



Co-funded by
the European Union



OpenEAT



Curriculum per specialisti riguardante i cereali contaminati e i prodotti correlati “ Mangio per vivere o vivo per mangiare “

Riferimento del progetto: 2024-1-RO01-KA220-VET-000249064





Co-funded by
the European Union



“Il sostegno della Commissione europea alla produzione di questa pubblicazione non costituisce un’approvazione dei suoi contenuti, che riflettono esclusivamente le opinioni degli autori, e l’Agenzia nazionale e la Commissione non possono essere ritenute responsabili per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in essa contenute.”.



DESCRIZIONE DEL CURRICOLO

Nome del progetto: „I eat to live or I live to eat“ (OpenEAT)

Riferimento di progetto: 1-2024-1-RO01-KA220-VET-000249064

Curriculum rivolto a esperti e specialisti del settore agricolo, delle tecnologie alimentari, della sicurezza alimentare e a nutrizionisti..

Professori responsabili delle parti teoriche:

Partner leader (ROMPAN): Daniela Voica, Dana Avram

Partner 1 (UBARI): Pasquale Filannino, Donato Gerin, Stefania Pollastro

Partner 2 (ANSES): Petru Jitaru, Rachida Chekri, Chanthadary Inthavong, Julien Parinet

Partner 3 (ULST): Ersilia Alexa, Delia Dumbrava, Camelia Moldovan, Corina Misca, Diana Raba, Mirela Popa

Partner 4 (FINS): Aleksandra Torbica, Bojana Filipčev, Olivera Šimurina

Partner 6 (UKR): Iryna Antonik, Oleksandr Shablia, Taras Zhygailo, Nataliia Valentiuk, Natalia Volkova, Raisa Vozhehova

Professori responsabili delle parti pratiche:

Partner leader (ROMPAN): Daniela Voica, Dana Avram

Partner 1 (UBARI): Pasquale Filannino, Donato Gerin, Stefania Pollastro

Partner 2 (ANSES): Petru Jitaru, Julien Parinet

Partner 3 (ULST): Ersilia Alexa, Delia Dumbrava, Camelia Moldovan, Corina Misca, Diana Raba, Mirela Popa

Partner 4 (FINS): Aleksandra Torbica, Bojana Filipčev, Olivera Šimurina

Partner 6 (UKR): Iryna Antonik, Oleksandr Shablia, Taras Zhygailo, Nataliia Valentiuk, Natalia Volkova, Raisa Vozhehova

<p>Obiettivi</p>	<p>Il curriculum stabilisce le competenze cognitive e le abilità necessarie agli esperti ed agli specialisti per quanto riguarda le misure per ridurre la contaminazione dei cereali e le metodologie per individuare pesticidi, metalli pesanti e composti azotati tossici, nonché per determinarne l'impatto sulla salute. Le competenze cognitive si riferiscono all'abilità necessaria per utilizzare i concetti scientifici appartenenti alle discipline fondamentali della chimica, della biologia e delle tecnologie generali al fine di sviluppare nuove strategie per la sicurezza degli alimenti nel contesto del conflitto ucraino.</p> <p>Il curriculum presenta aspetti teorici e pratici relativi alle misure per la riduzione della contaminazione dei cereali ed alle metodologie per il rilevamento dei pesticidi, dei metalli pesanti e dei composti tossici dell'azoto, nonché per la valutazione del loro impatto sulla salute.</p>
<p>Abilità cognitive</p>	<p>Quando si progetta un programma di studi incentrato sulle misure per ridurre la contaminazione dei cereali da pesticidi, composti azotati e metalli pesanti, è essenziale sviluppare le capacità cognitive utili per supportare la risoluzione dei problemi, il pensiero critico e il processo decisionale. Ecco le abilità cognitive chiave da includere:</p> <p>1. Pensiero Analitico</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Identificazione delle fonti di contaminazione nei cereali e del loro impatto sulla salute ● Analisi dei dati del suolo e delle colture per individuare le tendenze di contaminazione ● Valutazione dell'efficacia di diverse strategie di riduzione della contaminazione



	<p>2. Pensiero Critico</p> <ul style="list-style-type: none">● Valutazione dei rischi associati alla contaminazione da pesticidi e metalli pesanti● Confrontare diverse pratiche agricole per ridurre la contaminazione● Mettere in discussione e convalidare i risultati della ricerca sul controllo della contaminazione <p>3. Risoluzione dei Problemi</p> <ul style="list-style-type: none">● Sviluppare soluzioni innovative per ridurre al minimo la contaminazione● Adattare le tecniche agricole per ridurre i residui chimici● Affrontare le sfide della conformità normativa in scenari reali <p>4. Processo Decisionale</p> <ul style="list-style-type: none">● Scegliere strategie di controllo dei parassiti appropriate con un impatto ambientale minimo● Bilanciare produttività e sostenibilità nell'agricoltura cerealicola● Interpretare i risultati dei test di laboratorio per prendere decisioni informate sul controllo della contaminazione <p>5. Competenze di Indagine e Ricerca Scientifica</p> <ul style="list-style-type: none">● Conduzione di esperimenti sul campo per la mitigazione della contaminazione● Revisione della letteratura scientifica sulla riduzione dei pesticidi e dei metalli pesanti● Applicazione di metodologie di ricerca per valutare i livelli di contaminazione <p>6. Pensiero sistemico</p> <ul style="list-style-type: none">● Comprendere le interazioni tra suolo, acqua, colture e contaminanti● Riconoscere gli effetti a lungo termine della contaminazione sugli ecosistemi e sulla salute umana● Progettare sistemi agricoli sostenibili che riducano al minimo i rischi di contaminazione
--	--



Competenze Professionali	<p>Lo sviluppo di un curriculum che affronti le misure per ridurre la contaminazione nei cereali richiede un insieme di conoscenze scientifiche, tecniche e normative.</p> <p>1. Competenze in scienze agrarie e ambientali</p> <ul style="list-style-type: none">• Comprendere il comportamento dei pesticidi nel suolo e nelle colture• Conoscenza del ciclo dell'azoto e dell'impatto dei fertilizzanti sui cereali• Consapevolezza delle fonti di contaminazione da metalli pesanti (inquinamento industriale, composizione del suolo, irrigazione)• Tecniche di monitoraggio del suolo e delle colture <p>2. Sicurezza Alimentare e Controllo Qualità</p> <ul style="list-style-type: none">• Principi di analisi dei rischi e dei punti critici di controllo (HACCP)• Valutazione del rischio per i residui di pesticidi e metalli pesanti• Metodi di analisi di laboratorio per i contaminanti (ad esempio, cromatografia, spettroscopia)• Regolamenti internazionali sulla sicurezza alimentare (EU, FAO, Codex Alimentarius) <p>3. Agricoltura Sostenibile e di Precisione</p> <ul style="list-style-type: none">• Migliori pratiche per l'applicazione di pesticidi e strategie di riduzione• Tecniche di gestione integrata dei parassiti (IPM)• Pratiche di agricoltura biologica e rigenerativa• Strumenti per l'agricoltura di precisione (droni, sensori, IA per il monitoraggio della salute del suolo) <p>4. Conoscenza delle Normative e delle Conformità</p> <ul style="list-style-type: none">• Quadro normativo sull'uso dei pesticidi e sui limiti di residui• Limiti Massimi di Residui (LMR) e standard normativi• Requisiti di certificazione per i cereali biologici e sostenibili <p>5. Analisi dei Dati e utilizzo delle Tecnologie</p> <ul style="list-style-type: none">• Analisi statistica dei livelli di contaminazione• Uso dei sistemi informativi geografici (GIS) per la mappatura della contaminazione del suolo e delle acque• Applicazioni AI e IoT nel monitoraggio della contaminazione
Unità di Competenze	<p>1. Fonti di Contaminazione e Valutazione del Rischio</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Identificare le fonti primarie di contaminazione dei cereali (pesticidi, fertilizzanti, metalli pesanti)• Valutare i fattori ambientali e agricoli che contribuiscono alla contaminazione• Analizzare le vie di contaminazione (suolo, acqua, aria) e il loro impatto sulla sicurezza alimentare <p>Argomenti Chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Formazione e persistenza dei residui di pesticidi• Composti dell'azoto: uso eccessivo, ruscellamento e lisciviazione• Accumulo di metalli pesanti da fonti industriali e naturali• Metodologie di valutazione del rischio <p>2. Pratiche agricole sostenibili e integrate</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Applicare la Gestione Integrata (IPM) per ridurre la dipendenza dai pesticidi• Implementare tecniche di fertilizzazione sostenibili per ridurre al minimo la contaminazione da composti azotati.



	<ul style="list-style-type: none">• Utilizzare metodi di bonifica e conservazione del suolo per ridurre l'assorbimento dei metalli pesanti. <p>Argomenti chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Controllo biologico dei parassiti e rotazione delle colture• Agricoltura di precisione per l'applicazione controllata dei fertilizzanti• Gestione del pH del suolo e tecniche di bio-risanamento• Alternative all'agricoltura biologica <p>3. Monitoraggio e rilevamento di contaminanti</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Eseguire test sul campo e in laboratorio per la ricerca di residui di pesticidi, nitrati e metalli pesanti• Utilizzare le moderne tecniche di rilevazione (cromatografia, spettrometria, biosensori).• Interpretare i livelli di contaminazione e suggerire azioni correttive. <p>Argomenti chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Metodi di Analisi di Laboratorio (GC-MS, HPLC, ICP-MS)• Limiti normativi per i contaminanti (EU, Codex, FAO standards)• Tecniche di test Rapido in loco <p>4. Conformità normativa e standard di sicurezza alimentare</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Applicare i limiti massimi di residui (MRLs) e le norme di sicurezza alimentare• Garantire la conformità agli standard nazionali e internazionali• Implementare l'analisi dei rischi e dei punti critici di controllo (HACCP) per la prevenzione della contaminazione <p>Argomenti chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Regolamenti UE sui pesticidi, Codex Alimentarius della FAO, linee guida dell'OMS• Good Agricultural Practices (GAP)• Principi HACCP per la produzione e lo stoccaggio dei cereali <p>5. Soluzioni Tecnologiche e Digitali per la Riduzione della Contaminazione</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Utilizzare le tecnologie dell'agricoltura di precisione (droni, sensori, IA) per il controllo della contaminazione• Applicare la mappatura GIS per monitorare le aree contaminate• Implementare sistemi di irrigazione e fertilizzazione intelligenti <p>Argomenti chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Applicazioni AI e IoT nell'agricoltura sostenibile• Mappatura della contaminazione basata su GIS• Sistemi di applicazione automatizzata di pesticidi e fertilizzanti <p>6. Catena di approvvigionamento sostenibile e consapevolezza dei consumatori</p> <p>Competenze:</p> <ul style="list-style-type: none">• Gestire la manipolazione post-raccolta per prevenire la contaminazione• Garantire l'approvvigionamento sostenibile e la tracciabilità nella produzione di cereali• Educare le parti interessate sui rischi di contaminazione e sulle strategie di mitigazione. <p>Argomenti chiave:</p> <ul style="list-style-type: none">• Prevenzione della contaminazione da stoccaggio e trasporto• Blockchain e tecnologie di tracciabilità
--	--



	<ul style="list-style-type: none">● Educazione dei consumatori sulla sicurezza alimentare
Elementi di innovazione	Gli elementi di innovazione sono riconducibili alla complementarità delle competenze che si intendono implementare ai gruppi target e che riguardano ambiti di agronomia, protezione dei cereali, rilevamento dei contaminanti, strumenti analitici e implicazioni sanitarie per gestire la contaminazione dei cereali e garantire la sicurezza alimentare nel contesto del conflitto ucraino.
Impatto	<p>L'implementazione di un programma di studi ben strutturato su questo tema può avere effetti positivi significativi in diverse aree tematiche, dall'agricoltura alla salute pubblica, dalla sostenibilità ambientale ai benefici economici. Di seguito sono riportate le principali aree di impatto:</p> <p>1. Impatto Agricolo e Ambientale</p> <ul style="list-style-type: none">● Riduzione della contaminazione del suolo e dell'acqua● Miglioramento della qualità e della sicurezza delle colture● Resilienza e sostenibilità climatica <p>2. Impatto sulla Salute Pubblica e sulla Sicurezza Alimentare</p> <ul style="list-style-type: none">● Approvvigionamento Alimentare più Sicuro● Riduzione dei rischi per la salute● Aumento della fiducia dei consumatori <p>3. Impatto Economico e Industriale</p> <ul style="list-style-type: none">● Valore di mercato più alto per i cereali privi di contaminanti● Riduzione dei costi per gli agricoltori● L'utilizzo efficiente di pesticidi e fertilizzanti riduce i costi dei fattori di produzione.● La prevenzione della contaminazione evita potenziali perdite finanziarie dovute a esportazioni rifiutate● Creazione di posti di lavoro e progressi tecnologici● Aumenta la domanda di professionisti qualificati nell'agricoltura di precisione, nella sicurezza alimentare e nel monitoraggio ambientale● Incoraggiamento delle innovazioni agro-tecnologiche, come il rilevamento della contaminazione basato sull'intelligenza artificiale <p>4. Impatto sulla Didattica e sulla Ricerca</p> <p>Sviluppo di capacità per i futuri periti agrari</p> <ul style="list-style-type: none">● Agricoltori, agronomi e responsabili politici acquisiscono conoscenze avanzate sulla riduzione della contaminazione● La formazione sul processo decisionale guidato dai dati migliora l'efficienza agricola <p>Incoraggiamento all'Innovazione Scientifica</p> <ul style="list-style-type: none">● La ricerca sul biorisanamento, sulle nanotecnologie e sul controllo alternativo dei parassiti fa avanzare la sostenibilità● Maggiore collaborazione tra università, istituti di ricerca e leader del settore <p>Scambio Globale di Conoscenze</p> <ul style="list-style-type: none">● Le Partnerships internazionali facilitano l'apprendimento delle migliori pratiche in diverse regioni● L'integrazione di piattaforme di e-learning consente la condivisione delle conoscenze al di là delle comunità locali <p>5. Impatto Politico e Normativo</p> <p>Maggiore conformità alle normative sulla sicurezza alimentare</p>



	<ul style="list-style-type: none"> • Agricoltori e i produttori sono meglio attrezzati per soddisfare gli standard nazionali e internazionali • Le agenzie governative migliorano il monitoraggio e l'applicazione delle politiche di controllo della contaminazione <p>Decisioni informate per i Politici</p> <ul style="list-style-type: none"> • I dati scientifici del curriculum supportano lo sviluppo di politiche basate sull'evidenza • Migliori strategie per ridurre l'inquinamento agricolo e l'uso eccessivo di sostanze chimiche <p>Potenziamento delle Comunità Locali</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le iniziative di citizen science incoraggiano la partecipazione del pubblico al monitoraggio della sicurezza alimentare • Una maggiore consapevolezza porta a sostenere l'adozione di norme più severe in materia di ambiente e sicurezza alimentare
--	---

