

Ecotossicologia

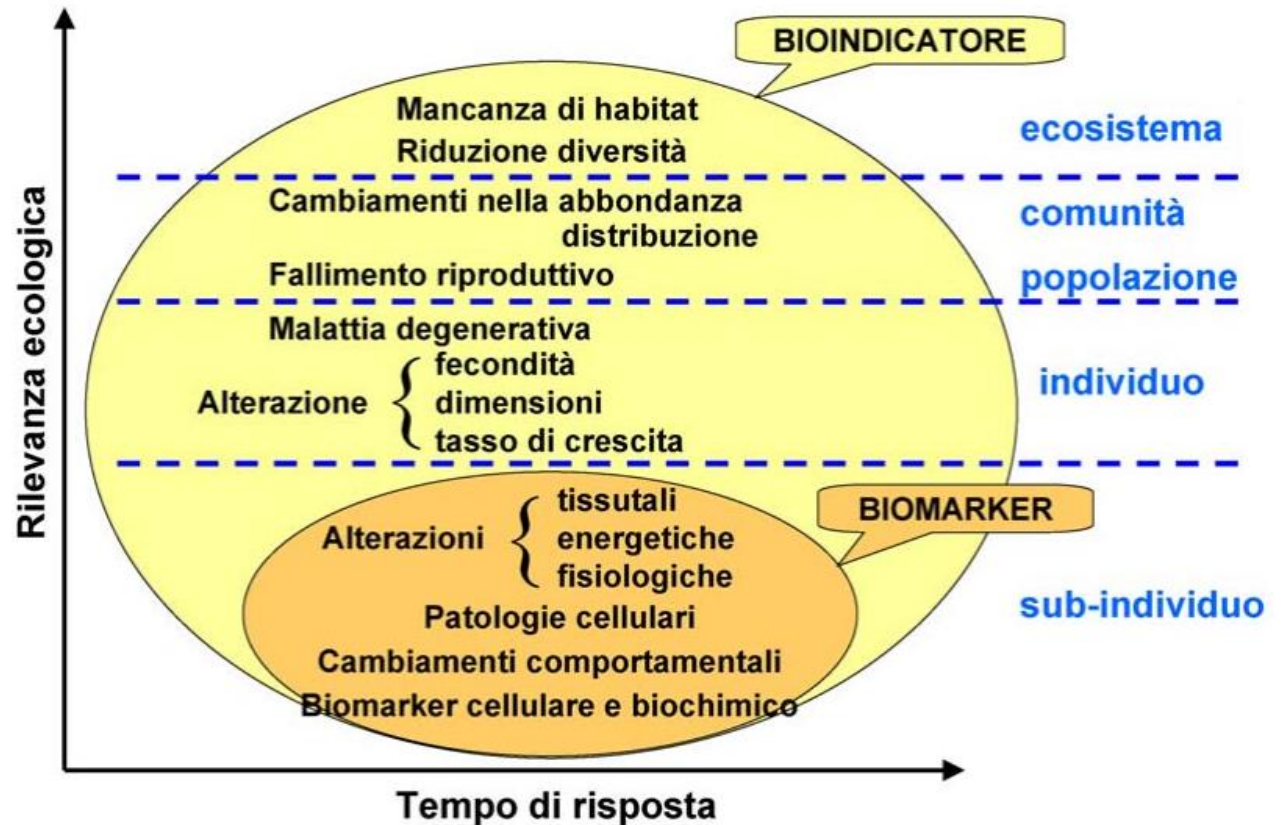
Dott. Carmine Merola, DVM, Ph.D

BIOINDICATORI



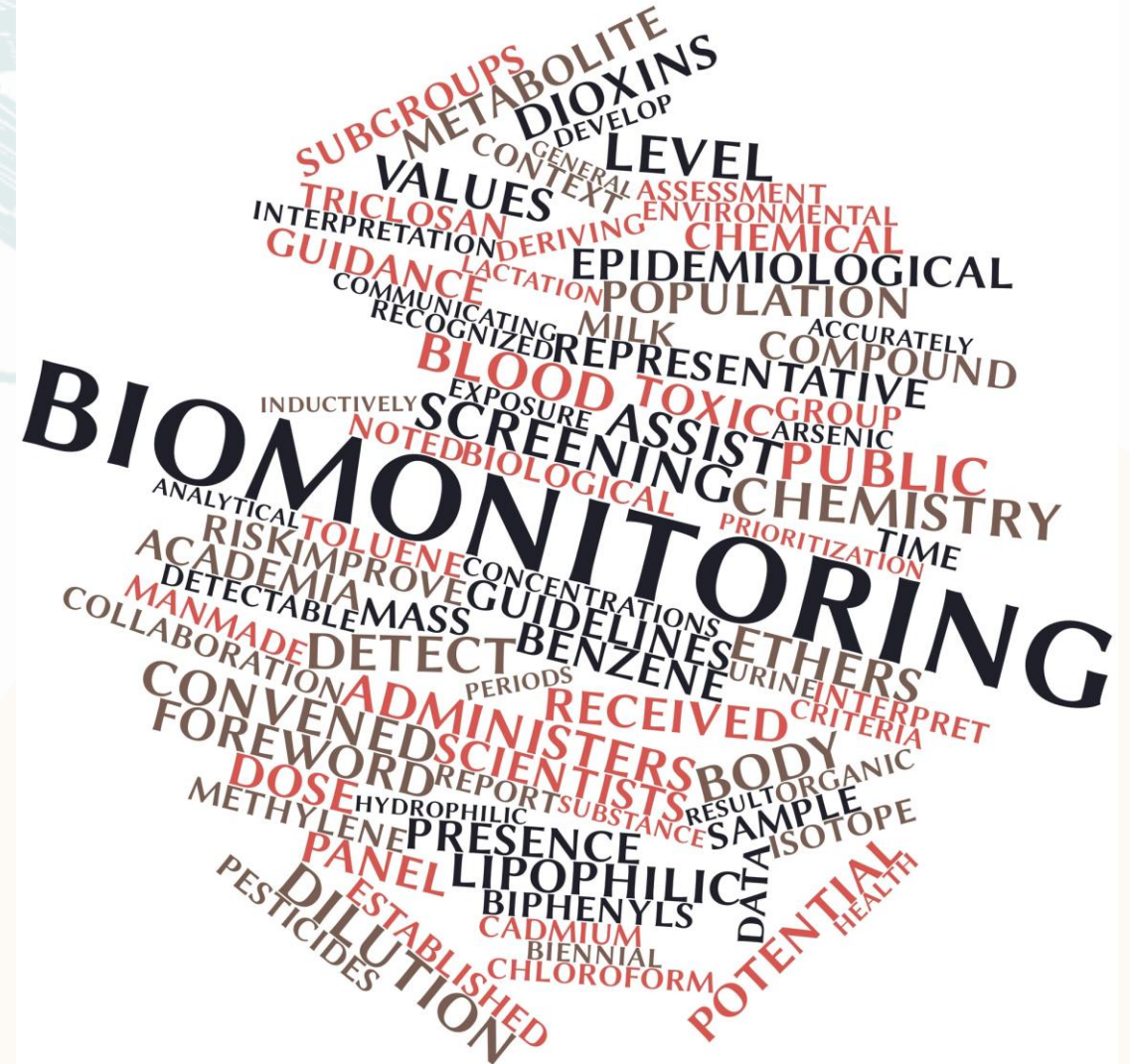
BIOINDICATORI: DEFINIZIONI

- ISERENTANT e DE SLOOVER, 1976: “organismo o sistema **biologico** usato per valutare una modificazione (generalmente degenerativa) della qualità ambientale, qualunque sia il suo livello di organizzazione e l’uso che se ne fa”.
- In questa definizione rientrano pertanto gli individui, le popolazioni, le comunità, i gruppi ecologici ma anche le parti corporee, come organi, tessuti, cellule nonché i prodotti metabolici.



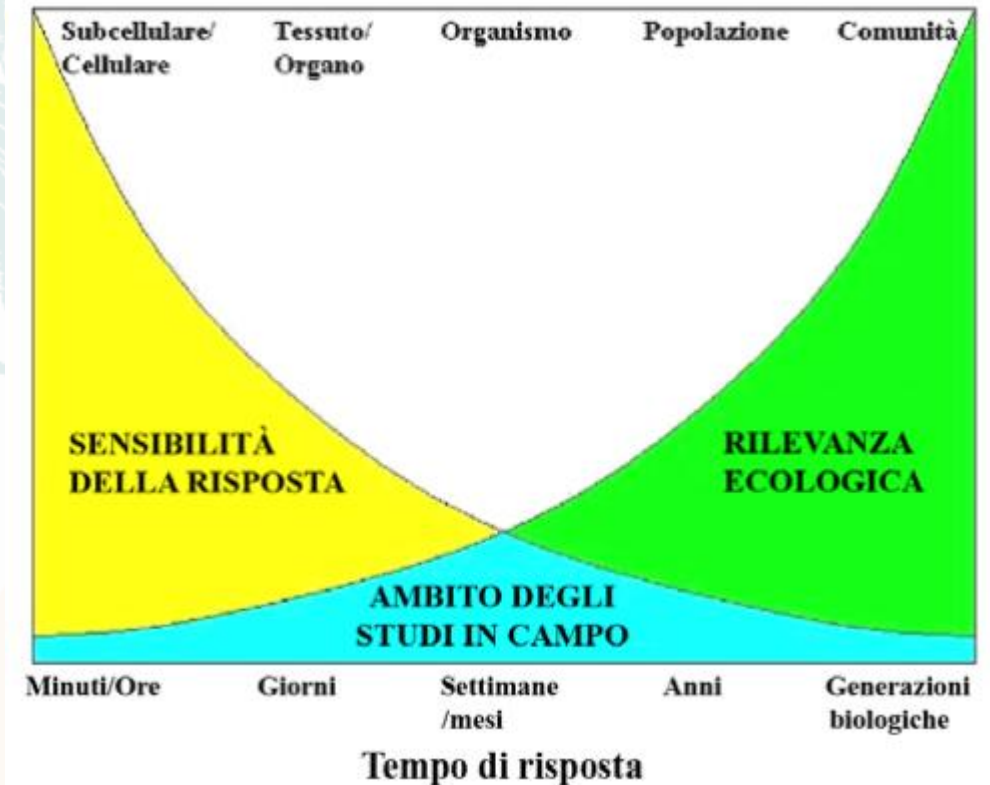
BIOINDICATORI: PERCHE'?

- Negli ultimi anni è sorta l'esigenza di affiancare ai comuni metodi di indagine strumentale (misurazione di parametri chimico-fisici) altre metodiche di tipo biologico che misurano le variazioni dei popolamenti animali e vegetali, senza perdere di vista che la diversità biotica, intesa come prodotto delle interazioni fra evoluzione biologica e variazione dei parametri ambientali.
- Tale metodica va sotto il nome di **"Biomonitoraggio"** e si basa sull'impiego di organismi viventi "sensibili", in grado cioè di fungere da indicatori del degrado della qualità ambientale dovuto all'inquinamento.
- L'uso di organismi sensibili a stress ambientali si è reso necessario in quanto i dati di tipo chimico-fisico non davano una visione globale del possibile impatto ambientale, ma fornivano solamente una misura puntiforme ed istantanea di un unico parametro.
- Inoltre, uno strumento di misura rileva solo le sostanze per le quali è stato appositamente progettato e non è in grado di evidenziare sostanze impreviste o gli effetti combinati delle sostanze presenti.



BIOINDICATORI: DEFINIZIONI

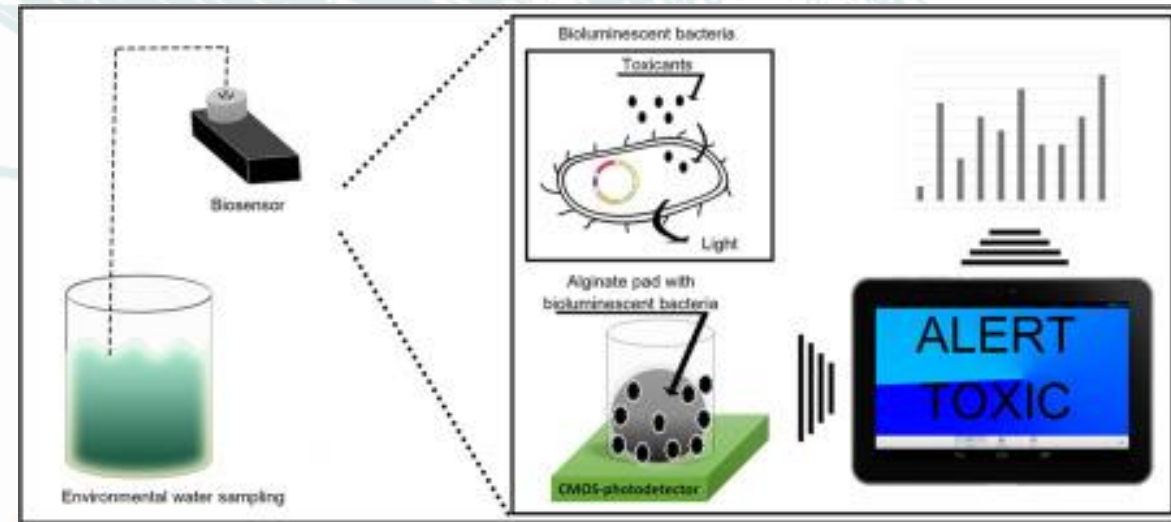
- Indipendentemente dal livello di organizzazione biologica assunto come indicatore, un requisito irrinunciabile è l'accertata sensibilità nei confronti di un'azione di disturbo, chiaramente identificata, che può esprimersi con un'ampia gamma di risposte (BIOMARKERS)
- "Biomarker" (MCCARTHY e SHUGART, 1990), ossia una variazione biochimica e/o fisiologica ad una scala inferiore rispetto all'organismo e quindi all'interno di tessuti, cellule o fluidi biologici che dà evidenza di esposizione e/o effetto ad uno o più composti inquinanti.



È evidente che tanto più il livello di organizzazione biologica diventa complesso (passando ad esempio dalla cellula all'organismo o dal singolo organismo alla popolazione, alla specie e alla comunità), tanto più aumenta la rilevanza ecologica ed il livello di integrazione dei fattori ambientali. Tuttavia, parallelamente, diminuisce la sensibilità nella risposta e la comprensione dei meccanismi che ne determinano gli effetti.

BIOINDICATORI: DEFINIZIONI

- “**bioreporter system**” (AARTS et al., 1993), ossia un sistema atto a rendere evidente un cambiamento genetico dovuto alla presenza di un agente inquinante. Questo è reso possibile dall’utilizzo di cellule geneticamente modificate in grado di dare un segnale misurabile, come ad esempio la bioluminescenza;
- “**biosensor**” (RAWSON, 1993), ovvero un congegno fisico che permette di rendere manifesta la presenza di un inquinante mediante la produzione di un segnale elettrico derivato dalla biocatalisi;
- “**bioassay**” (VAN STRAALLEN, 1998), vale a dire un test ecotossicologico di breve durata con un protocollo standardizzato, nel quale l’attività dell’inquinante viene misurata come effetto negativo in alcune specie sentinella.
- È possibile inoltre distinguere un bioindicatore passivo, qualora esso sia naturalmente presente in un’area inquinata, oppure attivo, nel caso in cui esso venga esposto artificialmente all’agente inquinante.

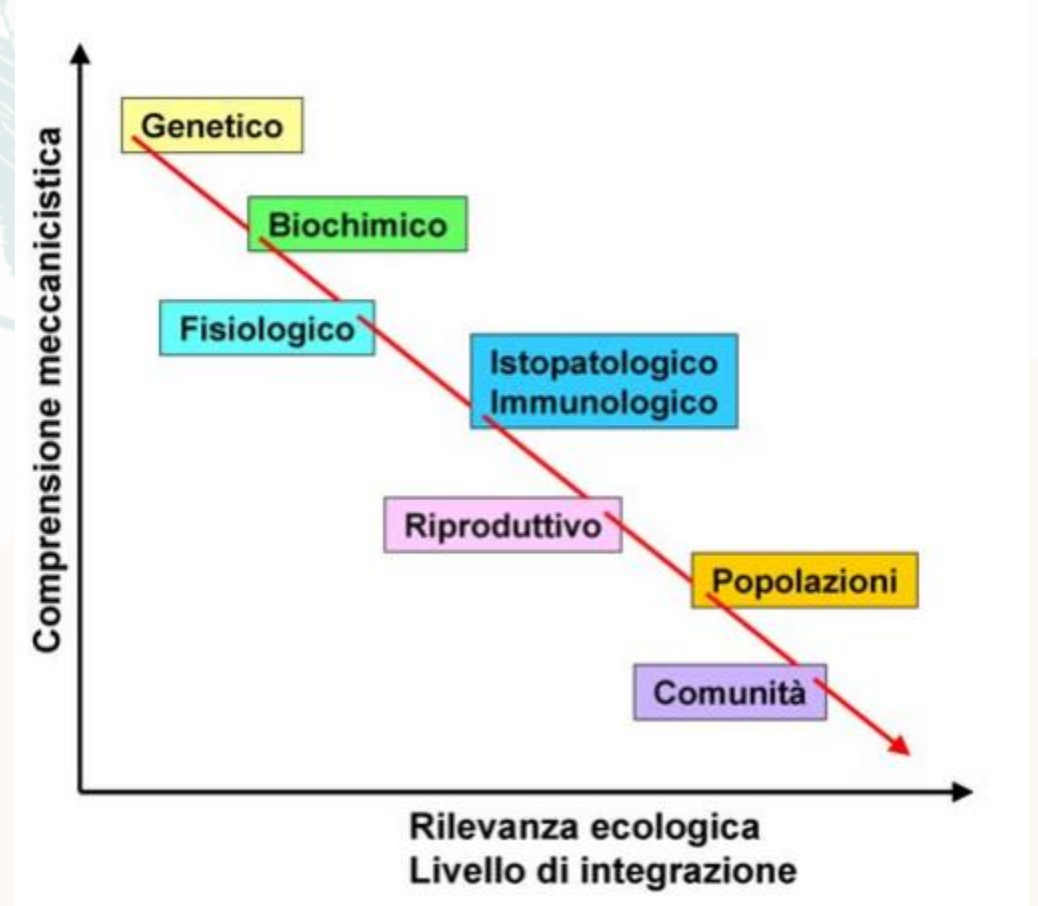


Axelrod, T., Eltzov, E., & Marks, R. S. (2016). Bioluminescent bioreporter pad biosensor for monitoring water toxicity. *Talanta*, 149, 290-297.

