

Corso di Laurea Magistrale in
“**BIOLOGIA PER LA SOSTENIBILITÀ**”

Anno Accademico 2023-2024



Igiene del'ambiente e del territorio

Prof.ssa Valeria Di Onofrio

valeria.dionofrio@uniparthenope.it



SIS

Scuola Interdipartimentale
delle **Scienze**, dell'**Ingegneria**
e della **Salute**

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE (DIST)

5 ottobre

GIORNATA MONDIALE DEGLI INSEGNANTI

Un buon insegnante non è affatto quello che sa tutto. È quello che ci ascolta e si fa piacevolmente ascoltare.

Quello che insegna a pensare, non cosa pensare. Dando il meglio di sé, ma soprattutto tirando fuori il meglio da ciascuno di noi.

A.Degas

*Auguri a tutti
i docenti!*



ECOTOSSICOLOGIA

1969: *TRUHAUT* conia il termine **ECOTOSSICOLOGIA** per definire

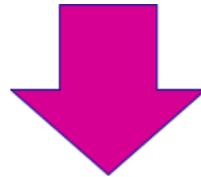
«la branca della tossicologia che si interessa degli effetti dannosi delle sostanze chimiche indotti negli ecosistemi»
(**ECOLOGIA** + **TOSSICOLOGIA**).

Considera quindi le azioni sui singoli individui, ma anche sulle popolazioni e sulle biocenosi (comunità delle specie di un ecosistema che vive in un determinato ambiente).

ECOTOSSICOLOGIA

NEWMAN (1998):

scienza dei contaminanti nella biosfera ed i loro effetti sui costituenti della biosfera (uomo incluso).



SCIENZA CHE DEFINISCE GLI EFFETTI DELLE SOSTANZE TOSSICHE SUGLI ECOSISTEMI CON LO SCOPO DI PROTEGGERE L'INTERO ECOSISTEMA, E NON SOLO COMPONENTI ISOLATI.

MONITORAGGIO VS ECOTOSSICOLOGIA

La ricerca di residui nei tessuti di piante ed animali **NON** può essere considerata come ECOTOSSICOLOGIA, ma come «semplice» opera di monitoraggio.

L'ecotossicologia cerca di valutare gli **EFFETTI** che questi livelli di residui hanno sull'organismo, le popolazioni o le comunità.

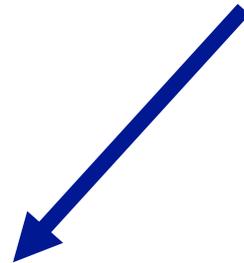
MONITORAGGIO → SCIENZA DEL «MORTO»

ECOTOSSICOLOGIA → SCIENZA DEL «VIVO»

*CAPACITÀ DI UNA SOSTANZA DI CAUSARE
UN DANNO AD UN ORGANISMO VIVENTE*

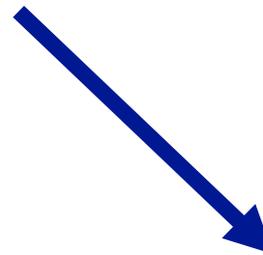


TOSSICITÀ



DIRETTA

Il composto agisce
direttamente sul sito
d'azione e l'organismo



INDIRETTA

Il composto agisce
modificando l'ambiente
di vita degli organismi

- Proprietà del tossico
- Meccanismo d'azione
- Capacità di metabolizzazione

IMMEDIATA

RITARDATA

TOSSICITÀ

```
graph TD; T[TOSSICITÀ] --> I[IMMEDIATA]; T --> R[RITARDATA]; T --> RE[REVERSIBILE]; T --> IR[IRREVERSIBILE]; RE --- RE_desc[Intervengono meccanismi di riparazione]; IR --- IR_desc[Non si ha riparazione];
```

REVERSIBILE

Intervengono
meccanismi di
riparazione

IRREVERSIBILE

Non si ha riparazione

ECOTOSSICITÀ

- Esiste una relazione causa-effetto
- Esiste una relazione dose-risposta
- L'effetto può essere quantificato

TOSSICOLOGIA

La TOSSICOLOGIA è stata storicamente definita come lo “studio dei veleni”

Nell’accezione moderna è la scienza che si occupa di studiare:

- ❖ I tipi di effetto generati dalle sostanze chimiche
- ❖ I processi biochimici e fisiologici responsabili degli effetti osservati
- ❖ La sensibilità di differenti tipi di organismi all’esposizione ad agenti chimici (e fisici)
- ❖ La tossicità relativa di differenti sostanze e categorie di sostanze

TOSSICOLOGIA AMBIENTALE

Nel dominio della tossicologia rientrano sia la tossicologia ambientale che l'ecotossicologia.

Secondo Chapman (2002):

- La **TOSSICOLOGIA AMBIENTALE** si occupa sostanzialmente dello studio degli effetti tossici sul biota, principalmente attraverso esperimenti di laboratorio su singole specie indicatrici.
- L'**ECOTOSSICOLOGIA** si occupa dello studio degli effetti tossici sulle comunità naturali; nasce dall'integrazione dell'ecologia nella tossicologia.