Ore di attività

	Ore totali	Teoria	Pratica	Studio individuale
	82	48	24	10

Materie del Curriculum

Parte Teorica	Numero di ore	Obs
<p>Capitolo 1. Introduzione a rischi di contaminazione dei cereali in produzioni agricole colpite da conflitti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comprendere l'impatto delle attività militari sulla contaminazione del suolo e delle colture. • Identificare i contaminanti primari: pesticidi, composti azotati e metalli pesanti • Analizzare le vie di contaminazione nei cereali e nel sistema alimentare. • Panoramica dei rischi di contaminazione agricola • Fonti di contaminazione da metalli pesanti (piombo, arsenico, cadmio) • Effetti di pesticidi e fertilizzanti azotati in eccesso su suolo e acqua 	2 (LTT 1-3)	<p>Ogni parte teorica consiste in 8 ore x 2 giorni</p> <p>In totale 16</p>



		ore/L TT
Capitolo 2. Termini e definizioni <ul style="list-style-type: none">• Termini Generali relativi alla Contaminazione• Termini relativi alla Contaminazione da Metalli Pesanti• Termini relativi alla Contaminazione da Pesticidi• Termini relativi alla Contaminazione Specifica di Produzioni agricole colpite da conflitti• Termini Normativi internazionali e dell'UE	2 (LTT 1-3)	
Capitolo 3. Il contesto Internazionale del conflitto ucraino e la Legislazione a livello Nazionale ed Europeo <ul style="list-style-type: none">• Limiti e soglie Normative (EU, FAO, Codex Alimentarius)	2 (LTT 1-3)	
Capitolo 4. Misure necessarie per ridurre le contaminazioni nei cereali <ul style="list-style-type: none">• Misure per ridurre il contenuto di pesticidi nei cereali e nei prodotti a base di cereali• Misure per ridurre la contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti a base di cereali• Misure per la riduzione dei composti azotati nei cereali e nei prodotti a base di cereali	8 (LTT1)	
Capitolo 5. I metodi analitici per il controllo dei contaminanti <ul style="list-style-type: none">• Metodi analitici per la rilevazione del contenuto di pesticidi nei cereali e nei prodotti a base di cereali• Metodi analitici per rilevare la contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti a base di cereali• Metodi analitici per la ricerca di composti azotati nei cereali e nei prodotti a base di cereali	8 (LTT2)	
Capitolo 6. Il rischio per la salute relativo alla contaminazione dei cereali e dei prodotti a base di cereali <ul style="list-style-type: none">• Il rischio per la salute legato alla contaminazione dei prodotti a base di cereali e cereali• Il rischio per la salute dei cereali e dei prodotti derivati contaminati da metalli pesanti• Il rischio per la salute dei prodotti a base di cereali e cereali contaminati da composti azotati	8 (LTT3)	



Valutazione	2 (LTT1-3)	
Parte pratica Le attività pratiche saranno svolte nei laboratori didattici delle università partner, che dispongono delle attrezzature necessarie.	Numero di ore	Obs
i) scambiare le migliori pratiche nella gestione dei cereali e dei prodotti correlati importati dall'Ucraina e suscettibili di contaminazione.	8 LTT1	Ogni parte pratica consiste in 8 ore x 1 giorno (LTT1-3)
ii) Scambio di buone pratiche per l'individuazione di contaminanti nei cereali e nei prodotti a base di cereali.	8 LTT2	
iii) Scambio di buone pratiche sui rischi per la salute e la sicurezza alimentare associati al consumo di prodotti cerealicoli contaminati da pesticidi, metalli pesanti e composti azotati.	8 LTT3	
Metodi di valutazione: I metodi di valutazione si basano su elementi oggettivi, semi-oggettivi e soggettivi. Elementi oggettivi: si riferiscono alla valutazione basata sui principi della scelta doppia, a coppie o multipla di un certo numero di soluzioni offerte agli studenti. Elementi semi-oggettivi: può avvenire con domande a risposta breve, complementare o strutturata in cui lo studente interviene con soluzioni espresse nella formulazione parzialmente resa. Elementi soggettivi: si riferiscono al saggio libero o strutturato, in cui l'allievo esprime liberamente soluzioni al problema richiesto o basate su uno schema obbligatorio. Nella categoria degli item soggettivi, è inclusa anche la risoluzione di alcuni problemi sull'argomento insegnato.		
Valutazione per la certificazione delle competenze: sarà effettuata attraverso strumenti ed evidenze sviluppate in conformità alle disposizioni relative alle competenze cognitive e professionali, tenendo conto dei criteri di prestazione e delle condizioni di applicabilità. Alcune prove e strumenti di valutazione potranno tenere conto della valutazione integrata di più competenze o di più criteri di prestazione della stessa competenza o di competenze diverse. La valutazione evidenzia il grado di formazione delle competenze chiave, delle competenze tecniche generali e delle competenze tecniche specialistiche.		
Elenco del materiale didattico e di ricerca: Le parti teoriche e anche quelle pratiche saranno esemplificate con testi, immagini e video, e il metodo di insegnamento finale terrà conto del livello del gruppo target a cui si rivolge.		



CURRICULUM ESTESO

Capitolo 1. Introduzione

1.1. Comprendere l'impatto delle attività militari sulla contaminazione del suolo e delle colture

Le attività militari possono introdurre nell'ambiente un'ampia gamma di contaminanti che hanno un impatto sul suolo e, di conseguenza, sulle coltivazioni. Questi contaminanti possono essere classificati a grandi linee come:

Metalli pesanti: Munizioni, veicoli militari, droni da guerra e altre attrezzature possono rilasciare nel terreno metalli pesanti come piombo, cadmio, cromo, litio e uranio impoverito. Questi metalli possono accumularsi nelle piante, con conseguenti rischi per la salute dei consumatori.

Composti esplosivi: La detonazione degli esplosivi rilascia nell'ambiente vari composti chimici, tra cui i nitro-aromatici (ad esempio, TNT, RDX) e i perclorati. Questi composti possono essere tossici per le piante e per l'uomo e la loro persistenza nel suolo può portare a una contaminazione a lungo termine.

Propellenti e Combustibili: Le fuoriuscite e le perdite dai veicoli militari e dalle strutture di stoccaggio possono contaminare il suolo con propellenti (ad esempio, perclorato di ammonio) e combustibili (ad esempio, idrocarburi). Queste sostanze possono avere un impatto negativo sulla crescita e sullo sviluppo delle piante e alcune possono avere proprietà cancerogene.

Armi chimiche e biologiche: Anche se meno comune, il potenziale uso di armi chimiche o biologiche rappresenta una grave minaccia di contaminazione diffusa e di lunga durata. Questi agenti possono avere effetti devastanti sulla salute umana e sull'ambiente.

Materiali Radioattivi: L'uso di munizioni all'uranio impoverito solleva preoccupazioni sulla contaminazione radioattiva. Mentre la radiotossicità dell'uranio impoverito è discussa, la sua tossicità chimica come metallo pesante è ben nota.

Ordigni inesplosi (UXO): Gli UXO, comprese le mine terrestri e le bombe inesplose, non solo rappresentano un pericolo fisico diretto, ma possono anche rilasciare contaminanti nel terreno circostante nel corso del tempo, a causa della loro corrosione.

L'impatto di questi contaminanti sul suolo e sulle colture è multiforme:

Degradazione del suolo: La contaminazione può alterare le proprietà del suolo, influenzandone la fertilità, la struttura e la capacità di trattenere l'acqua, ostacolando in ultima analisi la crescita delle piante.

Assorbimento e accumulo da parte delle piante: Le piante possono assorbire i contaminanti dal suolo attraverso le radici e traslocarli in diverse parti, comprese le parti commestibili come i chicchi.

Contaminazione della catena alimentare: Le colture contaminate possono introdurre queste sostanze nocive nella catena alimentare, con conseguenze sulla salute umana e animale.

Importanti considerazioni



La gravità della contaminazione del suolo e delle colture dipende dal tipo e dall'intensità delle attività militari, dal tipo di suolo e dal clima.

Gli effetti a lungo termine della contaminazione del suolo causata da attività militari possono essere difficili da valutare e potrebbero non essere pienamente compresi per molti anni.

Affrontare la contaminazione del suolo e delle colture causata dalle attività militari è essenziale per proteggere la salute umana e l'ambiente.

1.2. identificare i contaminanti primari: pesticidi, composti azotati e metalli pesanti

I cereali, un alimento di base importante a livello globale, sono vulnerabili a diverse fonti di contaminazione, che comportano rischi sostanziali per la salute umana. I pesticidi, i composti azotati e i metalli pesanti sono contaminanti primari che destano particolare preoccupazione a causa del loro uso pervasivo, della persistenza nell'ambiente e del potenziale di esiti negativi per la salute.

1.2.1. Pesticidi

Questi agenti chimici vengono impiegati per gestire i parassiti che danneggiano le colture o che sono vettori di malattie. Sebbene siano essenziali per garantire la sicurezza alimentare, i residui di pesticidi nei cereali rappresentano una minaccia significativa per la salute umana.

Le principali classi di pesticidi comprendono:

Organofosfati – Agiscono sul sistema nervoso inibendo l'acetilcolinesterasi (ad esempio, clorpirifos, malathion, diazinon).

Carbammati– Simili agli organofosfati ma con inibizione enzimatica reversibile (ad esempio, carbaryl, aldicarb).

Organoclorurati – Persistenti nell'ambiente, molti sono ora vietati (ad esempio, DDT, lindano).

Piretroidi - Analoghi sintetici delle piretrine naturali, utilizzati per il controllo degli insetti (ad es. permetrina, cipermetrina).

Neonicotinoidi - Agiscono sul sistema nervoso degli insetti, controversi per il loro impatto sulle api (ad esempio, imidacloprid, thiamethoxam).

Triazine - Erbicidi comuni che inibiscono la fotosintesi (ad esempio, atrazina, simazina).

Sulfoniluree - Erbicidi che interrompono la sintesi degli aminoacidi delle piante (ad esempio, metsulfuron-metile).

Erbicidi fenossi – Utilizzati per il controllo delle infestanti a foglia larga (ad esempio, 2,4-D).

Dicarbossimidi

– Fungicidi che inibiscono la crescita dei funghi (ad esempio, iprodione)

Strobilurine – Fungicidi moderni che interrompono la respirazione mitocondriale (ad esempio, l'azossistrobina). Ogni classe ha usi, profili di tossicità e impatti ambientali specifici.

Impatti sulla salute

I principali impatti sulla salute umana derivanti dall'esposizione ai pesticidi dipendono dal tipo di pesticida, dalla dose e dalla durata dell'esposizione. Tra questi:



Effetti Acuti (Esposizione a Breve Termine)

1. **Effetti neurologici** – Mal di testa, vertigini, nausea, convulsioni (ad esempio, gli organofosfati e i carbammati inibiscono l'acetilcolinesterasi).
2. **Problemi respiratori:** difficoltà respiratorie, irritazione o sintomi simili all'asma dovuti all'esposizione all'inalazione.
3. **Irritazione cutanea e oculare:** eruzioni cutanee, sensazione di bruciore o reazioni allergiche dovute al contatto cutaneo.
4. **Problemi Gastrointestinali** – Vomito, diarrea, e dolori addominali dovuti all'ingestione

Effetti cronici (Esposizione a Lungo Termine)

1. **Neurotossicità** – Aumento del rischio di malattie neurodegenerative come il Parkinson e il declino cognitivo.
2. **Cancerogenicità** – Alcuni pesticidi (ad esempio, organoclorurati, glifosato) sono collegati al cancro, tra cui la leucemia e il linfoma non-Hodgkin.
3. **Interruzione Endocrina** – Interferenza con i sistemi ormonali, che influisce sulla salute riproduttiva, sulla funzionalità tiroidea e sullo sviluppo fetale.
4. **Effetto sulla Riproduzione e sullo Sviluppo** – Riduzione della fertilità, difetti alla nascita e disturbi dello sviluppo nei bambini.
5. **Soppressione del sistema immunitario** – Maggiore suscettibilità alle infezioni e alle malattie autoimmuni.
6. **Danni al fegato e ai reni** – L'esposizione cronica può portare a disfunzioni d'organo dovute al bioaccumulo di composti tossici.

Popolazioni Vulnerabili

- **Bambini e donne incinte:** più sensibili a causa dello sviluppo degli organi.
- **Braccianti agricoli e applicatori di pesticidi:** rischio di esposizione più elevato attraverso il contatto professionale.

I limiti normativi e le misure di sicurezza mirano a ridurre al minimo questi rischi, ma l'esposizione deve essere attentamente controllata.

- **Quadro Normativo:** numerose nazioni hanno implementato quadri normativi che disciplinano l'applicazione dei pesticidi e stabiliscono i limiti massimi di residui (LMR) nei cereali per mitigare l'esposizione dei consumatori (FAO/OMS, 2022).

1.2.2. Composti Azotati

I composti azotati, in particolare nitrati e nitriti, sono sostanze presenti in natura che possono entrare nella catena alimentare anche attraverso le pratiche agricole, in particolare l'applicazione di fertilizzanti a base di azoto.

- **Fonti di Contaminazione:** L'uso eccessivo di fertilizzanti azotati può provocare la lisciviazione dei nitrati nelle falde acquifere e nelle acque superficiali, contaminando di conseguenza l'acqua di irrigazione e le colture di cereali.
- **Implicazioni sulla salute:** Livelli elevati di nitrati nei cereali presentano rischi per la salute, in particolare per i neonati, poiché i nitrati possono essere convertiti in nitriti, causando



metaemoglobinemia, una condizione che compromette il trasporto di ossigeno. Inoltre, i nitriti possono reagire con le ammine gastriche formando nitrosammine cancerogene (OMS, 2011)

- **Misure normative:** l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) ha stabilito delle linee guida per le concentrazioni di nitrati nell'acqua potabile e normative analoghe si applicano spesso ai prodotti alimentari, compresi i cereali.

1.2.3. Oligoelementi Tossici

L'espressione "metalli pesanti" definisce gli elementi metallici che hanno una densità relativamente elevata rispetto all'acqua e si presume che la pesantezza sia associata alla tossicità. I metalli pesanti sono anche considerati oligoelementi, poiché sono presenti in concentrazioni di tracce comprese tra ppb e meno di 10 ppm nella maggior parte delle matrici ambientali. In precedenza, gli scienziati usavano il termine "metalli pesanti" per riferirsi agli oligoelementi. Infatti, non tutti i metalli sono essenzialmente pesanti (ad esempio, Al, Ni) e alcuni elementi non sono metalli (ad esempio, As, Se). Ecco perché oggi i ricercatori preferiscono il termine "oligoelementi (metallici)" o, più semplicemente, "oligoelementi". I metalli possono essere classificati come essenziali e non essenziali, a seconda che esercitino una funzione nei processi biochimici e fisiologici (Goyer et al., 2004). Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), gli elementi essenziali sono I, Zn, Se, Fe, Cu, Cr e Mo. Altri oligoelementi possono avere effetti benefici o essere essenziali, come Mn, Co, As, Ni e V (Amiard et al., 2011). Infatti, Cu e Fe sono incorporati in numerosi metalloenzimi coinvolti nella formazione dell'emoglobina e nel metabolismo dei carboidrati (Henriques et al., 2017), mentre lo Zn svolge un ruolo importante nella divisione e crescita cellulare, nella guarigione delle ferite e nella scomposizione dei carboidrati (Roohani et al., 2013). Gli oligoelementi non essenziali come Hg, Pb o Cd non svolgono alcun ruolo fisiologico e sono tossici anche in quantità molto piccole (Goyer et al., 2004). Gli oligoelementi tossici sono elementi naturali generalmente caratterizzati da elevato peso atomico e densità, che mostrano effetti tossici sui sistemi biologici. Questi contaminanti possono entrare nella catena alimentare attraverso diverse vie, tra cui scarichi industriali, attività minerarie e l'uso di acqua di irrigazione contaminata.

