

Matrici ambientali e inquinamento



SUOLO: definizione, profilo pedogenetico, inquinamento chimico

SUOLO: STRUTTURA ED INQUINAMENTO

INDICE

Definizione e profilo pedogenetico

Inquinamento del suolo

Inquinamento chimico

Biorisanamento

I microbi patogeni nel suolo

Photo credits

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

BiotechnologieSanitarie.it

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

Il **suolo** (*pedosfera* se considerato parte della geosfera) è una miscela di minerali, materia organica, gas, liquidi e di tutti gli innumerevoli organismi che insieme supportano la vita sulla Terra. In pratica un sistema trifasico con fase solida, liquida e gassosa.



Sezione di suolo

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

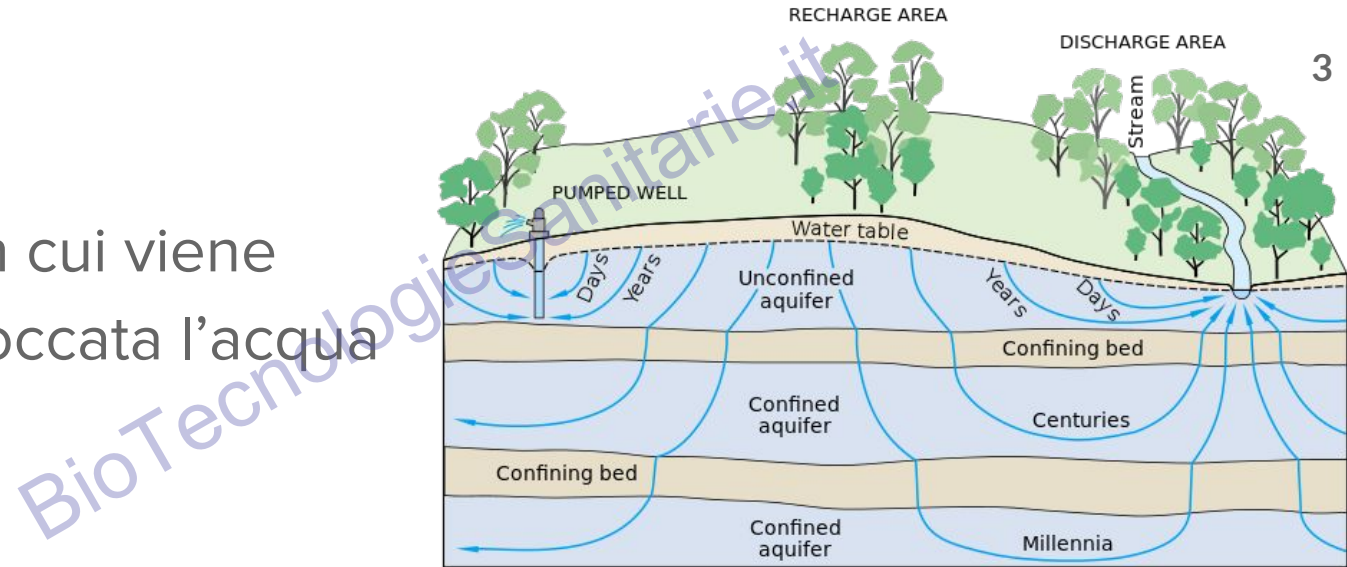
Il suolo svolge *quattro funzioni* importanti:

- 1) consente la crescita delle
piante



DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

2) è il mezzo in cui viene depurata e stoccata l'acqua



I flussi di acqua nell'intero sistema variano moltissimo in relazione a lunghezza, profondità e tempi di percorrenza

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

3) modifica l'atmosfera terrestre

4) è un habitat per gli organismi che, a loro volta, modificano il suolo

Il suolo è il prodotto finale della influenza del clima, del rilievo (altezza, orientamento e pendenza del terreno), degli organismi e dei minerali originali che interagiscono nel tempo.

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

Il suolo, considerato anche la “pelle” della Terra, interagisce con la litosfera, l’atmosfera, l’idrosfera e la biosfera.

Il suolo, infine, si trasforma continuamente attraverso numerosi processi fisici, chimici e biologici.

Vediamo l’insieme di queste azioni.

- 1) Le rocce originali si frantumano in seguito all’erosione degli agenti atmosferici, dell’azione del ghiaccio, del passaggio da basse ad alte temperature e viceversa.

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

- 2) L'acqua percola in profondità.
Trasforma i silicati in argilla.



Cantiere edilizio - Auckland City - Australia

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

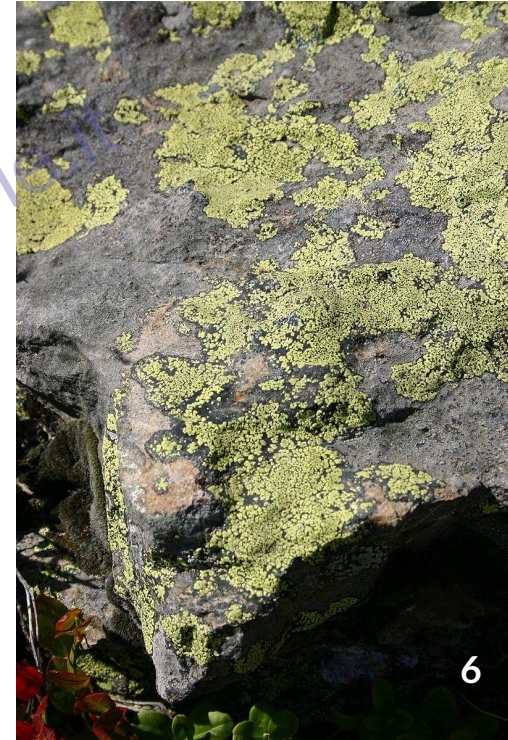
3) L'anidride carbonica reagisce con le rocce calcaree disgregandole.



Rocce calcaree

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

4) Organismi pionieri (licheni, muschi e batteri) colonizzano rocce nude e preparano così un sottile strato di terreno per ulteriori colonizzazioni.



Rhizocarpon geographicum
Lichene crostoso su substrato roccioso

DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

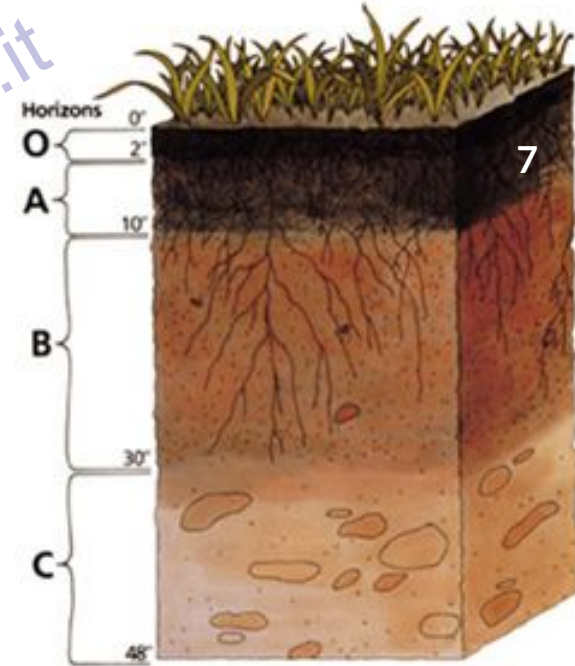
Il suolo maturo presenta i seguenti strati detti orizzonti:

O (sostanza organica),

A (predomina il movimento discendente dell'acqua),

B (l'acqua deposita i soluti che trasporta, ricco di humus).

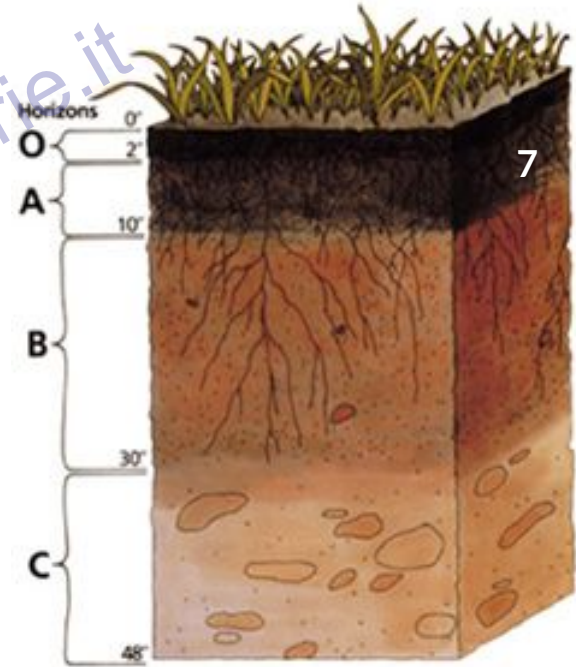
Prosegue nella prossima diapositiva



DEFINIZIONE E PROFILO PEDOGENETICO

C (frammenti grossolani della roccia madre).

Al di sotto dell'orizzonte C si trova lo strato di roccia madre.



INQUINAMENTO DEL SUOLO

BioTechnologieSanitarie.it

INQUINAMENTO DEL SUOLO

L'inquinamento del suolo comporta l'alterazione della sua composizione naturale inclusa la presenza di microbi patogeni con varie conseguenze sullo stato di salute dell'uomo.

Esistono quindi almeno due ordini di problemi in merito all'inquinamento che devono essere esaminati separatamente:

- inquinamento chimico
- presenza di microbi patogeni

IL SUOLO

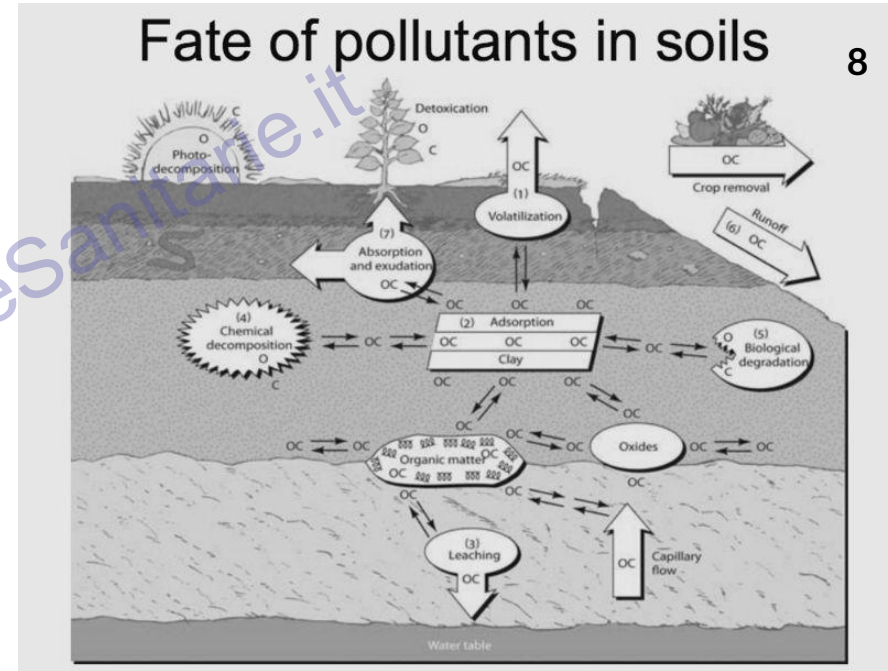
INQUINAMENTO CHIMICO



Erosione del suolo
CCO Pubblico Dominio

INQUINAMENTO CHIMICO

L'inquinamento chimico del suolo è dovuto per lo più alla presenza di **xenobiotici** (molecole chimiche artificiali, non naturali, legate alle attività umane).