TOSSICOLOGIA AMBIENTALE

Vs

ECOTOSSICOLOGIA

| Tossicologia ambientale | Ecotossicologia |
|---|--|
| Priorità alle esigenze di laboratorio (campionamento, allevamento, mantenimento, test) | Precedenza a esigenze ecologiche (rete trofica, struttura della comunità) |
| Test su singola specie | Test su più specie |
| Attenzione focalizzata sui costi dei test | Attenzione focalizzata sui costi derivanti da una decisione sbagliata |
| Procedure semplici | Procedure complesse |
| Interesse focalizzato sulla sostanza da testare | La sostanza da testare è solo uno degli aspetti da considerare |
| Coinvolgi solo tossicologi | Coinvolge ecologi e tossicologi |

ECOTOSSICOLOGIA (EVOLUZIONE)

Ecologia:

Interazione tra gli organismi
Studio delle popolazioni
Processi ecosistemici

Osservazioni
di campo

Osservazioni di
campo pianificate

Manipolazioni
sperimentali

Progresso nel tempo

Ecotossicologia
Ecologia in presenza
delle sostanze tossiche

Tossicologia ambientale:

Effetti delle sostanze tossiche
sul biota

Test di laboratorio
su singola specie

Impiego di micro-
e mesocosmi

Esperimenti
complessi *in situ*

RADICI STORICHE DELL'ECOTOSSICOLOGIA

La nascita dell'ecotossicologia a fine anni '60 non è un evento casuale, ma la diretta conseguenza di cambiamenti nella percezione dell'inquinamento e dei suoi effetti.

A partire dagli anni '50, il “*paradigma della diluizione*”, che confidava nella “capacità detossificante dell'ambiente” sfruttando processi di diluizione fino al raggiungimento di concentrazioni di “non effetto” per gli organismi, è stato lentamente sostituito dal “*paradigma del boomerang*”, che prevede che tutto ciò che viene gettato in ambiente può “ritornare” e danneggiarci

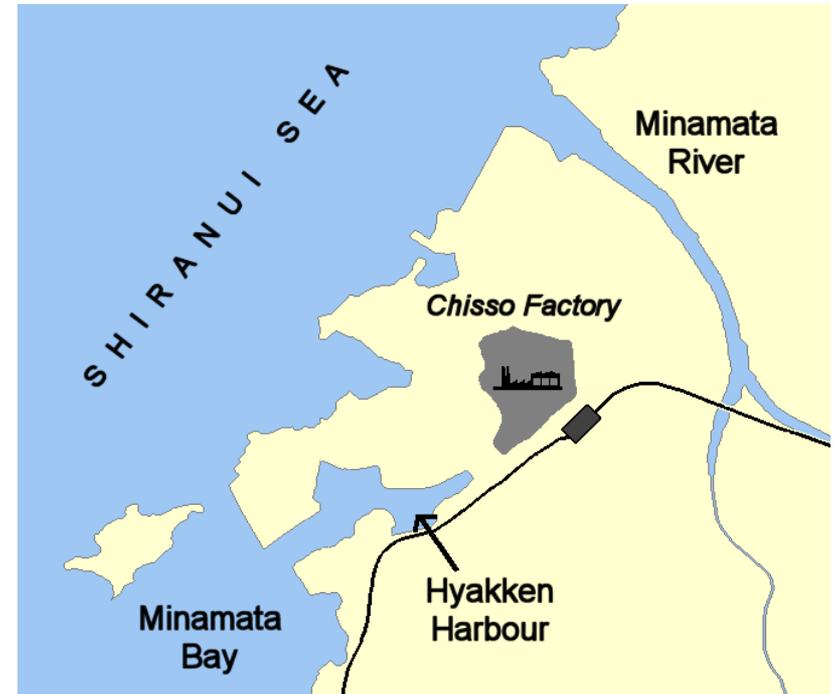
LA “SINDROME DI MINAMATA”

Primi casi di “*epidemia di disturbi nervosi di origine sconosciuta*” nel 1956 nella prefettura di Minamata:

- ✓ progressiva perdita della coordinazione motoria (atassia)
- ✓ alterazione della sensibilità degli arti (parestesia)
- ✓ convulsioni

Osservazione dell’aumento locale della frequenza di fenomeni anomali su animali:

- convulsioni, comportamenti anomali e moria di gatti
- corvi che non riuscivano a volare e cadevano
- morie di pesci



Tutti i “soggetti” colpiti hanno una dieta a base di pesce e molluschi
I ricercatori ipotizzano un avvelenamento da metalli (Mn o Hg)
Si sospettano gli scarichi dell’impianto chimico della Chisso Corporation

LA “SINDROME DI MINAMATA”

La produzione di acetaldeide nell’impianto della Chisso Corp. prevedeva l’uso di HgSO_4 (solfato di Mercurio) come catalizzatore, ma una reazione collaterale nel ciclo di catalisi portava alla produzione di *metil-Hg*.