- **Oligoelementi tossici rappresentativi:** Arsenico, cadmio, piombo e mercurio (per lo più accidentalmente) sono tra gli oligoelementi tossici più preoccupanti presenti nei cereali. Possono essere assimilati dalle piante di cereali da fonti idriche e terreni contaminati.
- **Standard Normativi:** Le organizzazioni internazionali (Unione Europea, ecc.) e le autorità nazionali hanno stabilito standard e linee guida per le concentrazioni di oligoelementi tossici nei cereali, per ridurre al minimo l'esposizione umana.

1.3. Fonti di contaminazione

1.3.1. Fonte di contaminazione da pesticidi

●Settore agricolo

Il settore agricolo è il principale settore economico in cui venivano utilizzati pesticidi clorurati, i cui effetti si avvertono ancora oggi. L'impatto dei pesticidi utilizzati in agricoltura sulle acque si manifesta sotto forma di inquinamento diffuso, attualmente misurato nelle falde acquifere e nelle acque superficiali.



Le emissioni in atmosfera di inquinanti organici persistenti (POP) utilizzati nel settore agricolo provengono da fonti fisse, come l'applicazione di pesticidi al suolo e la combustione, o da fonti mobili, principalmente correlate ai veicoli stradali (trattori e altri mezzi di trasporto).

• **Industria**

Le fonti di emissione nel settore industriale sono principalmente puntuali. Tuttavia, esistono anche alcune fonti diffuse generate dallo stoccaggio di rifiuti solidi e liquidi derivanti dalla produzione di pesticidi. Le scorte esistenti (inclusi i rifiuti) di POP sono correlate alle quantità di POP non più utilizzati e che potrebbero essere smaltiti.

1.3.2. Fonte di contaminazione da composti azotati

La quantità di nitrati presente nella pianta in un dato momento è il risultato dell'equilibrio tra la quantità assorbita e quella utilizzata per la sintesi delle proteine. Qualsiasi fattore che intervenga nella catena metabolica, che assicura la trasformazione dell'azoto nitrico in azoto amminico e azoto proteico, può influenzare la quantità di nitrati liberi nella pianta. Le fonti di contaminazione da nitrati, nitriti e ammonio nei prodotti orticoli sono:

- **Fonti naturali:** Nitrati provenienti dal suolo, dalle acque superficiali e dalle falde acquifere, derivanti dalla decomposizione naturale dell'azoto organico da parte di microrganismi e dalla sua trasformazione in materiali come le proteine nelle piante e negli animali. La presenza naturale di nitrati e nitriti nell'ambiente è la conseguenza del cosiddetto "ciclo dell'azoto".
- **fonti antropiche:** dato dall'uso di fertilizzanti sintetici nella fertilizzazione delle colture orticole, agricole e dall'applicazione dei rifiuti derivanti da questi allevamenti sui terreni coltivati.
 - ✓ Una fertilizzazione eccessiva, con dosi che superano il fabbisogno di azoto della pianta durante il periodo di massimo consumo, porta a un aumento del contenuto di nitrati nella pianta. La somministrazione di fertilizzanti azotati, sotto forma di fertilizzante fogliare, porta a un aumento del contenuto di nitrati, ma nel breve periodo successivo all'applicazione, il livello di nitrati scende fino al valore pre-trattamento. Il contenuto di nitrati nelle piante può essere ridotto del 20-25% irrorando le colture con acqua nel periodo pre-raccolta.
 - ✓ Livelli elevati di nitrati si riscontrano nelle colture coltivate su terreni ricchi di azoto e humus, anche in assenza di fertilizzanti azotati. Il problema dell'inquinamento da nutrienti inizia a livello domestico, in particolare dalla gestione e dall'uso improprio del letame in agricoltura. L'agricoltura biologica promuove l'uso del compost, un fertilizzante non dannoso per l'ambiente, più economico e facilmente accessibile.
- **Il potenziale genetico** della pianta provoca l'accumulo di nitrati. Le specie vegetali caratterizzate dal più alto contenuto di nitrati sono le verdure il cui organo di consumo è la foglia.
- **Condizioni climatiche** (temperatura, precipitazioni, intensità luminosa) determinano il livello di nitrati nelle piante, in conseguenza delle condizioni in cui avviene la reazione di riduzione. Tra questi, il regime di illuminazione ha un ruolo molto importante, poiché interviene come fonte di energia nel processo di riduzione dei nitrati nella pianta (nitrato – nitrito – ammonio – amminoacido).



- **1.3.3. Fonti di contaminazione da metalli pesanti (piombo, arsenico, cadmio, antimonio, cromo, nichel, zinco, mercurio, alluminio)**

I residui di elementi pesanti sono i residui bellici più persistenti nelle aree colpite, contaminando aria, suolo e acqua. La loro permanenza nell'ambiente dipende dalle proprietà redox. Le fonti di contaminazione da metalli sono fumi e particelle da sparo, frammenti di proiettili, inneschi, detonatori, materiale bellico, armi da fuoco, munizioni, artiglieria e granate, e sistemi di guerra con droni.

La contaminazione delle colture da oligoelementi tossici deriva principalmente dalle seguenti fonti:

- (i) Contaminazione del suolo: metalli pesanti come piombo (Pb), arsenico (As) e cadmio (Cd) si accumulano nei terreni agricoli a causa delle emissioni industriali, delle attività minerarie e delle fonti geologiche naturali.
- (ii) Acqua per l'irrigazione: l'acqua contaminata proveniente da scarichi industriali, dall'irrigazione delle acque reflue o dalle falde acquifere naturali ricche di metalli può introdurre metalli pesanti nel terreno e nelle piante.
- (iii) Deposizione atmosferica: gli inquinanti atmosferici derivanti da attività industriali, emissioni di veicoli, combustione di combustibili fossili e, eccezionalmente, emissioni di esplosioni (belliche) possono depositarsi sulle colture e sul terreno, aumentando la concentrazione di metalli.
- (iv) Fertilizzanti e pesticidi: i fertilizzanti fosfatici e alcuni pesticidi contengono tracce di metalli pesanti, che contribuiscono all'accumulo a lungo termine nel terreno.
- (v) Applicazione su rifiuti e fanghi: l'utilizzo di fanghi di depurazione, compost o rifiuti organici come ammendanti del terreno può introdurre quantità significative di metalli pesanti nei campi agricoli. Una volta assorbiti dalle piante, questi metalli possono accumularsi nelle parti commestibili, rappresentando rischi per la salute umana.

1.4. Effetti dei pesticidi e dei fertilizzanti azotati eccessivi sul suolo e sull'acqua

L'applicazione di pesticidi e di fertilizzanti azotati in quantità eccessive nell'agricoltura moderna, pur contribuendo all'aumento delle rese, rappresenta una minaccia significativa per la qualità del suolo e dell'acqua, con conseguenti impatti sulla salute degli ecosistemi e potenziali danni al benessere umano. I cereali, una fonte alimentare dominante a livello globale, mostrano una particolare vulnerabilità alla contaminazione da questi input agrochimici.

1.4.1. Pesticidi

L'utilizzo di pesticidi per il controllo dei parassiti può avere una serie di conseguenze ecologiche indesiderate sia sul suolo che sulle risorse idriche.

- **Effetti Edafici:**
 - **Interruzione Biotica:** L'applicazione di pesticidi può avere un impatto negativo sugli organismi del suolo non bersaglio, tra cui insetti benefici, lombrichi e comunità microbiche, con conseguente riduzione della biodiversità e interruzione di processi essenziali come il ciclo dei nutrienti e la decomposizione.
 - **Contaminazione del Suolo:** residui persistenti di pesticidi possono accumularsi nella matrice del suolo, inibendo potenzialmente la crescita delle piante e creando rischi per gli organismi che consumano materiale vegetale contaminato



- **Alterazioni delle proprietà del Suolo:** alcuni pesticidi possono modificare la struttura del suolo, la capacità di ritenzione idrica e altre proprietà fisico-chimiche, riducendone potenzialmente la fertilità.
- **Effetti Acquatici:**
 - **Contaminazione delle acque:** il deflusso di pesticidi dai campi agricoli può contaminare le risorse idriche superficiali e sotterranee, con un impatto negativo sulla vita acquatica e potenzialmente infiltrandosi nelle fonti di acqua potabile.
 - **Ecotossicità:** i pesticidi possono essere tossici per gli organismi acquatici, causando danni o mortalità in pesci, invertebrati e alghe, con conseguente degrado degli ecosistemi acquatici.
 - **Contaminazione dei sedimenti:** i pesticidi possono legarsi alle particelle di sedimenti, accumulandosi nei corsi d'acqua e potenzialmente rappresentando rischi prolungati per la vita acquatica.

1.4.2. Fertilizzanti azotati in eccesso

Sebbene la fertilizzazione azotata possa aumentare la produttività delle colture, un suo uso eccessivo può avere effetti negativi sulla qualità del suolo e dell'acqua.

- **Effetti Edafici:**
 - **Acidificazione del Suolo:** Un'eccessiva applicazione di azoto può contribuire all'acidificazione del terreno, influenzando la biodisponibilità dei nutrienti e potenzialmente ostacolando la crescita delle piante.
 - **Squilibrio Nutrizionale:** Livelli elevati di azoto possono alterare l'equilibrio di altri nutrienti essenziali del suolo, limitando potenzialmente la crescita e lo sviluppo delle piante.
- **Emissioni di Gas Serra:** I fertilizzanti azotati possono contribuire all'emissione di protossido di azoto (N₂O), un potente gas serra implicato nel cambiamento climatico.
- **Effetti sui sistemi acquatici:**
 - **Eutrofizzazione:** Un deflusso eccessivo di azoto può indurre l'eutrofizzazione dei corpi idrici, con conseguenti fioriture algali, carenza di ossigeno e moria di pesci.
 - **Contaminazione da nitrati:** Elevate concentrazioni di nitrati nell'acqua potabile possono rappresentare un rischio per la salute, in particolare per i neonati, provocando metaemoglobinemia, una patologia che compromette il trasporto dell'ossigeno.
 - **Contaminazione delle falde acquifere:** I nitrati possono infiltrarsi nelle falde acquifere, contaminando le riserve di acqua potabile e rendendo potenzialmente necessari costosi interventi di bonifica.

Riferimenti

- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Han, H., & Abdel-Rahman, M. A. (2021). Heavy metals in irrigation water and their impact on soil health and crop productivity: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 786, 147571.
- Antoniadis, V., Golia, E. E., & Tsadilas, C. D. (2017). Heavy metals in fertilizers: A review. *Journal of Environmental Management*, 201, 1-10.



- Bajwa, H., Jabar, Z. J., Hussain, M., & Abbas, F. (2019). Environmental legacy of wars: Impact of ordnance on soil, water, and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18029-18042.
- Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: A critical review. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(7), 2115-2134.
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., ... & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889-892.
- Garbino, H. (2019). The impact of landmines and explosive remnants of war on food security: The Lebanese case. *Journal of Conventional Weapons Destruction*, 23(3), 21-26.
- Gozak, N. Y., Trofymenko, O. V., & Dmytruk, Y. V. (2023). Peculiarities of heavy metals accumulation in forage plants and lichens in areas affected by military actions. *Ukrainian Journal of Ecology*, 13(1), 198-204.
- Okafor-Yarwood, I. M. (2014). Use of depleted uranium weapons in contemporary military interventions. *African Security Review*, 2(1), 111-125.
- Panagos, P., Karydas, C. G., & Kougias, I. (2018). Soil contamination in former military areas: A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(3), 963-978.
- Pérez-Izquierdo, J., Vílchez, C., & Santos-Villoslada, J. (2024). A review about the mycoremediation of soil impacted by war-like activities: Challenges and gaps. *Journal of Fungi*, 10(2), 108.
- Rodríguez-Seijo, A., Arias-Estévez, M., Fernández-Calviño, D., Simal-Gandara, J., & Mejuto, J. C. (2016). Assessment of potential environmental risk by heavy metals in soils from military shooting ranges. *Environmental Pollution*, 216, 703-711.
- Sakhnenko, V., Semenova, N., Smirnova, O., Kolchanov, O., & Yevchuk, O. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: Chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 71-82
- Skalny, A. V., Aschner, M., Bobrovniksky, I. P., Chen, P., Tsatsakis, A., Paoliello, M. M., Djordevic, A. B., & Tinkov, A. A. (2021). Environmental and health hazards of military metal pollution. *Environmental Research*, 201, 111568.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677.
- Vasiliev, S., & Petrova, A. (2024). Risks of soil pollution with toxic elements during military actions in Lviv. *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 195-208.
- Zolnikov, T. R., & Schinasi, L. H. (2020). Heavy Metal Toxicity in Armed Conflicts Potentiates AMR in *A. baumannii* by Selecting for Antibiotic and Heavy Metal Co-resistance Mechanisms. *Frontiers in Public Health*, 7, 7008767.



Capitolo 2. Termini e definizioni

2.1. Termini generali relativi alla contaminazione

Contaminazione

Presenza di **sostanze nocive** (chimiche, biologiche o fisiche) negli alimenti, nel suolo o nell'acqua oltre i livelli accettabili, rendendoli pericolosi per il consumo o l'uso.

Sicurezza Alimentare

La **disciplina scientifica** si concentra sulla manipolazione, preparazione e conservazione degli alimenti in modo da **prevenirne** la contaminazione e garantirne la sicurezza per il consumo umano.

Limiti massimi di residui (LMR)

Il livello più alto di **pesticidi o contaminanti legalmente consentito** nei prodotti alimentari, stabilito dal **Codex Alimentarius, dall'UE, dalla FAO e dalle normative nazionali**.

Valutazione del rischio

Il processo di **identificazione, valutazione e controllo dei potenziali rischi** nel settore alimentare e agricolo, in particolare la contaminazione causata dai danni ambientali legati alla guerra.

2.2. Termini relativi alla contaminazione da metalli pesanti

Metalli pesanti

Elementi Tossici (ad esempio piombo, cadmio, mercurio, arsenico) che si **accumulano nel terreno e nelle colture**, rappresentando gravi rischi per la salute se ingeriti.

Bioaccumulo

L'accumulo graduale di **metalli pesanti** o sostanze tossiche nelle piante, negli animali o negli esseri umani nel corso del tempo.

Fitorisanamento

Un processo che utilizza le **piante per assorbire e neutralizzare i metalli pesanti** dai terreni contaminati.

Contaminazione da piombo (Pb)

L'inquinamento da piombo nei cereali è causato da **attività militari, munizioni e rifiuti industriali** e, se assorbito, può provocare **disturbi neurologici e dello sviluppo**.