INQUINAMENTO CHIMICO

Le **cause** sono:

1. La trivellazione per la ricerca di petrolio, la sua estrazione e le raffinerie
2. Gli incidenti con fuoriuscita di petrolio
3. Le piogge acide (causate da inquinamento atmosferico)
4. L'agricoltura intensiva con l'applicazione di pesticidi, erbicidi e fertilizzanti.

INQUINAMENTO CHIMICO

5. La deforestazione
6. Le piante geneticamente modificate
7. I rifiuti nucleari
8. Gli incidenti industriali
9. Le discariche (soprattutto le abusive)
10. L'erosione del terreno
11. Le miniere e altre industrie estrattive

INQUINAMENTO CHIMICO

- 12. La combustione di rifiuti
- 13. Lo smaltimento di ceneri volanti
- 14. Lo smaltimento di munizioni e qualsiasi altro strumento di guerra
- 15. Il drenaggio delle acque superficiali contaminate nel suolo
- 16. I rifiuti elettronici

INQUINAMENTO CHIMICO

Le sostanze chimiche più comuni coinvolte sono idrocarburi, solventi, pesticidi, piombo e altri metalli pesanti.

In linea generale quindi i contaminanti si possono classificare in composti organici, inorganici e prime fra tutti le sostanze da impiego agricolo.

INQUINAMENTO CHIMICO

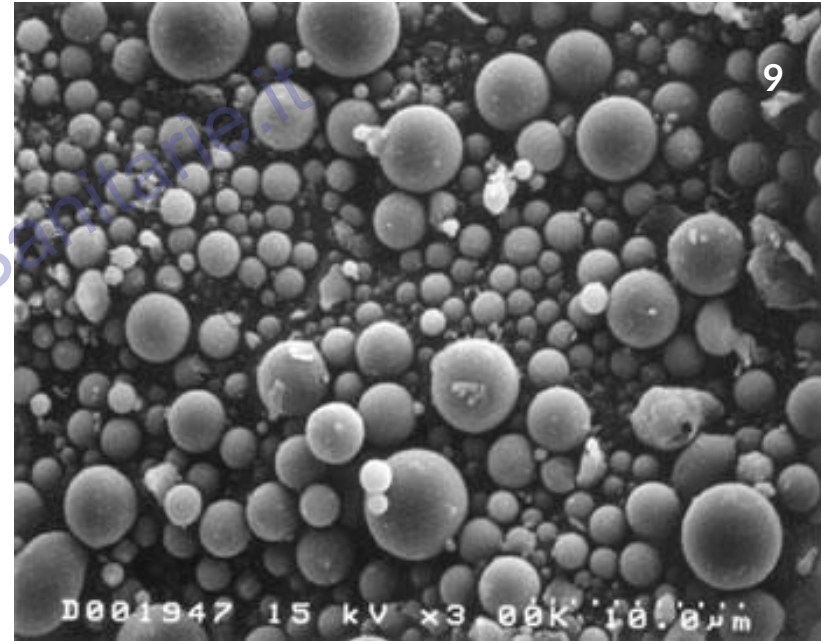
Vediamone ora alcune categorie in particolare:

- ceneri volanti
- pesticidi
- fertilizzanti
- smaltimento di munizioni
- metalli pesanti (mercurio, piombo, cadmio, cromo, arsenico)

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

Ceneri volanti

Sono uno dei prodotti della combustione del carbone ma al giorno d'oggi anche della combustione dei rifiuti solidi (inceneritori)



Particelle di cenere volante al microscopio
Dimensioni: tra i 10 e i 100 micrometri

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

Il carbone nel corso della sua formazione concentra piombo e zinco nonché altri metalli pesanti (ma in quantità minori) che poi si ritrovano nelle ceneri dopo la combustione.

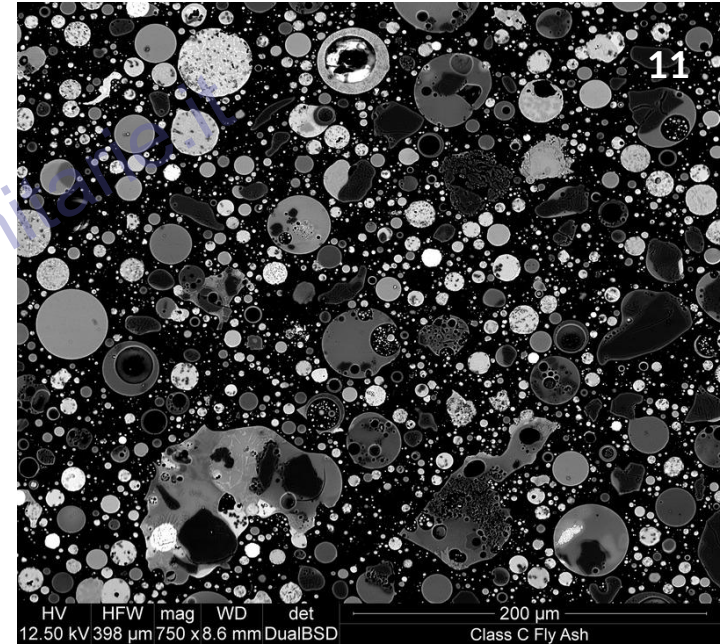


10

**Antracite, carbone di qualità superiore.
Era usato per lo più per il riscaldamento
domestico.**

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

La deposizione di ceneri volanti e scorie dalla combustione di carbone da parte di abitazioni private, attività commerciali e industriali è stato un problema nelle aree industrializzate fino al secolo scorso.



Microfotografia di sezioni trasversali di particelle di ceneri volanti di carbone al microscopio a scansione (ingrandimento 750x). Le particelle sono fatte di materiale cristallino o amorfo. 25

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

Ultimamente sono state adottate nuove tecnologie di filtrazione nelle centrali termoelettriche e altri provvedimenti.



**Centrale termoelettrica
di Fiume Santo a Porto Torres.**

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

Tutto ciò ha consentito di limitare questo problema al punto che l'EPA dal dicembre 2014 non lo considera più un rifiuto pericoloso.



EPA -

home page

<http://www3.epa.gov/>

INQUINAMENTO CHIMICO: ceneri volanti

Diverso il discorso per le ceneri volanti derivate da inceneritori o per meglio dire termovalorizzatori su cui si stanno facendo molti studi.



Termovalorizzatore di Thun
Cantone di Berna

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Pesticidi

Un pesticida è una sostanza o una miscela di sostanze destinata a distruggere o tenere sotto controllo qualsiasi organismo nocivo.



Trattamento manuale a spruzzo
1970 - Fonte EPA

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

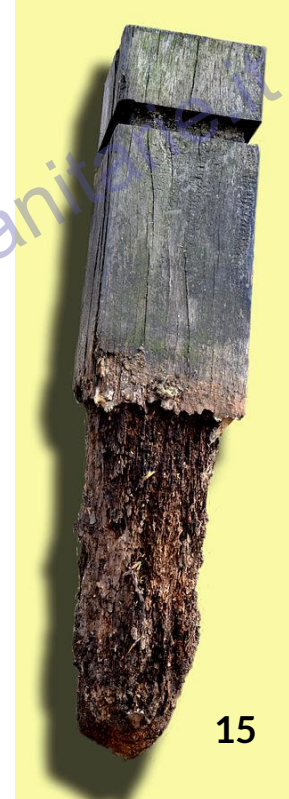
Quali sono questi organismi nocivi? insetti, agenti patogeni delle piante, erbacce, molluschi, uccelli, mammiferi, pesci, nematodi (ascaridi) e microbi che sono in concorrenza con gli esseri umani per il cibo, che diffondono o che sono un vettore di malattie o che causano altri problemi seri.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

I pesticidi quindi non vengono usati solo nelle coltivazioni e negli allevamenti ma anche in molte altre fasi della filiera alimentare per impedire o prevenire i danni compresa la conservazione, il trasporto e la commercializzazione del cibo.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Da non dimenticare nell'elenco delle sostanze contro cui agiscono i pesticidi anche il legname, i suoi derivati, gli alimenti zootecnici e molto altro.



Se il legno viene utilizzato nel terreno umido e ossigenato, ci sono alcuni trattamenti che consentono a tipologie particolarmente vulnerabili (come nel caso del legno delle conifere qui raffigurato) di resistere a lungo contro la degradazione batterica o fungina

15

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

I pesticidi hanno indubbiamente molti vantaggi ma c'è sempre l'altro lato della medaglia da considerare: la potenziale tossicità verso l'uomo.



Da notare le precauzioni da prendere per distribuire un pesticida pericoloso

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Vediamo i vantaggi:
esercitare un controllo sulle
avversità delle piante e i
parassiti animali migliora la
qualità della produzione
agricola e zootecnica.



17

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Continuiamo con i vantaggi:
controllare i vettori di malattie
umane e animali comporta
meno sofferenze e meno morti.
Classico l'esempio del DDT per
la malaria.



Confezione di DDT concentrato al 50%
Anni sessanta.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Altri vantaggi.

Importante poter preservare i luoghi dove si svolgono le attività umane dai vegetali infestanti o dagli organismi nocivi (per questi ultimi vale anche la lotta contro insetti o roditori nelle abitazioni).

Ma l'aspetto più importante è il loro uso nella lotta contro la fame. Si stima che gli organismi nocivi che si sviluppano in campo sottraggano circa un quarto della produzione. In questa stima non sono considerati altri passaggi della filiera alimentare (si arriverebbe così al 35%)

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Le stime fatte sul riso in Asia evidenziano perdite del 55% dovute all'azione di insetti, patogeni ed erbe infestanti.



INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Vediamo ora gli svantaggi nell'uso dei pesticidi.
Ci sono effetti sull'ambiente e direttamente o indirettamente sull'uomo.

1) Si calcola che oltre il 98% degli insetticidi e il 95% degli erbicidi raggiungano una destinazione diversa dalla specie bersaglio perché spruzzati sull'intero campo agricolo.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi.

2) Il deflusso può trasportare i pesticidi in ambienti acquatici.

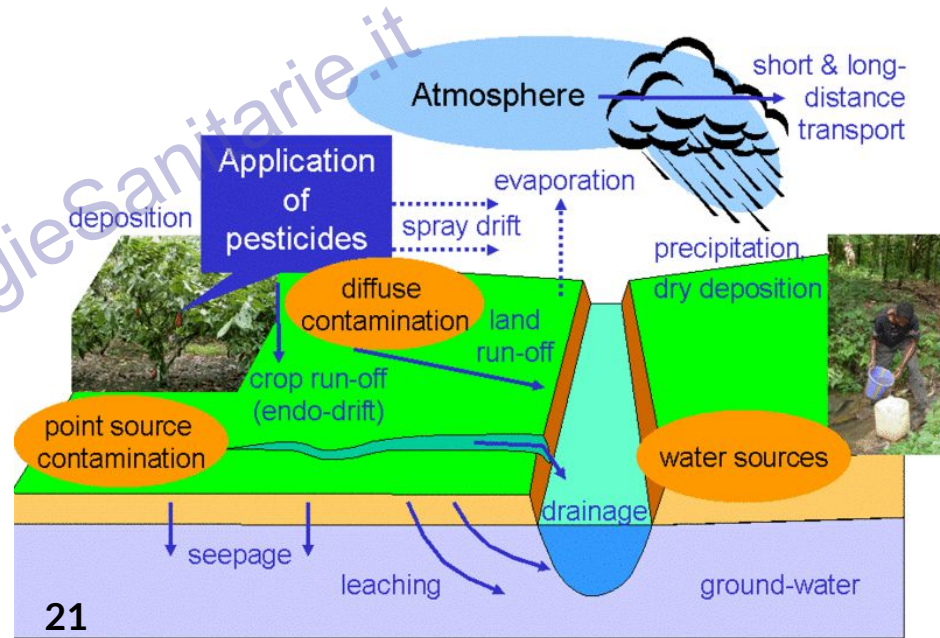


Drenaggio di pesticidi e fertilizzanti in un corso d'acqua

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi.

3) Il vento li trasporta in altri campi agricoli e insediamenti umani interessando così anche altre specie viventi.



Contaminazione ambientale con l'uso di pesticidi

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi.

4) Bisogna poi tenere conto delle cattive pratiche di produzione, trasporto e stoccaggio che riguardano anche i fertilizzanti.



22

Fertilizzanti in grossi sacchi da 600 kg

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi.

5) Ripetute applicazioni fanno insorgere resistenza ai pesticidi.



Distribuzione di un prodotto antimosche per via aerea

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi.

6) Da ricordare che i pesticidi inquinano l'aria, l'acqua e il suolo.



24

Il cartello invita alla precauzione in quanto il campo è stato trattato con acido solforico - pratica consentita in qualche paese nella coltivazione delle patate

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Svantaggi: conclusioni.

Ogni classe di pesticidi ha quindi comportato tutta una serie di problemi a livello ambientale. Si è cercato, nel tempo, di ridurre la persistenza e la quantità da applicare e nello stesso tempo di renderli più specie-specifici, riducendo così l'impatto ambientale.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

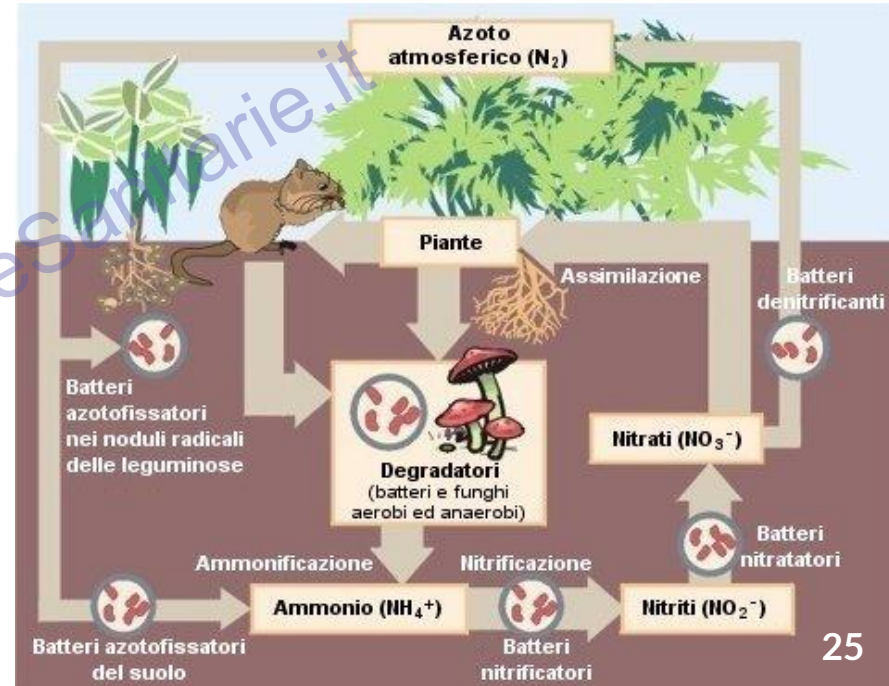
Svantaggi: conclusioni.

In ogni caso il loro uso si sta diffondendo sempre di più e a questo si deve aggiungere anche il fatto che pesticidi obsoleti che in teoria non dovrebbero essere più usati perché bannati da molti paesi o di concezione ancora vecchia, continuano ad essere usati.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sulle piante.

I pesticidi sembrano interferire con la fissazione dell'azoto necessaria per far crescere meglio le piante



Il ciclo dell'azoto

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sugli animali.

I pesticidi sembrano essere implicati con la diminuzione delle api e quindi con il meccanismo di impollinazione.



Le api sono indicatori della qualità ambientale e in questo ultimo periodo la loro moria viene studiata con attenzione

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sugli animali.

Molti altri animali vengono danneggiati dai pesticidi. Possono essere avvelenati da residui di pesticidi presenti sul cibo.



In Inghilterra l'uso di pesticidi nei campi agricoli e nei giardini delle case ha provocato una netta diminuzione degli uccelli selvatici

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sugli animali.

Basti pensare alla possibilità che hanno gli animali selvatici di andare a procurarsi il cibo in un campo appena trattato o lì vicino.

Ma i pesticidi possono anche eliminare fonti essenziali di cibo per alcune specie che sono così costrette a migrare, cambiare dieta o morire di fame.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sugli animali.

Importante è poi la compromissione della catena alimentare. Pensiamo come esempio ai danni sugli uccelli che si nutrono di insetti e vermi che hanno consumato pesticidi.

La compromissione della catena alimentare può arrivare facilmente fino ai vertici e quindi all'uomo.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sull'uomo.

I pesticidi possono penetrare nel corpo umano attraverso diverse vie:

- inalazione di polveri, aerosol e vapori
- ingestione di acqua e cibo contaminati
- contatto diretto attraverso la pelle

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sull'uomo.

Le conseguenze sull'uomo dipendono da diversi fattori:

- natura chimica del pesticida
- tempo di esposizione
- ordine di grandezza dell'esposizione

Tra le categorie più a rischio ovviamente gli agricoltori e loro famiglie.

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sull'uomo.

I bambini sono più sensibili perché:

- hanno un sistema immunitario ancora in via di sviluppo
- sono più a diretto contatto con il suolo
- tendono a portare alla bocca tutto ciò che toccano

INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sull'uomo.

Gli effetti sulla salute possono essere molto variabili:

- lievi irritazioni cutanee
- tumori
- malattie del sangue, dei nervi, del sistema endocrino
- coma o morte

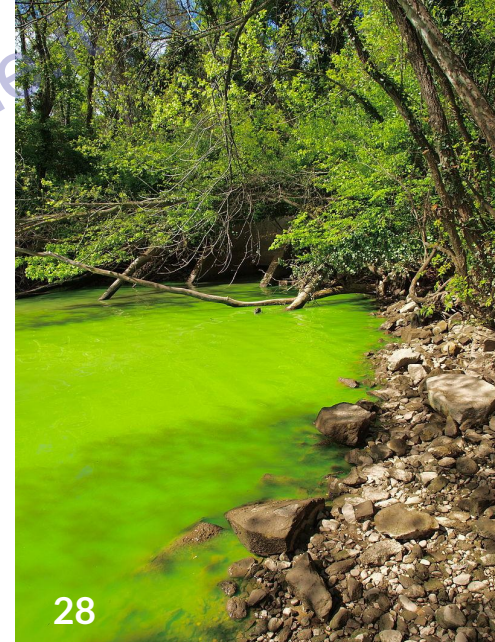
INQUINAMENTO CHIMICO: pesticidi

Effetti sull'uomo.

Recenti aumenti dei tumori infantili in tutto il Nord America, come la leucemia, sono stati studiati e possono essere il risultato di mutazioni di cellule somatiche durante lo sviluppo oppure di contatti con i pesticidi durante la gestazione o se un genitore è stato esposto poco prima del concepimento.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: fertilizzanti

I **fertilizzanti** possono avere un alto impatto ambientale. Gli effetti sull'acqua sono ad esempio l'eutrofizzazione, trattata nella pagina dedicata all'[inquinamento delle acque](#). La foto accanto mostra un tratto del fiume Potomac. Il colore verde brillante delle sue acque è dovuto alla fioritura di Cianobatteri.



INQUINAMENTO DEL SUOLO: fertilizzanti

Ruolo dei fertilizzanti è quello di arricchire il terreno di nutrienti per accelerare e migliorare la crescita delle piante. I componenti principali pertanto sono: azoto, fosforo e potassio. I minori calcio, magnesio e zolfo oltre ad una grande quantità di micronutrienti.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: fertilizzanti

I fertilizzanti possono andare ad inquinare l'acqua superficiale quando sono dilavati da agenti atmosferici. E possono contaminare falde acquifere. Nella foto accanto si può vedere il dilavamento di un terreno agricolo sotto l'azione di una pioggia intensa, favorito dall'assenza di piante.