Il metil-Hg è stato sversato nelle acque della baia di Minamata con le acque reflue dal 1951 al 1968.

Da acque e sedimenti è entrato nella catena trofica acquatica (*biomagnificazione*) fino a raggiungere la popolazione umana che si nutriva prevalentemente di pesce (sushi).

Le “vittime” stimate sono circa 2.200, di cui oltre 1.000 decessi.

LA “SINDROME ITAI-ITAI”

Sindrome apparsa a partire dal 1912 nella prefettura di Toyama, (Giappone), associata a indebolimento delle ossa, forti dolori articolari e alla spina dorsale e blocco renale.

La sindrome è stata generata da *avvelenamento da Cd.*

L'avvelenamento è stato causato da fanghi minerari ricchi di metalli (tra cui Cd) rilasciati nelle acque del fiume Jinzu, utilizzate per la pesca e per l'irrigazione delle risaie.

L'esposizione della popolazione è quindi avvenuta, come nel caso di Minamata, attraverso l'assimilazione del cibo.



L'INQUINAMENTO RADIOATTIVO

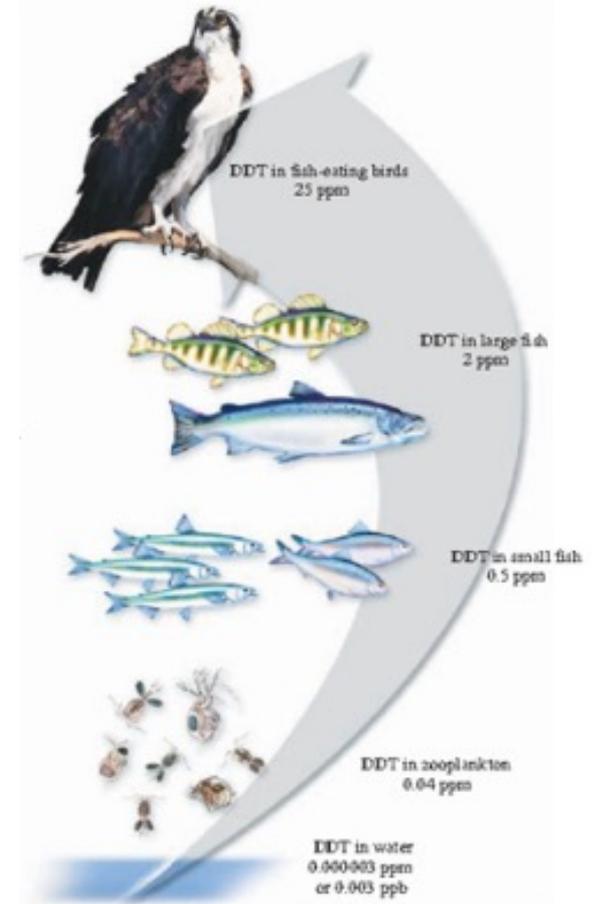
1945 - inizio dei test nucleari ad Alamogordo (New Mexico) e sganciamento delle bombe atomiche su Hiroshima e Nagasaki prime osservazioni sugli effetti del fall-out radioattivo

1954 - esplosione della bomba H nell'atollo di Bikini, si assiste alla rapida dispersione emisferica dei prodotti di fissione e all'inatteso accumulo degli stessi in prodotti destinati al consumo alimentare aumenta la preoccupazione per le conseguenze sulla salute umana dei ripetuti esperimenti

PESTICIDI ORGANOCLOORURATI

Il caso più emblematico è stato l'uso a larga scala del pesticida **DDT**, i cui effetti furono documentati nel libro *Silent Spring* (1962) di Rachel Carson.

Il **DDT** e il suo metabolita **DDE**, si accumulano nei lipidi ed entrano nella **rete trofica** degli ambienti acquatici, producendo effetti tossici diretti e indiretti fino all'apice della catena trofica (danni cerebrali o effetti a livello riproduttivo in rapaci e uccelli ittiofagi)



PESTICIDI ORGANOCLOORURATI

Uno dei meccanismi implicati è *l'inibizione della Ca-ATPasi* della ghiandola deputata alla creazione del guscio delle uova, che ha generato fenomeni di *egg-shell thinning*.

Dal 1957 al 1960 nel lago Clear in California morirono molti esemplari di *Aechmophorus occidentalis* (svasso cigno).

In UK vennero registrate diminuzioni importanti di popolazioni di *Falco peregrinus* e di altri rapaci.

Dal 1969 al 1972 la riproduzione del pellicano *Pelecanus occidentalis* nella costa del South Carolina (USA) diminuì a tal punto da minacciare la specie.