Contaminazione da Cadmio (Cd)

Un **metallo pesante altamente tossico** che si accumula nel terreno a causa di **fertilizzanti, emissioni industriali e detriti bellici**, compromettendo la funzionalità renale e la salute delle ossa.

Contaminazione da Arsenico (As)

L'arsenico entra nella catena alimentare attraverso i **pesticidi, la contaminazione delle acque e l'inquinamento** causato dalla guerra, provocando avvelenamenti cronici e rischi di cancro.

Contaminazione da Mercurio (Hg)

La contaminazione da mercurio in agricoltura è causata da **emissioni industriali, esplosivi e attività minerarie**, e influisce sulla salute neurologica e sullo sviluppo fetale.



2.3. Termini relativi alla contaminazione da composti azotati

Composti azotati

Composti chimici contenenti **azoto** (ad esempio nitrati, nitriti, ammoniaca) che, se usati in eccesso, **compromettono la salute del suolo, dell'acqua e delle piante.**

Inquinamento da Nitrati (NO_3^-)

Livelli elevati di **nitrati nell'acqua e nel terreno**, spesso causati dall'uso **eccessivo di fertilizzanti e da emissioni industriali** legati alla guerra, portano alla contaminazione dell'acqua e a problemi di salute come la **metaemoglobinemia ("sindrome del bambino blu")**.

Tossicità da Nitriti (NO_2^-)

I nitriti, derivati dai nitrati, sono **altamente tossici** e contribuiscono alla formazione di **nitrosammine cancerogene** negli alimenti e nell'acqua potabile.

Contaminazione da Ammoniaca (NH_3)

L'ammoniaca proveniente da **scarichi agricoli, esplosivi e rifiuti industriali può acidificare il suolo e l'acqua**, danneggiando la crescita delle piante e gli ecosistemi acquatici.

Eutrofizzazione

Processo in cui un **eccesso di composti azotati** nei corpi idrici provoca una **crescita eccessiva di alghe**, con conseguente riduzione dell'ossigeno e collasso dell'ecosistema acquatico.

Denitrificazione

Un processo naturale in cui i **microbi convertono i nitrati in azoto gassoso**, riducendo i livelli di azoto nel suolo e prevenendo l'inquinamento.

2.4. Termini relativi alla contaminazione da pesticidi

Pesticidi

Sostanze chimiche utilizzate per **controllare parassiti, specie vegetali infestanti e patologie vegetali**, che possono anche lasciare **residui nocivi** negli alimenti e nell'ambiente.

Pesticidi Organoclorurati (OCP)

Una classe di **pesticidi persistenti e tossici** (ad esempio DDT, aldrin, dieldrin) che si accumulano nel **suolo, nell'acqua e nelle catene alimentari.**

Pesticidi organofosfatici (OP)

Pesticidi altamente tossici (ad esempio **clorpirifos, malathion**) che **influiscono sulle funzioni del sistema nervoso** e sono soggetti a **severe normative UE.**

Onicotinoidi

Una classe di **insetticidi sistemici** collegata al **declino della popolazione** di api e soggetta a restrizioni ai sensi della **normativa UE.**



Glifosato

Un **erbicida ampiamente utilizzato** (presente nel **Roundup**) è sotto esame per i **suoi potenziali effetti cancerogeni**.

Residui di Pesticidi

La **traccia di pesticida rimasta** negli alimenti dopo il trattamento, che deve rimanere al di sotto dei limiti **massimi di residui (LMR)** per essere sicura.

Gestione integrata (IPM)

Un **approccio agricolo sostenibile** che riduce al minimo l'uso di pesticidi combinando **metodi di controllo dei parassiti biologici, fisici e chimici**.

2.5. Termini relativi alla Contaminazione Specifica di Produzioni agricole colpite da conflitti

Contaminazione del suolo indotta dalla guerra

L'inquinamento dei terreni agricoli causato da **esplosivi, metalli pesanti e distruzioni industriali durante i conflitti**.

Contaminazione da residui esplosivi

Contaminazione chimica causata da **bombe, mine e detriti militari**, che compromette la fertilità del suolo e la sicurezza alimentare.

Contaminazione da Radiazioni

La presenza di **materiali radioattivi** (ad esempio l'uranio proveniente da proiettili all'uranio impoverito) nelle aree agricole può compromettere la **sicurezza a lungo termine del suolo e delle colture**.

Inquinamento da uranio impoverito (DU)

Un **metallo pesante tossico e radioattivo** utilizzato nelle munizioni militari **che può persistere nel terreno per decenni**, aumentando il **rischio di cancro e malattie renali**.

Recupero delle terre post-conflitto

Il processo di ripristino dei terreni agricoli danneggiati dalla guerra attraverso la **decontaminazione del suolo, l'agricoltura sostenibile e il recupero ambientale**.

2.6. Termini normativi internazionali e dell'UE

Codex Alimentarius

Standard globale per la sicurezza alimentare che stabilisce i **limiti massimi di residui** di pesticidi, metalli pesanti e altri contaminanti negli alimenti.

Limiti massimi di residui (LMR) UE

Limiti **legali per i contaminanti** (ad esempio metalli pesanti, pesticidi) negli alimenti ai sensi del **regolamento (CE) n. 396/2005**.



Direttiva UE sui nitrati (91/676/CEE)

Normativa europea che limita l'**inquinamento da azoto derivante dall'agricoltura**, obbligando gli agricoltori a seguire **piani di gestione dei nutrienti**.

Green Deal europeo e strategia "Dal produttore al consumatore"

Iniziative dell'UE per **ridurre del 50% l'uso di pesticidi e fertilizzanti entro il 2030**, promuovendo l'**agricoltura biologica e sostenibile**.

Misure sanitarie e fitosanitarie (SPS)

WTO rules ensuring that food safety and contamination regulations **do not create unnecessary trade barriers**.

Misure sanitarie e fitosanitarie (SPS)

Norme dell'OMC che garantiscono che le normative sulla sicurezza alimentare e sulla contaminazione **non creino inutili barriere commerciali**.

Riferimenti bibliografici

- Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
- Alexa, E. (2008) Contaminanți în produse horticole si cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timișoara.
- Brhane, G., Dargo, H. (2014). Assessment of some heavy metals contamination in some vegetable and canned foods: A review. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 1(9), 1394- 1403.
- Elzwayie, A., Afan, H.A., Allawi, M.F., El-Shafie, A.(2017). Heavy metal monitoring, analysis and prediction in lakes and rivers: State of the art. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12104-12117
- Gallart-Mateu, D., Armenta, S., de la Guardia, M. (2014). Implementing the contamination prevention programs in the pesticide industry by infrared spectroscopy. *Talanta*, 119, 312-319
- Gomaa, N.A.R. (2022). Heavy metals, definition, sources of food contamination, incidence, impacts and remediation A literature review with recent updates. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(1), 419 - 437
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., et al. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: Effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Morrissy, J.G., Currell, J., Reichman, S.M., Surapaneni, A., Mallavarapu, M., Crosbie, N., Hirth, D., Aquiliona, S., Rajendram, W., Ball, A. (2021). Nitrogen contamination and bioremediation in groundwater and the environment: A review. *Earth-Science Reviews*, 222, 103816.
- Su, C. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. *Environmental Skeptics and Critics*, 3(2), 24



- Vryzas, Z. (2018). Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 5-9
- Yadav, I.C., Devi, N. L. (2017). Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environmental Science & Engineering*, 6, 141–154.

Capitolo 3. Il contesto internazionale del conflitto ucraino e la legislazione a livello nazionale ed europeo

La guerra in Ucraina ha sconvolto l'agricoltura globale, dato che l'Ucraina è uno dei maggiori esportatori mondiali di **grano, mais e orzo**. Il conflitto ha portato al **degrado del suolo, alla contaminazione da attività militari, a restrizioni commerciali e a problemi di sicurezza alimentare**.

3.1 Principali impatti a livello internazionale:

Sicurezza alimentare e approvvigionamento globale di cereali

- L'Ucraina, insieme alla Russia, **copre circa il 30% delle esportazioni globali di grano**. La guerra ha interrotto le catene di approvvigionamento, causando un **aumento dei prezzi** dei prodotti alimentari e carenze di cereali, soprattutto in Africa e Medio Oriente.
- La **Black Sea Grain Initiative** promossa dalle Nazioni Unite e dalla Turchia, era un tentativo di garantire un passaggio sicuro per le esportazioni di grano, ma il suo fallimento ha messo ulteriormente a dura prova i mercati alimentari globali.

Contaminazione ambientale e agricola

- **Metalli pesanti, residui di carburante e ordigni inesplosi** provenienti da attività militari hanno **inquinato i terreni agricoli ucraini**, aumentando i rischi di contaminazione dei cereali.
- I **bombardamenti su larga scala e la distruzione del territorio** hanno portato al degrado del suolo, incidendo sulla produttività agricola a lungo termine.

Interruzioni nel commercio agricolo e nelle catene di approvvigionamento

- I **blocchi portuali** e i danni alle infrastrutture hanno limitato la capacità dell'Ucraina di esportare cereali, costringendola a ricorrere a rotte alternative attraverso **Polonia, Romania e paesi baltici**.
- **Le sanzioni contro la Russia** hanno interrotto la fornitura di fertilizzanti e prodotti agrochimici, colpendo la produzione agricola globale.

3.2 Legislazione nazionale ucraina sulla contaminazione e la sicurezza alimentare

Il quadro normativo ucraino è allineato agli **standard dell'Unione Europea (UE)**, nell'ambito degli sforzi per l'adesione all'UE e la conformità al commercio agricolo. Le principali aree di interesse includono le normative sull'**uso di pesticidi, il controllo dell'inquinamento da nitrati e la contaminazione da metalli pesanti**.

Leggi e regolamenti chiave ucraini

Legge sui pesticidi e i prodotti agrochimici (2002, modificata)

- Regola l'**uso, la registrazione e lo smaltimento di pesticidi e fertilizzanti**



- Richiede il rispetto dei **limiti di residui UE** nei prodotti alimentari

Legge sulla protezione ambientale (1991, modificata)

- Definisce le normative **sull'inquinamento del suolo, la contaminazione chimica e la gestione dei rifiuti industriali**
- Stabilisce gli standard per la contaminazione da metalli pesanti e nitrati in agricoltura

Legge sulla sicurezza e l'igiene alimentare (2014, modificata per allinearla agli standard UE)

- Stabilisce i **limiti massimi di residui (LMR) per pesticidi e contaminanti**
- Regola la produzione, lo stoccaggio e la distribuzione degli alimenti per i mercati nazionali e di esportazione

Piano d'azione nazionale per la riduzione dell'inquinamento da nitrati

- Implementa misure per **prevenire il deflusso eccessivo di composti azotati** nel suolo e nell'acqua
- Supporta gli agricoltori nell'adozione di **tecniche di fertilizzazione sostenibili**

Strategia per l'agricoltura sostenibile e lo sviluppo rurale (2020-2030)

- Incoraggia **pratiche agricole resilienti al clima e rispettose dell'ambiente**
- Promuove **l'agricoltura di precisione e il biorisanamento** per ridurre i rischi di contaminazione

3.3 Legislazione e regolamenti europei sulla contaminazione agricola

Mentre l'Ucraina cerca una **maggiore integrazione con l'UE**, deve rispettare le severe **leggi europee in materia di sicurezza alimentare, tutela ambientale e commercio.**

Principali normative UE relative alla contaminazione dei cereali:

- **Regolamenti UE sui pesticidi e sui prodotti agrochimici**

Regolamento (CE) n. 1107/2009 – Regola l'**autorizzazione e l'uso dei pesticidi** nell'UE

Regolamento (UE) 2019/1381 – Introduce una maggiore **trasparenza nella valutazione del rischio alimentare**

Impatto sull'Ucraina:

- Le esportazioni di grano ucraino verso l'UE devono rispettare i **limiti di residui di pesticidi** previsti dal **regolamento (CE) n. 396/2005**
- L'Ucraina deve eliminare gradualmente i **pesticidi vietati dall'UE**, come i neonicotinoidi
- **Regolamenti UE sui nitrati e sui metalli pesanti**

Direttiva Nitrati (91/676/CEE) – Limita l'inquinamento da composti azotati nei corpi idrici

Regolamento (UE) 2023/915 sui metalli pesanti negli alimenti – Stabilisce limiti rigorosi per **cadmio, piombo e arsenico** nei cereali

Impatto sull'Ucraina:

- Gli agricoltori devono implementare le **migliori pratiche di gestione (BMP) per ridurre il deflusso di azoto**
- Per le esportazioni è necessario rispettare le **soglie UE sui metalli pesanti**
- **Leggi UE sulla sicurezza alimentare e sul commercio**

Legislazione alimentare generale (Regolamento (CE) n. 178/2002) – Stabilisce le basi della politica UE in materia di sicurezza alimentare



Limiti massimi di residui (LMR) UE per i contaminanti negli alimenti (Regolamento (CE) n. 1881/2006, aggiornato nel 2022) – Stabilisce i limiti per i contaminanti nei cereali

Impact on Ukraine:

- I produttori di cereali ucraini devono effettuare **test per la presenza di contaminanti prima dell'esportazione**
- È richiesta una rigorosa tracciabilità per soddisfare gli **standard HACCP e di certificazione della sicurezza alimentare**
- **Politiche dell'UE per l'agricoltura sostenibile e il Green Deal**

Strategia "**Dal produttore al consumatore**" (2020) - Obiettivo: ridurre del **50% l'uso di pesticidi e fertilizzanti entro il 2030**

Politica agricola comune (PAC) 2023-2027 - Sostiene l'**agricoltura ecosostenibile** attraverso sussidi

Impatto sull' Ucraina:

- L'Ucraina deve allineare le sue **pratiche agricole sostenibili** agli obiettivi del Green Deal dell'UE

Riferimenti bibliografici

- Alexa, E., (2003) Contaminanti in produse vegetale I.S.B.N. 973-620-071-X, Editura Eurobit, Timisoara.
- Alexa, E. (2008) Contaminanți în produse horticoale si cerealiere, ISBN 978-973-729-152-3. Editura SOLNESS, Timișoara.
- *Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). Official Gazette of Ukraine.*
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (Various decrees aligning with EU MRLs for pesticides). *Official Gazette of Ukraine.*
- Council of the European Communities. (1991). *Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.* Official Journal of the European Communities, L 375, 1-8.
- Datsko, O., Melnyk, O., Kovalenko, I., Butenko, A., Zakharchenko, E., Ilchenko, V., Onychenko, V., & Solokha, M. (2025). Estimation of the content of trace metals in Ukrainian military-affected soils. *Notulae Botanicae Horti Cluj-Napoca*, 53(1), 14328.
- Didenko, N. O. (2024). SOIL DAMAGE AND RECOVERY IN UKRAINE: LESSONS FROM GLOBAL POST-WAR EXPERIENCES. *Land Reclamation and Water Management*, (2), 79-86.
- ERS USDA (Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture). (2023, September). *Global Fertilizer Market Challenged by Russia's Invasion of Ukraine*
- European Commission. (2006). *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs.* Official Journal of the European Union, L 364, 5-24



- European Commission. (2006). *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union, L 364, 5-24.
- European Commission. (2020). *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system*.
- European Commission. (2022). *Commission Regulation (EU) 2022/1370 of 4 August 2022 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union, L 206, 12–25
- European Commission. (2023). *EU-Ukraine Solidarity Lanes*
- European Parliament and Council. (2005). *Regulation (EC) No 396/2005 of 23 February 2005 on maximum residue levels of pesticides in or on food and feed of plant and animal origin and amending Council Directive 91/414/EEC*. Official Journal of the European Union, L 70, 1-16.
- European Parliament and Council. (2021). *Regulation (EU) 2021/2115 of the European Parliament and of the Council of 2 December 2021 establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by Member States under the Common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulations (EU) No 1305/2013 and (EU) No 1307/2013*. Official Journal of the European Union, L 435, 1-186.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *The impact of the war in Ukraine on global food security and related matters under the mandate of FAO*.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). *The importance of Ukraine and the Russian Federation for global agricultural markets and the risks associated with the conflict*.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute). (2023). *How sanctions on Russia and Belarus are impacting exports of agricultural products and fertilizer*.
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2020). *Strategy for Sustainable Agriculture and Rural Development 2020-2030*.
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (Various National Action Plan documents on Nitrate Pollution Reduction)
- Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (Various regulations and standards on heavy metal and nitrate contamination in agriculture). *Official Gazette of Ukraine*.
- Pavlo Martyshev, Oleg Nivievskiy, Mariia Bogonos - <https://www.ifpri.org/blog/regional-war-global-consequences-mounting-%20damages-ukraines-agriculture-and-growing-challenges/>
- Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine—a review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 881-887.
- UN (United Nations). (2022). *Black Sea Grain Initiative*.