29

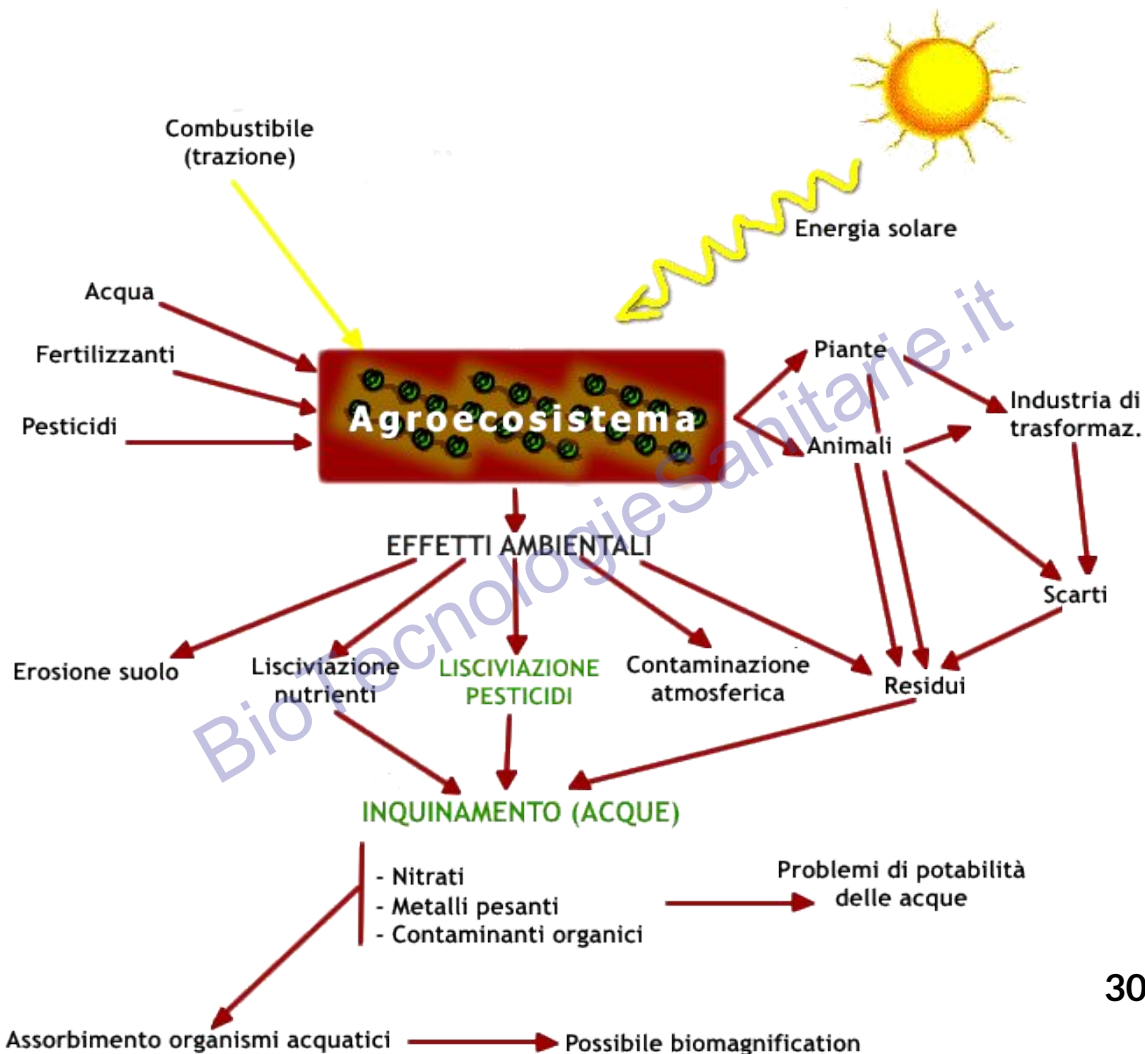
INQUINAMENTO DEL SUOLO: fertilizzanti

I fertilizzanti contaminano il suolo acidificandolo e possono essere una delle cause dell'accumulo di sostanze tossiche.

Contribuiscono all'aumento di gas serra e quindi al riscaldamento globale.

Sono probabilmente anche la causa della diminuzioni di simbiosi tra le micorrize dei funghi e le radici delle piante.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: fertilizzanti



Schema riassuntivo delle dinamiche ambientali di un agroecosistema, con particolare riferimento agli input chimici e al rischio ambientale

INQUINAMENTO DEL SUOLO: armi

Munizioni

Il loro smaltimento così come la loro produzione affrettata senza grosse precauzioni può avere conseguenze sulla composizione del suolo.



Munizioni caricate su una Browning.
In quinta posizione c'è sempre una
tracciante incendiaria (la punta è rossa)

INQUINAMENTO DEL SUOLO: armi

Altro problema che ci arriva dal passato è l'**iprite**, conosciuto anche come gas mostarda, usato durante la Prima Guerra Mondiale.

A dosi di 0,15 mg/litro d'aria è mortale.

A dosi minori penetra in profondità nella cute aprendo devastanti piaghe.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: armi

L'iprite si usa quindi nella guerra chimica. Si tratta del tioetere del cloroetano. Sostituendo all'atomo di zolfo uno di azoto si ottengono le azoipriti che sono agenti vescicanti.

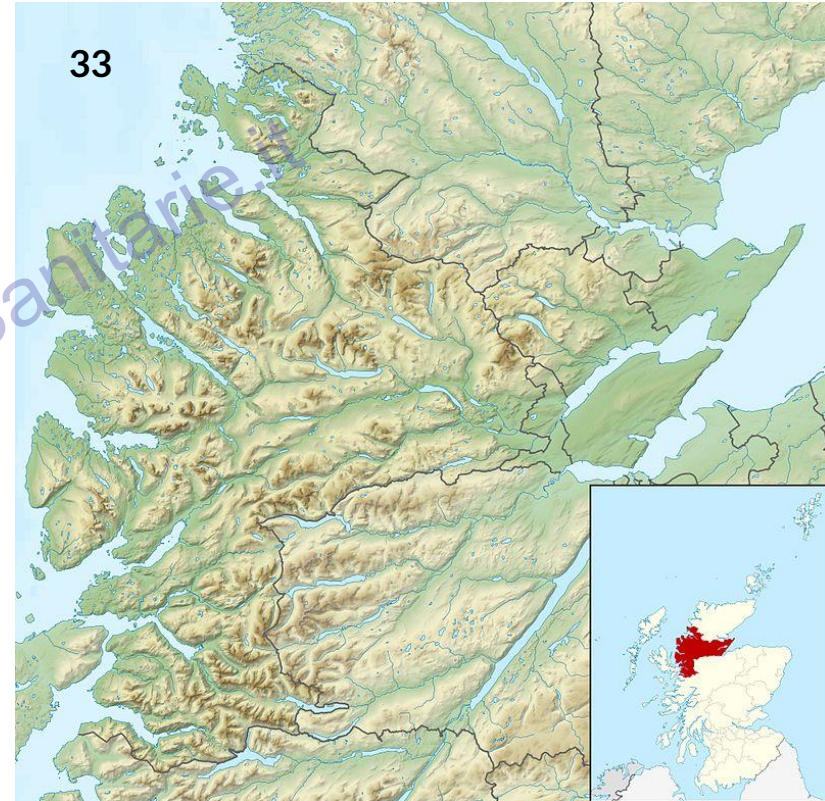


32

Effetti sulla pelle di un agente vescicante
(azoiprite o azotoiprite o azotiprite)

INQUINAMENTO DEL SUOLO: armi

Di esempi se ne possono fare molti: per esempio la sperimentazione con antrace (potenziale arma biologica) effettuata dal governo britannico che ha contaminato l'intera isola di Gruinard.



Isola di Gruinard

INQUINAMENTO DEL SUOLO: armi

Il primo problema ambientale nelle munizioni è ovviamente la presenza di piombo in quantità rilevanti. Proiettili che hanno mancato l'obiettivo o che rimangono all'interno di carcasse abbandonate possono trasformarsi in sostanze tossiche ed entrare così nella catena alimentare tramite uccelli selvatici. Dal 1991 una legge federale degli Stati Uniti vieta l'uso di pallini di piombo.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

Esistono diverse definizioni di metallo pesante che sono per lo più legate al passato:

- qualunque elemento chimico la cui densità sia maggiore di 5 g/cm^3
- un elemento il cui peso atomico sia maggiore di 20

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

Ma al giorno d'oggi sono stati meglio analizzati sia il loro carattere cationico con diversi stati di ossidazione che l'elevata attitudine a formare complessi con molecole organiche nel citoplasma cellulare (per cui si includono in questa classe anche il selenio e l'arsenico che non sono metalli).

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

Quindi attualmente viene considerata per lo più la loro affinità per gli atomi di ossigeno, zolfo e azoto. Per esempio alcuni metalli pesanti possono avere affinità per il gruppo -SH delle proteine. Legandosi ad esso le inattivano e creano gravi danni cellulari.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

Un sottogruppo importante in biologia è quello dei metalli in traccia (presenti nei liquidi organici in concentrazioni inferiori ad 1 $\mu\text{g/g}$ di peso corporeo) divisi in:

- essenziali per la vita
- tossici anche a concentrazioni così basse

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

- I metalli in traccia essenziali sono:
arsenico, cobalto, cromo, rame, fluoro,
ferro, iodio, manganese, molibdeno, nichel,
selenio, silicio, stagno, vanadio e zinco
- I metalli in traccia tossici sono: cadmio,
mercurio, cromo e piombo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

C'è comunque da ricordare che lo stesso metallo pesante essenziale può diventare tossico se accumulato in quantità superiori a quelle tollerate. Il rame per esempio, importante in alcuni processi metabolici, a dosi superiori, può causare azioni tossiche con irritazioni a naso e occhi, emicranie croniche, cirrosi epatiche, danni a reni e cervello.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

Dal punto di vista sanitario quindi i metalli pesanti possono avere queste conseguenze:

- azione lesiva sui sistemi enzimatici e strutture anatomiche (anche con formazione di radicali liberi)
- capacità di bioaccumulo
- capacità genotossica e/o cancerogena

INQUINAMENTO DEL SUOLO: metalli pesanti

I metalli pesanti:

- hanno tendenza ad accumularsi nel suolo e nei sedimenti
- non sono biologicamente degradabili
- vengono trasportati nell'aria come gas o adesi al particolato

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Mercurio (Hg).

Numero atomico: 80

Metallo di transizione,
pesante, di colore argenteo,
liquido a temperatura
ambiente.



Mercurio

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Il mercurio si disperde facilmente nell'ambiente perché evapora.

Si comporta come i gas nobili, da qui la necessità di conservarlo sotto toluene.

È un elemento raro e si ricava dal cinabro.