L'ECOTOSSICOLOGIA OGGI

“L’ecotossicologia è la scienza dei *contaminanti* presenti nella biosfera e dei loro effetti sulle componenti della biosfera, inclusi gli esseri umani”

Newman (2010)

“Lo studio degli effetti nocivi dei prodotti chimici sugli ecosistemi ed include gli effetti a livello di individuo e i conseguenti effetti a livello di popolazione e superiori”

Walker et al. (2012)

ALCUNE DEFINIZIONI

INQUINANTE: una sostanza che si trova in ambiente come conseguenza (almeno in parte) delle attività antropiche e che genera effetti negativi sugli organismi (Moriarty, 1993)

CONTAMINANTE: una sostanza rilasciata in ambiente da attività antropiche (Moriarty, 1993) (ma può essere anche di origine naturale)

XENOBIOTICO: sostanza o materiale di origine non naturale e comunemente considerato un costituente estraneo rispetto ai sistemi biologici

CONTAMINANTI E INQUINANTI

Secondo alcuni ecotossicologi (Walker et al., 2003), tuttavia, "contaminanti" ed "inquinanti" sono ormai sinonimi, in quanto raramente si può dire che i contaminanti non abbiano la potenzialità di causare danni ambientali, viste le consistenti e crescenti quantità di elementi e molecole rilasciate in ambiente da produzioni industriali, attività agricole e comparti abitativi.

POSIZIONE CONTROVERSA, è preferibile mantenere la distinzione tra i due termini come da “tradizione” ecotossicologica

LA MULTIDISCIPLINARIETÀ

L'ecotossicologia è una scienza multidisciplinare.

Si basa su concetti della tossicologia classica e dell'ecologia abbracciando i campi di:

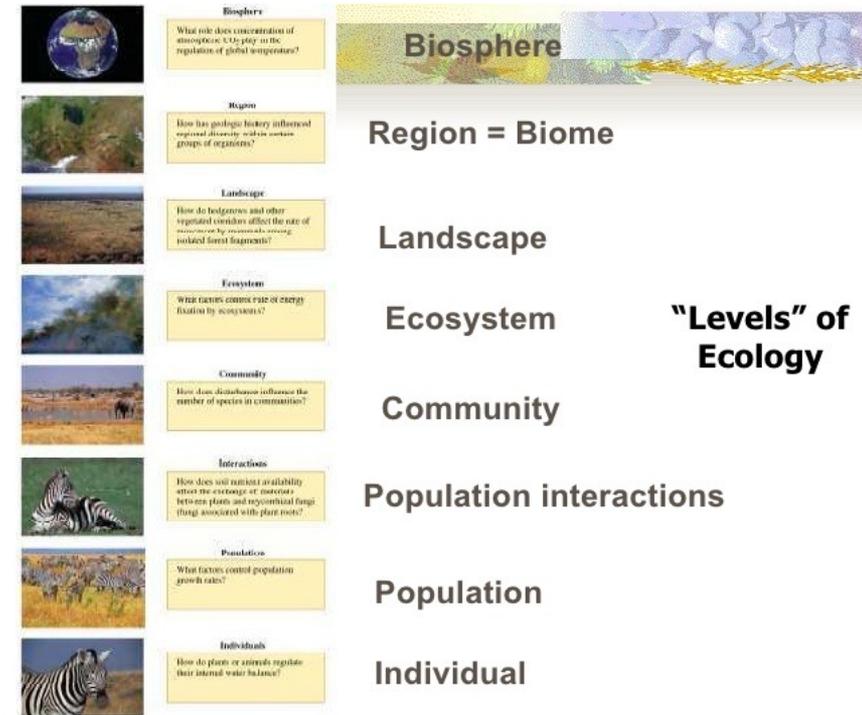
- ✓ chimica (proprietà dei contaminanti)
- ✓ statistica (analisi dei dati)
- ✓ modellistica (modelli di bioaccumulo e trasferimento dei contaminanti)
- ✓ biologia molecolare (biomarker molecolari)

SCALE

SPAZIO-TEMPORALI IMPLICATE

L'ecotossicologia studia gli effetti dei contaminanti a diversi livelli di complessità...
... ma i processi ad un determinato livello hanno origine dai livelli inferiori e mostrano le loro conseguenze ai livelli successivi

Ecosystem Landscape Biosphere



LE SCALE IMPLICATE



si impiegano soprattutto in
approcci di tipo
PROATTIVO e **PREVENTIVO**
(per valutare la possibilità che si
verifichi un effetto, principio di
precauzione)

Si utilizzano principalmente a
fini **DOCUMENTALI** e sono
fondamentali per innescare
provvedimenti di
REGOLAMENTAZIONE

GLI OBIETTIVI

L'ecotossicità è uno dei concetti base dell'ecotossicologia:

“Sostanze a bassa o nulla tossicità a breve termine per una specie possono provocarne comunque la scomparsa in un dato ambiente, direttamente o indirettamente”

Introduce il concetto di effetto a lungo termine e di effetti indiretti, che costituiscono il cardine della *community ecotoxicology*