BIOINDICATORI: CARATTERISTICHE

- Un buon bioindicatore della qualità ambientale deve soddisfare una serie di requisiti tali che le informazioni ricavabili possano essere integrate positivamente con le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche dell'ecosistema. In linea generale un bioindicatore deve possedere i seguenti requisiti:

1. sensibilità alle variazioni nell'ecosistema. Per essere utile esso deve essere sufficientemente sensibile all'influenza data dalle pratiche agricole e dai cambiamenti climatici a lungo termine, tuttavia non deve essere troppo influenzato dai cambiamenti climatici a breve termine (DORAN e PARKIN, 1996);



BIOINDICATORI: CARATTERISTICHE

- 2) stretta connessione con le condizioni naturali di un ecosistema (EDWARDS et al., 1995);
- 3) buona correlazione con le funzioni del suolo, quali lo stoccaggio ed il rilascio dell'acqua, la decomposizione dei residui vegetali ed animali, la trasformazione ed il riciclo dei nutrienti, il sequestro e la detossificazione dei composti organici e la promozione della crescita delle piante (COSTANZA et al., 1997);
- 4) accessibilità, facile comprensione e applicazione anche da parte dei non esperti (SCHILLER et al., 2001);
- 5) ruolo chiave all'interno dell'ecosistema (Set al., 1995);



BIOINDICATORI: CARATTERISTICHE

- 6) optimum ecologico ed ampia distribuzione nell'area di studio (EDWARDS et al., 1995);
- 7) caratteristiche anatomiche, fisiologiche ed ecologiche ben conosciute (NIEMI e MCDONALD, 2004);
- 8) uniformità genetica (HOPKIN, 1993);
- 9) ciclo vitale sufficientemente lungo (HOPKIN, 1993);
- 10) scarsa mobilità (HOPKIN, 1993)



BIOINDICATORI: VANTAGGI E SVANTAGGI



Vantaggi:

1. Esprimono una risposta integrata agli stimoli presenti in ambiente (effetto miscela delle sostanze)
2. Costo ridotto

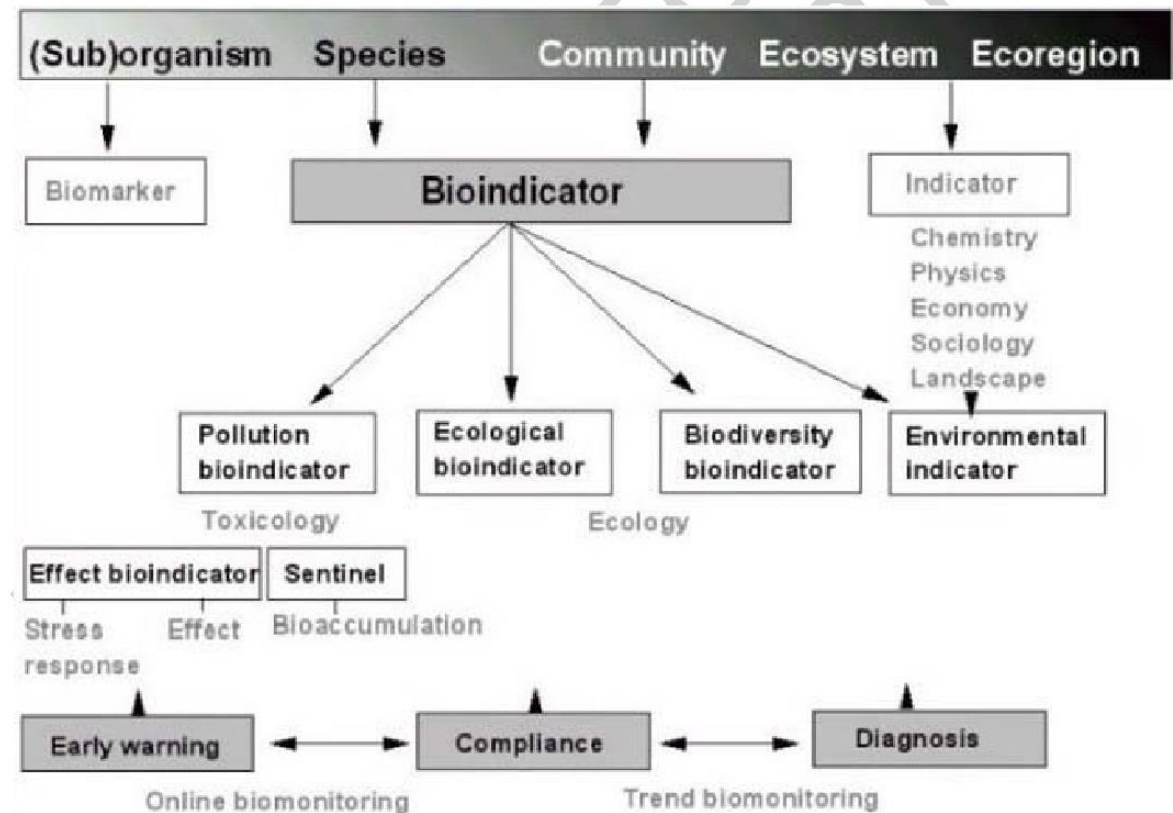
Svantaggi:

1. I parametri ambientali possono mascherare risposte relative agli inquinanti
2. Variabilità individuale e adattamento

N.B. Indipendentemente dal tipo di bioindicatore scelto il suo utilizzo necessita della non semplice individuazione di una **situazione di "controllo"**, vale a dire un ambiente presumibilmente sano e con caratteristiche molto simili a quelle dell'ambiente in degrado. Fino ad ora, infatti, i bioindicatori sono stati in grado di fornire solo misure relative; la risposta ottenuta necessita, quindi, di essere interpretata sulla base di un confronto.

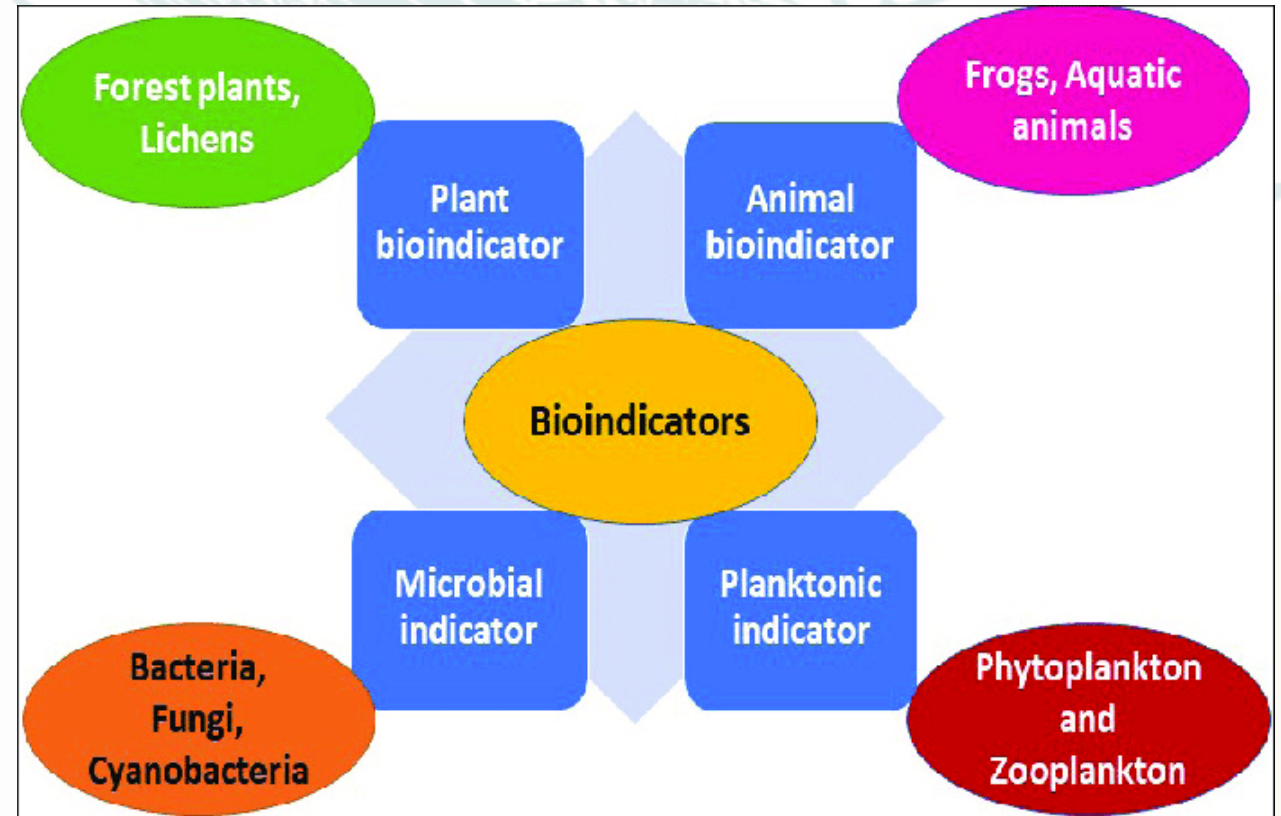
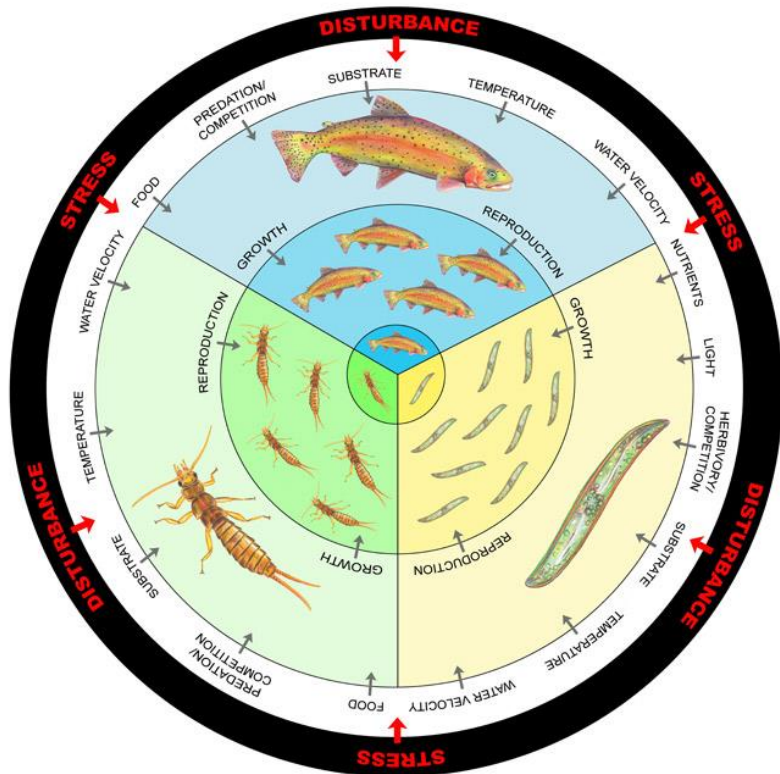
BIOINDICATORI: CLASSIFICAZIONE

- I bioindicatori possono essere classificati in relazione allo scopo:
 - BIOACCUMULATORI
 - BIOINDICATORI DI «COMPLIANCE»
 - BIOINDICATORI DIAGNOSTICI
 - BIONDICATORI «EARLY WARNING»
- alla loro applicazione:
 - AMBIENTALI
 - DI INQUINAMENTO
 - ECOLOGICI
 - DI BIODIVERSITA'
- oppure in relazione al tipo di organismo.



BIOINDICATORI: ORGANISMI UTILIZZATI

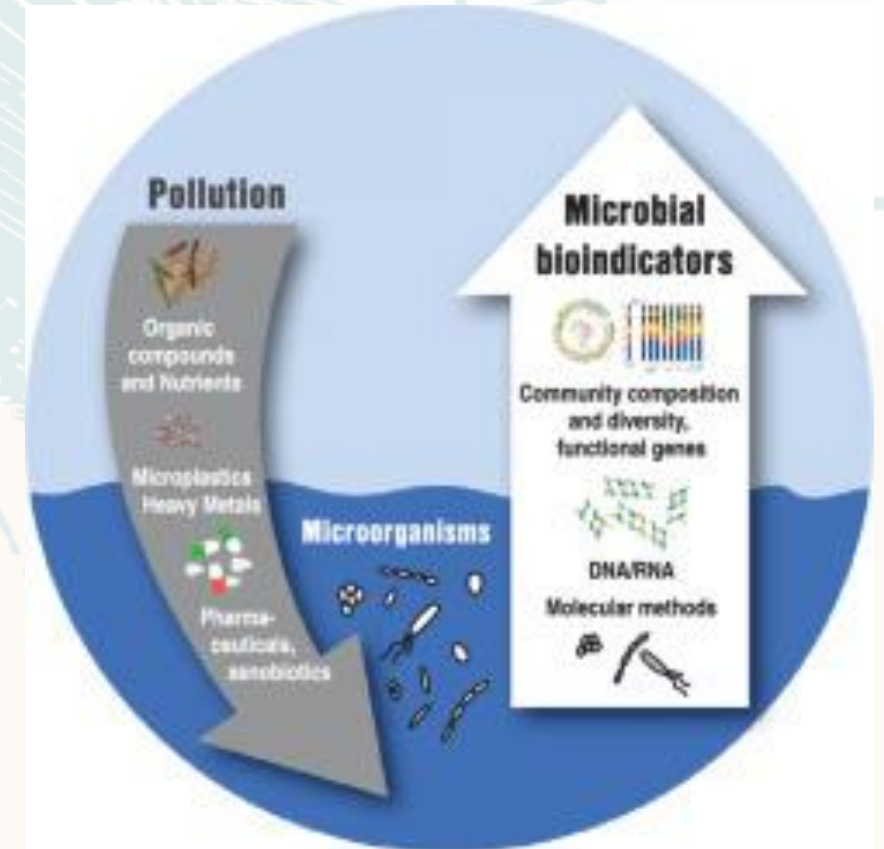
- MICRORGANISMI
- VEGETALI
- ANIMALI



Holt, E. A. & Miller, S. W. (2010) Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. Nature Education Knowledge 3(10):8
Pattanayak et al., 2020

BIOINDICATORI: MICRORGANISMI

1. I microrganismi possono essere utilizzati per valutare la contaminazione o l'inquinamento di suolo ed acqua.
2. Alcuni di loro intervengono anche nella degradazione delle sostanze tossiche presenti in ambiente, altri ne sono particolarmente sensibili.
3. Possono essere buoni indicatori dell'impatto delle attività antropiche (*Escherichia coli*, *Pseudomonas spp.*, *Clostridium spp.* ecc..)
4. Alcuni batteri (Cianobatteri) sono particolarmente utili per valutare lo stato di contaminazione del suolo da sostanze di origine antropica (pesticidi)

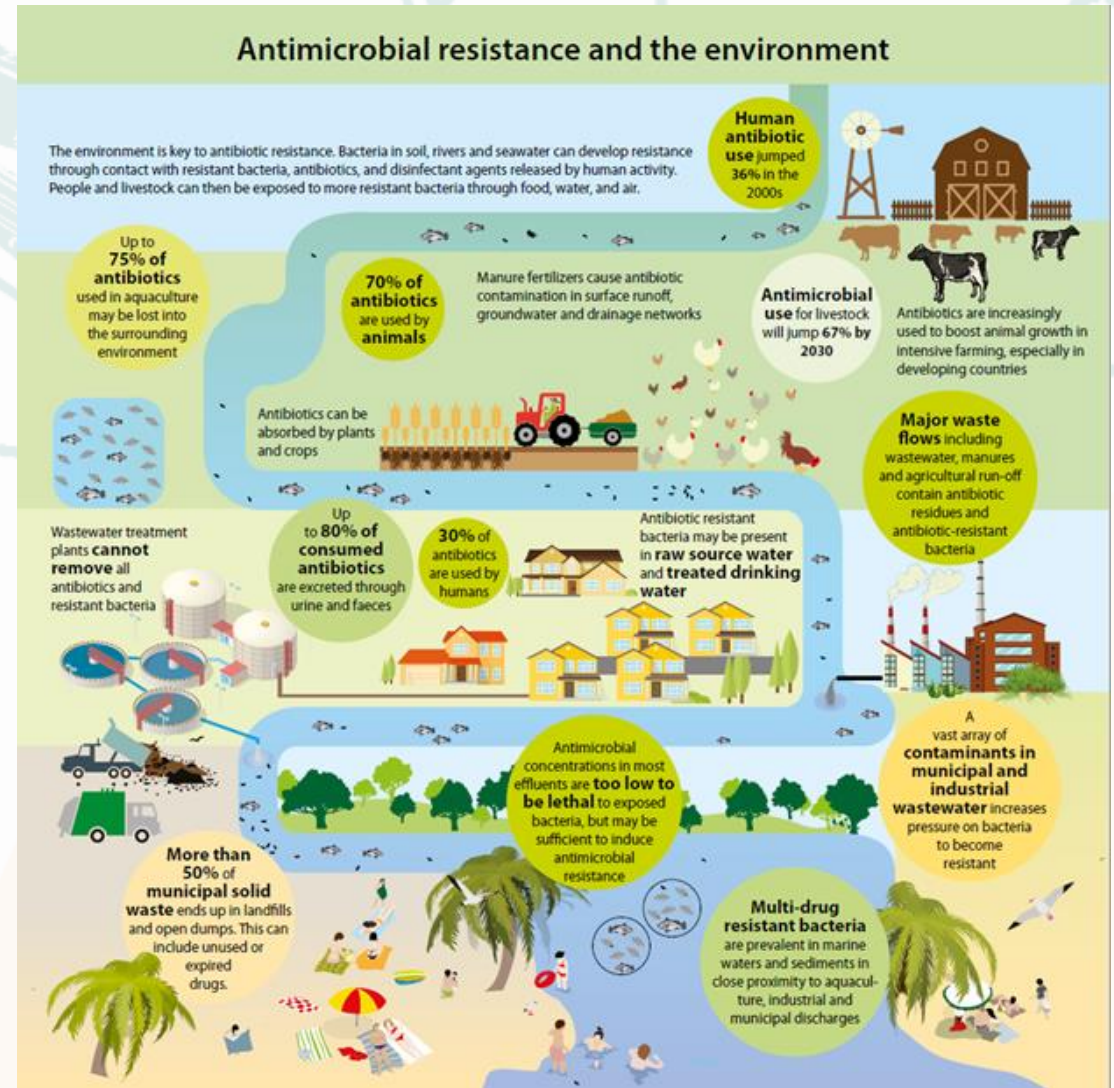


Sagova-Mareckova et al., 2021

BIOINDICATORI: MICROORGANISMI

I **farmaci**, in generale, e gli **antibiotici**, in particolare, sono oggi considerati tra i **principali inquinanti emergenti** poiché sono presenti ovunque nell'ambiente. La contaminazione ambientale da farmaci è, dunque, un problema attuale, i cui effetti sulla salute dell'ambiente stesso e dell'uomo sono tuttora in via di definizione.

La principale fonte di contaminazione è data dall'utilizzo di farmaci a livello terapeutico nell'uomo e negli animali, mentre altre fonti, come ad esempio quelle industriali, risultano di minor entità e localizzate in aree definite. La presenza di antibiotici nell'ambiente favorisce lo sviluppo e la proliferazione di resistenze specifiche nelle comunità batteriche. Queste resistenze creano situazioni pericolose per la salute dell'uomo e negli allevamenti animali, dove una resistenza spesso si traduce direttamente in un'infezione di difficile o impossibile trattamento.

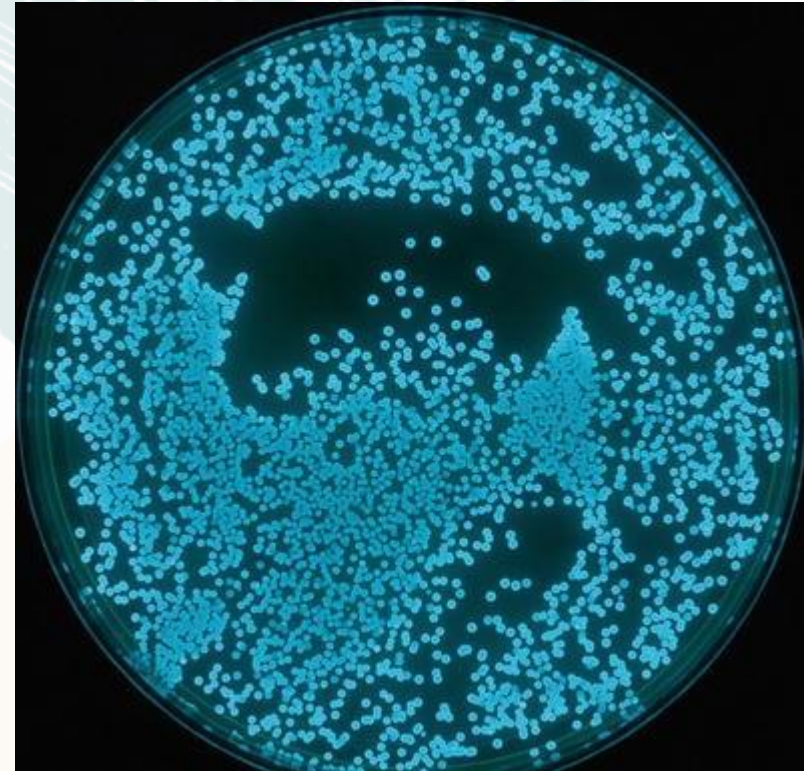


Healthy environment is key for antibiotics to work |
UNEP | 2020

BIOINDICATORI: MICRORGANISMI

Batteri bioluminescenti come bioindicatori

- I. La bioluminescenza è la capacità di un essere vivente di emettere luce in seguito al passaggio di un elettrone dallo stato eccitato a quello fondamentale, ed è una caratteristica presente nei microrganismi, nei funghi e negli animali.
- II. Nel mondo microbico le specie bioluminescenti appartengono principalmente ai generi *Vibrio* spp. e *Photobacterium* spp.
- III. Vivono in simbiosi con animali marini.
- IV. L'intensità di emissione della luce dipende dal metabolismo energetico batterico che può essere alterato dalla presenza di un tossico con conseguente riduzione di emissione di fotoni.
- V. È stato adattato un saggio ecotossicologico (MICROTOX)
- VI. In ambiente si può ricavare la «*Apparent Luminous Bacterial Concentration (ALBC, CFU/ml)*».