- *Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Law of Ukraine on Environmental Protection (with amendments)*
- *Verkhovna Rada of Ukraine. (2002). Law of Ukraine on Pesticides and Agrochemicals (with amendments)*
- *Verkhovna Rada of Ukraine. (2014). Law of Ukraine on Food Safety and Hygiene (with amendments).*
- *World Bank. (2022). The impact of the war in Ukraine on global commodity markets*

Capitolo 4. Misure necessarie per ridurre la contaminazione dei cereali

I cereali sono una componente fondamentale dell'approvvigionamento alimentare globale, ma la loro contaminazione con sostanze nocive, tra cui pesticidi, metalli pesanti e composti azotati, comporta rischi significativi per la salute e l'ambiente. Per garantire la sicurezza e la sostenibilità alimentare, è essenziale implementare misure efficaci che riducano al minimo la contaminazione in ogni fase della produzione, dalla gestione del terreno e dalla fertilizzazione alla raccolta, allo stoccaggio e alla lavorazione.

4.1. Misure per ridurre il contenuto di pesticidi nei cereali e nei prodotti ceralicoli

Applicazione delle Buone Pratiche Agricole (GAP) durante la produzione di cereali

I prodotti fitosanitari sono "pesticidi" che proteggono le colture o le piante desiderabili o utili. Sono utilizzati in agricoltura e in altri settori. Contengono almeno un principio attivo per proteggere le piante o i prodotti vegetali da parassiti/malattie e migliorarne la produttività in campo e nel post-raccolta, evitando anche la contaminazione da micotossine prodotte da alcune specie fungine, che possono essere presenti nei prodotti derivati. I pesticidi includono, tra gli altri: erbicidi, fungicidi, insetticidi, acaricidi, nematocidi, molluschicidi, regolatori di crescita, repellenti, rodenticidi e biocidi, nonché un'ampia gamma di composti chimici di sintesi. L'uso di pesticidi è consentito nell'agricoltura integrata, a differenza di quella biologica. L'uso di pesticidi nell'agricoltura integrata deve essere effettuato applicando la gestione integrata delle specie nocive (IPM). Quest'ultima tiene conto di principi agronomici, meccanici, fisici e biologici, ricorrendo all'uso selettivo di pesticidi di sintesi quando si affrontano situazioni che non possono essere gestite efficacemente con altri mezzi. La rotazione delle colture, l'utilizzo di cultivar resistenti/tolleranti e sementi certificate, nonché l'uso di organismi utili sono pratiche comuni per ridurre al minimo l'impiego di prodotti chimici. Quando si utilizzano pesticidi, è necessario rispettarne i livelli massimi di residui (LMR) come imposto da diversi enti competenti e in conformità con le "Buone Pratiche Agricole". Per l'uso dei pesticidi, è necessario applicare anche strategie anti-resistenza per massimizzarne l'efficacia riducendone l'impiego.

Nel complesso, il monitoraggio dei parassiti mediante osservazioni sul campo, metodi diagnostici classici e molecolari, nonché sistemi previsionali, consente di pianificare la gestione dei parassiti, tenendo conto dei livelli soglia relativi alla coltura e alle condizioni climatiche dell'area di riferimento. In particolare, metodi come l'imaging iperspettrale e i test basati sulla PCR consentono un rilevamento



tempestivo e preciso dei patogeni, consentendo di adottare misure preventive prima della comparsa delle malattie. Nuove tecnologie stanno entrando nella gestione dei cereali. Data l'imprevedibilità delle condizioni meteorologiche, è spesso difficile stimare gli effetti delle malattie in ogni stagione. Sono disponibili nuovi strumenti per prevedere i probabili rischi di malattia, ideare misure di controllo appropriate e migliorare il processo decisionale nella gestione delle malattie dei cereali, e tali strumenti possono aiutare gli agricoltori a essere proattivi piuttosto che reattivi nella gestione delle malattie. Tuttavia, le tecnologie di telerilevamento, come le immagini satellitari e dai droni, e l'IoT offrono un modo conveniente per monitorare e gestire le malattie su larga scala. Agenti di controllo biologico e sostanze naturali, inclusi gli induttori di resistenza, possono limitare la gravità dei patogeni dei cereali, limitando l'uso di farmaci. Le strategie per la protezione integrata dei cereali da parassiti e malattie devono essere attuate anche considerando la possibilità che queste colture possano essere colpite da malattie fungine che producono micotossine, che possono contaminare i cereali e i prodotti derivati. Secondo studi recenti, le micotossine più importanti presenti nei cereali sono il deossinivalenolo (DON), lo zearalenone (ZEN), le aflatossine (AF), l'ocratossina A (OTA), le tossine T-2/HT-2 e le fumonisine (FUM). Questi metaboliti secondari sono prodotti da diverse specie fungine appartenenti essenzialmente ai generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*. Il monitoraggio di questi patogeni fungini in campo consente di pianificare al meglio le loro strategie di protezione, evitando la contaminazione da micotossine su cereali e derivati. Diversi trattamenti domestici e industriali, come il lavaggio, la sbollentatura, la pelatura e i trattamenti termici, si sono dimostrati efficaci per ridurre i residui di pesticidi. Nuove tecnologie come il plasma freddo, il campo elettrico pulsato, l'irradiazione e l'ultrasuoni sono state applicate per degradare i residui di pesticidi e le micotossine, a seconda del tipo di pesticida e dei parametri di lavorazione, considerando anche che la loro dissipazione può avvenire durante le procedure di macinazione e cottura. In ogni caso, è fondamentale un'adeguata gestione della coltura in campo per prevenire l'accumulo di residui di pesticidi e micotossine nel post-raccolta e nei prodotti derivati.

La riduzione dei contaminanti nei cereali richiede un approccio globale che comprenda:

- **Pratiche agricole sostenibili:** utilizzo di tecniche agricole rispettose dell'ambiente per limitare l'accumulo di sostanze nocive.

- **Tecnologie per l'agricoltura di precisione:** implementazione di sistemi di monitoraggio basati sull'intelligenza artificiale per ottimizzare l'applicazione di fertilizzanti e pesticidi.

- **Conformità normativa:** garantire il rispetto degli standard di sicurezza alimentare e delle linee guida ambientali.

- **Lavorazione e analisi post-raccolta:** applicazione di tecniche avanzate di pulizia dei cereali, detossificazione e analisi di laboratorio per rilevare e rimuovere i contaminanti.

Integrando queste misure, la produzione di cereali può diventare più sicura, più sostenibile e in linea con gli obiettivi di sicurezza alimentare globale.

4.1.1. Gestione integrata (IPM)

La difesa integrata (IPM) è un approccio completo che combina diversi metodi di controllo dei parassiti per ridurre al minimo l'uso di pesticidi. Include:

- **Controllo biologico:** utilizzo di predatori naturali e microrganismi per sopprimere le popolazioni di parassiti.



● **Pratiche agronomiche:** Rotazione delle colture, consociazioni e varietà di colture resistenti per ridurre le infestazioni di parassiti.

● **Controllo meccanico:** trappole, barriere e rimozione manuale dei parassiti.

● **Controllo chimico come ultima risorsa:** applicare pesticidi solo quando necessario e in dosi minime.

4.1.2. Selezione di pesticidi ecocompatibili

Invece dei tradizionali pesticidi chimici, si dovrebbero utilizzare alternative più sicure:

● **Biopesticidi:** Derivati da fonti naturali come batteri, funghi o estratti vegetali.

● **Prodotti chimici a bassa tossicità:** pesticidi con rapida degradazione nell'ambiente e impatto minimo sulle specie non bersaglio.

● **Applicazioni di Precisione:** Tecniche di irrorazione mirate per evitare l'uso eccessivo di pesticidi.

4.1.3. Ottimizzazione dei metodi e dei tempi di applicazione dei pesticidi

Garantire un uso corretto dei pesticidi riduce i residui nel prodotto finale:

● **Rispettare le dosi raccomandate:** evitare applicazioni eccessive.

● **Condizioni meteorologiche ottimali:** applicare i pesticidi nelle condizioni meteorologiche ottimali per evitare la deriva e il ruscellamento.

● **Intervalli pre-raccolta:** garantire un periodo sufficiente per la degradazione dei pesticidi prima della raccolta.

4.1.4. Monitoraggio dei residui di pesticidi nel suolo e nell'acqua

Per prevenire l'accumulo di pesticidi e la contaminazione ambientale, è necessario attuare le seguenti misure:

● **Zone cuscinetto:** aree di vegetazione in prossimità di corsi d'acqua per assorbire il deflusso dei pesticidi.

● **Gestione del suolo:** test regolari e utilizzo di tecniche di biorisanamento per rimuovere i residui di pesticidi.

● **Sistemi di filtrazione dell'acqua:** prevenzione della contaminazione delle fonti di acqua potabile e per l'irrigazione.

4.1.5. Trattamento post-raccolta e detossificazione del grano

Diverse tecniche possono ridurre i residui di pesticidi nei cereali raccolti:

● **Pulizia e lavaggio:** Rimuove i residui superficiali.

● **Trattamento termico:** trattamento termico per degradare i pesticidi.

● **Ozonizzazione e trattamento UV:** metodi senza sostanze chimiche per degradare le molecole dei pesticidi.

4.1.6. Monitoraggio e controllo di laboratorio

Test regolari garantiscono la sicurezza dei cereali prima che raggiungano i consumatori:

● **Analisi cromatografica e spettrometrica:** rilevamento di residui di pesticidi nei campioni di grano.

● **Campionamento casuale:** effettuato in diverse fasi (campo, stoccaggio, distribuzione).



● **Rispetto dei limiti normativi:** garantire che i residui di pesticidi non superino i livelli di sicurezza.

4.1.7. Implementazione dell'agricoltura biologica

Il passaggio all'agricoltura biologica riduce l'uso di pesticidi:

- Utilizzo di compost e fertilizzanti organici: miglioramento naturale della fertilità del terreno.
- Utilizzo di metodi naturali di lotta contro i parassiti: insetti benefici, consociazioni di piante e biopesticidi.

- Evitare prodotti chimici di sintesi: vengono utilizzate solo sostanze organiche approvate.

Programmi di formazione e sensibilizzazione degli agricoltori

L'istruzione è fondamentale per ridurre l'uso dei pesticidi:

- **Workshop e seminari:** insegnamento delle migliori pratiche per l'applicazione dei pesticidi e di metodi alternativi.

- **Aziende agricole dimostrative:** dimostrano l'efficacia delle tecniche sostenibili.

- **Linee guida accessibili:** fornire agli agricoltori strategie chiare per ridurre l'uso dei pesticidi.

4.1.8. Consapevolezza dei consumatori e raccomandazioni sulla sicurezza alimentare

Anche i consumatori possono adottare misure per ridurre al minimo l'esposizione ai pesticidi:

- **Lavaggio e pelatura adeguati:** riduzione dei residui di pesticidi in superficie.
- Scegliere prodotti biologici certificati: garantire livelli più bassi di pesticidi.
- Seguire metodi di cottura che riducono i pesticidi: alcuni pesticidi si degradano con il calore.

4.1.9. Rafforzare il controllo e la certificazione governativa

Una regolamentazione efficace garantisce il rispetto degli standard di sicurezza:

- Armonizzazione con le norme internazionali (ad esempio UE, Codex Alimentarius)
- Ispezioni regolari delle aziende agricole e degli impianti di stoccaggio.
- Sanzioni più severe per l'uso eccessivo di pesticidi e per la contaminazione.
- Sanzioni più severe per l'uso eccessivo di pesticidi e per la contaminazione.

L'attuazione di queste misure ridurrà i residui di pesticidi nelle colture cerealicole, proteggerà la salute umana e promuoverà un'agricoltura rispettosa dell'ambiente.

4.2. Misure per ridurre la contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti cerealicoli

Buone pratiche agricole durante la produzione di cereali

Le misure di mitigazione del rischio legate alla presenza di metalli pesanti includono l'analisi del terreno per la presenza di metalli pesanti e la possibile bonifica tramite fitorisanamento, la rotazione dei cereali con colture che assorbono metalli pesanti o l'aggiunta di ammendanti del terreno quali calce, biochar o materia organica per ridurre la biodisponibilità dei metalli.

Si raccomanda inoltre il controllo degli input utilizzati durante la produzione, in particolare verificando che l'acqua di irrigazione sia priva di contaminazione da metalli come cadmio e piombo. È inoltre opportuno evitare fertilizzanti fosfatici ricchi di cadmio e testare i fertilizzanti organici (come il letame) per verificarne la contaminazione da metalli.

Misure da adottare durante la lavorazione dei cereali



È fondamentale monitorare le catene di approvvigionamento: le materie prime e i prodotti trasformati vengono regolarmente analizzati per verificare la presenza di metalli pesanti.

4.2.1. Controllo delle fonti di contaminazione

- Monitoraggio regolare del suolo, dell'acqua e dell'aria per identificare le fonti di metalli pesanti.
- Rilevamento e limitazione dell'uso di fertilizzanti, pesticidi e acque reflue contaminati in agricoltura.

4.2.2. Analisi agrochimica del suolo

- Analisi periodiche del terreno per verificare il contenuto di metalli pesanti.
- Utilizzo esclusivo di fertilizzanti e compost certificati con bassi livelli di elementi tossici.

4.2.3. Calcinazione e applicazione di fertilizzanti organici

- Utilizzo di materiali calcarei per ridurre la biodisponibilità dei metalli pesanti nel suolo.
- Applicazione di materia organica (humus, biochar) per legare i metalli pesanti e ridurre la mobilità.

4.2.4. Coltivazione di colture resistenti all'accumulo di metalli pesanti

- Utilizzo di varietà di colture e ibridi con una bassa capacità di accumulare metalli pesanti nei cereali.