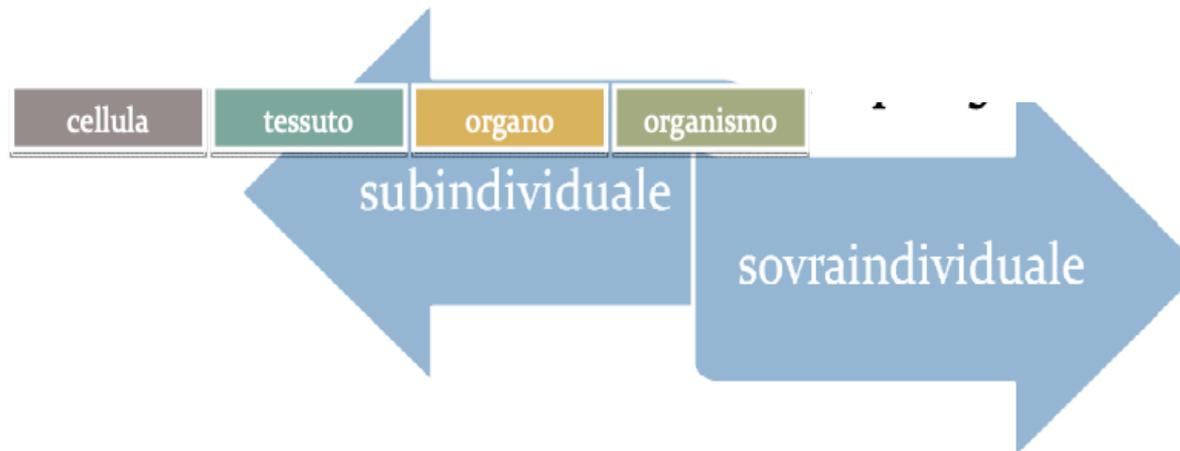


STUDIO DELL'ECOTOSSICITÀ

BIOMARKERS

variazioni biochimiche, cellulari, fisiologiche o comportamentali che possono essere misurate in un tessuto, in un fluido biologico o a livello dell'intero organismo che danno evidenza di esposizione e/o effetto ad uno o più composti inquinanti

Depledge and Fossi (1994)



STUDIO DELL'ECOTOSSICITÀ

ANALISI DI BIOACCUMULO (O BODY BURDENS)

analisi dei livelli di concentrazione dei contaminanti nell'intero organismo o in specifici organi o tessuti
body burdens: quantità o massa totale di contaminante in un individuo



STUDIO DELL'ECOTOSSICITÀ

SAGGI DI TOSSICITÀ

esposizione di organismi indicatori a un campione ambientale contenente una miscela di inquinanti in quantità non note, in condizioni sperimentali controllate

Volpi Ghirardini and Pellegrin (2001)



TEMATICHE ATTUALI PER L'ECOTOSSICOLOGIA

I *composti chimici emergenti* o non convenzionali (ritardanti di fiamma, fragranze, farmaci, prodotti antimicrobici, creme solari, pesticidi di nuova generazione), che oltre agli effetti tossici “tradizionali” possono agire come “endocrine disrupting chemicals”

➤ Le *MICROPLASTICHE*

➤ I prodotti a scala nanometrica (*NANOMATERIALS*)

TEMATICHE ATTUALI PER L'ECOTOSSICOLOGIA

ENDOCRINE DISRUPTERS (EDC)

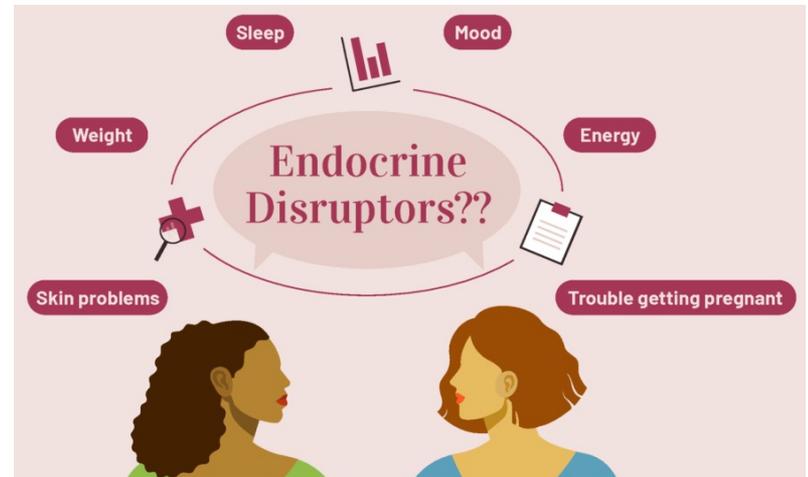
Agenti inquinanti (anche di origine naturale) che interferiscono con la sintesi, il metabolismo, l'azione o l'eliminazione degli ormoni endogeni indispensabili per il mantenimento dell'omeostasi e per la regolazione dei processi di crescita, sviluppo e riproduzione