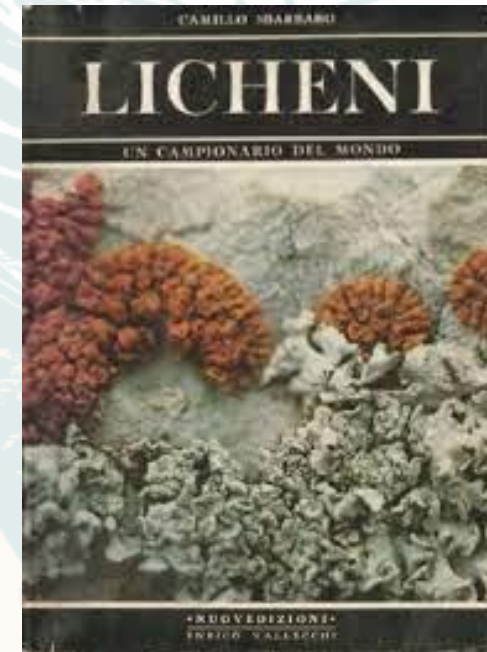


Luminous Bacteria
Paul V. Dunlap & Henryk Urbanczyk

BIOINDICATORI: VEGETALI

LICHENI

- Espressione della simbiosi tra organismi eterotrofi (funghi, per lo più Ascomiceti, raramente Basidiomiceti) e autotrofi (alghe verdi e/o cianobatteri).
- Il fungo riceve carboidrati dal suo partner algale che, in cambio, lo rifornisce di acqua e sali minerali, proteggendolo anche da eccessivo disseccamento e dalle forti radiazioni luminose.
- Questa associazione porta alla formazione di talli ben caratterizzati dal punto di vista morfologico e fisiologico.

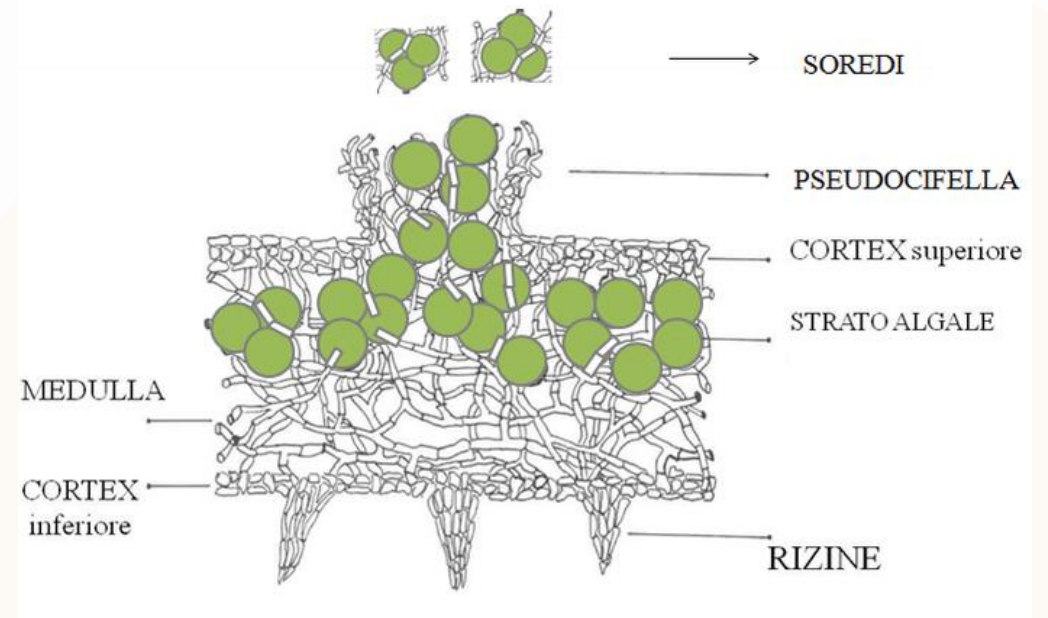
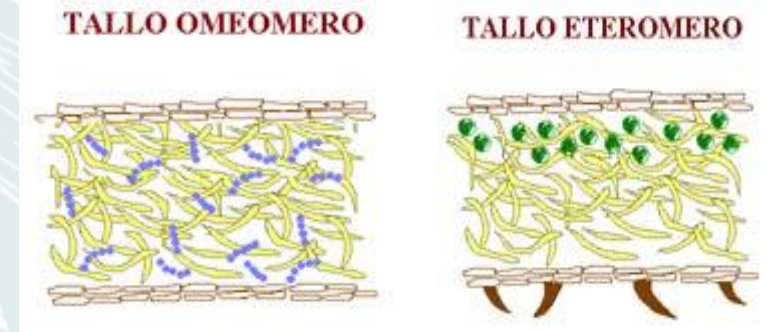


Camillo Sbarbaro (1888-1967)

BIOINDICATORI: VEGETALI

LICHENI

- ✓ Il tallo rappresenta il corpo vegetativo del lichene.
- ✓ Le rizine servono per ancorarsi al substrato.
- ✓ I talli possono essere distinti in omeomeri e eteromeri in relazione alla distribuzione dei diversi componenti.
- ✓ La riproduzione nei licheni avviene secondo due modalità distinte: per via vegetativa o sessuale (quest'ultima ad opera del solo fungo).
- ✓ La morfologia dei talli è variabile, ma si possono riconoscere tre tipi principali di licheni: crostosi, fogliosi e fruticosi.



BIOINDICATORI: VEGETALI

LICHENI

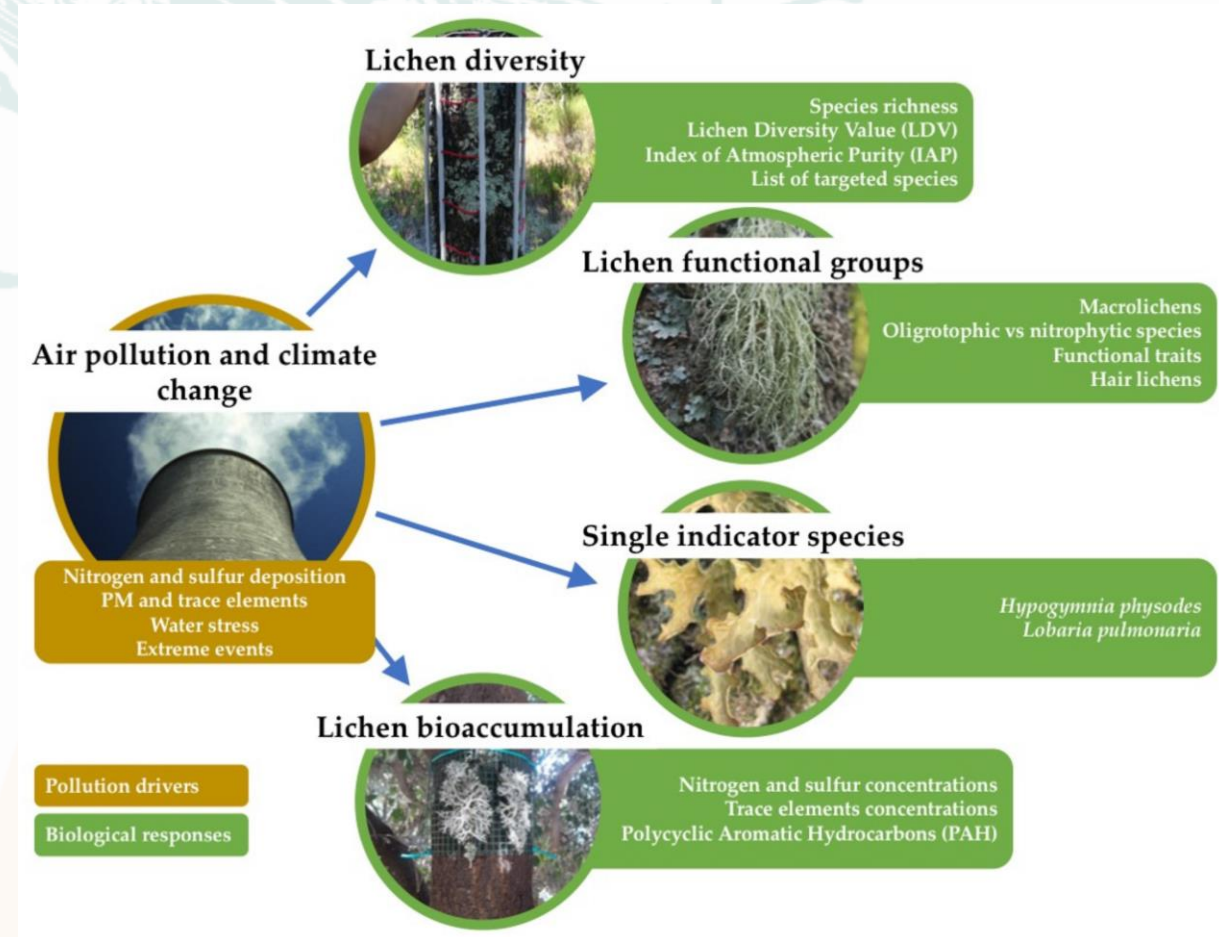
- Gli elementi nutritivi e i contaminanti atmosferici (sotto forma di gas, in soluzione o associati al particolato) vengono assorbiti (ed eventualmente accumulati) attraverso tutta la superficie del tallo durante tutte le stagioni e nell'arco di molti anni (sono organismi longevi).
- A differenza di quanto si verifica nelle piante superiori, i licheni non hanno la possibilità di liberarsi delle sostanze nocive né tramite meccanismi di escrezione attiva né mediante eliminazione e rinnovo delle parti danneggiate o vecchie del tallo.
- Calcolo degli IAP (Indice di Purezza Atmosferica)



BIOINDICATORI: VEGETALI

LICHENI

- L'alterato equilibrio tra l'alga e il fungo simbiotici può portare a:
 - riduzione delle attività fisiologiche (fotosintesi, respirazione, trasmissione di carboidrati tra alga e fungo);
 - alterazione della forma e del colore del tallo;
 - riduzione della fertilità;
 - cambiamenti nella copertura esercitata dalle specie presenti con alterazione delle comunità licheniche (le specie crostose sono più resistenti all'inquinamento rispetto a quelle fogliose e fruticose, perché presentano una minore superficie di scambio);
 - riduzione del numero di specie nel tempo e nello spazio.



BIOINDICATORI: ANIMALI

INVERTEBRATI

Nematodi: i nematodi (vermi tondi) sono presenti con circa 15.000 specie note, nei sistemi terrestri ed in tutti i sistemi acquatici. Metà delle specie note sono a «vita libera», ovvero non sono associati a particolari piante o animali.

- Rispondono velocemente ai cambiamenti dell'habitat.
- Mostrano specificità in relazione al tipo di insulto o sostanza chimica.
- Sono in diretto contatto con le sostanze disciolte nel suolo.
- Sono facili da campionare in ogni periodo dell'anno.
- Le famiglie di nematodi sono state ordinate con un punteggio c-p da 1 a 5 (colonizzatori e persistenti) ed utilizzati per calcolare il «maturity index», (MI).

Bongers, 1990

$$MI = \frac{\sum [v(i) \times f(i)]}{\sum f(i)}$$

v(i)= valore c-p assegnato alla famiglia
f(i)= frequenza di rilevamento della famiglia nel campione analizzato



BIOINDICATORI: ANIMALI

INVERTEBRATI

Ape (*Apis mellifera*): Sulla base delle loro caratteristiche etologiche e morfologiche le api sono considerate degli affidabili rilevatori ecologici, soprattutto della presenza di inquinanti. Caratteristiche vantaggiose:

AFFIDABILITA': una colonia di api effettua quotidianamente 10 milioni di micro-prelievi;

GLOBALITA': le api con la loro attività bottinatrice entrano in contatto con vegetali, suolo, aria e acqua intorno all'arnia;

ADATTABILITA': le postazioni di monitoraggio possono essere installate in qualsiasi luogo;

SENSIBILITA': segnalano la presenza di sostanze dannose anche a basse concentrazioni;

RAPIDITA': risposte rapide alla presenza di sostanze pericolose nell'ambiente.



BIOINDICATORI: ANIMALI

INVERTEBRATI

Ape (*Apis mellifera*)

- FITOFARMACI – Neonicotinoidi, Organofosforici e carbammati, Organoclorurati, Fenilpirazoli, Piretroidi, ecc
- ERBICIDI E FUNGICIDI
- FARMACI VETERINARI AUTORIZZATI E NON AUTORIZZATI. – Organofosforici, Antibiotici ecc.
- INQUINANTI E CONTAMINANTI – Metalli pesanti, Radionuclidi, Idrocarburi Policiclici Aromatici, Diossine, PCB ecc.
- METABOLITI



BIOINDICATORI: ANIMALI

INVERTEBRATI

Ape (*Apis mellifera*)

L'alveare e i prodotti in esso stoccati:

- **Miele** ("prodotto alimentare che le api domestiche producono dal nettare dei fiori o dalle secrezioni provenienti da parti vive di piante o che si trovano sulle stesse, che esse bottinano, trasformano, combinano con sostanze specifiche proprie, immagazzino o lasciano maturare nei favi dell'alveare).
- **Polline** (questo prodotto dell'alveare è uno degli ingredienti della dieta delle api, costituito dalle cellule germinali maschili delle piante (le spermatofite), che si presenta come una polvere fine di colore giallo o marrone chiaro).
- **Propoli** (sostanza prodotta dalle api, a partire dalle resine che raccolgono dalle gemme e dalla corteccia delle piante (pioppi, abeti, olmi, betulle, ecc.) e che poi mescolano con gli enzimi della loro saliva, cera e polline).
- **Cera** (le api provvedono loro stesse a produrre la cera con la quale edificano le strutture interne dell'alveare, i favi. La cera proviene dalle ghiandole ciripare localizzate nell'addome delle api operaie).



BIOINDICATORI: ANIMALI

VERTEBRATI: PESCI, ANFIBI E RETTILI

- Presenza di uno scheletro interno (endoscheletro) di tipo cartilagineo e/o osseo.
- Tale carattere, fondamentale evolutivamente, acquista un particolare significato ambientale e perché richiede adattamenti fisiologici che consentano l'utilizzazione il più possibile efficiente dei sali di calcio che circolano negli ecosistemi.
- Eterotermia: la regolazione cioè della temperatura corporea, anche nello stadio adulto, basata in gran parte, se non esclusivamente, sulla temperatura ambiente.



BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

La classificazione del Morandini (1957) stabilisce le categorie di acque interne in relazione al ruolo svolto dai pesci quali possibili bioindicatori:

- le sorgenti, intese quali affioramenti naturali di acque dal sottosuolo (in questo contesto, di particolare rilievo è la cosiddetta fascia delle risorgive ai margini della pianura padano-veneta, un tempo “costellata di fontanili, ambienti caratterizzati da acque a temperature pressoché costanti (10-14°C) in tutto il ciclo annuale” (Gandolfi et al., 1991);
- i laghi, distinti in diversi tipi a secondo della loro origine e tipologia;
- i fiumi, distinti in almeno nove tipologie a seconda delle portate.

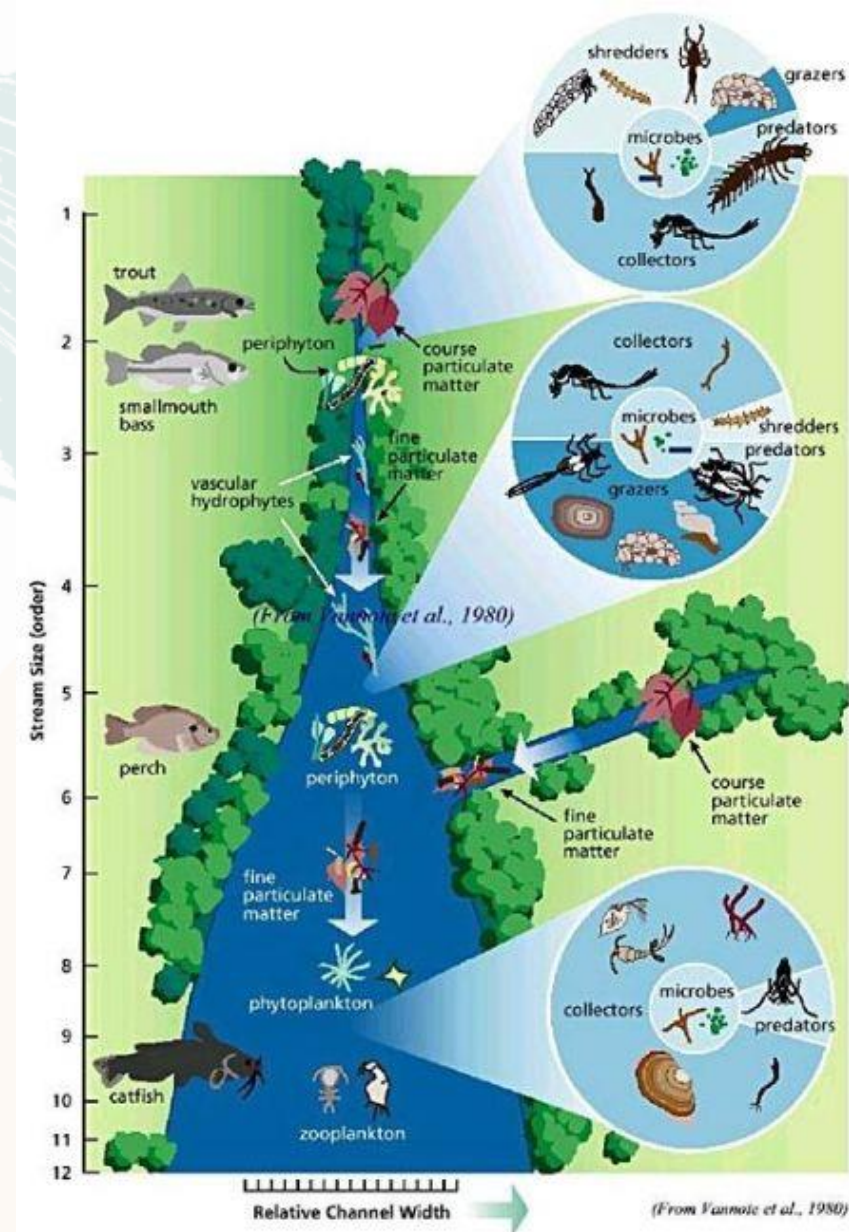


BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Zerunian (1982, 1984) suggerisce di considerare quattro zone ecologicamente così definite per i fiumi:

- zona della trota (specie tipiche sono: la trota fario e, per l'Italia centrale, meridionale e insulare, la trota macrostigma): con acque limpide, ben ossigenate, a corrente decisamente veloce, spesso a rapide; fondo sassoso a massi, ciottoli o ghiaia grossolana; e temperatura che non supera di regola i 13-14°C;
- zona dei Ciprinidi a deposizione litofila (su fondali ciottolosi; sono specie tipiche: il barbo e il barbo canino): con acque limpide e con "torbide" di breve durata, con correnti veloci alternate a zone in cui l'acqua rallenta e diviene più profonda (T° 18-19 °C).
- zona dei Ciprinidi a deposizione fitofila (specie tipiche sono la tinca e la scardola) (T° 24-25 °C);
- acque salmastre.



BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Valutazione ecotossicologica del Fiume Liri mediante l'impiego di *Salmo trutta trutta* (Dott. Angelo Bisegna)

- Il Liri è un fiume dell'Italia centro-meridionale, che si sviluppa tra l'Abruzzo, il Lazio e la Campania, con un percorso di 120 chilometri
- È stato valutato lo stato qualitativo del tratto iniziale (Abruzzo)



BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Valutazione ecotossicologica del Fiume Liri mediante l'impiego di *Salmo trutta trutta* (Dott. Angelo Bisegna)

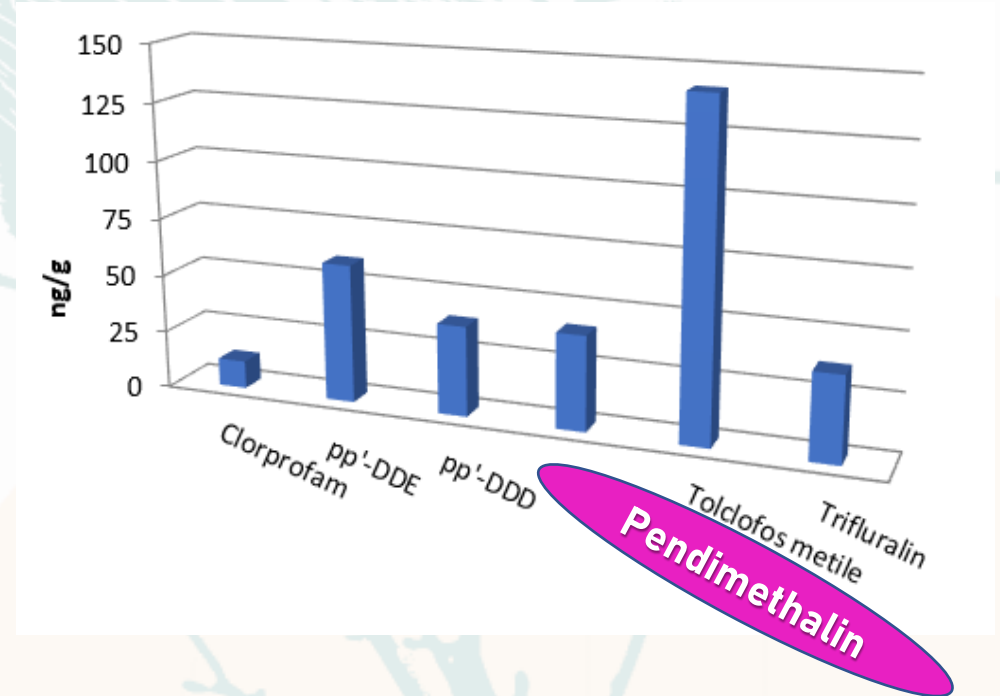
- Analisi acque:
 - O₂,
 - ammoniaca,
 - nitriti,
 - nitrati,
 - fosfati
 - T°, pH, conducibilità
- IBE
- *Salmo trutta trutta*:
 - misurazioni biometriche
 - K, HSI
 - esame anatomo- patologico
- Vitellogenina
- Analisi chimica multiresiduale



BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Vitellogenina: è una proteina presente nelle uova di invertebrati e vertebrati ovipari e ovovivipari, all'interno delle quali viene immagazzinata per poi essere utilizzata durante lo sviluppo embrionale. In tempi più recenti, la VTG è stata utilizzata come **biomarker** per rilevare la presenza di uno stress ambientale dovuto alla presenza di estrogeni e/o molecole simil-estrogeniche.



Analisi chimica multiresiduale
su 340 composti chimici:
identificati nei transetti IV e V

BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Indici biologici nei pesci: parametri biometrici come la lunghezza totale, il peso corporeo, e l'indice epatosomatico (HSI), l'indice gonadosomatico (GSI), lo stato di replezione gastrica e l'indice di condizione (K) sono fattori importanti per conoscere la capacità di una determinata specie di acquisire risorse dal proprio habitat. Essi sono inoltre importanti per conoscere lo stato fisiologico dell'animale come ad esempio l'accumulo di grasso e lo sviluppo delle gonadi.

- GSI: $(100 \times \text{peso delle gonadi} / \text{peso corporeo})$, buono indicatore dello stato riproduttivo; segue la maturazione delle gonadi e le strategie riproduttive
- HSI: $(100 \times \text{peso del fegato} / \text{peso corporeo})$, buono indicatore della capacità del fegato di produrre vitellogenina, varia nelle femmine in relazione al ciclo riproduttivo,
- K (indici di condizione): esprimono il rapporto tra il peso corporeo e la lunghezza e riflettono l'interazione tra le variabili biotiche e abiotiche nel determinare lo stato fisiologico dell'animale.

K	Giudizio	
1,60	Eccellente	Pesce in ottime condizioni di sviluppo
1,40	Buono	Pesce in buone condizioni, ben proporzionato
1,20	Discreto	Pesce con uno sviluppo accettabile
1,00	Scarso	Pesce non ben sviluppato, lungo e sottile
0,80	Estremamente scarso	Pesce con grande testa e corpo sottile

Stato ittologico del Fiume Liri: Transetto I, II : tra discreto ed eccellente; Transetto III: tra estremamente scarso e scarso; Transetto IV: tra scarso e discreto; Transetto V: tra buono ed eccellente

K: Fattore di condizione di Fulton, permette di confrontare pesci di taglia simile: $100 \times W / L^3$

BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Indice Biotico Esteso (IBE): L'I.B.E. si basa sull'analisi di un gruppo di organismi animali invertebrati, comunemente definiti "macroinvertebrati", che colonizzano tutte le differenti tipologie dei corsi d'acqua. Consente di formulare diagnosi della qualità degli ambienti di acque correnti sulla base delle modificazioni prodotte nella composizione delle comunità di macroinvertebrati a causa di fattori di inquinamento o di significative alterazioni fisiche dell'ambiente fluviale. L'I.B.E. è particolarmente adatto a rilevare gli effetti prodotti nel tempo dal complesso dei fattori di alterazione dell'ambiente fluviale. Questo perché i macroinvertebrati delle acque correnti sono legati ai substrati, sono composti da numerose popolazioni con differenti livelli di sensibilità alle modificazioni ambientali, esercitano differenti ruoli ecologici e presentano cicli vitali relativamente lunghi.

Tabella 1: Limiti obbligati per la definizione delle unità sistematiche (U.S.) di macroinvertebrati

Gruppi Faunistici	Livelli di determinazione tassonomica per definire le "Unità Sistematiche"
Plecoteri	genere
Efemeroteri	genere
Tricotteri	famiglia
Coleoteri	famiglia
Odonati	genere
Ditteri	famiglia
Eteroteri	famiglia
Crostacei	famiglia
Gasteropodi	famiglia
Bivalvi	famiglia
Tricladi	genere
Irudinei	genere
Oligocheti	famiglia

Altri taxa da considerare nel calcolo dell'I.B.E.

Sialidae (Megalotteri)
Osmylidae (Planipenni)
Prostoma (Nemertini)
Gordiidae (Nematomorfi)

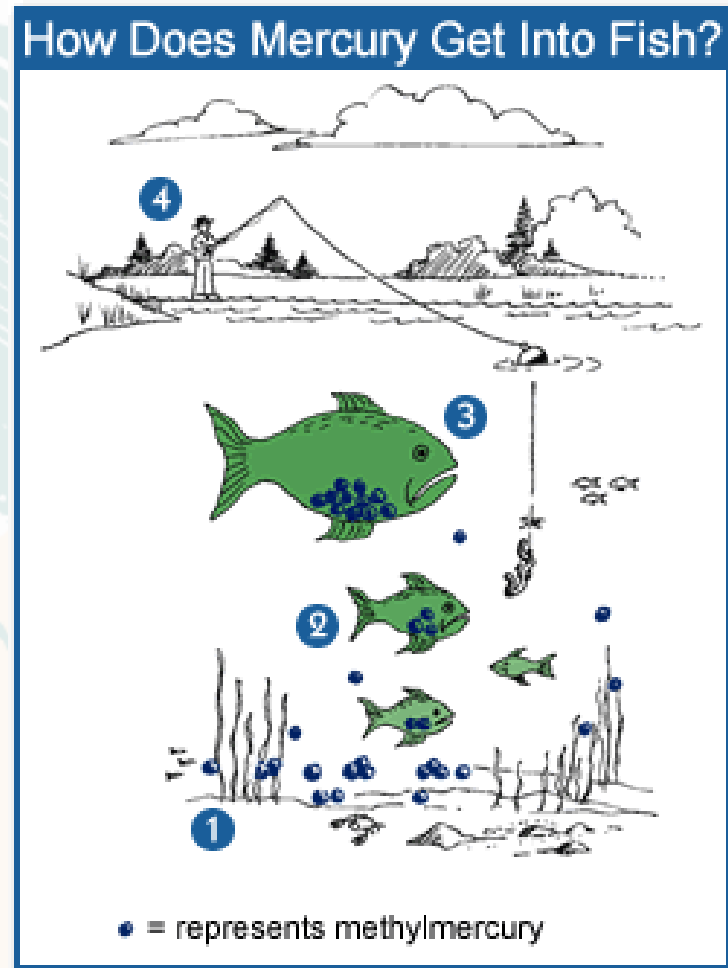
Il giudizio di qualità è fondato su due tipi di indicatori: la presenza nel campione di "taxa" a differenti livelli di sensibilità alle alterazioni del corso d'acqua e la ricchezza totale della comunità.

BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Mercurio (Hg)

- Viene comunemente classificato nei metalli pesanti, anche se la nomenclatura IUPAC li classifica come «metalli».
- Il mercurio è l'unico metallo che si trova allo stato liquido a temperatura ambiente, per questo motivo è molto volatile. Il mercurio liquido non è molto tossico mentre lo sono i suoi vapori.
- La principale fonte di immissione nell'ambiente è l'emissione gassosa proveniente dalla crosta terrestre. Le emissioni antropogeniche provengono dalle attività industriali ma anche dalla combustione del combustibile fossile che può contenerne fino a 1 mg/kg.
- Da un punto di vista residuale la forma chimica più importante del mercurio è quella **ORGANICA (metilmercurio)** rispetto a quella inorganica ed elementare.

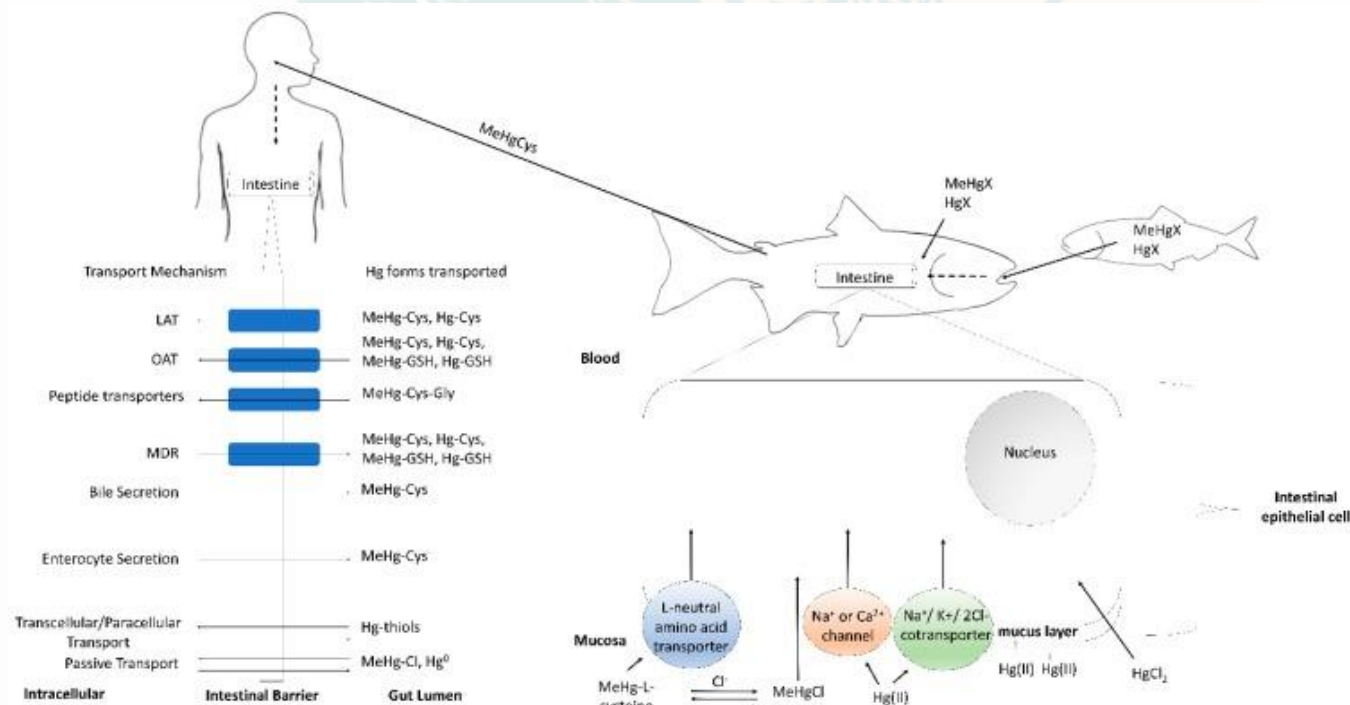
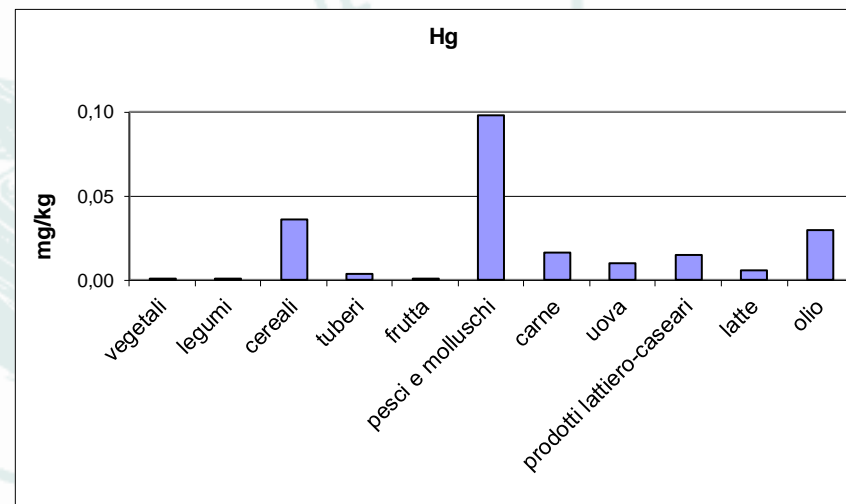


BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Mercurio (Hg)

- Il mercurio metallico presente nell'atmosfera rappresenta la principale fonte di trasporto del mercurio. Questo viene ossidato a Hg^{++} e successivamente metilato o trasformato in altri composti organo mercuriali. Il metilmercurio è di notevole importanza dal punto di vista tossicologico in quanto è molto tossico.
- Il metilmercurio tende ad accumularsi nei pesci ed in particolare nei pesci predatori che sono all'apice della catena alimentare acquatica.
- Secondo i dati dell'EFSA la concentrazione media di mercurio totale nei pesci è quasi 20 volte superiore rispetto a quella dei prodotti vegetali (80-100 % metilHg).
- Si accumula principalmente nel tessuto muscolare rispetto ai visceri (pesci predatori) (MeHg-L-Cys, si lega ai ponti disolfuro della Cys che a sua volta presenta una notevole affinità per il tessuto muscolare).

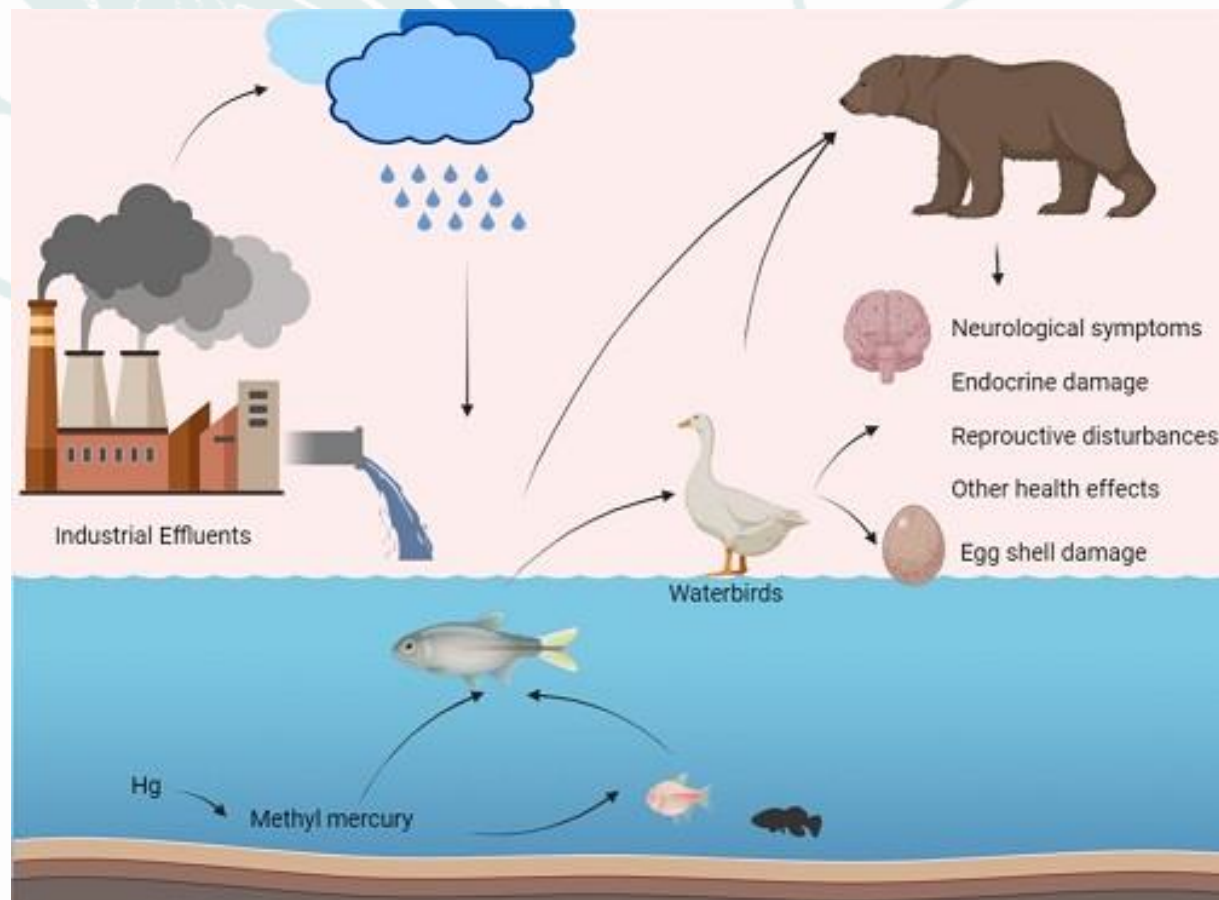


BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Mercurio (Hg)

- L'azione tossica è dovuta all'affinità del mercurio per diversi sistemi enzimatici, dove si lega ai gruppi -SH delle proteine, determinando la perdita della loro funzionalità.
- Il principale effetto sulla salute umana è la neurotossicità negli adulti e la tossicità fetale nelle donne in gravidanza.
- L'esposizione cronica, dovuta principalmente ad esposizione a Cloruro di mercurio e metil mercurio, altera le funzioni normali soprattutto nel Sistema Nervoso Centrale provocando depressione, paure, allucinazioni, perdita di concentrazione, irritazione, perdita di memoria.
- Il mercurialismo cronico provoca una sintomatologia esattamente sovrapponibile alla sclerosi multipla.