Cinabro da cui si ricava il mercurio nativo

INQUINAMENTO DEL SUOLO:

mercurio

Il mercurio è particolarmente tossico ma la sua tossicità è stata scoperta solo in epoche recenti per cui si ritrova in molti prodotti industriali. Per esempio in campo elettrico ed elettronico (termometri, barometri, sfigmomanometri, interruttori, elettrodi, pile, lampade a fluorescenza) In alcune centrali elettronucleari è stato usato come liquido di raffreddamento.

Bisogna ricordare il suo uso anche in altri campi industriali nella produzione di catalizzatori, coloranti, vernici, erbicidi, farmaci ...

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

In campo odontoiatrico un tempo, vista la sua reattività con l'oro e l'argento, veniva usato per l'amalgama d'argento. Ora in disuso.



Amalgama d'argento

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Da ricordare l'uso che se ne faceva nella produzione di cappelli di feltro che ha sicuramente ispirato la figura del Cappellaio Matto in "Alice nel Paese delle Meraviglie" di Lewis Carroll.



37

Il Cappellaio Matto
Illustrazione di John Tenniel - 1865

INQUINAMENTO DEL SUOLO:

mercurio

Nel produrre questi cappelli, tra la seconda metà del XVIII secolo e i primi anni del XIX secolo, si usava immergere le pelli di animali in una soluzione arancione di **nitrato mercurico** $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. L'operazione si chiamava carotatura e serviva a separare la pelle dal pelo che così si compattava.

Si registrarono in questo modo moltissimi casi di avvelenamento tra i cappellai con questi sintomi: tremori, insonnia, demenza, allucinazioni e instabilità emotiva.

Anche il trucco usato per Johnny Depp, che nel film “Alice in Wonderland” di Tim Burton impersona il Cappellaio Matto, ricorda i sintomi tipici di questo tipo di avvelenamento: macchie arancioni sulla pelle.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

In campo medico bisogna ricordare gli innumerevoli usi a scopo profilattico e terapeutico che si facevano.

Il **cloruro mercurico** (HgCl_2) o sublimato corrosivo è un composto molto tossico che si usava come disinfettante e mezzo terapeutico per la sifilide.



38

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Il **cloruro mercurioso** (Hg_2Cl_2), conosciuto come calomelano, veniva usato come lassativo e antisettico fino al secolo scorso. Si è scoperto dopo diverso tempo quanto è nocivo, irritante e pericoloso per l'ambiente.



Cloruro mercurioso o calomelano

39

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Il **mercurocromo** è un disinfettante ad uso topico su cui ci sono molte controversie proprio per la presenza di mercurio. In alcuni Paesi è stata proibita la commercializzazione, in altri no.

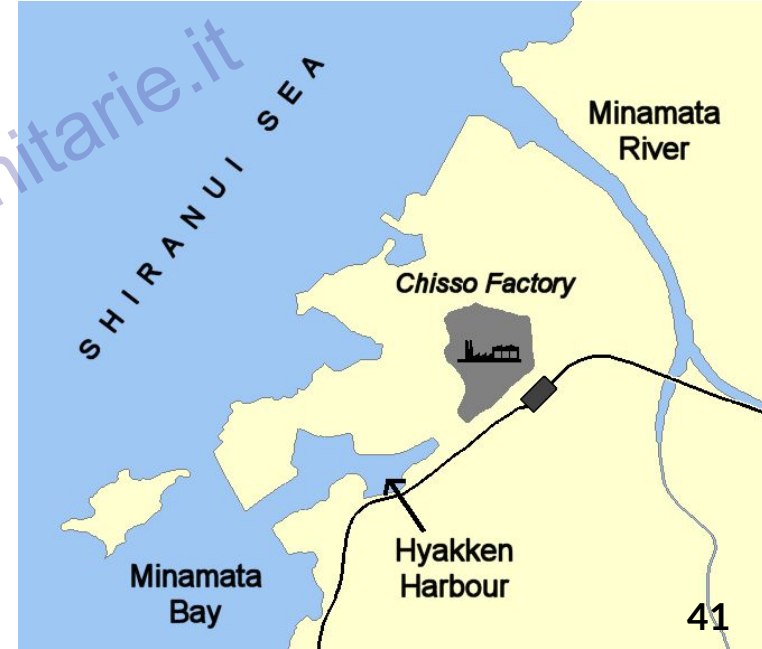


40

Mercurocromo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

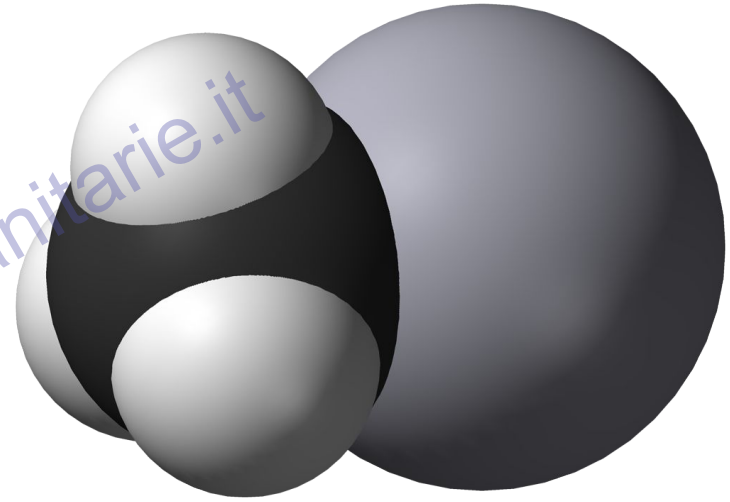
La tossicità del mercurio è nota fin dall'antichità ma solo in tempi più recenti si è studiata in modo appropriato sulla spinta anche di disastri ambientali come quello che si è verificato nella baia di Minamata in Giappone.



Baia di Minamata

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Dal 1932 fino al 1968 l'industria chimica Chisso Corporation riversò nelle sue acque reflue **metilmercurio**, la forma più tossica di mercurio, che ha una grande affinità per il tessuto lipidico.



42

Formula del Metilmercurio
 $\text{H}_3\text{C} - \text{Hg}^+ \text{X}^-$
 dove X^- può essere Cl o OH

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

I primi casi di intossicazione furono evidenziati nel 1956.

Parestesie a piedi e mani, disturbi del campo visivo, difficoltà ad articolare la parola.

In casi estremi nel giro di qualche settimana si arrivava a paralisi, coma e morte.



La mano paralizzata di una delle vittime di Minamata

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Nonostante la scoperta di questa sindrome neurologica causata da intossicazione acuta di mercurio, la Chisso Corporation continuò a sversare per più di 10 anni metilmercurio. A marzo 2001 sono state riconosciute 2265 vittime di cui 1784 morte. Più di 10.000 hanno avuto risarcimenti dalla Chisso che continuano ancora oggi.

INQUINAMENTO DEL SUOLO:

mercurio

Il disastro ambientale è stato imponente perché il mercurio è entrato nella catena alimentare e il pesce è uno dei cibi più consumati dalla popolazione giapponese.

A questo proposito bisogna ricordare che esistono dei consigli nel consumo di pesci di grosse dimensioni in cui il bioaccumulo si protrae nel tempo.

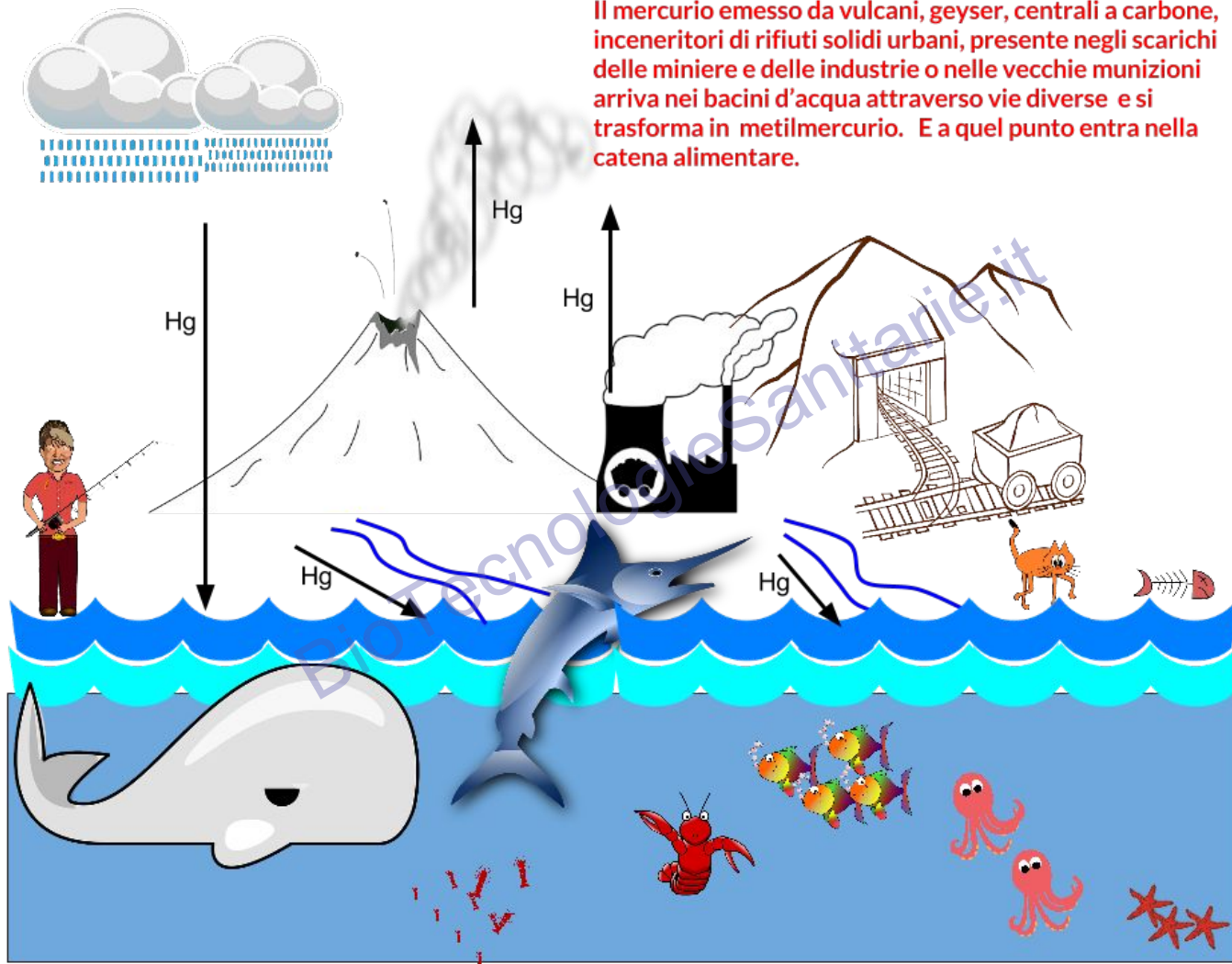
INQUINAMENTO DEL SUOLO:

mercurio

La FDA raccomanda di consumare:

- non più di 340 g di salmone, tonno in scatola, gamberetti, merluzzo (prodotti ittici a basso contenuto di mercurio) a settimana a donne che potrebbero cominciare una gravidanza o che allattano, bambini piccoli;
- non più di 170 g a settimana di pesce di grosse dimensioni (tonno alalunga);
- di evitare pesci quali lo squalo e il pesce spada

Biomagnificazione del mercurio



Il mercurio ha una alta affinità per il tessuto adiposo ed è in grado di attraversare facilmente la barriera ematoencefalica. Il mercurio presente nei tessuti dell'uomo deriva quasi esclusivamente dal pesce.