- ✓ Prodotti farmaceutici
- ✓ Ormoni sintetici
- ✓ Bisfenolo A e ftalati
- ✓ Pesticidi (fenoxycarb)
- ✓ Fragranze e muschi
- ✓ Ritardanti di fiamma (Polibromodifenileteri - PBDE)

TEMATICHE ATTUALI PER L'ECOTOSSICOLOGIA

ENDOCRINE DISRUPTERS (EDC)

- ✓ Presentano molteplici vie di esposizione
- ✓ Esercitano effetti a concentrazioni molto basse
- ✓ I meccanismi di trasporto atmosferico e le correnti marine li rendono ubiquitari
- ✓ Possono biomagnificare lungo la rete trofica



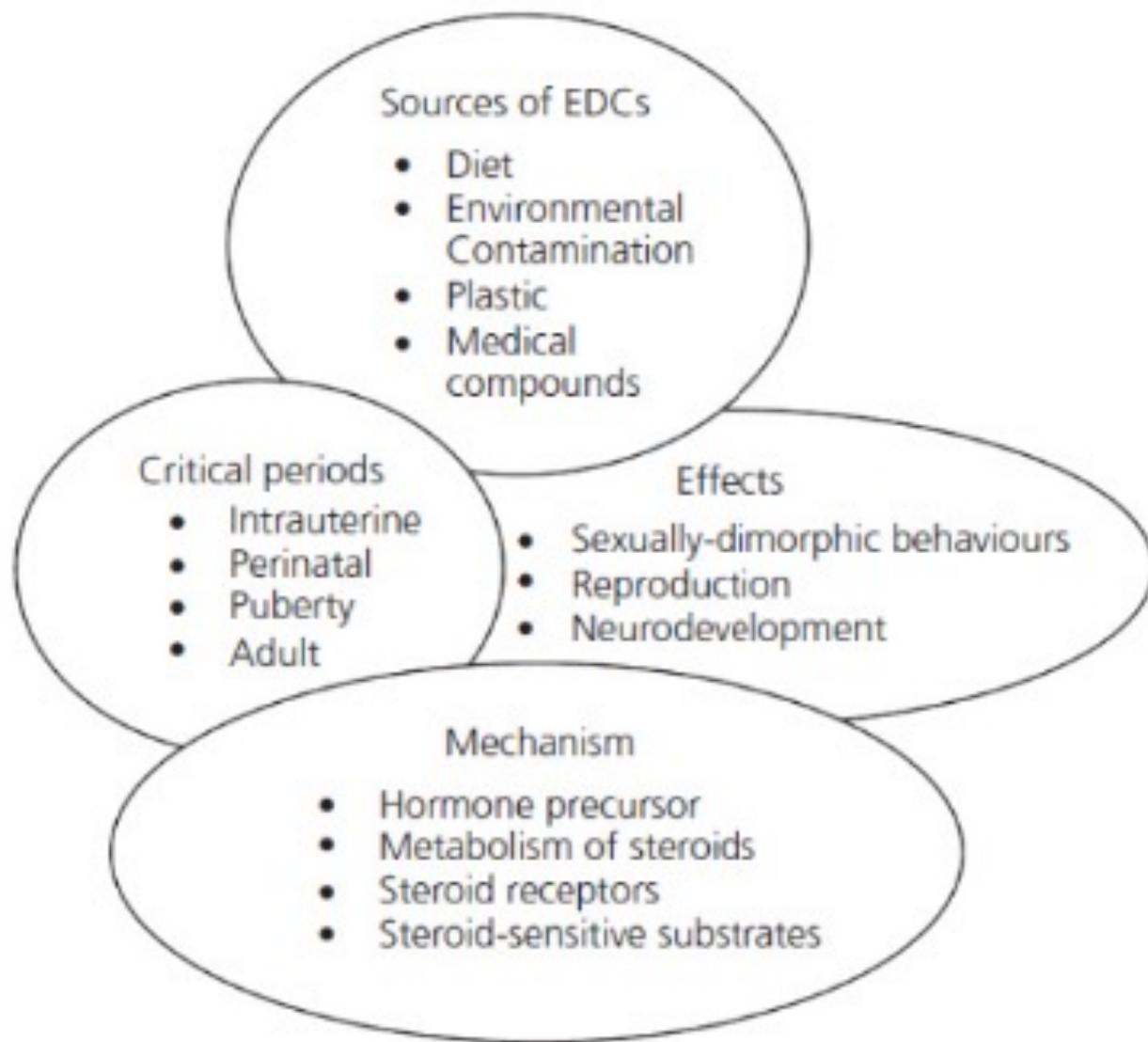
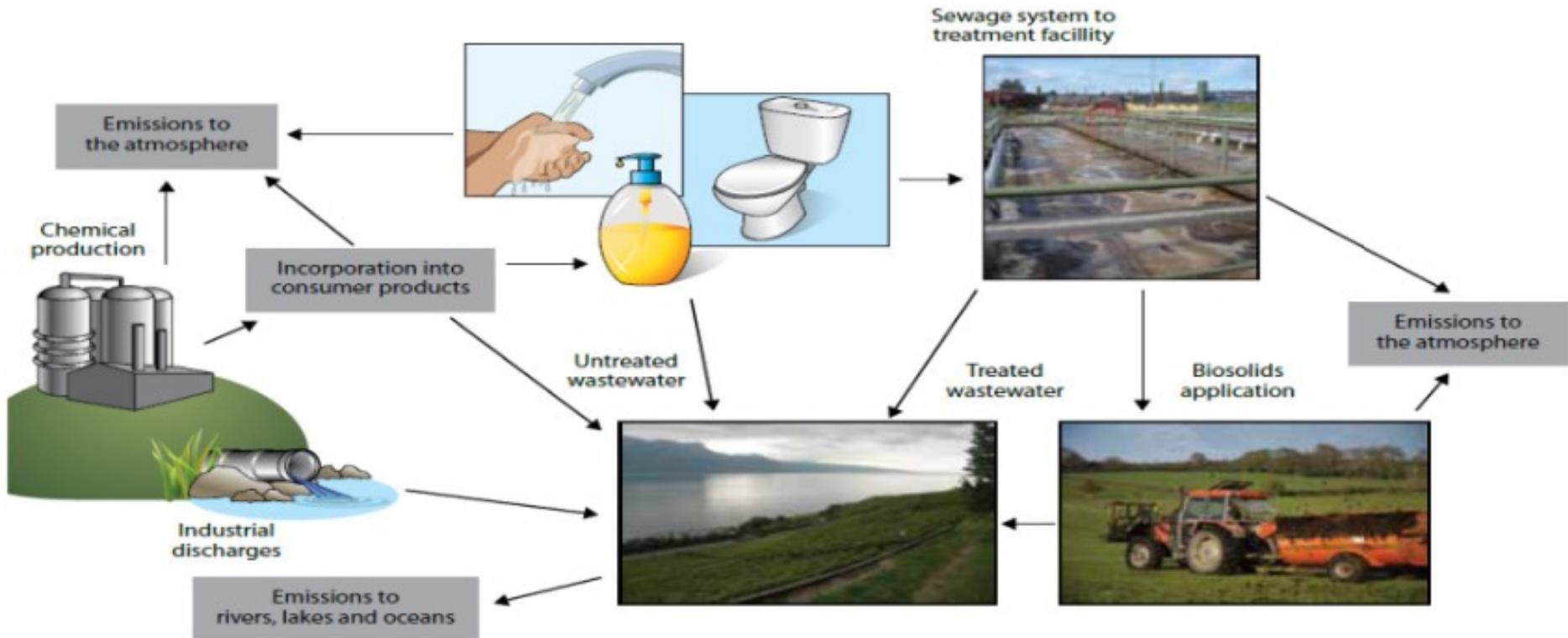