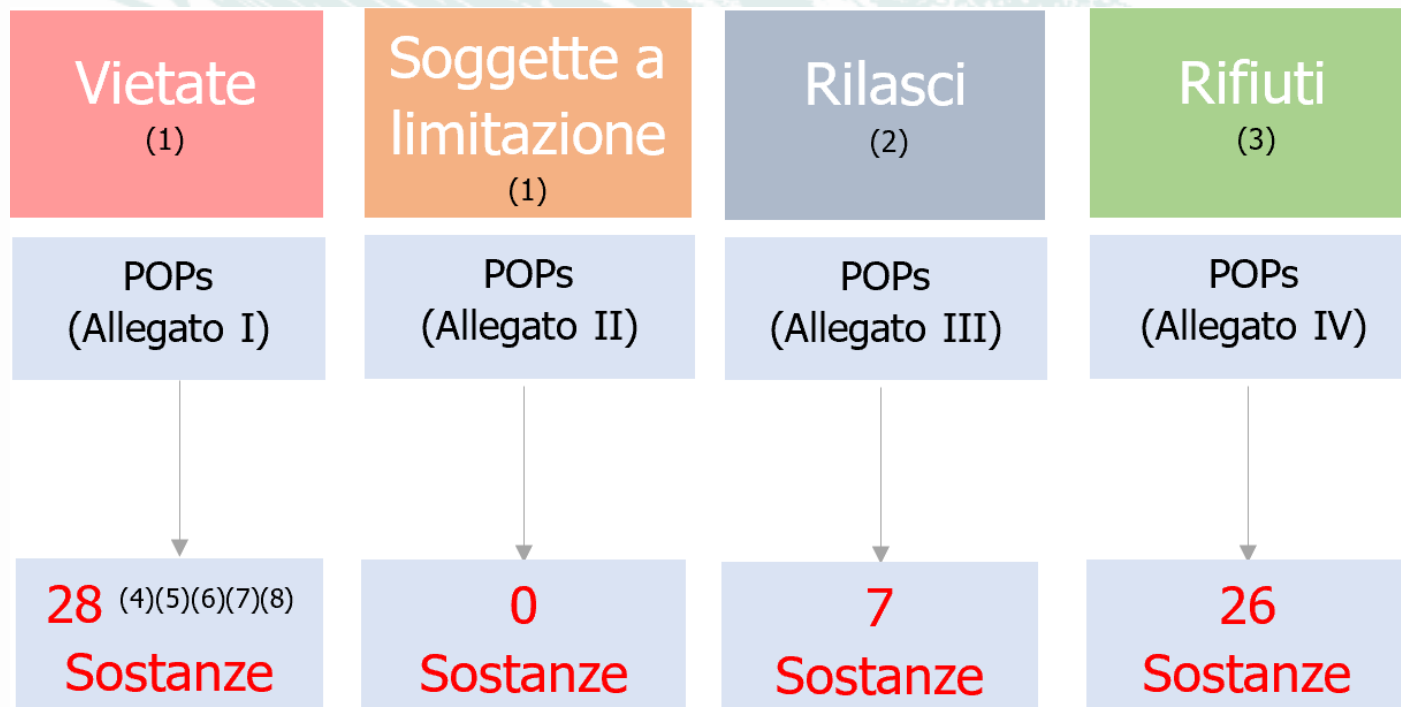
BIOINDICATORI: ANIMALI

PESCI

Inquinanti Organici Persistenti (POPs)

Sono definiti dalla Convenzione di Stoccolma (2001) come sostanze chimiche tossiche resistenti alla degradazione, che bioaccumulano negli organismi e sono trasportati attraverso aria, acqua e specie migratorie anche per lunghe distanze, accumulandosi in ecosistemi terrestri ed acquatici.

Comprendono diverse categorie di composti organici alogenati come: policlorobifenili (PCB), pesticidi organoclorurati (OC), diossine, furani, ritardanti di fiamma bromurati come i polibromodifenileteri (PBDE), l'acido perfluorottano solfonico e i suoi derivati (PFOS).



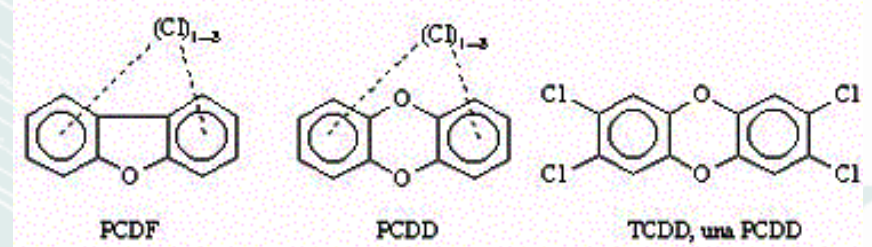
BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

- Con il termine **diossine** si indica comunemente un gruppo di sostanze (le policlorodibenzodiossine, i policlorodibenzofurani, e alcuni policlorobifenili anche conosciuti con le rispettive sigle: PCDD, PCDF e DL-PCB) che hanno caratteristiche chimiche, fisiche e tossicologiche tra loro molto simili.

«2,3,7,8TETRACLORODIBENZOPARADIOSSINA» (TCDD)

- Che da un punto di vista chimico è
- INODORE
- CON PUNTO DI FUSIONE DI 307°C
- TERMOSTABILE FINO A 800°C
- LIPOSOLUBILE
- RESISTENTE AD ACIDI E ALCALI



BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

-SI FORMANO DURANTE LA

COMBUSTIONE: ($>200 <500$ °C)

- . combustione industriale: cementifici, inceneritori, acciaierie
- . combustione residenziale (legna e carbone)
- . incendi
- . fumo di sigaretta
- . emissioni dei motori
- . soprattutto se sono coinvolte materie plastiche e metalli



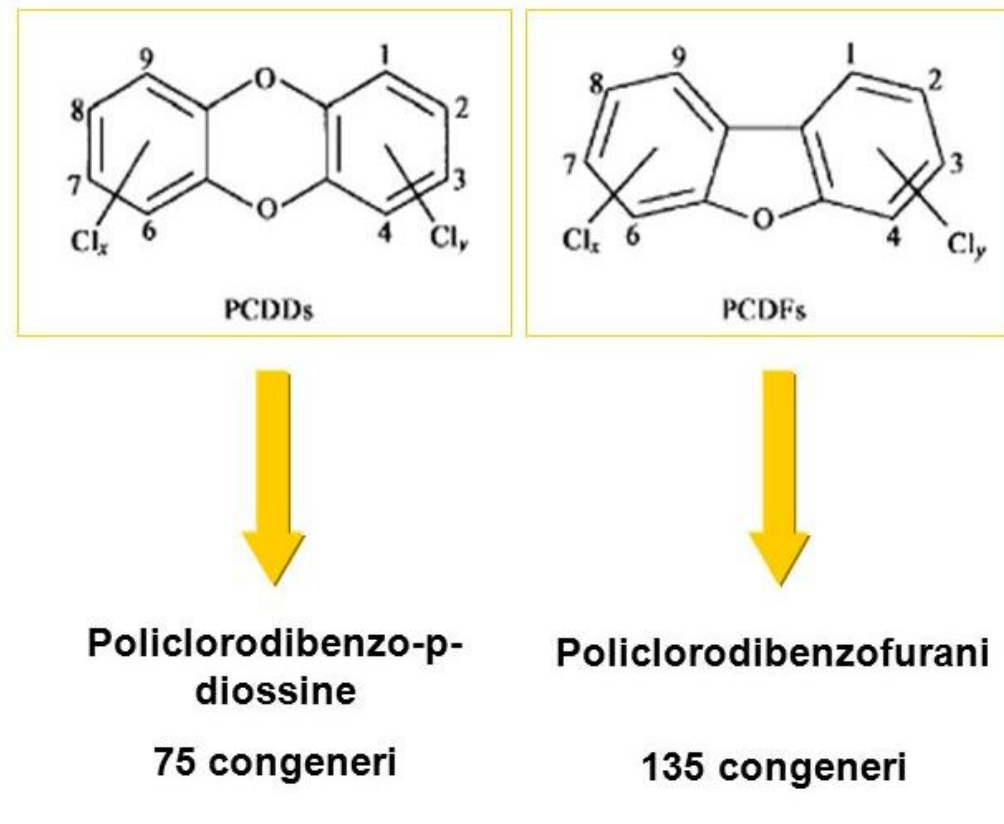
BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

-La tossicità del gruppo delle diossine PCDD (17 composti) e dei furani PCDF (10 composti) viene espressa in riferimento al congenere più tossico, la:

2,3,7,8-TCDD

La tossicità si misura in equivalenti di tossicità o **TEQ** (International Toxicity Equivalents) che viene usato per esprimere la concentrazione complessiva di diossine nelle diverse matrici.



BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

- I fattori di tossicità equivalente (TEF) si basano sulla considerazione che i PCDD e i PCDF sono composti strutturalmente simili che presentano il medesimo meccanismo strutturale di azione (attivazione del recettore AhR) e producono effetti tossici simili: proprio il legame tra le diossine e il recettore Ah è il passo chiave per il successivo innescarsi degli effetti tossici.
- I TEF vengono calcolati confrontando l'affinità di legame dei vari composti organoclorurati con il recettore AhR, rispetto a quella della 2,3,7,8-TCDD, considerando l'affinità di questa molecola come il valore unitario di riferimento.

Tossicità Equivalente (TEQ)

$$TEQ = \sum_{i=1}^n (C_i \times TEF_i)$$

Table A.3 — WHO toxic equivalency factors (WHO-TEFs) (see Reference [1]) and international toxic equivalency factors (I-TEFs) (see Reference [12])

Congener	WHO-TEF	I-TEF
2,3,7,8-TCDD	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0,5
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	0,01
OCDD	0,000 3	0,001
2,3,7,8-TCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,05
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,5
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,01	0,01
OCDF	0,000 3	0,001

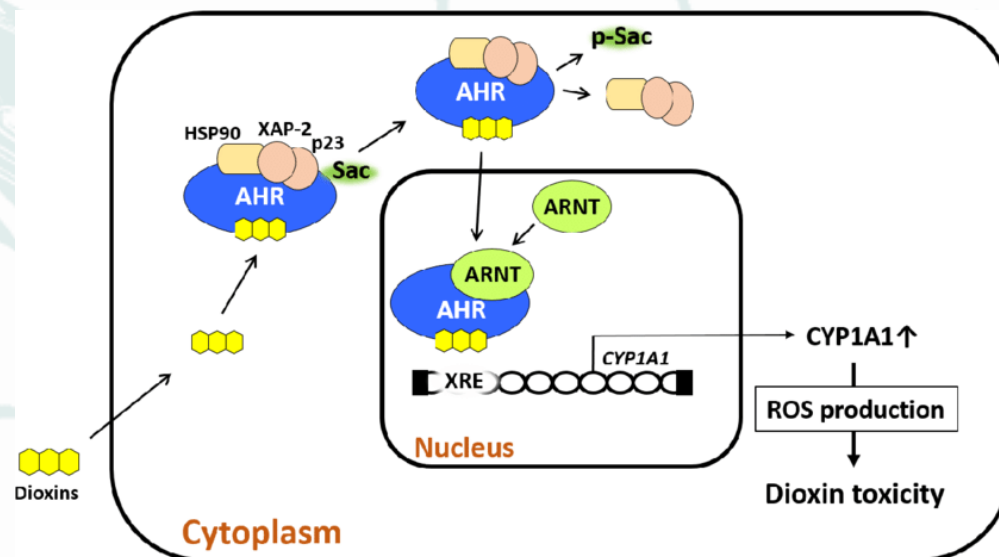
I-TEF (NATO) è utilizzato principalmente per misurare i livelli di concentrazione delle diossine nelle diverse matrici ambientali (acqua, aria, suolo)
WHO-TEF (Organizzazione Mondiale della Sanità), è utilizzato per valutare il grado di tossicità di questi composti in relazione agli effetti sulla salute umana.

BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

Legame con il recettore Ah.
Il recettore Ah modula e regola l'espressione di numerosi geni che codificano enzimi per metabolismo xenobioti, citochine e recettori per citochine e protooncogeni. Si ha:

- Induzione enzimatica (Isoforme CYP1A1-2)
- Induzione della moltiplicazione cellulare
- Inibizione dell'apoptosi
- Interazione con fattori di crescita
- Carenza di vitamina A
- Deplezione epatica dell'ormone tiroideo T₄
- Effetti simil-estrogenici



Dioxin

A toxic chemical compound capable of causing cancer

1 Industrial origins

A by-product of:

- burning rubbish
- iron/steel production
- chemical industry

Dioxin compounds can be highly poisonous even in small doses

2 Absorbed by the earth and by plants

3 Animal feed contaminated by polluted raw materials and oils from machinery

4 Chickens ingest dioxins embedded in the soil or found in their feed



5 Passed into the human system by the consumption of eggs and meat



Egg safety level: 3 picograms* to 1 gram of fat (EU regulations)

Source: USA, WHO

* 1 picogram = one trillionth of a gram

The health effects

Chloracne: disfiguring and painful form of acne

Heart and circulation problems

Liver damage

Reduced reproductive capacity

Suppresses the immune system, impairs nervous system

Exposure to dioxins can cause cancer

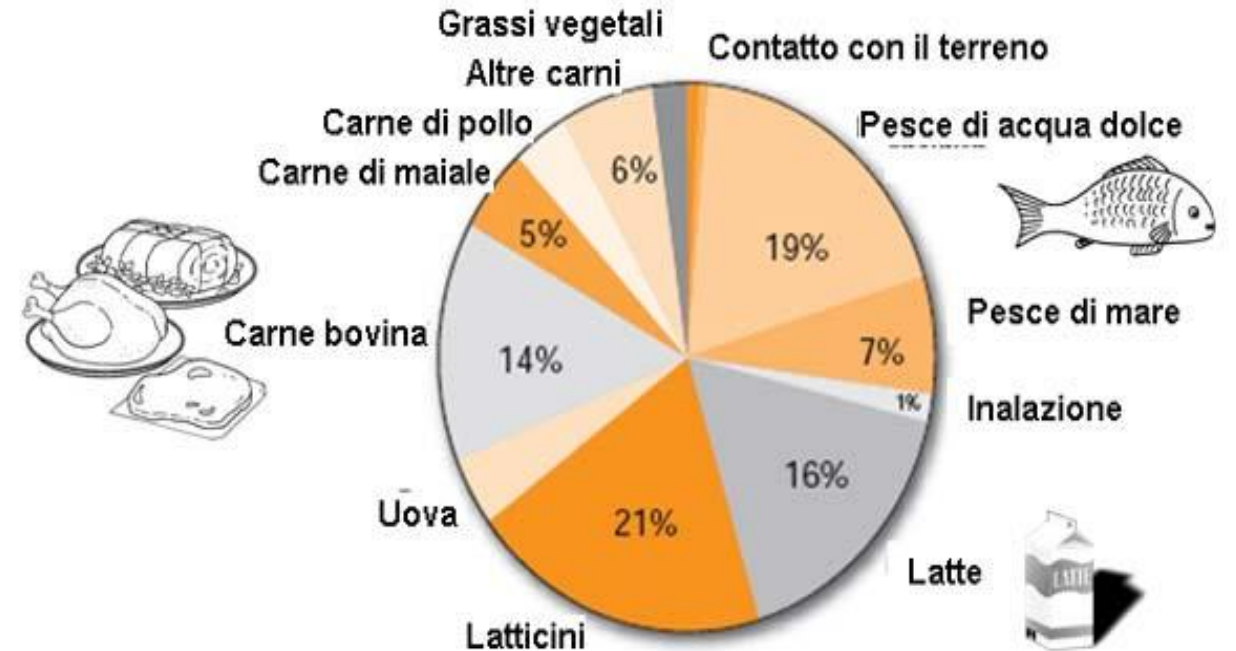


AFP

BIOINDICATORI: ANIMALI

DIOSSINE

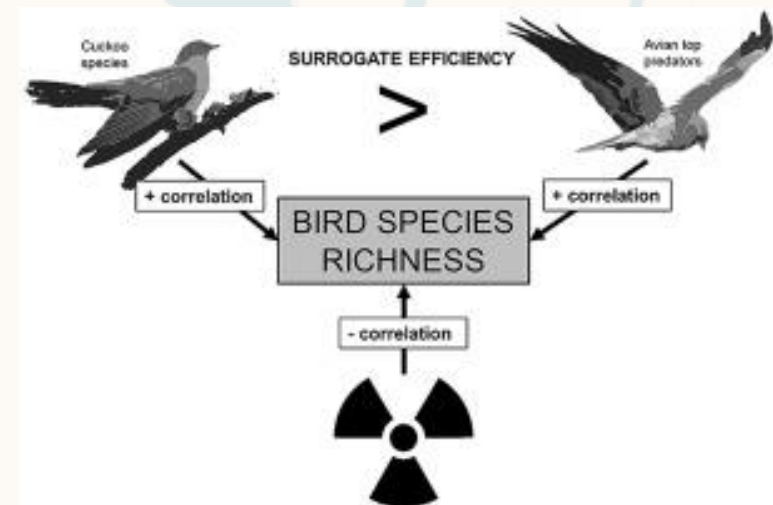
- Secondo i risultati del monitoraggio EFSA (2018) i valori più elevati si riscontrano nei prodotti della pesca, seguiti dal fegato degli animali terrestri. La contaminazione è significativa anche nella carne bovina, nelle uova, nel latte e suoi prodotti derivati.
- Tra i prodotti ittici le frattaglie hanno valori di 130 volte superiori rispetto ai filetti, la cui contaminazione dipende dalla specie e dalla percentuale di grasso (anguilla>spratto>orata),
- Olio di pesce rappresenta un'altra fonte.
- Visceri più contaminati rispetto alle carni (fegato ovino 5 volte > rispetto a quello bovino): caratteristiche anatomiche ed etologiche



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI

- La loro tassonomia è ben definita (circa 10.000 specie).
- Sono facili da identificare e osservare in natura.
- Sono presenti in diversi habitat.
- La loro distribuzione segue quella di altre specie selvatiche.
- Seguono habitat specializzati.
- Sono posizionati in un livello alto della catena trofica
- Le variazioni nelle loro popolazioni rispecchiano variazioni in popolazioni di mammiferi, rettili, anfibi, invertebrati e piante.
- Sono economicamente importanti.
- Rivestono rilevanza nell'opinione pubblica.
- Wild bird index (WBI): indica l'andamento medio nell'abbondanza relativa di un gruppo di specie di uccelli durante la stagione riproduttiva, spesso raggruppati in relazione alla loro associazione e alla loro dipendenza in un particolare habitat.