4.2.5. Fitorisanamento – Purificazione biologica del suolo

- Coltivazione di piante fitodepuranti (girasole, senape, erba medica) per assorbire e rimuovere i metalli pesanti dal terreno.

4.2.6. Selezione corretta dei campi per la coltivazione

- Evitare la coltivazione di cereali su terreni contaminati o industriali.
- Monitoraggio delle aree vicine alle zone industriali e alle autostrade.

4.2.7. Controllo e purificazione dell'acqua di irrigazione

- Utilizzo di sistemi di filtrazione e altre tecnologie di purificazione dell'acqua.
- Utilizzo di sistemi di filtrazione e altre tecnologie di purificazione dell'acqua.

4.2.8. Ottimizzazione delle tecnologie di stoccaggio e lavorazione dei cereali

- Utilizzare materiali di stoccaggio sicuri per evitare il contatto con superfici metalliche che potrebbero rilasciare elementi tossici.
- Rimozione della contaminazione superficiale tramite pulizia e lavaggio prima della lavorazione.

4.2.9. Controllo di laboratorio della qualità dei prodotti a base di cereali

- Monitoraggio regolare del contenuto di metalli pesanti nei cereali, nella farina, nei cereali e in altri prodotti.
- Implementazione degli standard di sicurezza in conformità alle normative nazionali e internazionali.



4.2.10. Regolamentazione e controllo governativo

- Implementazione di normative ambientali più severe e controllo della conformità.
- Introduzione della certificazione dei prodotti relativamente al contenuto di metalli pesanti.

4.2.11. Sviluppo dell'agricoltura biologica

- Incoraggiare la transizione verso metodi di coltivazione rispettosi dell'ambiente.
- Evitare fertilizzanti sintetici e pesticidi che potrebbero contenere metalli pesanti.

L'attuazione di queste misure contribuirà a ridurre la contaminazione da metalli pesanti nelle colture di cereali, a migliorare la sicurezza alimentare e a minimizzare l'impatto negativo sulla salute umana e sull'ambiente.

4.3. Misure per ridurre i composti azotati nei cereali e nei prodotti cerealicoli

Composti azotati come nitrati, nitriti e ammine biogene possono accumularsi nei cereali e nei prodotti cerealicoli a causa di pratiche agricole, contaminazione ambientale o attività microbica durante la lavorazione e lo stoccaggio. Mentre alcuni composti azotati sono indicatori benefici del contenuto proteico, altri, soprattutto in quantità eccessive, possono rappresentare rischi per la salute. Per garantire la sicurezza e la qualità degli alimenti, è essenziale implementare strategie efficaci volte a ridurre i composti azotati indesiderati. Queste includono l'ottimizzazione delle pratiche di fertilizzazione, la selezione di varietà di cereali a basso assorbimento, il miglioramento della gestione post-raccolta, il controllo delle condizioni di conservazione (temperatura, umidità e ventilazione) e l'applicazione di metodi di lavorazione mirati che inibiscono la crescita microbica e la degradazione enzimatica. Insieme, queste misure contribuiscono a prodotti a base di cereali più sicuri e sani, supportando al contempo sistemi agricoli e produttivi sostenibili.

Buone pratiche agricole durante la produzione di cereali

Le misure di mitigazione includono l'uso di tecniche di agricoltura di precisione, in cui il terreno viene regolarmente analizzato per monitorare i livelli di azoto e la fertilizzazione viene regolata di conseguenza, applicando solo la quantità necessaria di fertilizzanti azotati e optando per fertilizzanti organici o a lento rilascio per ridurre al minimo le perdite di azoto per dilavamento e ruscellamento. Anche le buone pratiche per mantenere la sostanza organica del suolo, l'uso di compost e sovescio per migliorare la ritenzione di azoto e la rotazione delle colture con leguminose per fissare naturalmente l'azoto nel terreno possono essere d'aiuto. L'irrigazione controllata con tecniche a goccia può anche contribuire a prevenire la lisciviazione dell'azoto nelle falde acquifere. Infine, l'uso di inibitori della nitrificazione con i fertilizzanti può rallentare la conversione dell'ammonio in nitrato, riducendo le perdite di azoto.

Misure da adottare durante la lavorazione dei cereali

È fondamentale garantire che i cereali siano stoccati in condizioni di bassa umidità, al fine di limitare i processi di degradazione microbica e la conseguente formazione di composti azotati tossici. Possono inoltre essere applicate tecniche di detossificazione quali ammollo, germinazione, trattamenti



termici e fermentazione (ad esempio fermentazione naturale con pasta madre), volte a ridurre il contenuto di determinati composti azotati indesiderati.

4.3.1. Ottimizzazione della fertilizzazione azotata

- Applicazione di fertilizzanti in base alle esigenze delle piante e all'analisi del terreno per prevenire un accumulo eccessivo di azoto.
- Utilizzo di fertilizzanti azotati stabilizzati e a lento rilascio per ridurre la lisciviazione dei nitrati.

4.3.2. Rotazione delle colture e integrazione dei legumi

- Incorporazione di leguminose azotofissatrici nelle rotazioni colturali per arricchire naturalmente il terreno di azoto e ridurre l'uso di fertilizzanti sintetici.
- Alternare le colture di cereali con piante a radici profonde per migliorare l'assorbimento dell'azoto.

4.3.3. Agricoltura di precisione e tecniche di fertilizzazione intelligente

- Implementazione di tecnologie di agricoltura di precisione (droni, sensori, intelligenza artificiale) per ottimizzare l'applicazione di fertilizzanti azotati.
- Utilizzo dell'applicazione a portata variabile (VRA) per distribuire l'azoto in modo efficiente in base alle esigenze delle piante in tempo reale.

4.3.4. Uso di inibitori della nitrificazione

- Aggiungere inibitori della nitrificazione ai fertilizzanti per rallentare la conversione dell'azoto e ridurre la lisciviazione dei nitrati nelle falde acquifere.

4.3.5. Gestione controllata dell'irrigazione

- Evitare l'irrigazione eccessiva, che può dilavare i composti azotati dal terreno.
- Implementazione dell'irrigazione a goccia e di altre tecnologie efficienti dal punto di vista idrico per ridurre al minimo il deflusso di azoto.

4.3.6. Fertilizzazione organica e compostaggio

- Sostituire i fertilizzanti sintetici con compost, letame e altri fertilizzanti organici che rilasciano azoto più gradualmente.
- Promuovere l'attività microbica nel terreno per migliorare l'efficienza dell'azoto.

4.3.7. Miglioramento della salute del suolo e colture di copertura

- Coltivare colture di copertura (ad esempio trifoglio, senape) per assorbire l'azoto in eccesso e impedire la lisciviazione dei nitrati.
- Aumentare la sostanza organica del terreno per migliorare la ritenzione di azoto

4.3.8. Tecniche adeguate di conservazione e lavorazione dei cereali

- Garantire condizioni ottimali di essiccazione e conservazione per prevenire trasformazioni dei composti azotati che potrebbero aumentare i nitrati nei cereali.
- Lavaggio e lavorazione dei cereali per rimuovere i contaminanti superficiali.



4.3.9. Monitoraggio e test di laboratorio

- Analisi regolari di campioni di terreno, acqua e cereali per monitorare i livelli di nitrati e composti azotati.
- Conformità alle normative sulla sicurezza alimentare per i livelli accettabili di composti azotati nei prodotti a base di cereali.

4.3.10. Politiche regolatorie e misure di protezione ambientale

- Rafforzare le normative governative sull'uso dei fertilizzanti azotati.
- Incoraggiare programmi di certificazione per cereali e prodotti a base di cereali a basso contenuto di nitrati.

Grazie a queste misure è possibile ridurre significativamente la contaminazione da composti azotati nei cereali e nei prodotti a base di cereali, migliorando la sicurezza alimentare e la sostenibilità ambientale.

Riferimenti bibliografici:

- Abdelhamied, A. S., Selim, E. M. M., & Mosaad, I. S. (2024). Modified Slow-Release Urea Fertilizers on Yield and Nitrogen Use Efficiency of Wheat Crop (*Triticum aestivum* L) for Safe and Sustainable Agricultural System. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(22), 3497-3509.
- Ali, A., Guo, D., Jeyasundar, P. G. S. A., Li, Y., Xiao, R., Du, J., ... & Zhang, Z. (2019). Application of wood biochar in polluted soils stabilized the toxic metals and enhanced wheat (*Triticum aestivum*) growth and soil enzymatic activity. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109635.
- Bai, G., Su, Z., & Cai, J. (2018). Wheat resistance to *Fusarium* head blight. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 40(3), 336-346.
- Chełkowski, J. (2010). *Fusarium* head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*, 3(2), 107-119.
- Conservation agriculture based integrated crop management sustains productivity and economic profitability along with soil properties of the maize-wheat rotation. *Scientific reports*, 12(1), 1962.
- de Chaves, M. A., Reginatto, P., da Costa, B. S., de Paschoal, R. I., Teixeira, M. L., & Fuentefria, A. M. (2022). Fungicide resistance in *Fusarium graminearum* species complex. *Current Microbiology*, 79(2), 62.
- Deguine, J. P., Aubertot, J. N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38.
- Fărcaș, A. C. (2024). Food Safety in Cereal Grains: Contaminants, Legislation, and Mitigation Strategies. DOI: 10.5772/intechopen.1007523.
- Hendrichs, J., Pereira, R., & Vreysen, M. J. (2021). Area-wide integrated pest management: development and field application (p. 1028). Taylor & Francis.



- Hrynko, I., Kaczyński, P., Łuniewski, S., & Łozowicka, B. (2023). Removal of triazole and pyrethroid pesticides from wheat grain by water treatment and ultrasound-supported processes. *Chemosphere*, 333, 138890.
- Islam, T. (2022). An integrated pest management program for managing fusarium head blight disease in cereals. *Journal of integrative Agriculture*, 21(12), 3434-3444.
- Joshi, P., Sandhu, K. S., Dhillon, G. S., Chen, J., & Bohara, K. (2024). Detection and monitoring wheat diseases using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109158.
- Khan, B. A., Nadeem, M. A., Nawaz, H., Amin, M. M., Abbasi, G. H., Nadeem, M., Ali, M., Ameen, M., Javaid, M. M., Maqbool, R., Ikram, M., & Ayub M. A. (2023). Pesticides: impacts on agriculture productivity, environment, and management strategies. In *Emerging contaminants and plants: Interactions, adaptations and remediation technologies* (pp. 109-134). Cham: Springer International Publishing.
- Kuzdraliński, A., Kot, A., Szczerba, H., Nowak, M., & Muszyńska, M. (2017). A review of conventional PCR assays for the detection of selected phytopathogens of wheat. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 27(3), 175-189.
- Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of the Total Environment*, 795, 148625.
- Ma, Q., Liu, W., Zhai, G., Zhu, N., Gu, Y., Liu, H., ... & Zhu, X. (2025). Effect of slow-release nitrogen fertilizer on the vertical distribution of root and soil nutrients in the middle and later stage of wheat. *Plant and Soil*, 1-16.
- Pérez, A. L., & Anderson, K. A. (2009). DGT estimates cadmium accumulation in wheat and potato from phosphate fertilizer applications. *Science of the total environment*, 407(18), 5096-5103.
- Pooniya, V., Zhiipao, R. R., Biswakarma, N., Kumar, D., Shivay, Y. S., Babu, S., Das, K., A. K. Choudhary, Swarnalakshmi, K., Jat, R. D., Choudhary, R. L., Ram, H., Khokhar, M. K., Mukri, G., Lakhena, K. K., Puniya, M. M., Jat, R., Muralikrishnan, L., Singh A. K., & Lama, A. (2022).
- Sadhasivam, S., Britzi, M., Zakin, V., Kostyukovsky, M., Trostanetsky, A., Quinn, E., & Sionov, E. (2017). Rapid detection and identification of mycotoxigenic fungi and mycotoxins in stored wheat grain. *Toxins*, 9(10), 302.
- Sereda, I., Danilov, R., Kremneva, O., Zimin, M., & Podushin, Y. (2023). Development of Methods for Remote Monitoring of Leaf Diseases in Wheat Agroecosystems. *Plants*, 12(18), 3223.
- Simão, L. M., Cruppe, G., Michaud, J. P., Schillinger, W. F., Diaz, D. R., Dille, A. J., ... & Lollato, R. P. (2024). Beyond grain: Agronomic, ecological, and economic benefits of diversifying crop rotations with wheat. *Advances in agronomy*, 186, 51-112.
- Simpson, D. R., Weston, G. E., Turner, J. A., Jennings, P., & Nicholson, P. (2001). Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology*, 107, 421-431.



- Sojithamporn, P., Leksakul, K., Sawangrat, C., Charoenchai, N., & Boonyawan, D. (2023). Degradation of pesticide residues in water, soil, and food products via cold plasma technology. *Foods*, 12(24), 4386.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1112.
- Wang, G., Hu, F., Li, H., Yin, W., Fan, Z., Fan, H., ... & Chai, Q. (2025). Optimal green manure application reduces nitrogen losses, enhances wheat grain yield, and improves nitrogen use efficiency. *Journal of Integrative Agriculture*.
- Yang, J., Lai, X., Wang, Y., Guo, L., Zong, Y., Zhang, D., ... & Li, P. (2024). Nitrification inhibitor shifts the composition of soil microbial communities and increases N utilization potentials in wheat soil under elevated CO₂ concentration. *Plant and Soil*, 1-16.
- Zhang, X., Zhang, J., Li, L., Liu, Y., Zhen, W., & Wang, G. (2024). Interaction Effects of Water and Nitrogen Practices on Wheat Yield, Water and Nitrogen Productivity under Drip Fertigation in Northern China. *Agriculture*, 14(9), 1496.

Capitolo 5. I metodi analitici per il controllo dei contaminanti

5.1. Metodi analitici per rilevare il contenuto di pesticidi nei cereali e nei prodotti cerealicoli

I metodi per l'analisi dei pesticidi possono essere generalmente classificati in 4 gruppi: tecniche cromatografiche, tecniche spettroscopiche, tecniche di spettrometria di massa, tecniche di immunodosaggio ed elettroforesi capillare. I metodi analitici convenzionali sono la gascromatografia (GC) e la cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC) accoppiate a diversi rivelatori (UV, FD, DAD). Vengono utilizzati diversi tipi di rivelatori a seconda della classe di pesticidi analizzati (ECD per composti alogenati, FPD per pesticidi contenenti zolfo e fosforo, NPD per composti con azoto e fosforo). Il FID è adatto per la rilevazione di tutti i pesticidi. La spettroscopia a spettrometria di massa (MS) e la spettroscopia a spettrometria tandem (tandem MS) sono superiori rispetto ad altri rivelatori. Le analisi dei residui di pesticidi richiedono una complessa preparazione del campione che prevede procedure di estrazione e purificazione per garantire una buona estrazione delle sostanze target ed evitare la co-estrazione di composti interferenti indesiderati. La tecnica di preparazione del campione QuEChERS è ampiamente utilizzata per l'analisi multiresiduale in diverse matrici alimentari. Questa tecnica ha guadagnato popolarità grazie alla semplicità, alla velocità, alla capacità di estrarre un ampio spettro di pesticidi e al ridotto consumo di solventi organici. I cereali sono matrici complesse a causa della presenza di grassi e di un'elevata percentuale di solidi e sono raccomandate alcune modifiche alla tecnica QuEChERS per migliorarne l'efficienza, la selettività e la sensibilità di estrazione. Oltre alla metodica QuEChERS, le estrazioni liquido-liquido e in fase solida sono metodi di estrazione importanti nell'analisi dei pesticidi. QuEChERS è compatibile con GC e LC accoppiate a MS o MS/MS.

