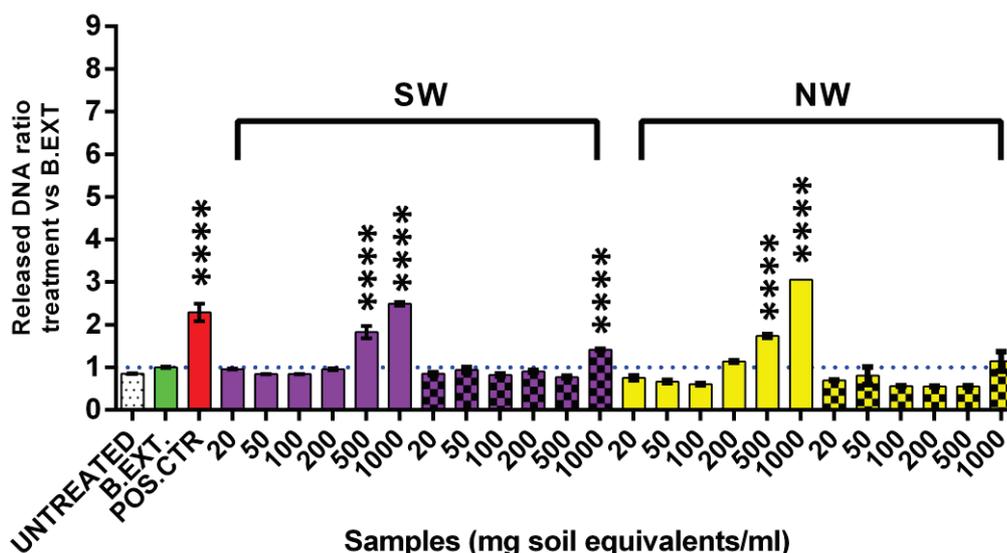


Figura 12: Effetti degli estratti organici dei suoli sulle cellule HepG2: citotossicità. Il grafico a tinta unita si riferisce ai suoli di tipo "argine" mentre quello a quadretti è riferito al tipo "campo". ANOVA+Tukey post hoc **** p<0.0001



72 hours Cell proliferation - HepG2 exposed to EOM from soils

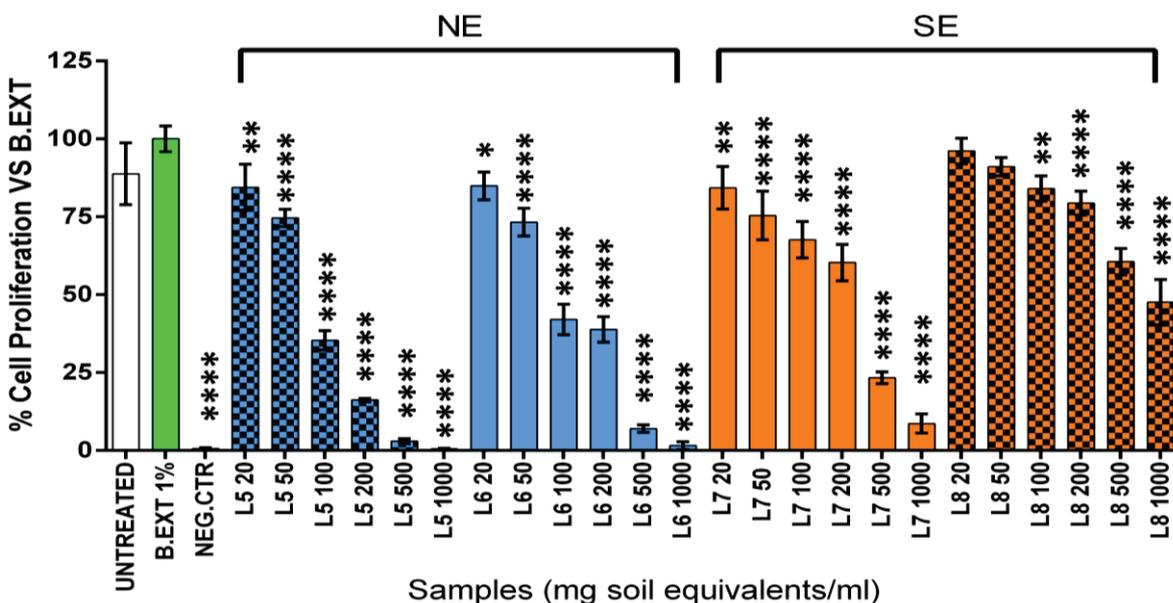


Figura 13: Effetti degli estratti organici dei suoli sulle cellule HepG2: proliferazione cellulare. Il grafico a tinta unita si riferisce ai suoli di tipo "argine" mentre quello a quadretti è riferito al tipo "campo". ANOVA+Tukey post hoc * p<0.05. ** p<0.01 **** p<0.0001.