BIOINDICATORI: ANIMALI

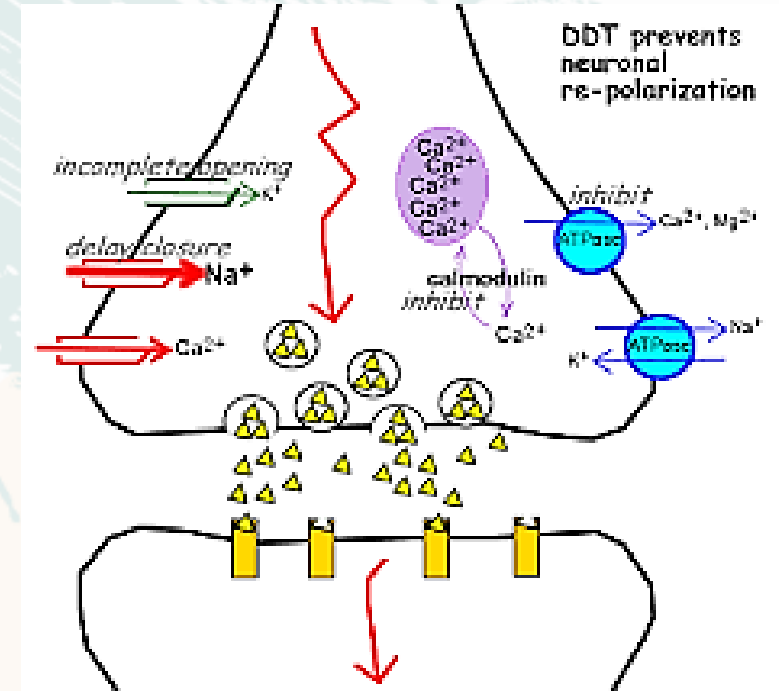
UCCELLI: PESTICIDI ORGANOCCLORURATI (OC)

- Comprendono 3 classi di composti:

1. DIFENILALIFATICI (DDT E DDD)
2. CICLODIENI E DERTIVATI (ALDRIN, ENDOSULFAN ecc...)
3. IDROCARBURI VARI (LINDANO)

Meccanismo d'azione:

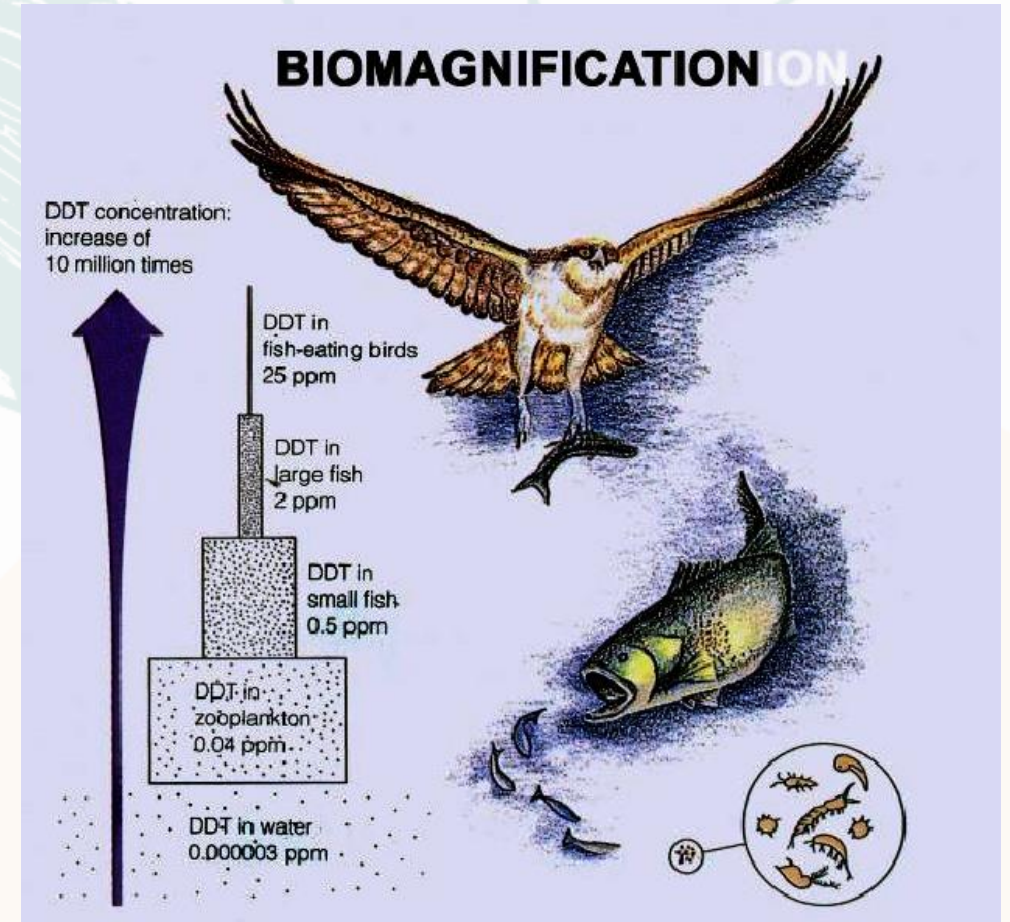
1. DIFENILALIFATICI: ritarda la chiusura dei canali del Na^+ e l'apertura dei canali del K^+ con conseguente riduzione della soglia di eccitabilità del nervo: il potenziale di riposo è molto più vicino al potenziale soglia, depolarizzazione protratta dell'impulso. Inibizione del legame Ca^{2+} -calmodulina e Ca^{2+} ATPasi (Ca^{2+} aumenta nel liquido intracellulare).
2. CICLODIENI E IDCROCARBURI: antagonisti dei recettori per il GABA



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: PESTICIDI ORGANOCLOROLURATI (OC)

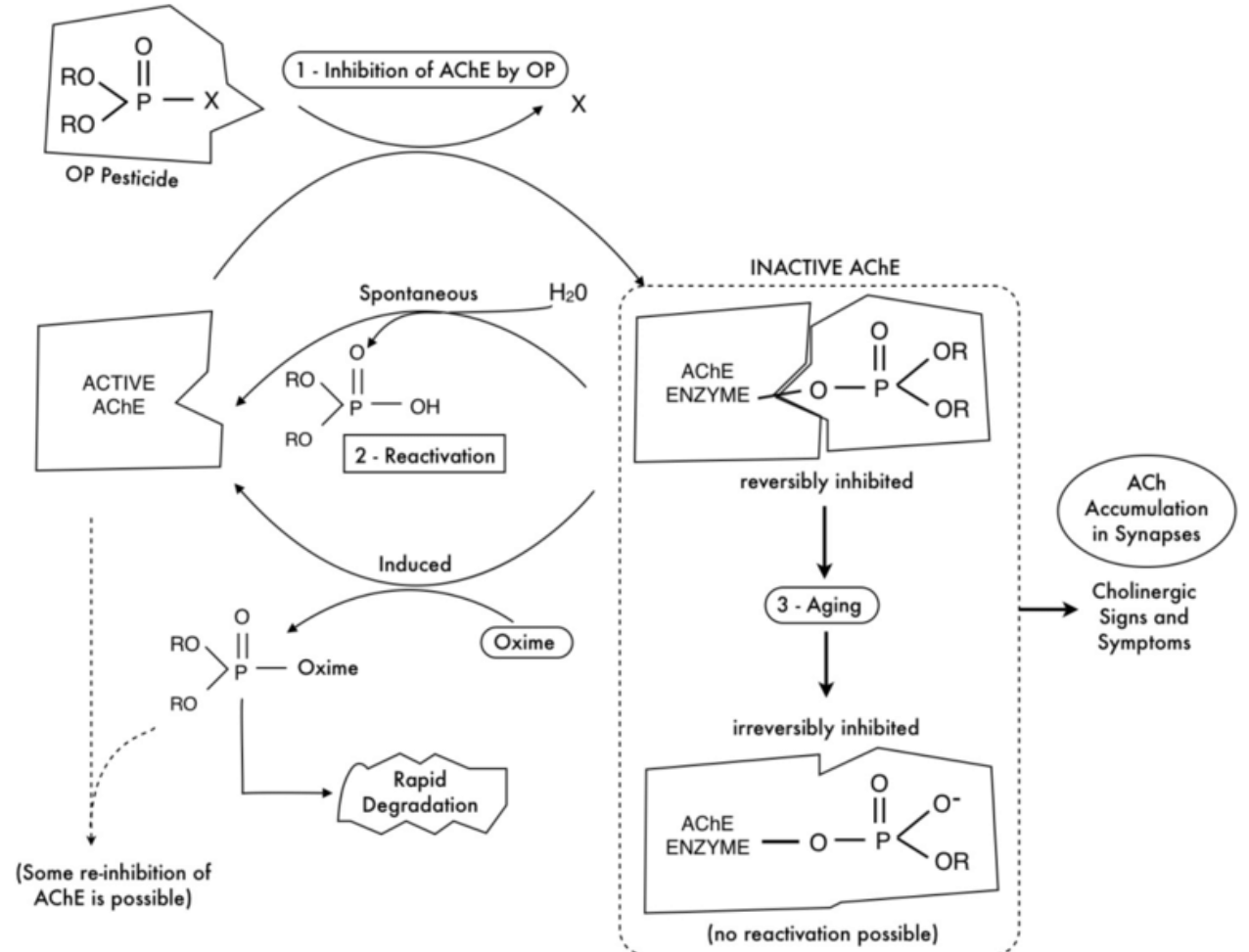
- Negli uccelli danno tossicità cronica e sullo sviluppo (il caso del DDT e dei suoi metaboliti); inibizione della Ca^{2+} ATPasi e mancata formazione del guscio.
- Concentrazioni più basse di OC nelle femmine rispetto ai maschi.
- Concentrazioni più alte nel tessuto adiposo degli animali anziani.
- Uccelli piscivori avevano concentrazioni più alte seguiti dagli insettivori, onnivori ed erbivori.
- Nei periodi di stress (migrazione) che richiedono una rimobilitazione delle riserve corporee questi composti possono essere ridistribuiti ad altri comparti corporei.
- Biomagnificazione.



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Pesticidi non alogenati, ORGANOFOSFORICI E CARBAMMATI

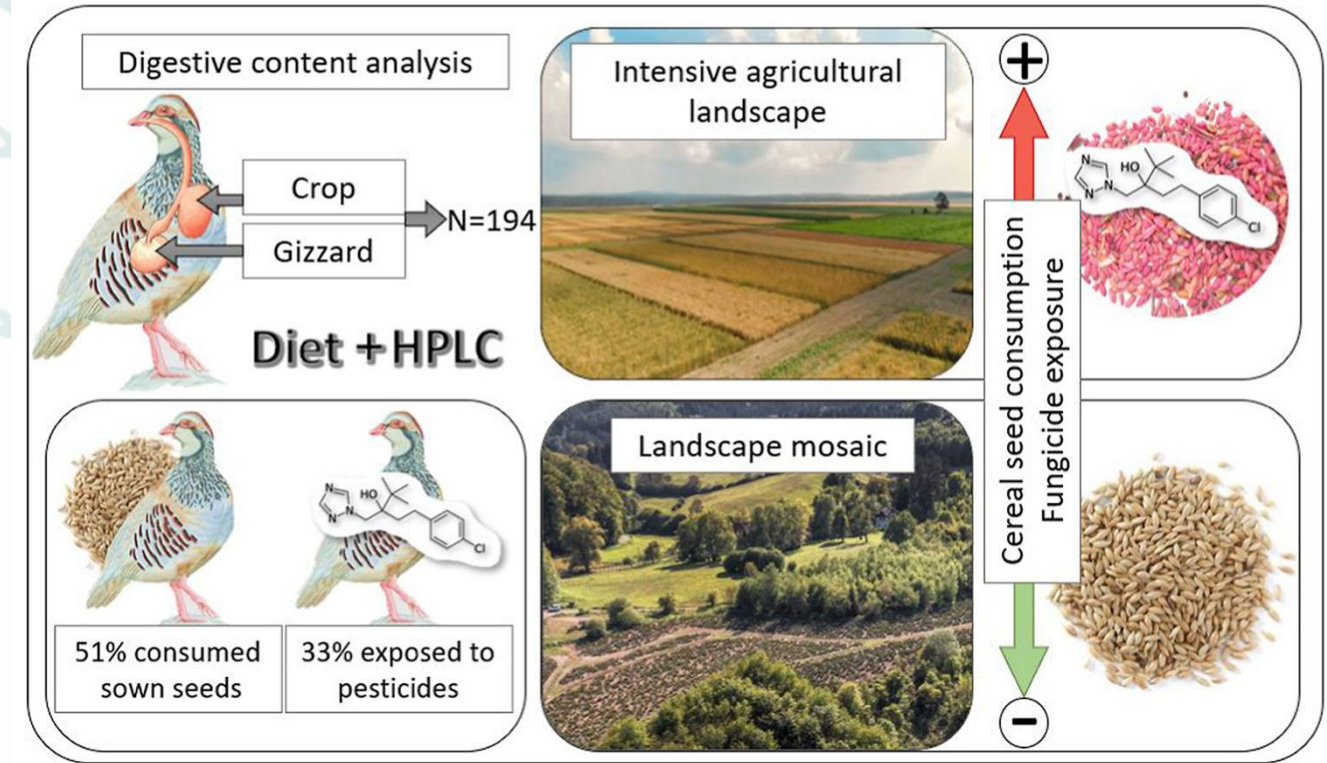
- Gli organofosforici sono esteri organici dell'acido fosforico.
- I carbammati sono esteri fosforici dell'acido carbammico.
- Sono stati utilizzati come gas nervini durante le guerre mondiali.
- Sono più selettivi degli organoclorurati (bassa persistenza nei suoli e bassa capacità di biomagnificazione)
- Bloccano la funzionalità dell'enzima acetilcolinesterasi (>> Ach)
- «Sindrome dei rubinetti aperti»: segni muscarinici, nicotinici e centrali



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Pesticidi non alogenati

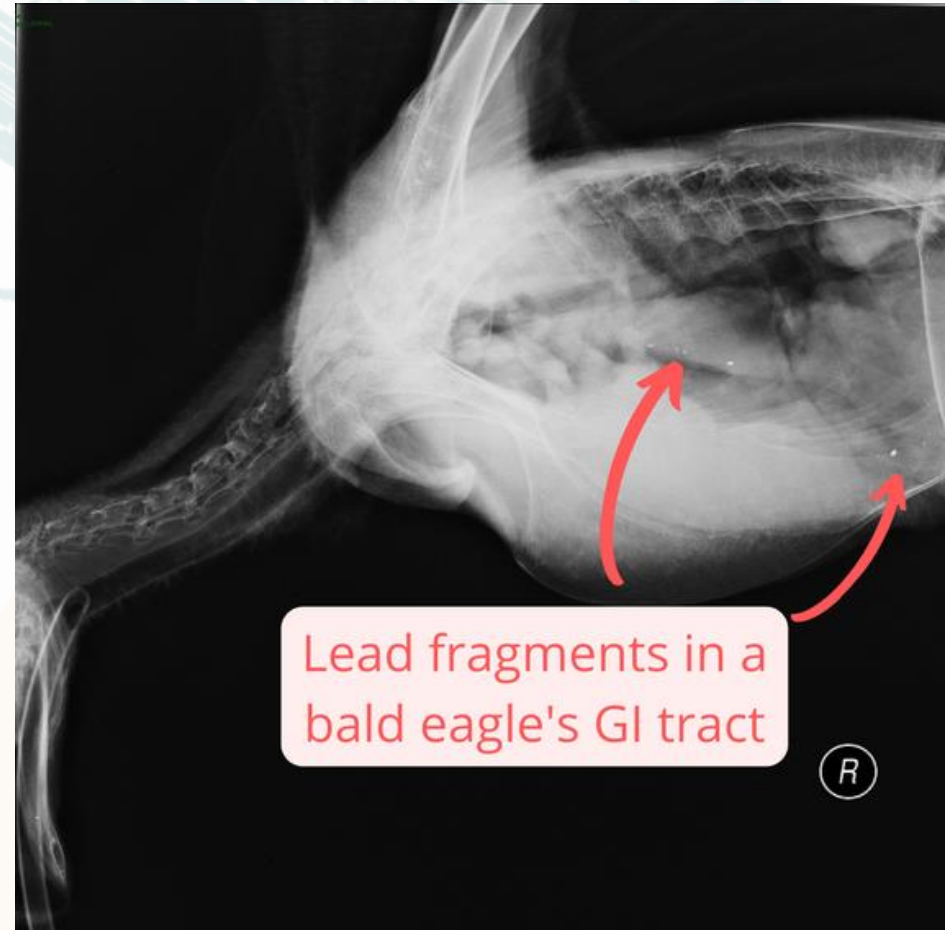
- Sono stati commercializzati a partire dal 1970 per sostituire i pesticidi organoclorurati (organofosforici e carbammati).
- Possono dare tossicità acuta in seguito all'ingestione di esche lasciate in ambiente (per altre specie animali).
- Tossicità cronica (legata alla concia delle sementi trattate con fungicidi).



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Piombo

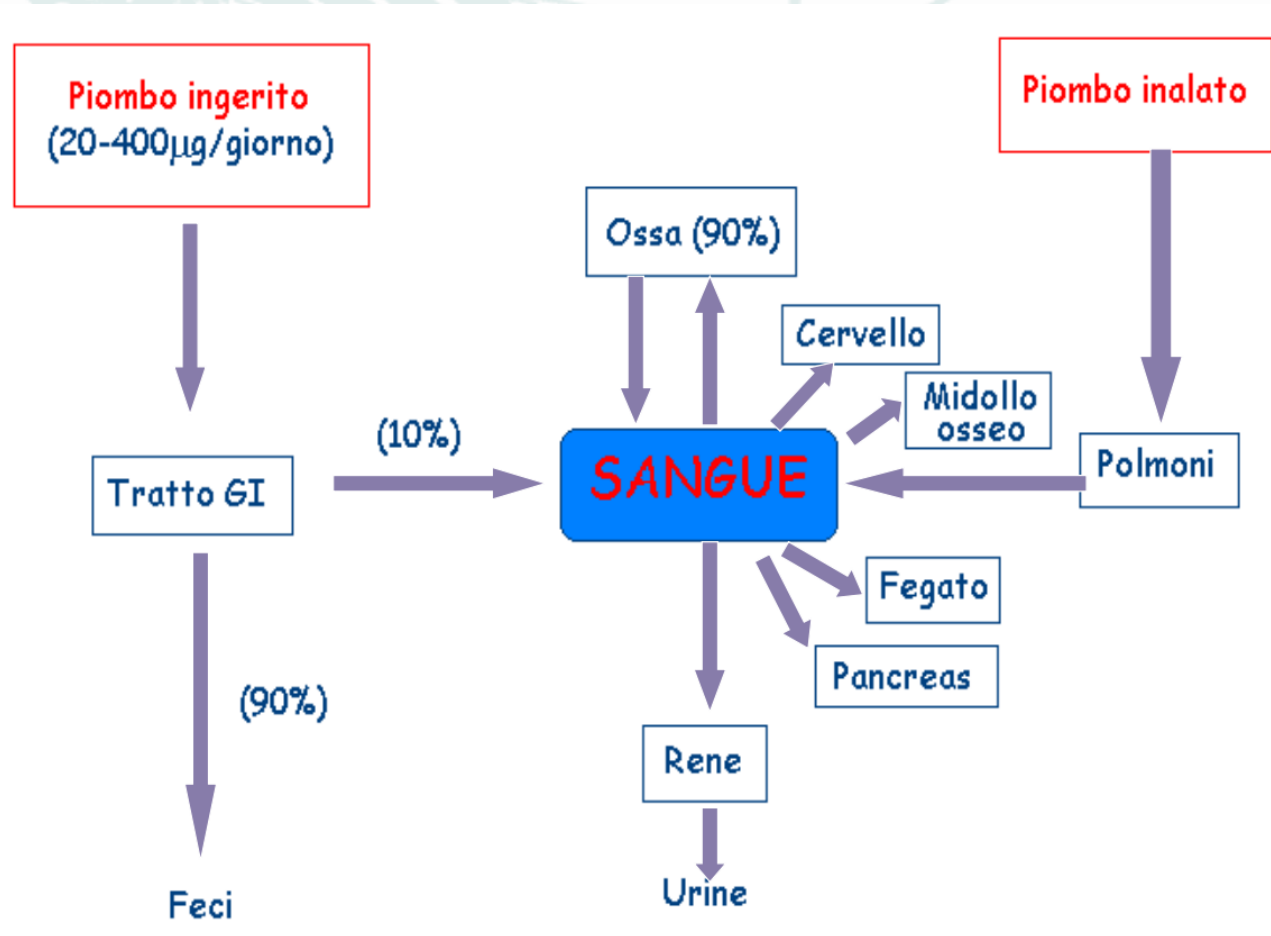
- Il piombo è un componente naturale della superficie della terra (crosta terrestre) utilizzato dall'uomo da migliaia di anni per una molteplicità di usi diversi. La crescente evidenza della pericolosità di questo materiale per la salute e per l'ambiente negli ultimi decenni ha portato ad una serie di bandi volti a vietarne l'utilizzo in molti settori (vernici, benzine, giocattoli ecc..)
- Per gli uccelli una fonte di esposizione al Pb può essere rappresentata da resti di munizionamenti a base di Pb utilizzati per attività venatoria.
- Potenzialmente problematico non solo per gli anseriformi, ma anche per rapaci e spazzini («scavengers»)
- Ricadute normative (divieto di utilizzo di munizioni a base di Pb nelle zone umide! Ottobre 2023).