INQUINAMENTO DEL SUOLO:

mercurio

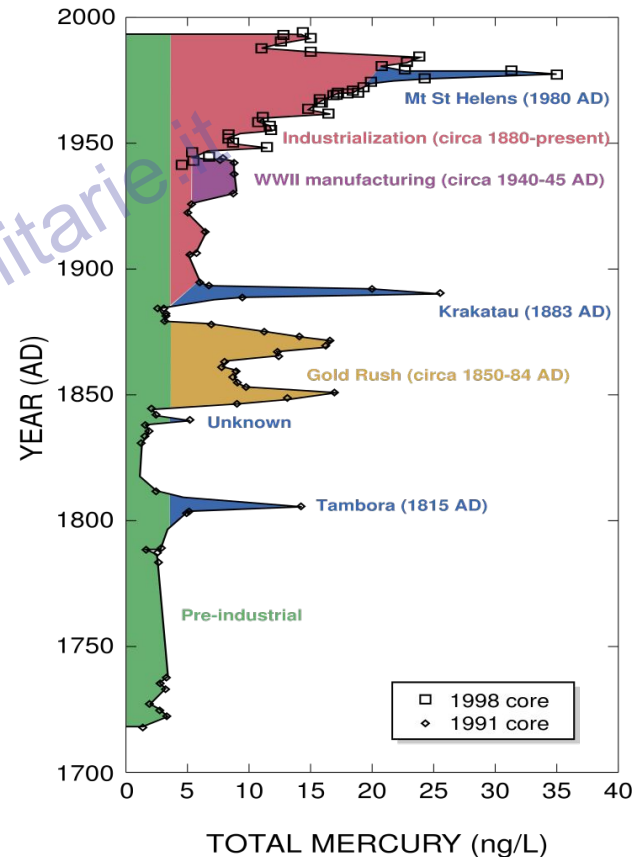
Con la convenzione di Minamata, sottoscritta da molti Paesi, si è concordato di eliminare la produzione e commercializzazione di prodotti cosmetici (mascara), batterie e lampade a fluorescenza.

Nel frattempo in Italia il termometro a mercurio non è più in commercio dal 2009.

La UE ha deliberato la progressiva scomparsa o riduzione del mercurio da molti prodotti.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: mercurio

Queste le quantità di mercurio atmosferico depositate nel ghiacciaio superiore di Fremont nel Wyoming negli ultimi 270 anni.



INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Il **piombo** è un elemento chimico di numero atomico 82.

Viene utilizzato in edilizia, nella produzione (sempre più in disuso) di munizioni e di batterie. È molto resistente alla corrosione.



Piombo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Per la resistenza alla corrosione è stato usato fin dall'antichità per le tubazioni dell'acqua. Pratica dismessa quando ci si è accorti della sua pericolosità.

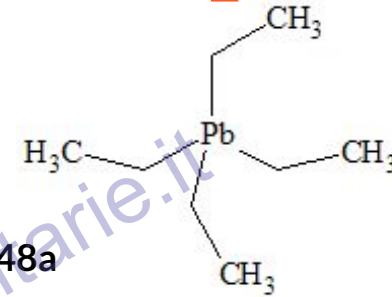


Tubazioni in piombo dell'epoca romana
Museo di Palermo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Il piombo è stato usato anche come componente della benzina fino agli anni Ottanta.

Serviva per aumentare il numero di ottano. Fu scoperto da Thomas Midgley, lo stesso scienziato che poi studiò i prototipi dei clorofluorocarburi



INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Di lui si disse:

“ha avuto sull'atmosfera un impatto superiore a quello di qualsiasi altro singolo essere vivente nella storia della Terra”



Thomas Midgley

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

I composti del piombo sono tossici per inalazione e ingestione.

L'avvelenamento da piombo si chiama saturnismo.

Il piombo si fissa soprattutto nelle ossa dove può rimanere anche 20 anni.



Radiografia di ginocchio di soggetto affetto da saturnismo. Da notare la linea epifisaria densa (freccia nera)

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Si tratta per lo più di una malattia professionale. Tra le categorie a rischio: addetti alla estrazione o alla fusione del piombo, alla saldatura, produzione e uso di vernici, produzione e verniciatura di ceramiche ...



Operaio addetto al riciclo di accumulatori
contenenti piombo: categoria a rischio
saturnismo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Altre categorie a rischio:

addetti alla produzione di oggetti di cristallo, di pallini da caccia, di leghe e oggetti contenenti piombo, tiratori con armi da sparo che usano proiettili con piombo, direttori di tiro

Da tenere presente che comunque il piombo è presente anche in tutte e tre le matrici ambientali e in cibi e bevande conservate in recipienti che lo contengono.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Tossicocinetica.

Il piombo inalato sotto forma di vapori raggiunge i polmoni mentre quello ingerito raggiunge l'apparato digerente. In ogni caso da queste sedi il piombo passa negli eritrociti e solo in piccola parte nel plasma.

Da qui raggiunge molti altri punti.

- Tessuti molli da cui si può ridistribuire velocemente (questa frazione è responsabile dell'effetto tossico)
- Osso spugnoso, muscoli e apparato tegumentario (con cinetica intermedia)
- Capelli, denti e osso compatto.

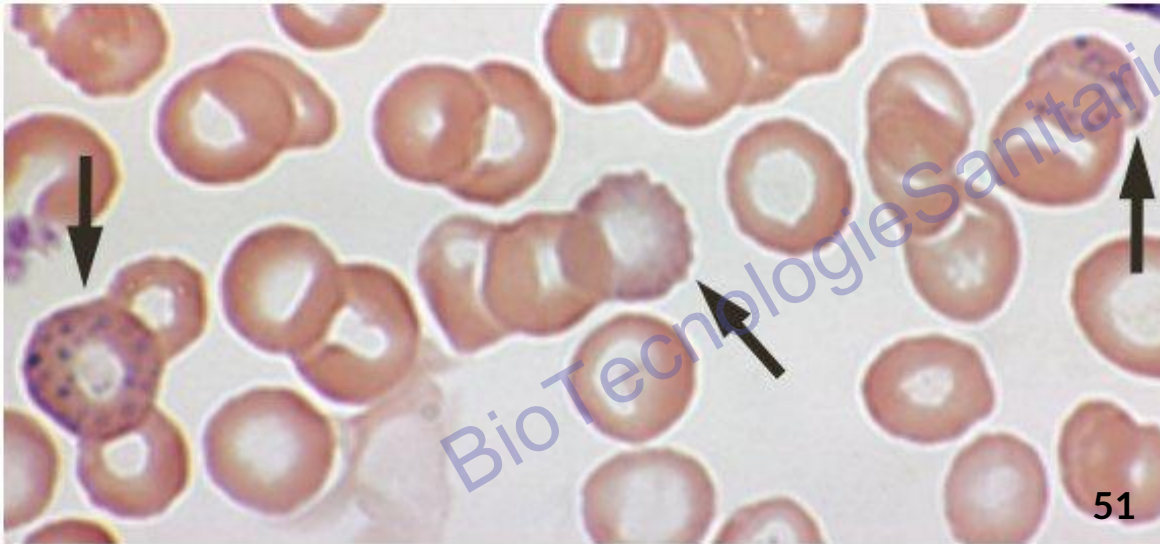
Nell'osso può rimanere anche 20 anni.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Il piombo viene poi eliminato attraverso le feci e le urine. Può passare nel feto o attraverso la placenta e raggiungere il latte materno nel periodo di allattamento.

Patogenesi. L'azione tipica del piombo si ha sull'emopoiesi con blocco dell'attività di enzimi preposti alla sintesi del gruppo eme.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo



Striscio periferico di sangue che mostra alcuni eritrociti ipocromici e con inclusioni basofile (RNA ribosomiale). Reperto suggestivo ma non specifico per intossicazione da piombo.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Molto rara l'intossicazione acuta che può compromettere seriamente il sistema nervoso centrale con convulsioni, ipertensione cerebrale, edema cerebrale e morte.

L'intossicazione cronica si manifesta invece con sintomi a carico di molti apparati: anemia, alterazioni cognitive, parestesie, coliche addominali, ipertensione, anomalie nella produzione di cellule sessuali, polineuropatie ...

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Qualche curiosità storica.
Sembra che le morti di alcuni pittori e altri personaggi storici possano essere ricondotte ad intossicazioni da piombo.
Per esempio **Goya** aveva l'abitudine di inumidire i pennelli con la bocca.

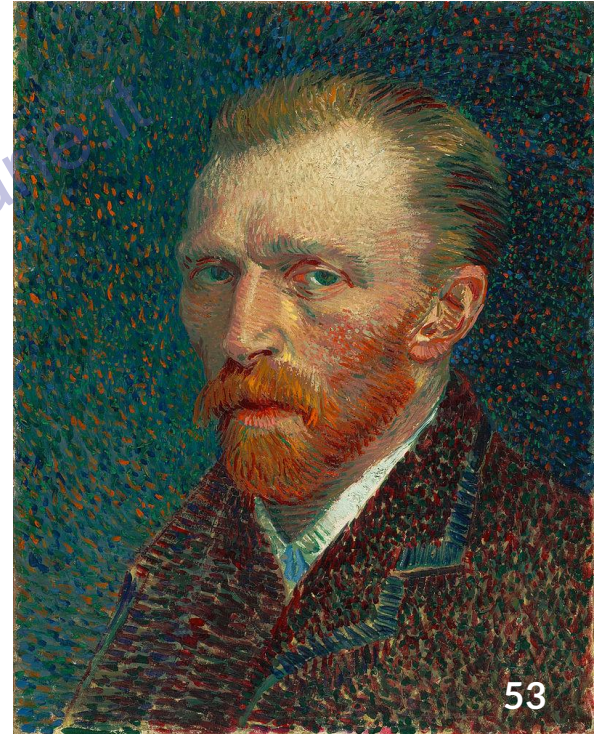


*Ritratto di Francisco Goya,
Vicente López Portaño(1826)*

INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

I disturbi mentali di **Van Gogh** di cui soffrì per buona parte della sua vita sembra che siano da attribuire al saturnismo.