HepG2 DNA release after 72 h exposure to EOMs from soils L5-L8

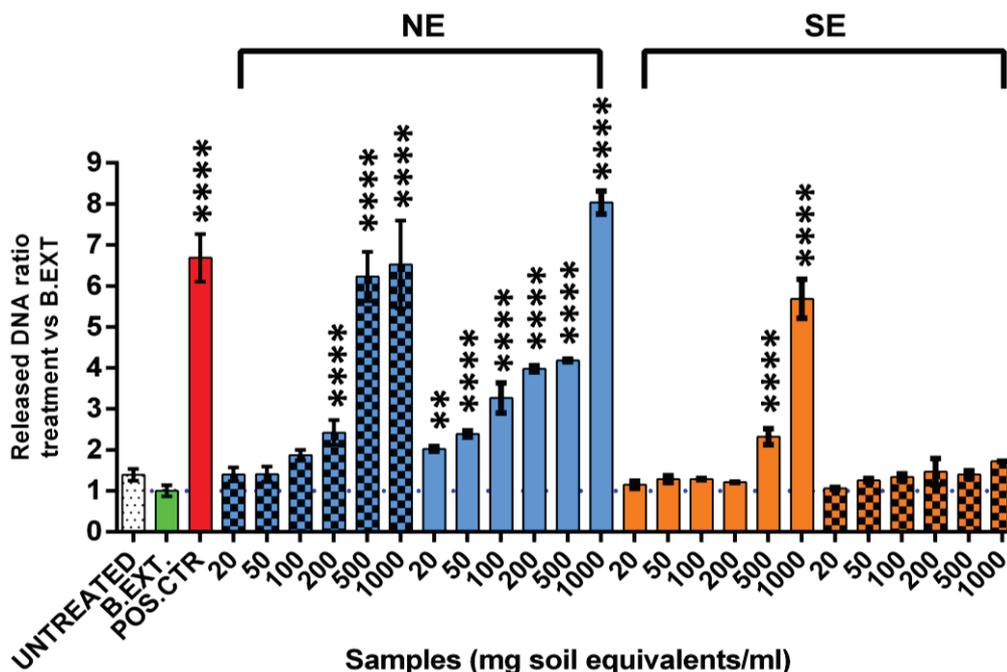


Figure 14: Effetti degli estratti organici dei suoli sulle cellule HepG2: citotossicità. Il grafico a tinta unita si riferisce ai suoli di tipo "argine" mentre quello a quadretti è riferito al tipo "campo". ANOVA+Tukey post hoc **** p<0.0001



72h IC50 HepG2 exposed to EOM from Soils

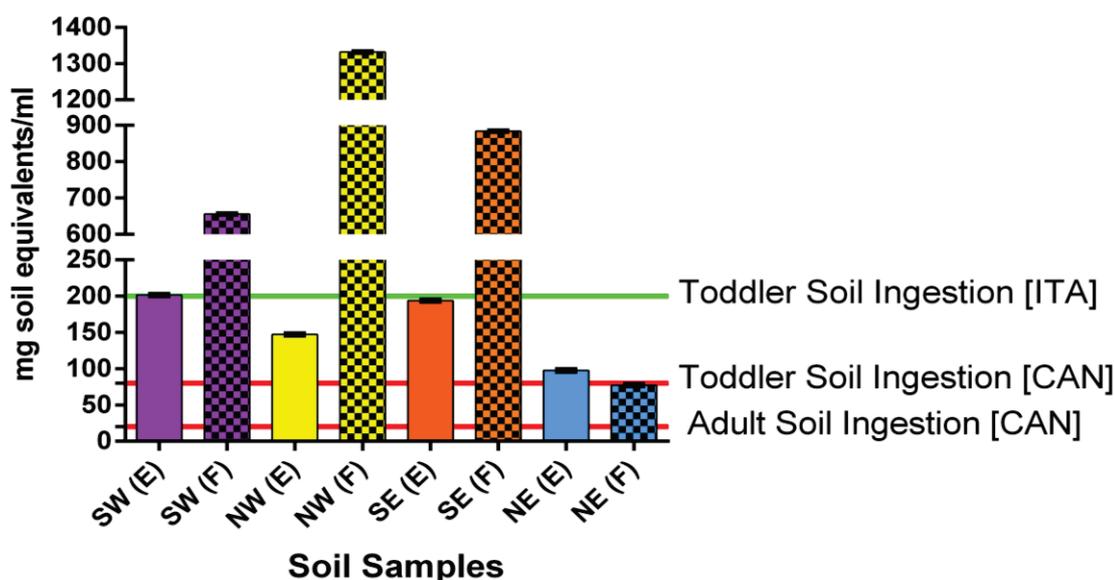


Figure 15: IC50 a 72 nelle cellule HepG2 esposte agli estratti organici dei suoli e riferimenti derivati dall'analisi del rischio. Si evidenzia in verde la dose di suolo accidentalmente ingerito dai bambini secondo la normativa italia e in rosso le dosi per bambini (toddler) e adulti secondo la linea guida canadese.