Fig. 1. A schematic representation of varied sources of endocrine disrupting chemicals (EDCs) and how they may influence sexually-dimorphic, reproductive and neurodevelopmental processes, in particular through their actions during critical periods of development. Some of the steroids mechanisms that may mediate the actions of EDCs are included.

TEMATICHE ATTUALI PER L'ECOTOSSICOLOGIA



TEMATICHE ATTUALI PER L'ECOTOSSICOLOGIA

NANOMATERIALI

Sono utilizzati in varie applicazioni industriali e commerciali (i.e. medicinali, prodotti per l'igiene personale).

Sono ormai presenti in aria, acqua, suolo e sedimento per contaminazione diretta e/o indiretta.

Rappresentano un rischio perché le loro dimensioni ne consentono l'attraversamento delle barriere cellulari e l'interazione con le strutture subcellulari.

Possono agire da veicolo all'interno dell'organismo di altri inquinanti adsorbiti sulla loro superficie.

SFIDE FUTURE PER L'ECOTOSSICOLOGIA

CLIMATE CHANGE

L'aumento della CO₂ atmosferica determina un aumento dell'acidità degli oceani.

La ridotta disponibilità di CO₃²⁻ determina una decalcificazione delle strutture calcaree e l'aumento dell'investimento energetico per le larve che devono sviluppare strutture calcaree.

Dissoluzione delle valve, malformazioni larvali, suscettibilità a predazione ed epidemie, mortalità

- foraminiferi
- bivalvi
- gasteropodi
- echinodermi
- celenterati
- Alghe rosse calcaree

SFIDE FUTURE PER L'ECOTOSSICOLOGIA

OCEAN ACIDIFICATION

HOW WILL CHANGES IN OCEAN CHEMISTRY AFFECT MARINE LIFE?