Morì a soli 37 anni per un colpo di arma da fuoco probabilmente volontario e auto-inferto.



Autoritratto di Vincent Van Gogh

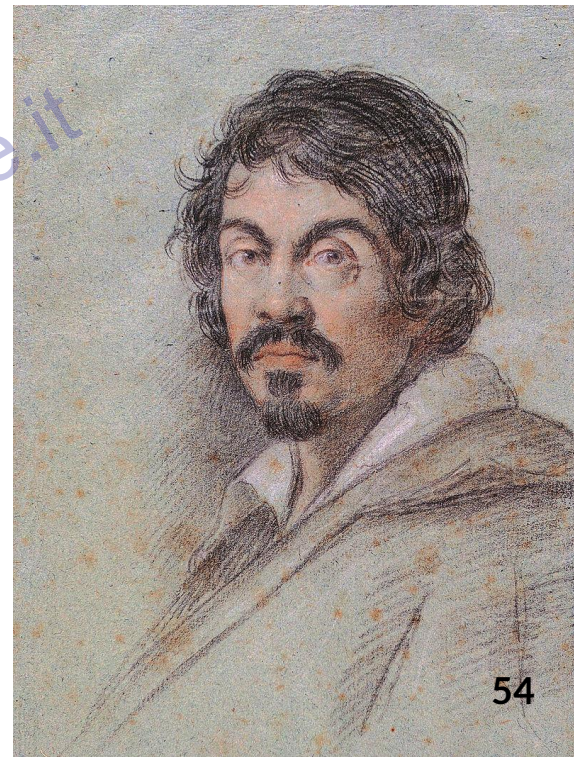
INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Un altro grande italiano, famoso in tutto il mondo, aveva importanti problemi caratteriali che qualcuno attribuisce all'intossicazione da piombo.

Si tratta di **Caravaggio**.

Nell'elenco dovrebbero essere inseriti alcuni imperatori romani tra cui Nerone.

Ritratto di Caravaggio di Ottavio Leoni, 1621
(Carboncino nero e pastelli su carta blu, 23,4 × 16,3 cm)
Firenze, Biblioteca Marucelliana, inventario n. BMF DIS.
VOL. H n. 4



INQUINAMENTO DEL SUOLO: piombo

Arrivando ai giorni nostri non si può non ricordare la vicenda un ciclista famoso, **Greg LeMond**.

Nel 1987 fu colpito da una scarica di pallini in un incidente di caccia ma fu poi in grado di vincere altri due Tour de France. Purtroppo il lento avvelenamento da piombo lo costrinse a ritirarsi.



Greg LeMond parte con la maglia gialla all'ultima tappa del giro di Francia - 1990

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

Il cadmio è un elemento con numero atomico 48.

Ha un aspetto metallico e risulta tossico.

Tre quarti del cadmio viene usato nelle pile ricaricabili nichel-cadmio mentre il quarto rimanente si usa come stabilizzante delle plastiche e per produrre pigmenti.



Cadmio

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

Le pile nichel-cadmio sono classificate tra i rifiuti speciali perché molto tossiche. In genere il cadmio viene immesso nell'ambiente in associazione allo zinco in seguito a processi industriali.



57

Pile Nichel-Cadmio

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

Oppure con l'incenerimento delle materie plastiche e il fumo di sigaretta.

Quando si estraggono piombo e zinco si forma anche il cadmio.



58

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

Il cadmio è tossico anche a concentrazioni particolarmente basse quindi i lavoratori a rischio per prudenza devono lavorare sotto cappe aspiranti in modo da non inalare i vapori.

Le polveri di cadmio vengono introdotte per inalazione.

Alimenti contaminati sono cereali e crostacei.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

Il cadmio agisce legandosi ai gruppi funzionali -SH delle proteine e bloccando l'assorbimento dello ione calcio.

Quindi vengono compromesse le vie metaboliche in cui è inserito questo ione:

- trasmissione dell'impulso nervoso
- contrazione muscolare
- coagulazione sanguigna

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cadmio

In caso di intossicazione cronica l'organo più colpito è il rene.

Si hanno quindi nefropatie, ipertensione arteriosa e edema polmonare.

Può anche depositarsi nelle ossa accelerando i processi di osteoporosi.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cromo

Il **cromo** è un elemento chimico con numero atomico 24.

Viene utilizzato per produrre smalti e vernici.
E anche come catalizzatore.



Cromo

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cromo

Viene impiegato in metallurgia per conferire resistenza alla corrosione ed una finitura lucida.

Nella conciatura delle pelli.

Per pulire la vetreria di laboratorio (miscela cromica).



Cerchione cromato

INQUINAMENTO DEL SUOLO: cromo

Il cromo viene immesso nell'ambiente da queste ed altre attività. Il cromo metallico e i composti del cromo trivalente non sono normalmente considerati pericolosi per la salute, ma i composti del cromo esavalente (cromati e bicromati) sono molto tossici se ingeriti o se i fumi vengono respirati.

I danni sono a carico di reni e fegato.

Si possono avere anche neoplasie polmonari.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

L'**arsenico** è un elemento di numero atomico 33. È un semimetallo che si presenta in tre forme: grigia, gialla e nera



Forma allotropica grigia di arsenico

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

L'arsenico è molto simile al suo omologo, il fosforo.
Per cui lo può sostituire in alcune reazioni
biochimiche. Da qui la sua tossicità.



Fosforo.

A seconda della forma
cristallina: incolore, bianco
ceruleo, giallo, scarlatto,
rosso, violetto o nero.
Nella foto non sono
presenti tutti.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

Vediamo ora alcuni usi e come è riuscito a diffondersi nell'ambiente.

Arseniato di piombo: è stato usato come insetticida sugli alberi da frutto con gravi danni neurologici per gli operatori.

L'arseniato di rame veniva usato nel XIX secolo come colorante per dolciumi.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

Arsenocromato di rame. Sicuramente la più pericolosa applicazione per l'uomo. Il composto serviva per trattare il legname. Questo legname è ancora in uso in molti paesi. L'arsenocromato veniva utilizzato per arginare il pericolo di marcescenza e l'attacco di insetti. Il legno trattato in questo modo oltre a rilasciare lentamente arsenico nel terreno intorno risulta particolarmente pericoloso quando viene bruciato (la dose di ceneri letali per l'uomo è 20 g - circa un cucchiaino).

Avvelenamenti di animali e di uomini sono stati segnalati nel passato.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

In passato l'arsenico era usato anche come componente di fitofarmaci e attualmente per la disinfestazione di termiti (Australia).

Qualche volta si ritrova anche nella composizione dei fuochi di artificio.

Da ricordare che nel 1910 P. Erlich lo usò per la produzione del primo chemioterapico per la sifilide (arsfenammina)

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

La sua emissione nell'ambiente è legata inoltre alla produzione di ferro e acciaio, alla combustione del carbone, ai processi di estrazione e fusione dell'oro, del piombo, del rame e del nichel.

Il suo maggior problema è la presenza nell'acqua potabile.

L'arsenico può provocare avvelenamenti (azione tossica acuta) e in caso di cronicizzazione all'esposizione è responsabile di neoplasie polmonari, renali, della vescica, mammarie ed epiteliali.

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

Le neoplasie della cute sembrano essere le più frequenti anche perché l'arsenico viene eliminato attraverso le ghiandole sebacee e forse anche le sudoripare.

La localizzazione più diffusa è il palmo delle mani e la pianta dei piedi.

La neoplasia è in genere un carcinoma spino-cellulare che è preceduto dai segni più caratteristici della intossicazione cronica da arsenico: la melanodermia (pigmentazione bruna dovuta alla deposizione di melanina) e l'eritrodermia (arrossamento cutaneo diffuso e persistente).

INQUINAMENTO DEL SUOLO: arsenico

Anche le teleangectasie (dilatazioni di piccoli vasi sanguigni superficiali) sono un altro segno evidente. Così come la dermatosi verrucosa che è una lesione precancerosa.

BioTechnologiesSanitarie.it

BIORISANAMENTO

BioTecnologieSanitarie.it

BIORISANAMENTO

Il biorisanamento è una **tecnica di bonifica ambientale** che prevede l'utilizzo di organismi per rimuovere o neutralizzare le sostanze inquinanti da un sito contaminato.

Secondo l'EPA (Environmental Protection Agency degli USA), il biorisanamento è un "**trattamento che utilizza naturalmente organismi per abbattere sostanze pericolose in sostanze meno tossiche o non tossiche**".

BIORISANAMENTO

Le tecnologie possono essere generalmente classificate in situ o ex situ. **In situ** significa trattare il materiale contaminato nel sito, mentre **ex situ** comporta la rimozione del materiale contaminato da trattare altrove.

Nel biorisanamento possono essere utilizzati microbi già presenti in natura oppure opportunamente modificati geneticamente. Alcuni esempi di tecnologie utilizzate sono il micorisanamento, la fitodepurazione, il landfarming ...

BIORISANAMENTO: landfarming

Landfarming Si basa sull'accrescimento di microbi in grado di degradare gli inquinanti.

Si possono usare microbi indigeni presenti nel terreno forzandone la moltiplicazione, grazie all'aggiunta di fattori nutritivi e dell'ossigeno necessario (**biostimulation**).

Oppure si può inoculare nel terreno uno starter di ceppi selezionati appositamente per la degradazione degli inquinanti in oggetto (**bioaugmentation**).

BIORISANAMENTO: micorisanamento

Un metodo di biorisanamento vede coinvolti i **funghi**.
Parliamo di **micorisanamento**. I funghi sono in grado di degradare e sequestrare i contaminanti. Il loro micelio riduce le molecole tossiche in situ.

I funghi producono enzimi extracellulari ed acidi in grado di degradare lignina e cellulosa. Ambedue sono lunghe catene di atomi di carbonio ed idrogeno, con legami chimici molto forti, quindi simili a molti inquinanti. La cosa importante è trovare il fungo giusto per ogni inquinante.