E' da notare che gli effetti evidenziati dagli studi in vitro relativi all'estratto organico del suolo risentono del contenuto totale di sostanze organiche (compresi quindi ammendanti, pesticidi ecc..) e non solo degli inquinanti organici fin qui ricercati relativamente ai quali è stata effettuata la valutazione di rischio e qualità ambientale.

E' quindi ragionevole ipotizzare un approfondimento degli effetti dovuti alla componente di additivi utilizzati in agricoltura.



Quadro riassuntivo degli studi con biosaggi

Test di immobilizzazione con <i>Daphnia magna</i>	Giudizio	
AGOGNA (acqua)	Accettabile – Non Tossico (24 e 48 ore)	
CAVO PLEZZA (acqua)		
DORNO (acqua)		
ERBOGNA (acqua)		
Test di Fitotossicità	Argine	Campo
SUD OVEST (suolo composito)	Potenziale Alert (LES)	Non Tossico
NORD OVEST (suolo composito)	Non Tossico	Potenziale Alert (SOS)
SUD EST (suolo composito)	Non Tossico	Potenziale Alert (LES)
NORD EST (suolo composito)	Non Tossico	Potenziale Alert (LES)
Test su <i>C. Elegans</i>	Argine	Campo
SUD OVEST (suolo composito)	Non Tossico	Non Tossico
NORD OVEST (suolo composito)	Non Tossico	Non Tossico
SUD EST (suolo composito)	Non Tossico	Non Tossico
NORD EST (suolo composito)	Non Tossico	Non Tossico
Test sulle Cellule Epatiche	Argine	Campo
SUD OVEST (suolo composito)	Accettabile	Accettabile
NORD OVEST (suolo composito)	Potenziale Alert (<200 mg)	Accettabile
SUD EST (suolo composito)	Accettabile	Accettabile
NORD EST (suolo composito)	Potenziale Alert (<200 mg)	Potenziale Alert (<200 mg)



Le ricerche sperimentali sul territorio sono da considerarsi concluse (salvo approfondimenti che si considererà utili al raggiungimento dello scopo dello studio).

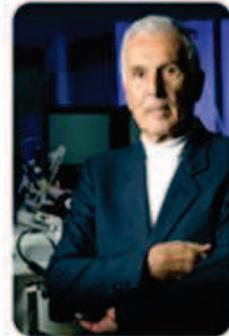
Ora verrà effettuata la raccolta dei dati ambientali presenti nei diversi database ambientali, in modo da trarne le informazioni necessarie per stimare le maggiori fonti di inquinanti emessi-immessi nell'aria. Verrà conseguentemente effettuata una elaborazione computazionale modellistica per valutare quale sia il comparto maggiormente impattante fra quello civile (Riscaldamento) da Traffico ed industriale verificandone il contributo percentuale alla qualità dell'aria oggettivamente riscontrata.

Di seguito riportiamo l'aggiornamento del diagramma cronologico delle attività da svolgere nel quadriennio 2010-2014

	sem.Caldo 2010	sem.Freddo 2010/11	sem.Caldo 2011	sem.Freddo 2011/12	sem.Caldo 2012	sem.Freddo 2012/13	sem.Caldo 2013	sem.Freddo 2013/14	sem.Caldo 2014	fine 2014
monitoraggio aria										
monitoraggio acque										
monitoraggio suolo										
Biomonitoraggio										
Biotest cellulare										
ERICA_ITRA										
Valutazione modellistica diffusione/dispersione inquinanti										
Web- GIS										
presentazione risultati 2010-2014										

5X
 mille

**Con il 5xmille potete aiutare
 la nostra ricerca indipendente
 in difesa della salute e della vita**



5X
 mille

Destineremo interamente i vostri contributi alle ricerche più avanzate contro le malattie più gravi, più diffuse, meno curabili: la malattia di Alzheimer, l'ictus cerebrale, i tumori femminili, le malattie neurologiche, le patologie da inquinamento, il diabete, le malattie renali.

5X
 mille