5.2. Metodi analitici per rilevare la contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti cerealicoli

Le tecniche analitiche più frequentemente utilizzate nei laboratori di analisi alimentare per determinare la contaminazione da elementi pesanti negli alimenti sono: spettrometria di



assorbimento atomico a fiamma (FAAS) e spettrometria di assorbimento atomico in fornello di grafite (GF-AAS). Esistono molti altri metodi, come la spettrometria di emissione atomica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-AES), la spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS), la spettrometria di assorbimento atomico in fornello di grafite con sorgente continua ad alta risoluzione (HR-CS-GFAAS); la cromatografia a scambio anionico accoppiata alla spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (AEC-ICP-MS); la spettrometria di emissione ottica al plasma indotto da microonde (MIP OES); metodi elettrochimici (potenziometria, ecc.), la spettroscopia di fluorescenza atomica (AFS) e la spettroscopia di assorbimento a raggi X (XAS). La preparazione del campione comprende l'essiccazione, la macinazione e la scomposizione del campione mediante digestione a secco, a umido e a microonde.

5.3. Metodi analitici per la rilevazione dei composti azotati nei cereali e nei prodotti ceralicoli

Il rilevamento e la quantificazione dei composti azotati nei cereali e nei prodotti a base di cereali sono essenziali per valutare la qualità nutrizionale, in particolare il contenuto proteico, e per garantire la sicurezza alimentare monitorando sostanze azotate indesiderate come nitrati, nitriti o ammine biogene. Diversi metodi analitici vengono impiegati di routine nei laboratori di ricerca e industriali per raggiungere questi obiettivi, ognuno con i propri punti di forza e limiti.

Il metodo Kjeldahl

Il metodo Kjeldahl è una delle tecniche più antiche e diffuse per la determinazione del contenuto di azoto totale negli alimenti, compresi i cereali. Il principio del metodo prevede la digestione del campione con acido solforico concentrato, che converte l'azoto organico in solfato di ammonio. Dopo la digestione, la soluzione viene alcalinata e l'ammoniaca liberata viene distillata e quantificata tramite titolazione. Poiché l'azoto è un componente chiave delle proteine, questo valore viene quindi utilizzato per stimare il contenuto proteico utilizzando uno specifico fattore di conversione. Il metodo Kjeldahl rimane un metodo di riferimento grazie alla sua accuratezza e alla sua ampia applicabilità. È standardizzato da organizzazioni come AOAC e ISO ed è comunemente utilizzato nei laboratori di controllo qualità dell'industria alimentare.

Metodo di combustione Dumas (Analisi Elementare)

Un'alternativa al metodo Kjeldahl è il metodo Dumas, che determina il contenuto di azoto totale mediante combustione ad alta temperatura. In questo processo, il campione viene bruciato in un ambiente ricco di ossigeno, convertendo l'azoto in azoto molecolare (N_2), che viene poi misurato utilizzando un rivelatore a conducibilità termica. Il metodo è più rapido e non richiede acidi o basi forti, il che lo rende più sicuro e rispettoso dell'ambiente. Tuttavia, come il metodo Kjeldahl, non distingue tra azoto proteico e non proteico.

Spettrofotometria UV-Visibile

La spettrofotometria UV-Vis viene spesso utilizzata per rilevare composti azotati inorganici come nitrati e nitriti in campioni di cereali. Una delle procedure più comunemente impiegate è la reazione di Griess, specifica per i nitriti. In questo metodo, il nitrito reagisce con l'acido solfanilico e un agente



di accoppiamento per formare un colorante azoico colorato, la cui intensità può essere misurata spettrofotometricamente a circa 540 nm.

Per i nitrati, che non reagiscono direttamente nella reazione di Griess, è solitamente necessaria una fase di riduzione per convertirli in nitriti. In alternativa, si possono impiegare metodi di assorbimento UV diretto, in particolare nell'intervallo 220-275 nm. Questo metodo è relativamente semplice ed economico, sebbene sia necessario prestare attenzione a ridurre al minimo l'interferenza da parte di altri componenti della matrice.

Cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC)

L'HPLC è una tecnica potente che consente la separazione e la quantificazione di un'ampia gamma di composti azotati nei cereali, inclusi amminoacidi liberi, ammine biogene, urea e piccoli peptidi. La rilevazione viene in genere effettuata mediante spettrometria UV, a fluorescenza o di massa, a seconda degli analiti specifici e dei reagenti di derivatizzazione utilizzati. Ad esempio, gli amminoacidi possono essere derivatizzati con *o*-ftalaldeide (OPA) o cloruro di dansile per aumentarne la sensibilità di rilevazione. L'HPLC è particolarmente utile per la profilazione nutrizionale e il monitoraggio dei processi di fermentazione o deterioramento nei prodotti cerealicoli.

Cromatografia Ionica

La cromatografia ionica (IC) è altamente efficace per la determinazione di specie azotate inorganiche come nitrati e nitriti. È particolarmente utile quando sono richiesti limiti di rilevabilità molto bassi o per l'analisi di matrici cerealicole complesse. I sistemi IC possono separare gli ioni in base alla loro carica e dimensione e rilevarli con elevata sensibilità e specificità, rendendo il metodo adatto ai test di conformità normativa in materia di sicurezza alimentare.

Cromatografia gassosa (GC) e spettrometria di massa GC (GC-MS)

La gascromatografia, spesso abbinata alla spettrometria di massa (GC-MS), viene utilizzata per la rilevazione di composti volatili azotati come le ammine biogene. Questi composti possono formarsi durante il deterioramento dei cereali o durante i processi di fermentazione e possono fungere da indicatori della qualità del prodotto.

Prima dell'analisi, le ammine vengono solitamente derivatizzate per migliorarne la volatilità e la rilevabilità. Questa tecnica offre un'eccellente sensibilità e specificità, sebbene richieda una strumentazione e una preparazione del campione più avanzate rispetto ai metodi spettrofotometrici.

Elettroforesi capillare (CE)

L'elettroforesi capillare è una tecnica emergente per l'analisi dei composti azotati, che offre un'elevata risoluzione e richiede quantità minime di campione e reagenti. È adatta per l'analisi di amminoacidi, nitrati e nitriti. Sebbene non sia ancora così comunemente utilizzata come l'HPLC o la cromatografia ionica, l'elettroforesi capillare sta guadagnando popolarità in ambito accademico e in contesti analitici ad alta precisione grazie alla sua efficienza e al suo profilo di chimica verde.



Riferimenti bibliografici

- He, S., Niu, Y., Xing, L., Liang, Z., Song, X., Ding, M., & Huang, W. (2024). Research progress of the detection and analysis methods of heavy metals in plants. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1310328.
- Vasilachi, I. C., Stoleru, V., & Gavrilescu, M. (2023). Analysis of heavy metal impacts on cereal crop growth and development in contaminated soils. *Agriculture*, 13(10), 1983.
- Balkrishna, A., Kumari, A., Kumar, A., Arya, V., Chauhan, A., Upadhyay, N. K., ... & Kuca, K. (2024). Biosensors for detection of pesticide residue, mycotoxins and heavy metals in fruits and vegetables: A concise review. *Microchemical Journal*, 111292.
- Proshad, R., & Idris, A. M. (2023). Evaluation of heavy metals contamination in cereals, vegetables and fruits with probabilistic health hazard in a highly polluted megacity. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(32), 79525-79550.
- Yutilova, K., Shved, E., Rozantsev, G., & Adamski, A. (2025). Russia–Ukraine war impacts on environment: warfare chemical pollution and recovery prospects. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-18.
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2025). Heavy metals: toxicity and human health effects. *Archives of toxicology*, 99(1), 153-209.
- Anwar Samsidar, A. S., Shafiquzzaman Siddiquee, S. S., & Sharifudin Md Shaarani, S. M. S. (2018). A review of extraction, analytical and advanced methods for determination of pesticides in environment and foodstuffs.
- Radowan, A. A. A. (2024). Analytical Techniques for Determining Pesticide Residues in Food: A Comprehensive Review. *International Journal of Materials Technology and Innovation*, 4(1), 42-74.
- Scutarășu, E. C., & Trincă, L. C. (2023). Heavy metals in foods and beverages: Global situation, health risks and reduction methods. *Foods*, 12(18), 3340.
- Shukla, S., Mbingwa, G., Khanna, S., Dalal, J., Sankhyan, D., Malik, A., & Badhwar, N. (2023). Environment and health hazards due to military metal pollution: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100857.
- Prof. Yuriy Dmytruk Podillia State University (PSU) Soil Protection Institute of Ukraine (SPIU) The State of Soil in Ukraine: Features, degradation and impact of war. [Presentation_The-State-Soil-Ukraine_22.10.2024.pdf](#)
- Solokha, M., Demyanyuk, O., Symochko, L., Mazur, S., Vynokurova, N., Sementsova, K., & Mariychuk, R. (2024). Soil degradation and contamination due to armed conflict in Ukraine. *Land*, 13(10), 1614.
- Broomandi, P., Guney, M., Kim, J. R., & Karaca, F. (2020). Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review. *Sustainability*, 12(21), 9002.



- Solokha, M., Pereira, P., Symochko, L., Vynokurova, N., Demyanyuk, O., Sementsova, K., ... & Barcelo, D. (2023). Russian-Ukrainian war impacts on the environment. Evidence from the field on soil properties and remote sensing. *Science of the Total Environment*, 902, 166122.
- Leal Filho, W., Fedoruk, M., Paulino Pires Eustachio, J. H., Barbir, J., Lisovska, T., Lingos, A., & Baars, C. (2023). How the war in Ukraine affects food security. *Foods*, 12(21), 3996.
- The importance of Ukraine and the Russian federation for global agricultural markets and the risks associated with the war in Ukraine. Information note. Food and Agriculture Organizations of the Unaided Nationals. 10 June 2022. Update. [FAO 2023 Risks associated war Ukraine \(no pollutants\).pdf](#)
- Sytar, O., & Taran, N. (2022). Effect of heavy metals on soil and crop pollution in Ukraine—a review. *Journal of Central European Agriculture*, 23(4), 881-887.
- Temkin, A. M., Evans, S., Spyropoulos, D. D., & Naidenko, O. V. (2024). A pilot study of chlormequat in food and urine from adults in the United States from 2017 to 2023. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34(2), 317-321.
- Wolterink, G., & Moretto, A. PIRIMIPHOS-METHYL (ADDENDUM). *Pesticide residues in food—2006*, 355.
- Lagisz, M., Wolff, K., & Port, G. (2010). Time matters: delayed toxicity of pirimiphos-methyl on *Tribolium castaneum* (Herbst)(Coleoptera: Tenebrionidae) and its effects on efficacy estimation of residual treatments. *Journal of Stored Products Research*, 46(3), 161-165.
- Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pirimiphos-methyl; finalised: 10 August 2005. EFSA Scientific Report (2005) 44, 1-53, Conclusion on the peer review of pirimiphos-methyl. <http://www.efsa.eu.int>
- Division of Toxicology and Human Health Sciences-Glyphosate - ToxFAQs™. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. August 2020. [Toxfacts Glyphosate.pdf](#)
- TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CHLORPYRIFOS U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. September 1997.
- [ATSDR ToxProfile Chlorpyrifos.pdf](#)
- GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY: FOURTH EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA. 12. CHEMICAL FACT SHEETS. p. 487-488. [pirimiphos-methyl-fact-sheet-WHO.pdf](#)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry ToxFAQs, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Public Health Service: CHLORPYRIFOS CAS # 2921-88-2. September 1997. [Toxfacts84 Chlorpyrifos.pdf](#)
- Nugent, A., & Thielecke, F. (2020). Dietary intakes of whole grains, health benefits but do contaminants pose a major risk?. *Proceedings of the Nutrition Society*, 79(OCE2), E436.
- Thielecke, F., & Nugent, A. P. (2018). *Contaminants in grain—A major risk for whole grain safety? Nutrients* 10 (9): 1213.
- Anca Corina Fărcaș (2024). Chapter: Food Safety in Cereal Grains: Contaminants, Legislation, and Mitigation Strategies in Worldwide Megatrends in Food Safety and Food Security.
- DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1007523>. [Farcas 2024 Chapter.pdf](#)



- Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight. Source: [APK-Inform](#). Sep 17, 2020.
- [Ukrainian wheat crop-2020: quality and safety under the spotlight](#)

Capitolo 6. Il rischio per la salute legato alla contaminazione dei cereali e dei prodotti a base di cereali

6.1. Il rischio per la salute dei cereali e dei prodotti a base di cereali contaminati da pesticidi

Il consumo di cereali e prodotti a base di cereali contaminati da pesticidi può comportare diversi rischi per la salute, a seconda del tipo e della quantità di pesticidi, della durata dell'esposizione e dello stato di salute generale dell'individuo.

Potenziali rischi per la salute

Tossicità acuta: Alcuni pesticidi possono causare avvelenamenti acuti, che si manifestano con nausea, vomito, diarrea, mal di testa, vertigini, convulsioni o persino la morte se esposti a dosi elevate.

Effetti a lungo termine: L'esposizione prolungata ai pesticidi, anche a basse dosi, può aumentare il rischio di patologie croniche quali:

- **Cancro:** Alcuni pesticidi sono considerati cancerogeni o possono contribuire allo sviluppo del cancro, in particolare la leucemia, il linfoma non-Hodgkin e il cancro al seno.
- **Malattie neurologiche:** L'esposizione ai pesticidi può avere effetti negativi sul sistema nervoso, aumentando il rischio di contrarre il Parkinson, l'Alzheimer e altre malattie neurodegenerative.
- **Disturbi ormonali:** Alcuni pesticidi possono alterare il sistema endocrino, compromettendo la fertilità, lo sviluppo e la funzionalità della tiroide.
- **Problemi respiratori:** L'inalazione o l'esposizione a determinati pesticidi possono causare asma, bronchite e altri problemi respiratori.
- **Danni al sistema immunitario:** Alcuni studi suggeriscono che i pesticidi potrebbero indebolire il sistema immunitario, rendendo l'organismo più suscettibile alle infezioni.
- **Problemi di sviluppo nei bambini:** Le donne incinte esposte ai pesticidi possono avere bambini con basso peso alla nascita, difetti congeniti o ritardi nello sviluppo.

Fattori che influenzano il rischio

Tipo di pesticida: I diversi pesticidi presentano diversi gradi di tossicità e possono avere effetti diversi sulla salute.

Quantità di pesticida: Maggiore è la quantità di pesticidi ingerita, maggiore è il rischio per la salute.

Durata dell'esposizione: L'esposizione ripetuta o prolungata ai pesticidi può aumentare il rischio di effetti a lungo termine.