BIORISANAMENTO: micorisanamento

Alcuni esperimenti hanno avuto pieno successo nel degradare il gas sarin e alcuni gas nervini. I fattori fisici che influenzano tali processi sono la temperatura, la presenza di ossigeno e il pH (i funghi preferiscono lavorare a pH acidi). I funghi più studiati appartengono al genere *Pleorotus*



Fungo del genere *Pleorotus*

BIORISANAMENTO: micorisanamento

Nel 2007 un terreno contaminato da gasolio è stato messo a contatto con i funghi della foto. Dopo 4 settimane più del 90% degli idrocarburi policiclici aromatici era stato degradato a componenti non tossici, anche grazie alla sinergia che si era creata con la flora microbica naturale del terreno.



Pleurotus ostreatus

BIORISANAMENTO: fitorisanamento

Nel **fitorisanamento** si usano le radici di piante terrestri o acquatiche per rimuovere inquinanti. Le specie vegetali scelte sono chiamate iperaccumulatori. La loro capacità bioaccumulatrice è direttamente proporzionale alla quantità di inquinanti nel suolo o nell'acqua.

Al 2010 sono 450 le specie di piante in grado di effettuare questo tipo di risanamento.

Un esempio: la diminuzione dei policlorobifenili, inquinanti del suolo.

I MICROBI PATOGENI NEL SUOLO

MICROBI PATOGENI NEL SUOLO

La popolazione microbica presente nel suolo è vastissima. Per fortuna la stragrande maggioranza è utile all'uomo ma bisogna tenere presente che il suolo può veicolare vari tipi di agenti patogeni in modo diretto o indiretto.

Tra le malattie veicolate in modo diretto bisogna ricordare:

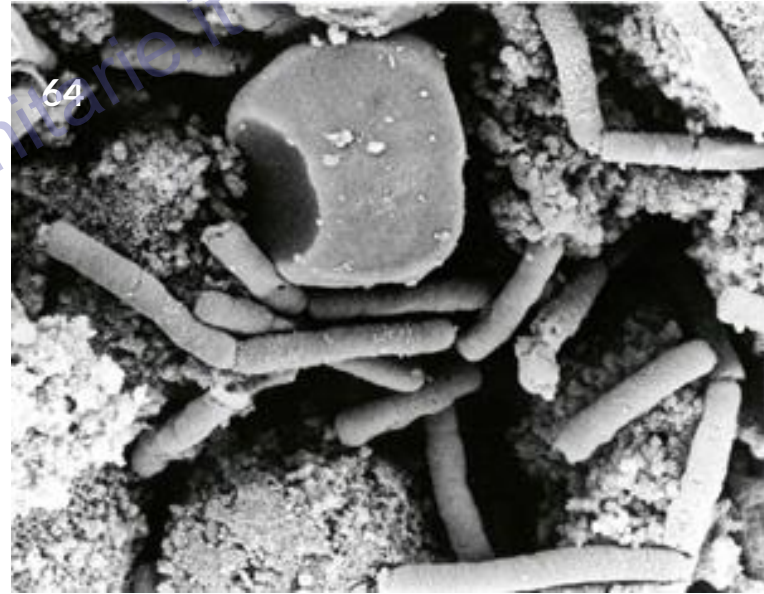
- il carbonchio (antrace)
- il tetano
- l'anchilostomiasi

MICROBI PATOGENI NEL SUOLO

Bacillus anthracis

La malattia correlata è chiamata **carbonchio** o **antrace**, patologia più comune negli animali che nell'uomo. Il bacillo è produttore di spore e quindi può sopravvivere a lungo nell'ambiente. L'agente eziologico è un'arma batteriologica.

Maggiori dettagli nella [pagina dedicata al carbonchio](#).



Bacillus anthracis

PHOTO CREDITS (diapositive 4 - 12)

- 1 By HolgerK at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3810176>
- 2 Mycatkins via Visualhunt / CC BY-ND
- 3 By T.C. Winter, J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley - Ground Water And Surface Water A Single Resource. U.S. Geological Survey Circular 1139, Figure 3., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=25976976>
- 4 Di Ingolfson di Wikipedia in inglese (Testo originale: Uploader.) - Trasferito da en.wikipedia su Commons. (Testo originale: Own picture.). Pubblico dominio <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2621527>
- 5 By The original uploader was Ngb at English Wikipedia - Transferred from en.wikipedia to Commons., CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9433556>
- 6 CC BY-SA 1.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=222143>
- 7 By US Department of Agriculture - <http://soils.usda.gov/education/resources/lessons/profile/>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1343062>

PHOTO CREDITS (diapositive 17 - 32)

8 CC0, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=41389071>

9 Di United States Department of Transportation - Federal Highway Administration - <http://www.fhwa.dot.gov/PAVEMENT/recycling/fach01.cfm>, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6323262>

10 Di [http://resourcescommittee.house.gov/subcommittees/emr/usgsweb/photogallery/images/Coal,%20ant hracite.jpg](http://resourcescommittee.house.gov/subcommittees/emr/usgsweb/photogallery/images/Coal,%20ant%20hracite.jpg), Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22263>

11 By wabeggs - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18082033>

12 Di  - <http://www.panoramio.com/photo/10989480>, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6739588>

13 Di Balambalam - Opera propria, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3350059>

14 Par Messina, John, 1940-, Photographer (NARA record: 8464458) — U.S. National Archives and Records Administration, Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22666541>

15 By Lamiot - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22029956>

PHOTO CREDITS (diapositive 33 - 46)

- 16** By Unknown - USDA — <http://www.usda.gov/oc/photo/94cs3568.htm>, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1705629>
- 17** Domaine public, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=545109>
- 18** By Xanthis - Photograph of an old DDT powder container, CC0, <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=36708420>
- 19** By mtkopone - <http://www.flickr.com/photos/mtkopone/3146168459/>, CC BY 2.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5615507>
- 20** By F Lamiot - Own work, CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1581900>
- 21** By Roy Bateman at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11923365>
- 22** By Cjp24 (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons
- 23** By U.S. Air Force photo by Staff Sgt. Jacob N. Bailey - This Image was released by the United States Air Force with the ID 050913-F-5964B-033 (next). This tag does not indicate the copyright status of the attached work. A normal copyright tag is still required. See Commons:Licensing for more information. বাংলা | Deutsch | English | español | euskara | فارسی | français | italiano | 日本語 | 한국어 | македонски | മലയാളം | Plattdüütsch | Nederlands | polski | português | Türkçe | 中文 | 中文(简体) | +/-, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9000634>
- 24** By Evelyn Simak, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13073507>
- 25** Di <http://www.epa.gov/maia/html/nitrogen.html>, Pubblico dominio,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5543272>

PHOTO CREDITS (diapositive 47 - 75)

- 26 Di Jon Sullivan - <http://pdphoto.org/PictureDetail.php?mat=pdef&pg=8202>, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35795>
- 27 By John Haslam from Dornoch, Scotland - Flickr, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4108434>
- 28 By Alexandr Trubetskoy - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19117918>
- 29 By Lynn Betts - U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6303766>
- 30 GFDL con disclaimer, <https://it.wikipedia.org/w/index.php?curid=208239>
- 31 By N/A Department of Defense employee - <http://dams.defenseimagery.mil/defenseink/screenres.action?id=3051d832072cfba80e039fda901f324f366f5f1b>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6376811>
- 32 Di User:ClockworkSoul - English Wikipedia (<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/bd/Blister-arm.jpg>), Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2008625>
- 33 By Contains Ordnance Survey data © Crown copyright and database right, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17698634>
- 34 Di Own work - Opera propria, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4972709>
- 35 Di H. Zell - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8544522>

PHOTO CREDITS (diapositive 77 - 91)

- 36 By Ulrich Birkhoff - own photo, originally uploaded as w:de:Bild:Amalgam.jpg, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=536587>
- 37 Pubblico dominio, <https://it.wikipedia.org/w/index.php?curid=85872>
- 38 Di en:User:Splarka - http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Mercury%28II%29_chloride.jpg, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4157409>
- 39 Di Minerallad at en.wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12001542>
- 40 CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=309350>
- 41 Di <http://en.wikipedia.org/wiki/User:Bobo12345> - http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Minamata_map_illustrating_Chisso_factory_effluent_routes2.png, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1443750>
- 42 Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1571961>
- 43 <https://en.wikipedia.org/w/index.php?curid=20131705>
- 44 Immagine di proprietà dello studio associato R&D
- 45 By U.S. Geological Survey - <http://toxics.usgs.gov/pubs/FS-051-02/pdf/fs-051-02.pdf>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17278402>

PHOTO CREDITS (diapositive 92 - 106)

- 46 Di Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendelejew.de) - Opera propria, FAL, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12381318>
- 47 Di G.dallorto - Opera propria, Attribution, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1287979>
- 48a Pubblico dominio, <https://it.wikipedia.org/w/index.php?curid=468375>
- 48b Di <http://science.kukuchew.com/2008/10/21/thomas-midgley-jr/>, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16722267>
- 49 Di Dr Abhijit Datir - <http://radiopaedia.org/cases/lead-poisoning>, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11343872>
- 50 Di National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) from USA - Recycling lead in a lead-acid battery recovery facility, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5334658>
- 51 Di Herbert L. Fred, MD and Hendrik A. van Dijk - <http://cnx.org/content/m15003/latest/>, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5038848>
- 52 Di Vicente López y Portaña - Museo Nacional del Prado, Galería online, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17628217>
- 53 Di Vincent van Gogh - [1], Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=123476>
- 54 Di Ottavio Leoni - milano.it, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=331612>
- 55 Di user:Chris Timm - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=532499>

PHOTO CREDITS (diapositive 107 - 134)

56 Di Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendelejew.de) - Opera propria, FAL,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10323830>

57 CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=58403>

58 CCO Public Domain via Pixabay

59 Di Alchemist-hp (talk) (www.pse-mendelejew.de) - Opera propria, FAL,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10125753>

60 Di Stefan-Xp - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=853734>

61 Di Arsen_1.jpg: Original uploader was Tomihahndorf at de.wikipedia
 derivative work: Materialschemist (talk) - Arsen_1.jpg, CC BY-SA
 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8758147>

62 Di Weißer_Phosphor.JPG: BXXXD at de.wikipedia
 Phosphor_rot.jpg: Tomihahndorf
 Phosphor-rot-violett.jpg: Maksim
 derivative work:
 Materialschemist (talk) - Weißer_Phosphor.JPG
 Phosphor_rot.jpg
 Phosphor-rot-violett.jpg, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7275993>

63a By Photograph by Aaron Sherman - own work originally from http://mush.ajs.com/gallery2/main.php?g2_itemId=4709,
 CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=263869>

63b By Ericsteinert at the German language Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3264200>

64 Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=121651>