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Piombo

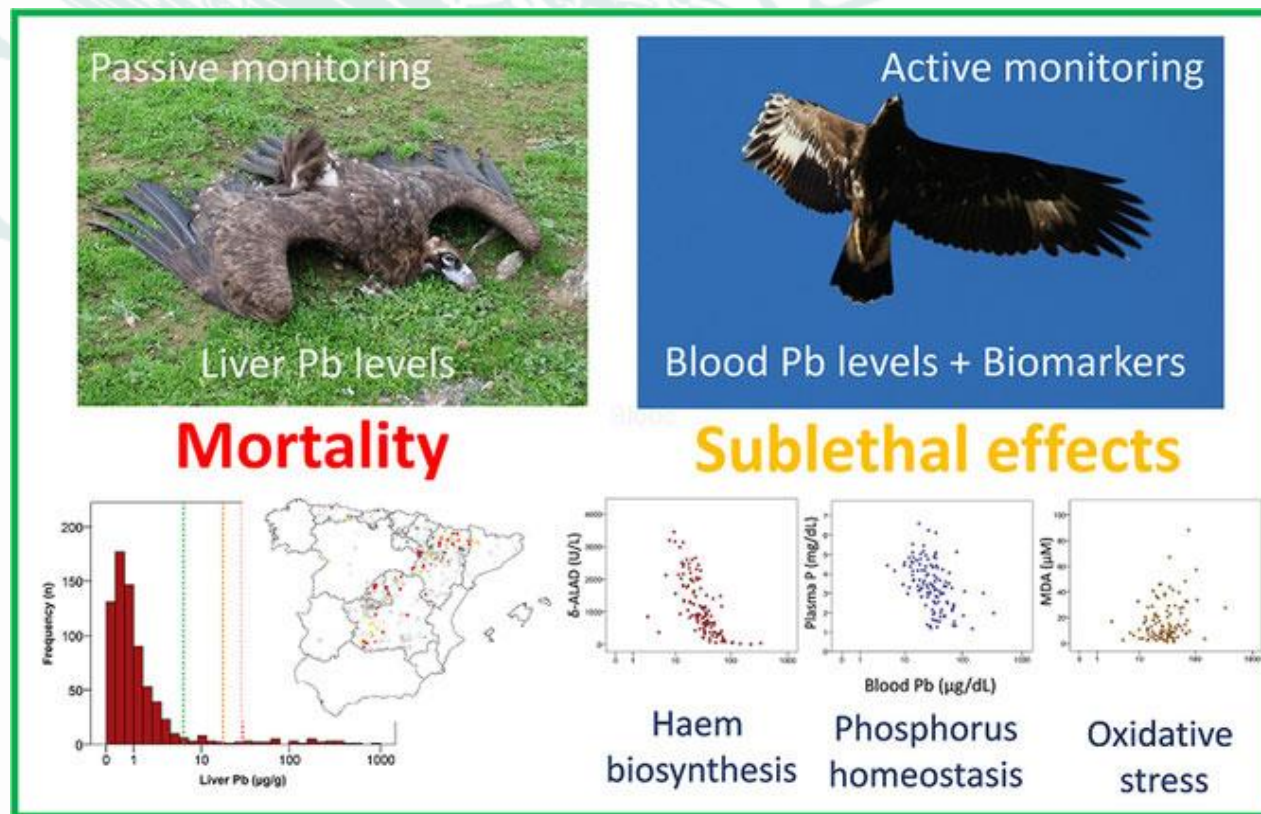
- Negli uccelli ci possono essere anche altre fonti ambientali.
- Differenze anatomiche possono influenzare l'assorbimento (granivori vs carnivori e piscivori).
- Legato ai globuli rossi segue tre pool di distribuzione: a rapido scambio (tessuti molli, rene e fegato); a scambio intermedio (osso spongioso, cute e muscoli); a lento scambio (osso compatto, fonte endogena di Pb).
- Si accumula di più nelle ossa di femmine che sono in deposizione (il suo assorbimento segue quello del calcio), rispetto ai maschi e a quelle non in deposizione.



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Piombo

- La sintomatologia può essere acuta o cronica. Quella acuta comprende: coliche addominali, costipazione, affaticamento, anemia, neuropatia a livello periferico e, nella maggior parte dei casi, alterazioni delle funzioni del sistema nervoso centrale; quella cronica comprende: anemia, la debolezza, l'alta pressione sanguigna, l'affaticamento o l'alterazione del funzionamento del tratto gastrointestinale e del sistema nervoso centrale.
- Negli uccelli l'intossicazione acuta può rendere gli animali più suscettibili alla predazione; mentre quella cronica si traduce in calo della deposizione ed anomalie comportamentali.
- Inibizione degli enzimi con gruppi sulfidrilici (sintomatologia nervosa)
- Inibizione di enzimi deputati alla sintesi del gruppo eme: ALA deidratasi e eme sintetasi (emolisi)
- ALA deidratasi: biomarker anche negli uccelli (precoce e persistente)



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Residui di farmaci veterinari

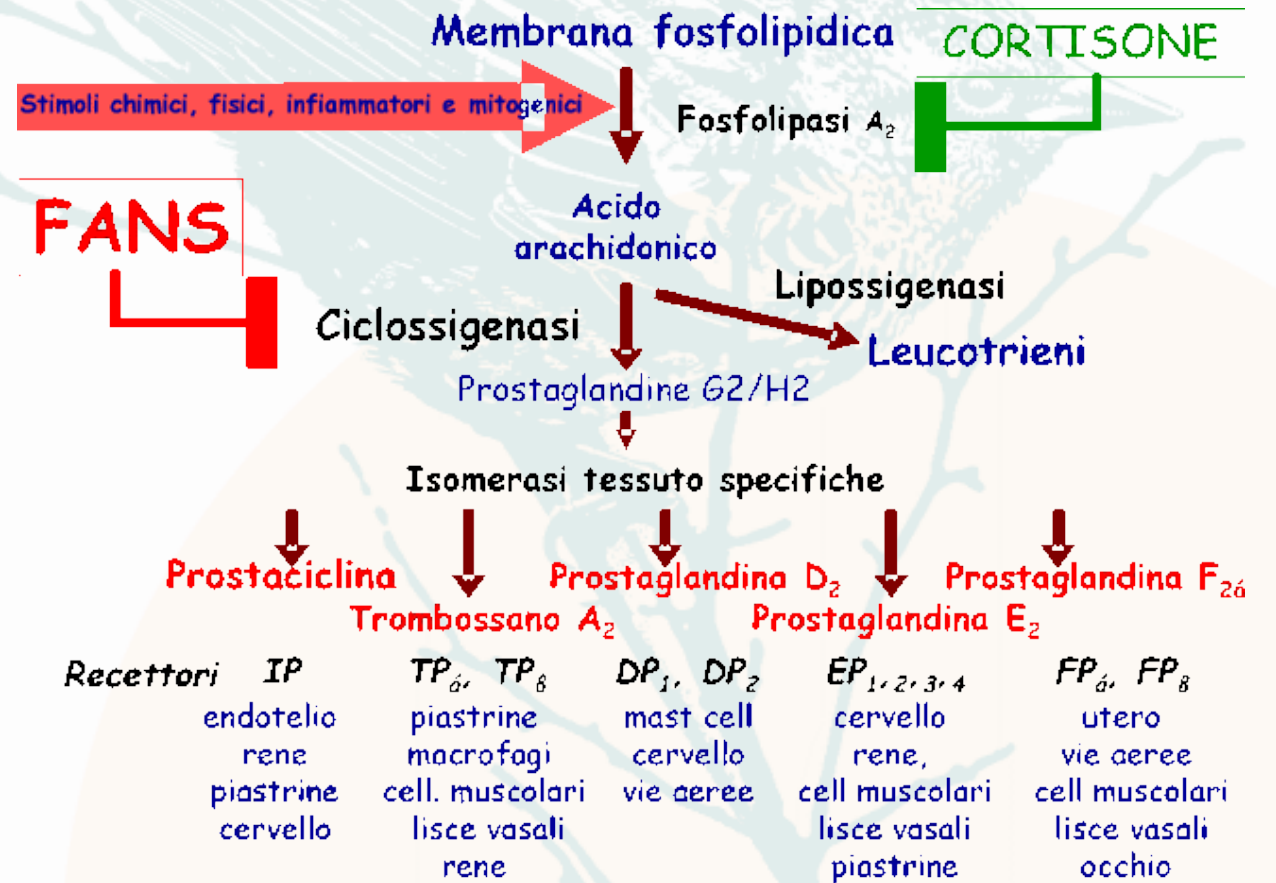
- Nella prima decade degli anni '90 si assiste ad un declino di tre specie di grifoni endemiche del sud est asiatico , in particolare del 99.9% per *Gyps bengalensis*, del 97% per *Gyps indicus* e *Gyps tenuirostris*, tanto da essere oggi in pericolo di estinzione.
- Nel 2003 la causa di questo declino fu associato al consumo di carcasse animali contenenti il **diclofenac**, un farmaco anti-infiammatorio non steroideo.



BIOINDICATORI: ANIMALI

Antinfiammatori non steroidei (FANS, NSAID)

- Quella dei FANS è una categoria piuttosto omogenea che condivide gran parte delle caratteristiche, come il meccanismo d'azione e gli effetti terapeutici esercitati già sopra accennati: antinfiammatori, analgesici e antipiretici.
- L'acido acetilsalicilico - agli opportuni dosaggi - viene utilizzato con successo nella prevenzione della formazione di coaguli sangue in pazienti a rischio.
- Il bersaglio dei farmaci antinfiammatori non steroidei è rappresentato proprio dall'enzima ciclossigenasi: ostacolando l'attività, infatti, i FANS impediscono la cascata di reazioni che porterà alla sintesi delle prostaglandine pro-infiammatorie, riducendo pertanto, l'infiammazione e i sintomi ad essa associati, ma anche febbre e dolore.

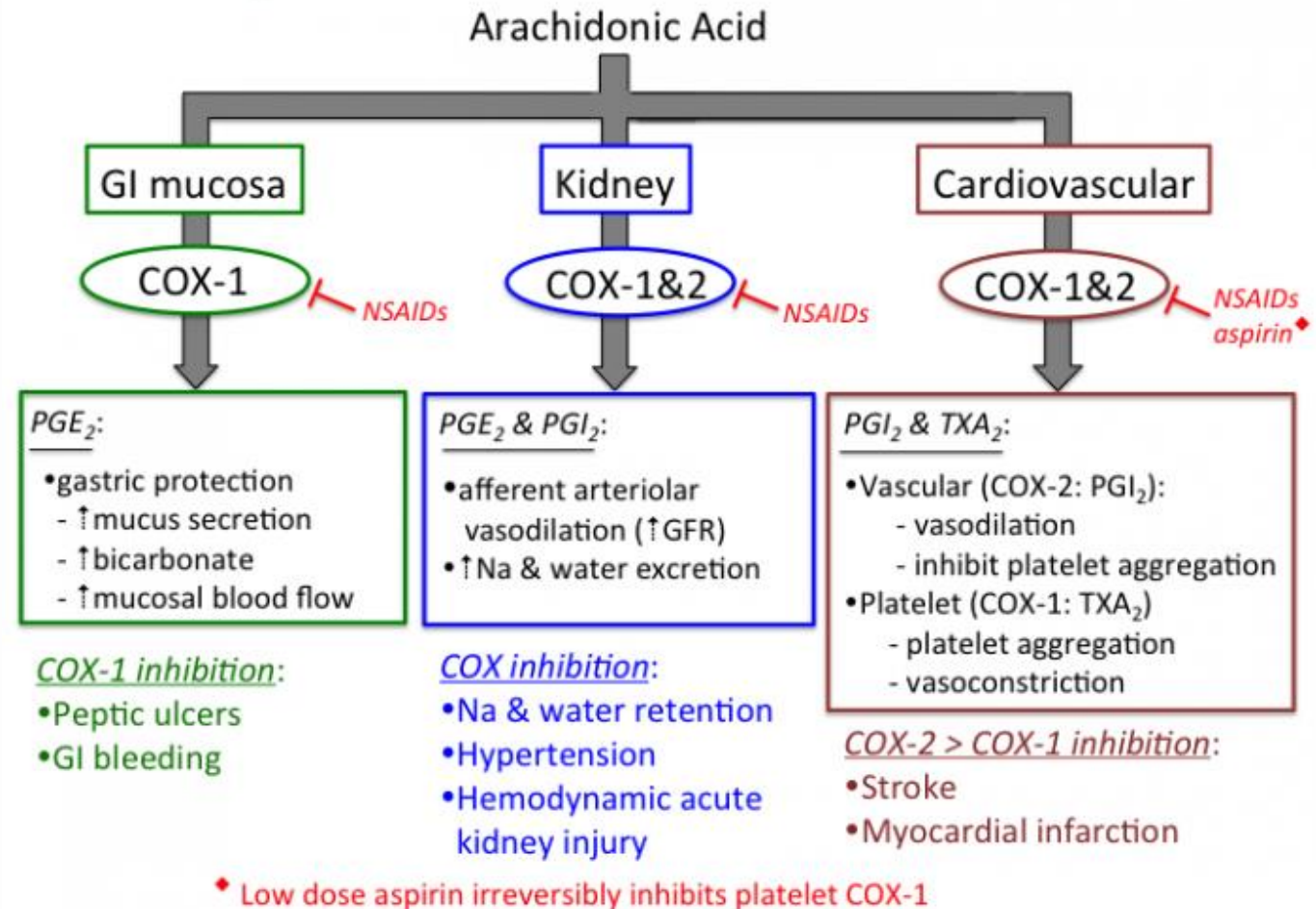


BIOINDICATORI: ANIMALI

Antinfiammatori non steroidei (FANS, NSAID)

- Le prostaglandine svolgono anche ruoli fisiologici all'interno dell'organismo, per cui una inibizione della loro sintesi può portare a diversi effetti collaterali:
- Tratto G-E
- Tossicità renale
- Effetti sul sistema cardio-vascolare

NSAID Side Effects:



BIOINDICATORI: ANIMALI

UCCELLI: Residui di farmaci veterinari: FANS

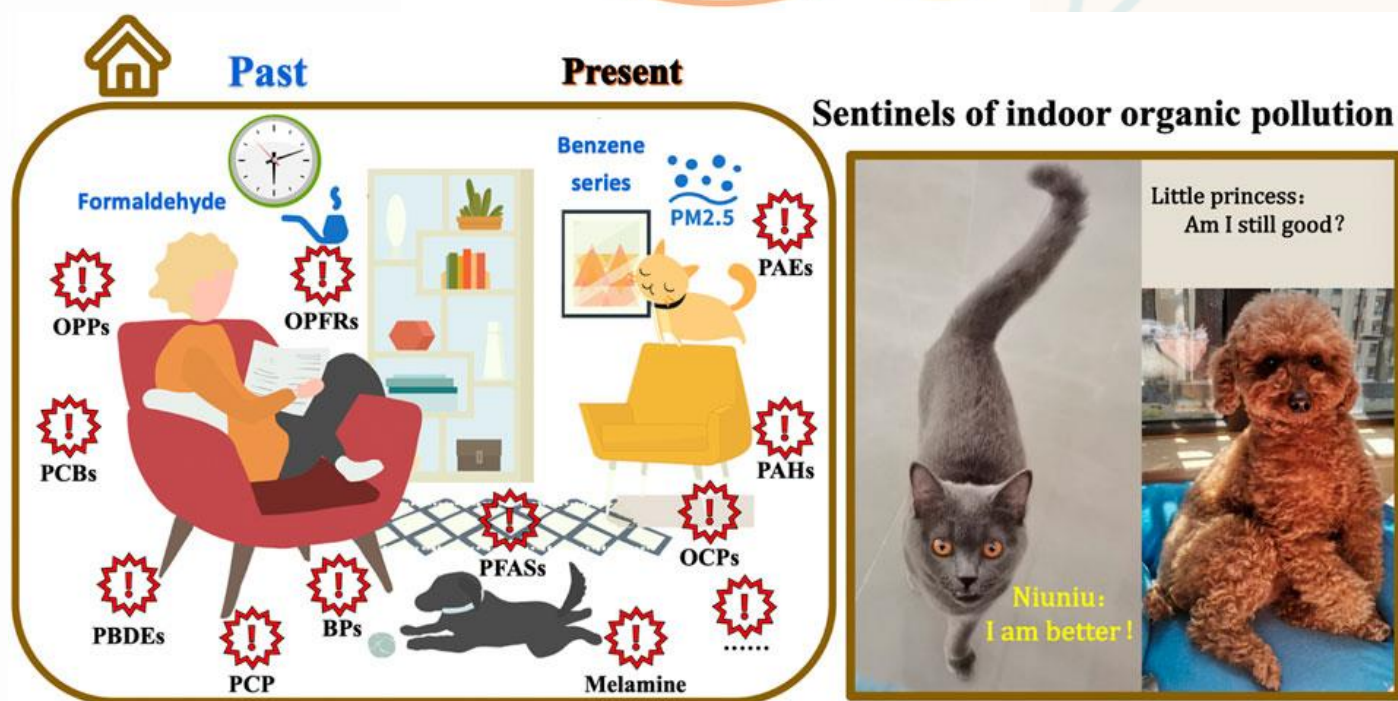
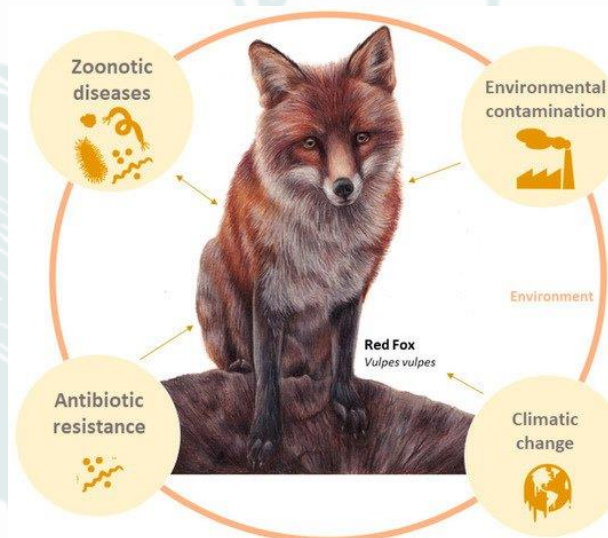
- Le specie di uccelli definiti «scavengers» presentano delle caratteristiche anatomiche diverse rispetto ad altri rapaci (gozzo più sviluppato che può contenere fino al 20% del loro peso corporeo).
- La DL₅₀ è stata stimata nel range di 0,1-0,2 mg/kg in dipendenza della specie di uccello.
- In India circa il 10-13 % delle carcasse contenevano residui di diclofenac con concentrazioni variabili da 10-10,100 ng/g w.w.nel fegato (già solo la presenza nello 0,13-0,75% delle carcasse può spiegare il declino).
- Sintomatologia aspecifica con depressione del sensorio, letargia e abbattimento.
- Lesioni anatomopatologiche indicative di gotta viscerale e renale.
- Probabilmente l'azione tossica è legata ad un'interferenza con l'escrezione attiva di acido urico dal tubulo contorto prossimale e/o ad una riduzione del flusso ematico renale.



BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI

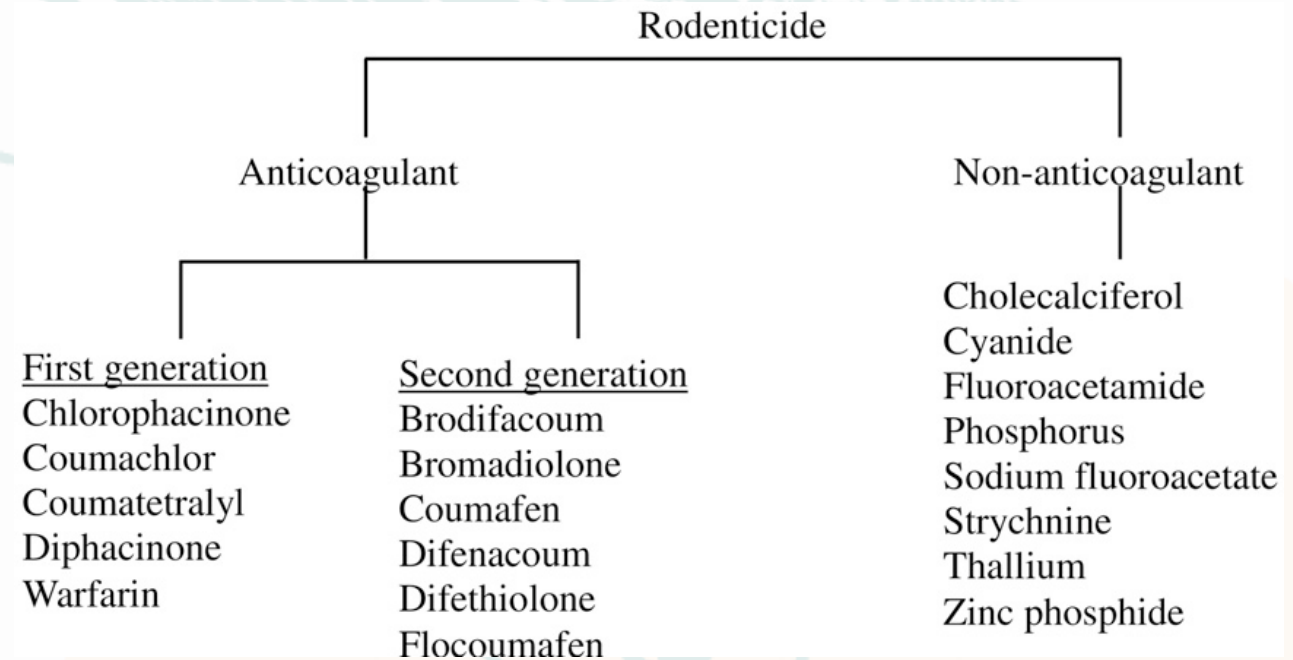
- Selvatici e domestici: concetto di «One Health»
- Selvatici: ci possono dare indicazione dello stato di salute dell'habitat nel quale vivono
- Domestici: vivono a stretto contatto con l'uomo e condividono lo stesso ambiente «indoor»



BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI SELVATICI: RODENTICIDI ANTICOAGULANTI

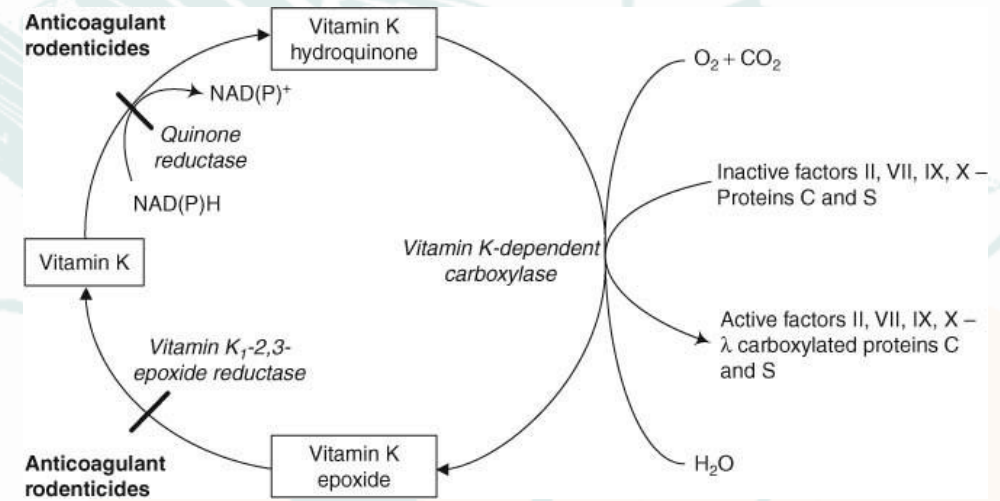
- I rodenticidi anticoagulanti sono stati utilizzati comunemente come biocidi per il controllo degli organismi infestanti a partire dagli anni '50 del secolo scorso.
- Questi composti vengono classificati in relazione al loro maggiore o minore tempo di emivita epatica (derivati del warfarin).
- Il loro notevole utilizzo ha fatto sì che anche specie non-target, inclusi piccoli mammiferi selvatici, possano essere esposti a dosi letali o sub-letali di queste sostanze.
- Questi animali possono ingerire direttamente esche a base di rodenticidi anticoagulanti (esposizione primaria), possono predare animali che hanno precedentemente ingerito la sostanza tossica (esposizione secondaria) oppure possono ingerire prede che a loro volta sono state esposte in maniera secondaria all'anticoagulante (esposizione terziaria).



BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI SELVATICI: RODENTICIDI ANTICOAGULANTI

- Lunga persistenza nel fegato (II gen.)
- Inibizione competitiva dell'enzima vitamina K epossido reduttasi. La vit.K è fondamentale per l'attivazione epatica dei 4 fattori della coagulazione "vitamina K-dipendenti":
 1. Fattore II (protrombina)
 2. Fattore VII (proconvertina)
 3. Fattore IX (fattore di Christmas o antiemofilico B)
 4. Fattore X (fattore di Stuart)
- Emorragie gravi anche per piccoli traumi che si verificano od in seguito ad esposizioni ripetute o dopo 2-3 gg dall'ingestione singola dei prodotti di II generazione

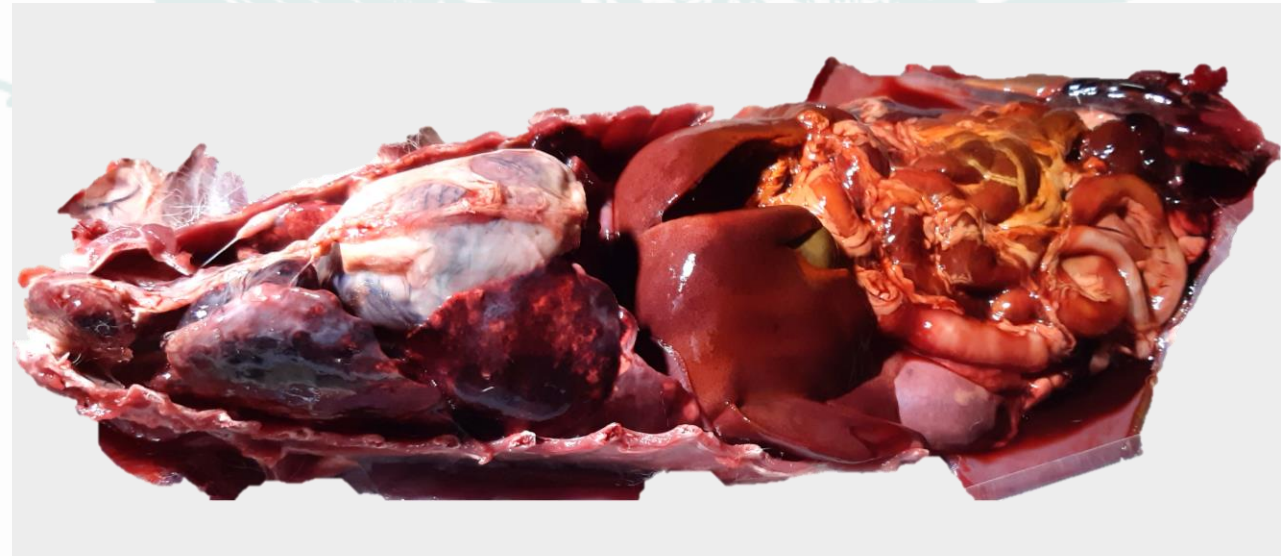


Generation	Compound	Hepatic half-life (days)	
		Rat	Mouse
1st generation	Chlorophacinone	35	35.4
	Diphacinone	3	-
	Coumatetralyl	55 - 62	15.8
	Warfarin	26.2-67	66.8
2nd generation	Brodifacoum	113.5-350	307.4
	Bromadiolone	170-318	28.1
	Difethialone	74-126	28.5
	Flocoumafen	215	93.8
	Difenacoum	118-128	61.8

BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI SELVATICI: RODENTICIDI ANTICOAGULANTI

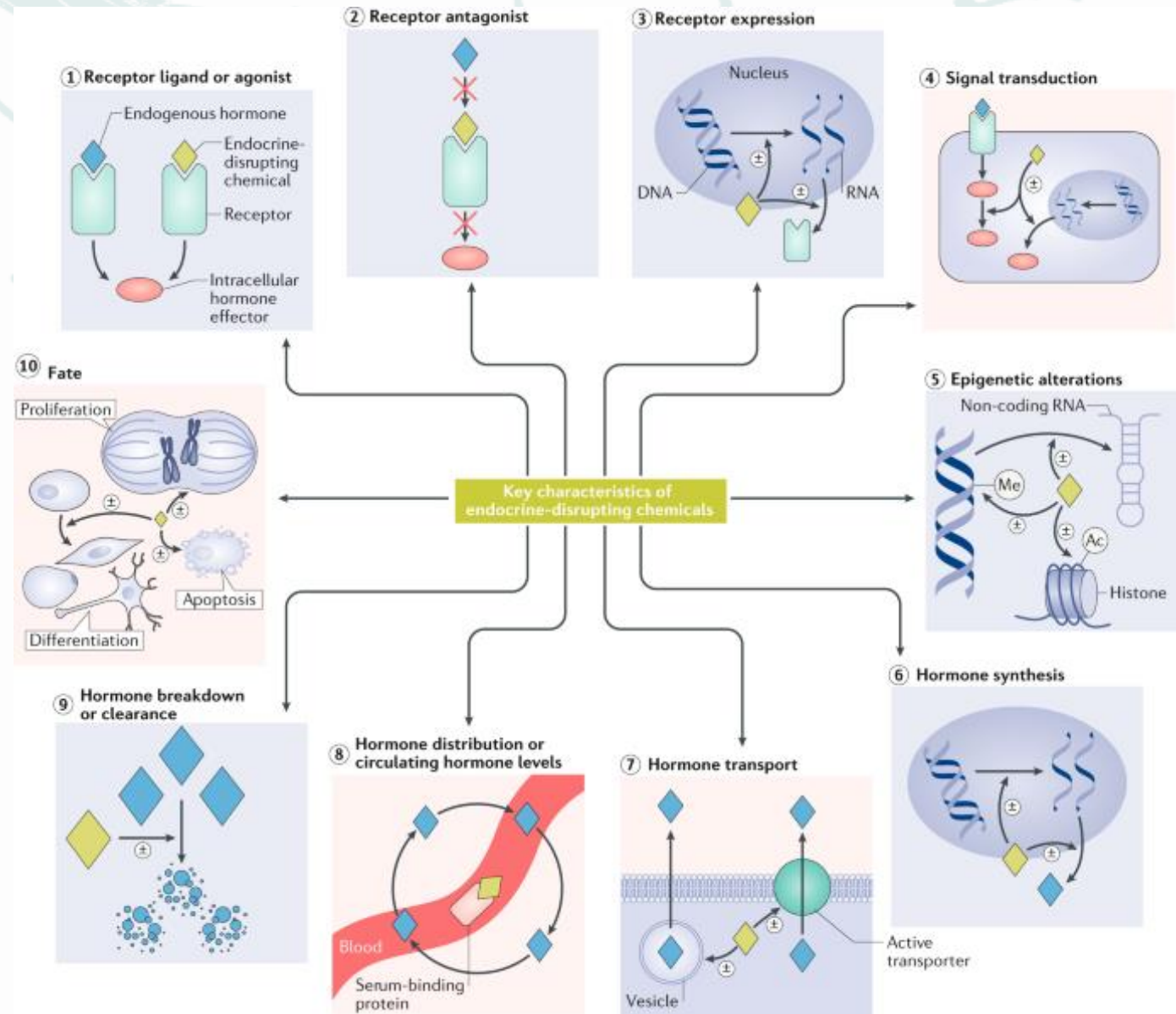
- ❑ In Europa e in Nord America, la percentuale di positività a rodenticidi anticoagulanti rilevata nel fegato di animali selvatici varia dal 23% al 100%.
- ❑ Volpe rossa: *Vulpes vulpes*, presente in contesti urbani, sub-urbani e rurali.
- ❑ Lesioni anatomo-patologiche a carattere emorragico.
- ❑ Monitoraggio non invasivo (feci).
- ❑ L'esposizione a rodenticidi anticoagulanti è stata associata negli animali selvatici ad una maggiore predisposizione a contrarre infezioni batteriche e a cambiamenti comportamentali



BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI DOMESTICI: Interferenti Endocrini

- Un Interferente Endocrino è una sostanza esogena, o una miscela, che altera la funzionalità del sistema endocrino, causando effetti avversi sulla salute di un organismo, oppure della sua progenie o di una (sotto)popolazione. (European Workshop on the Impact of Endocrine Disruptors on Human Health and Wildlife, Weybridge 2-4/12/1996).
- La valutazione degli Interferenti Endocrini è in piena evoluzione e vede sempre nuovi sviluppi.

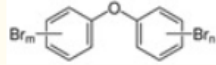
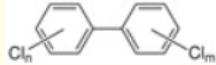

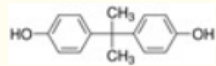
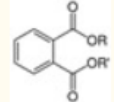
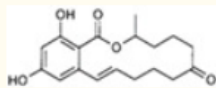


BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI DOMESTICI: Interferenti Endocrini

- Diverse categorie di interferenti endocrini sono stati rilevati in diversi tessuti di animali domestici (pelo, organi genitali, tessuto adiposo, sangue ed urine).
- Tuttavia gli studi in questo campo sono ancora limitati, ma diverse evidenze scientifiche mettono in relazione l'esposizione a interferenti endocrini e lo sviluppo di patologie a carattere non infettivo incluse neoplasie, disordini tiroidei, diabete, patologie renali e disordini riproduttivi.

Class, chemical structure, common uses, and health effects of EDCs in domestic pets.

Class of Chemicals	Class	Chemical Structure	Reported Health Effects in Pets
PBDEs	Persistent organic pollutant		<ul style="list-style-type: none">• Decreased sperm quality and viability• Testicular dysgenesis syndrome• Hyperthyroidism (cats)
PCBs	Persistent organic pollutant		<ul style="list-style-type: none">• Decreased sperm count, quality, and viability• Testicular dysgenesis syndrome• Hyperthyroidism (cats)• Hypothyroidism (dogs)
PFAS	Persistent organic pollutant		<ul style="list-style-type: none">• Hyperthyroidism (cats)
BPA	Plasticizer		<ul style="list-style-type: none">• Hyperthyroidism (cats)
Phthalates	Plasticizer		<ul style="list-style-type: none">• Decline in sperm quality• Testicular dysgenesis syndrome
Zearalenone	Mycoestrogen		<ul style="list-style-type: none">• Degeneration of ovarian cells• Endometritis-pyometra complex

BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI DOMESTICI: Interferenti Endocrini: Ftalati e Bisfenoli

- ❑ Gli ftalati, ad esempio Di-2-etilesilftalato (DEHP), e Bisfenolo A (BPA) sono sostanze contenute in oggetti di plastica di uso comune, eliminate rapidamente dall'organismo.
- ❑ Sono utilizzati nei «*Food Contact Materials*»
- ❑ Il bisfenolo A (BPA) è una sostanza chimica utilizzata per la produzione di plastiche in policarbonato chiare, rigide e leggere. Questo materiale è utilizzato soprattutto per preparare stoviglie e contenitori. Il BPA è anche un componente delle resine epossidiche utilizzate come vernici per rivestire prodotti in metallo come lattine e tappi per bottiglie. Il BPA può essere utilizzato anche come ritardante di fiamma.
- ❑ Gli ftalati sono utilizzati principalmente come plastificanti per aumentare la flessibilità, la trasparenza, la resistenza e la durata della plastica. La loro applicazione primaria è la fabbricazione di PVC.





Science of The Total Environment

Volume 690, 10 November 2019, Pages 70-75



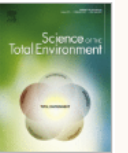
Urinary concentrations and distribution profiles of 21 phthalate metabolites in pet cats and dogs

[Rajendiran Karthikraj](#)^a, [Sunmi Lee](#)^a, [Kurunthachalam Kannan](#)^{a b c}  





Science of The Total Environment

Volume 579, 1 February 2017, Pages 1804-1814



Bisphenol A (BPA) in the serum of pet dogs following short-term consumption of canned dog food and potential health consequences of exposure to BPA

[Zoe L. Koestel](#)^a, [Robert C. Backus](#)^b, [Kaoru Tsuruta](#)^b, [William G. Spollen](#)^c, [Sarah A. Johnson](#)^{a d e}, [Angela B. Javurek](#)^f, [Mark R. Ellersieck](#)^g, [Charles E. Wiedmeyer](#)^{h i}, [Kurunthachalam Kannan](#)^j, [Jingchuan Xue](#)^j, [Nathan J. Bivens](#)^k, [Scott A. Givan](#)^{c d l}, [Cheryl S. Rosenfeld](#)^{a d m n}  

BIOINDICATORI: ANIMALI

MAMMIFERI DOMESTICI:

Interferenti Endocrini: Fumo passivo di sigaretta

- ❑ Gatti che vivono in ambienti dove sono esposti a fumo passivo di sigaretta per più di 5 anni sono più predisposti a sviluppare asma, tumori polmonari, linfomi e carcinomi orali.
- ❑ Un fattore di rischio per lo sviluppo di linfoma maligno nel (1993-2000) gatto è stato proprio l'esposizione a fumo di sigaretta .
- ❑ Nei cani esposti a fumo di sigaretta si sono identificati cambiamenti a carico delle cellule del tratto respiratorio al lavaggio bronco-alveolare (aumento delle popolazioni di macrofagi e linfociti e antracosi nel citosol di macrofagi).
- ❑ La cotinina (metabolita della nicotina) è un valido biomarker per valutare l'esposizione a fumo passivo (pelo, sangue, saliva, urine).