Stato di salute individuale: Le persone con un sistema immunitario indebolito, le donne incinte, i bambini piccoli e le persone affette da determinate patologie preesistenti potrebbero essere più vulnerabili agli effetti nocivi dei pesticidi.



6.2. Il rischio per la salute dei cereali e dei prodotti a base di cereali contaminati da metalli pesanti

Metalli pesanti tossici come cadmio, mercurio, piombo e arsenico possono non solo competere con minerali essenziali (ad esempio calcio, magnesio e ferro) per l'assorbimento cellulare, ma anche mostrare un'affinità per costituenti cellulari vitali, tra cui proteine strutturali, enzimi e acidi nucleici, potenzialmente compromettendone le rispettive funzioni. Il consumo di cereali e prodotti a base di cereali contaminati da metalli pesanti comporta un'ampia gamma di rischi per la salute, la cui manifestazione dipende da diversi fattori, tra cui il tipo e la concentrazione del metallo pesante, la durata dell'esposizione e lo stato fisiologico dell'individuo. I metalli pesanti sono dannosi anche a piccole concentrazioni a causa della loro lunga emivita biologica, della loro natura persistente e del potenziale di accumulo negli organi.

Rischi per la salute derivanti dalla contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti cerealicoli

Cereali e prodotti a base di cereali possono accumulare metalli pesanti come **piombo (Pb)**, **arsenico (As)** e **cadmio (Cd)** provenienti da suolo, acqua e aria contaminati. L'esposizione cronica a questi metalli attraverso il consumo di alimenti comporta rischi significativi per la salute.

Tossicità acuta: L'esposizione a certi metalli pesanti, come il mercurio e l'arsenico, può scatenare un avvelenamento acuto, caratterizzato da sintomi quali nausea, vomito, diarrea, mal di testa, vertigini, convulsioni e, in casi estremi, la morte.

Effetti a lungo termine: anche l'esposizione prolungata a basse dosi di metalli pesanti può aumentare l'incidenza di gravi malattie croniche:

- **Cancro:** Alcuni metalli pesanti, come l'arsenico, il cadmio e il piombo, sono classificati come cancerogeni o possono contribuire allo sviluppo di neoplasie, in particolare tumori della pelle, dei polmoni, della vescica e dei reni.
- **Malattie neurologiche:** L'esposizione ai metalli pesanti può influenzare il sistema nervoso ed è stata implicata nell'eziologia di disturbi neurodegenerativi come il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer.
- **Disturbi renali:** Il cadmio e il piombo possono danneggiare la funzionalità renale, aumentando il rischio di insufficienza renale.
- **Problemi alle Ossa:** Il piombo può interferire con il metabolismo del calcio, favorendo l'osteoporosi e le fratture.
- **Compromissione del sistema cardiovascolare:** alcuni metalli pesanti possono influenzare negativamente la pressione sanguigna e la frequenza cardiaca, aumentando il rischio di malattie cardiovascolari.
- **Problemi di sviluppo nei bambini:** L'esposizione ai metalli pesanti durante la gravidanza può avere conseguenze negative sullo sviluppo fetale, tra cui basso peso alla nascita, malformazioni congenite e ritardi nello sviluppo neurologico.

Di seguito sono riportati rischi per la salute più specifici (a seconda dell'elemento) derivanti dalla contaminazione da metalli pesanti nei cereali e nei prodotti a base di cereali.



➤ **Piombo (Pb)**

- **Danno neurologico**– Particolarmente dannoso per i bambini, provoca deterioramento cognitivo, riduzione del QI e ritardi nello sviluppo.
- **Effetti cardiovascolari**– Aumento del rischio di ipertensione e malattie cardiache.
- **Danni ai reni**– L'accumulo a lungo termine può portare a disfunzioni renali.

➤ **Arsenico (As)**

- **Cancerogenicità**– L'esposizione prolungata all'arsenico inorganico è associata allo sviluppo di tumori (della pelle, dei polmoni, della vescica).
- **Disturbi della pelle**– Iperpigmentazione, lesioni e cheratosi.
- **Effetti neurologici e cardiovascolari**: aumento del rischio di declino cognitivo, diabete e malattie cardiovascolari.

➤ **Cadmio (Cd)**

- **Tossicità renale**– Principale organo bersaglio; l'esposizione cronica provoca insufficienza renale.
- **Debolezza ossea** – Causa deplezione di calcio, con conseguente osteoporosi e fratture.
- **Cancerogenicità**– Classificato come cancerogeno per l'uomo, è associato al cancro ai polmoni e alla prostata.

Popolazioni vulnerabili

- **Neonati e bambini** – Maggiore suscettibilità a danni neurologici e disturbi dello sviluppo.
- **Donne incinte**– Rischio che i metalli pesanti attraversino la placenta, compromettendo lo sviluppo fetale.
- **Individui Anziani**– Rischio più elevato di danni renali e malattie ossee.

Limiti normativi e prevenzione

Organizzazioni come l'**EFSA**, l'**OMS** e la **FDA** stabiliscono rigidi limiti normativi per controllare i livelli di metalli pesanti negli alimenti. Le misure preventive includono il monitoraggio del suolo e delle acque, l'uso controllato di fertilizzanti e tecniche di lavorazione per ridurre la contaminazione nei cereali.

Manifestazioni tossiche

Tossicità acuta: L'esposizione a certi metalli pesanti, come il mercurio e l'arsenico, può scatenare un avvelenamento acuto, caratterizzato da sintomi quali nausea, vomito, diarrea, mal di testa, vertigini, convulsioni e, in casi estremi, la morte.

Effetti a lungo termine: Anche l'esposizione prolungata a basse dosi di metalli pesanti può aumentare l'incidenza di gravi malattie croniche:

- **Cancro**: Alcuni metalli pesanti, tra cui l'arsenico, il cadmio e il piombo, sono riconosciuti come cancerogeni o sono implicati nello sviluppo di neoplasie, in particolare carcinomi della pelle, del polmone, della vescica e dei reni.
- **Disfunzione cardiovascolare**: È stato dimostrato che alcuni metalli pesanti hanno effetti dannosi sul sistema cardiovascolare, tra cui alterazioni della pressione sanguigna e della frequenza cardiaca, aumentando così potenzialmente il rischio di malattie cardiovascolari.



- **Malattie neurologiche:** L'esposizione ai metalli pesanti può avere effetti sul sistema nervoso ed è stata implicata nell'eziologia di disturbi neurodegenerativi come il morbo di Parkinson e il morbo di Alzheimer.
- **Disturbi renali:** Il cadmio e il piombo possono danneggiare la funzionalità renale, aumentando il rischio di insufficienza renale.
- **problemi alle ossa:** Il piombo può interferire con il metabolismo del calcio, favorendo l'osteoporosi e le fratture.
- **Problemi di sviluppo nei bambini:** L'esposizione ai metalli pesanti durante la gravidanza può avere effetti negativi sullo sviluppo, tra cui basso peso alla nascita, malformazioni congenite e ritardi nello sviluppo neurologico.
- **Tossicità epatica:** alterando il sistema antiossidante dell'organismo umano, i metalli pesanti causano stress ossidativo nel fegato, che può portare a infiammazioni, indurre alterazioni cancerogene e insufficienza epatica.
- **Effetti metabolici e tossicità sistemica degli organi:** legandosi alle proteine nei sistemi biologici e subendo reazioni redox, i metalli pesanti interrompono i meccanismi di controllo cellulare e causano disfunzioni dei meccanismi antiossidanti cellulari, portano alla generazione di specie reattive all'ossidazione che causano inoltre danni al DNA e degradano e inattivano le biomolecole.

Fattori di rischio

Tipo di metallo pesante: ogni metallo pesante ha uno specifico profilo tossico, che provoca effetti distinti sulla salute.

Heavy metal concentration: The higher the amount of heavy metal ingested, the higher the health risk.

Durata dell'esposizione: l'esposizione ripetuta o prolungata ai metalli pesanti aumenta il rischio di effetti a lungo termine.

Stato di salute dell'individuo: le persone con un sistema immunitario debole, le donne incinte, i bambini piccoli e le persone con determinate condizioni mediche preesistenti sono più vulnerabili agli effetti nocivi dei metalli pesanti.

6.3. Il rischio per la salute dei cereali e dei prodotti a base di cereali contaminati da composti azotati

La presenza di contaminanti azotati nei cereali rappresenta una minaccia significativa per la salute pubblica. Questi composti, tra cui nitrati, nitriti e ammine, possono derivare da diverse fonti antropiche, come fertilizzanti, pesticidi e scarichi di acque reflue.

Meccanismi di contaminazione

La contaminazione dei cereali con composti azotati può verificarsi lungo tutto il ciclo produttivo e di trasformazione:

- **Pre-raccolto:** l'applicazione eccessiva di fertilizzanti a base di azoto può provocare elevate concentrazioni di nitrati nella matrice del suolo, con conseguente aumento dell'assorbimento e dell'accumulo nei tessuti vegetali.
- **Post-raccolta:** condizioni di conservazione non ottimali possono favorire la crescita di microrganismi in grado di convertire i nitrati in nitriti e ammine.



- **Lavorazione:** alcune tecniche di lavorazione, tra cui la tostatura e la fermentazione, possono indurre la formazione di composti amminici.

Esiti avversi per la salute

Il consumo di cereali contaminati da composti azotati può portare a una serie di effetti negativi sulla salute, la cui gravità dipende sia dalla concentrazione del contaminante che dalla durata dell'esposizione. I principali rischi per la salute includono:

- **Metaemoglobinemia:** i nitriti possono ossidare l'emoglobina a metaemoglobina, una forma della proteina che non trasporta ossigeno. Questo può compromettere l'apporto di ossigeno ai tessuti, causando cianosi, affaticamento e dispnea.
- **Cancerogenicità:** alcune ammine possono reagire con i nitriti nell'ambiente acido dello stomaco producendo nitrosammine, composti riconosciuti per il loro potenziale cancerogeno.
- **Tossicità sistemica:** l'esposizione ai composti azotati è stata implicata nello sviluppo di varie altre complicazioni per la salute, tra cui disfunzioni neurologiche, cardiovascolari e riproduttive.

Strategie di mitigazione

Per un'efficace mitigazione della contaminazione da composti azotati nei cereali è necessario attuare misure preventive e di controllo in tutte le fasi di produzione e trasformazione:

- **Applicazione ottimizzata dei fertilizzanti:** l'uso giudizioso di fertilizzanti azotati, adattati alle esigenze specifiche delle colture, è essenziale per ridurre al minimo l'accumulo di nitrati nel terreno e il successivo assorbimento da parte delle piante.
- **Pratiche di conservazione controllate:** è fondamentale mantenere condizioni di conservazione adeguate che inibiscano la proliferazione microbica e la formazione di sottoprodotti azotati.
- **Garanzia di qualità completa:** per garantire la sicurezza dei consumatori è necessario un monitoraggio regolare dei livelli di composti azotati nei cereali e nei prodotti derivati dai cereali mediante test analitici.

References

- Alavanja, M. C. R., Bonner, M. R., & Beane Freeman, L. E. (2012). Pesticide exposure and cancer risk: An update from the Agricultural Health Study. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 879-887.
- Amarloei, A., Nourmoradi, H., Nazmara, S., Heidari, M., & Mohammadi-Moghadam, F. (2024). Toxic heavy metals of agricultural products in developing countries and its human health risk assessment: A study from Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(1), 1-18.
- Amiard, J., Amiardtriquet, C., Barka, S., Pellerin, J., Rainbow, P., 2006. Metallothioneins in aquatic invertebrates: Their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquat. Toxicol.* 76, 160–202.
- Arora, M., Mittleman, M. A., & Sanyal, S. (2024). Heavy metal exposure and cardiovascular disease. *Circulation Research*, 134(8), 1162-1175.
- Balali-Mood, M., Naseri, K., & Afshari, R. (2021). Toxic effects of heavy metals. *Journal of Medical Toxicology*, 17(1), 1-28.



- Barman, S. C., Kisku, G. C., & Singh, R. (2024). Heavy metal contamination and its impact on the food chain: Exposure, bioaccumulation, and risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 30(3), 2438726.
- Corsini, E., Luster, M. I., & Kimura, J. (2015). A comprehensive review of pesticides and the immune dysregulation: Mechanisms, evidence and consequences. *Toxicology Mechanisms and Methods*, 25(4), 258-278.
- Goyer, R., Golub, M., Choudhury, H., Hughes, M., Kenyon, E., Stifelman, M., 2004. U.S. Environmental Protection Agency, Issue paper on the human health effects of metals. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/human_health_effects.pdf
- Grandjean, P., & Landrigan, P. J. (2014). Neurobehavioural effects of developmental toxicity. *The Lancet Neurology*, 13(3), 330-338.
- Henriques, B., Rocha, L.S., Lopes, C.B., Figueira, P., Duarte, A.C., Vale, C., Pardal, M.A., Pereira, E., 2017. A macroalgae-based biotechnology for water remediation: Simultaneous removal of Cd, Pb and Hg by living *Ulva lactuca*. *J Environ Manage*. 191, 275-289.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Annu, N., Kumar, A., & Bhasker, R. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Chemosphere*, 108, 105-115.
- Jurewicz, J., Hanke, W., & Zielinska, A. (2019). Pesticides: Environmental stressors implicated in the development of central nervous system disorders and neurodegeneration. *Toxics*, 7(2), 31.
- Kim, Y. H., Kim, K. H., & Kim, Y. S. (2017). Immunotoxicity of pesticides: From mechanisms to adverse health effects. *Journal of Clinical Toxicology*, 7(1), 1000331.
- Kumar, K., & Ram, M. (2014). Acute pesticide poisoning: A proposed classification tool. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 17(1), 22-38.
- Mnif, W., Hassine, A. I. H., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., & Mosbah, H. (2011). Effect of endocrine disruptor pesticides: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(6), 2265-2283.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, B. (2013). Cancer health effects of pesticides: Systematic review. *Iranian Journal of Toxicology*, 7(2), 527-544.
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and neurodegenerative diseases: An update. *Neurotoxicology*, 34, 242-253.
- Rauh, V. A., Arunachalam, S., & Horton, M. K. (2020). Prenatal and childhood pesticide exposure and neurodevelopmental outcomes: A review. *Environmental Health Perspectives*, 128(7), 075001.
- Rahman, M. A., Uddin, M. J., & Rahman, M. M. (2021). Heavy metal contamination and associated health risk in the most consumed fruits and vegetables from agricultural lands of Bangladesh. *Exposure and Health*, 13(2), 263-278.
- Roohani, N., Hurrell, R., Kelishadi, R., Schulin, R., 2013. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *J. Res. Med. Sci. Off. J. Isfahan Univ. Med. Sci.* 18, 144–157.
- Salameh, P., Baldi, I., & El Hajj, T. (2018). Environmental exposure to pesticides and respiratory health. *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 24(1), 47-53.



Co-funded by
the European Union



Sarwar, M. F., Sarwar, M., Sarwar, M. H., & Khalid, M. T. (2016). Environmental and health effects of pesticide residues. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 16040-16056.

Sharma, A., Kumar, A., & Singh, R. (2024). A systematic review of pesticide exposure, associated risks, and long-term human health impacts. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(1), 1-18