CO₂ absorbed from the atmosphere

The diagram illustrates the process of ocean acidification. At the top, a blue sky transitions into a red ocean surface. Four red arrows point downwards from the sky to the ocean, labeled 'CO₂ absorbed from the atmosphere'. Below the surface, a horizontal axis shows the progression of acidification. On the left, a green, healthy nautilus shell is shown in a circular inset. A yellow arrow points to a yellow, partially dissolved shell in a circular inset. A red arrow points to a red, completely dissolved shell in a circular inset. Below this axis, the chemical reaction is shown: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow 2 \text{HCO}_3^-$. Below the equation are ball-and-stick molecular models for carbon dioxide, water, carbonate ion, and two bicarbonate ions. At the bottom, the text reads 'consumption of carbonate ions impedes calcification'. On the left side of the diagram, there are illustrations of various marine life, including a green alga, a nautilus, and several fish.

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow 2 \text{HCO}_3^-$

carbon dioxide water carbonate ion 2 bicarbonate ions

consumption of carbonate ions impedes calcification

SFIDE FUTURE PER L'ECOTOSSICOLOGIA

CLIMATE CHANGE

Il regime delle precipitazioni cambia e con esso la distribuzione dei contaminanti.

I fiumi hanno portate ridotte, quindi c'è minore diluizione degli scarichi e dei carichi derivanti dal dilavamento di suoli, pavimentazioni stradali e terreni agricoli.

Le inondazioni disperdono i sedimenti potenzialmente contaminati distribuendoli su suoli e terreni agricoli.

Le specie stressate dal clima instabile diventano maggiormente sensibili allo stress chimico.

SFIDE FUTURE PER L'ECOTOSSICOLOGIA

PEAK OIL

Quando la disponibilità di petrolio comincerà a diminuire, gli sforzi saranno indirizzati sulle sabbie bituminose.

La sfida consisterà nello studio degli effetti generati dai “prodotti collaterali” dei tentativi di convertire le sabbie bituminose in carburante.



SFIDE FUTURE PER L'ECOTOSSICOLOGIA

ECOLOGICAL OVERSHOOT

L'umanità consuma risorse più velocemente di quanto queste si stiano rigenerando.

La soluzione percorribile a breve termine è il *ripristino* degli ecosistemi danneggiati.

L'ecotossicologia giocherà un ruolo chiave per identificare quali ecosistemi siano idonei per la ricolonizzazione e quali “usi” siano possibili negli ecosistemi riconvertiti, al fine di evitare fenomeni di bioaccumulo/biomagnificazione.

SVILUPPI FUTURI PER L'ECOTOSSICOLOGIA

- **Aumentare il contributo dell'ecologia nell'ecotossicologia**

l'ecotossicologia è ancora più legata ad un approccio di tipo “tossicologico” rispetto ad un approccio di tipo “ecologico”

- **Superare le “barriere” del laboratorio e delle relazioni dose-effetto**

gli studi ecotossicologici si basano più su indagini di laboratorio, che mirano a stabilire una relazione dose-effetto, rispetto ad indagini in situ o sugli effetti a lungo termine dell'esposizione ai contaminanti

- **Aumentare la capacità predittiva ai livelli gerarchici superiori**

lo studio degli effetti copre principalmente i livelli più bassi della scala gerarchica, dalla biochimica al singolo individuo, mentre esplora solo raramente i livelli di popolazione, comunità ed ecosistema

TOSSICITÀ ED ECOTOSSICITÀ

Alterazione dello stato normale in seguito a contatto (assorbimento) di una sostanza chimica.

- ✓ *Acuta* – strettamente correlata alla sostanza, alla dose al tempo e alla specie (ambiente)
- ✓ *Cronica e subcronica* – non necessariamente correlata alla dose, al tempo e alla specie (ambiente)
- **Problemi all'animale** (Tossicità ed **ecotossicità**)
(patologie connesse alla presenza di concentrazioni di contaminati o di inquinanti tossiche)
- **Animale produttore di derrate**
(superamento di eventuali LMR - limiti massimi residui - e non commercializzazione)

CONCETTO DI INDICATORE BIOLOGICO

Qualsiasi organismo in grado di fornire informazioni sulla qualità dell'ambiente e sui suoi cambiamenti.

Ecosistemi equilibrati presentano moltissime specie con pochi individui. Un ecosistema perturbato presenta invece una riduzione o la scomparsa delle specie sensibili, con proliferazione di quelle più resistenti agli inquinanti.

Alcuni esempi:

- ❖ carnivori predatori nelle catene alimentari terrestri e acquatiche
- ❖ api (soprattutto per inquinamento chimico da metalli pesanti e da antiparassitari)
- ❖ macroinvertebrati nelle acque dolci

BIOMONITORAGGIO

Con il termine di **BIOMONITORAGGIO** si intende il monitoraggio dell'inquinamento mediante organismi viventi.

Le principali tecniche di biomonitoraggio consistono nell'uso di organismi:

BIOACCUMULATORI: organismi in grado di sopravvivere in presenza di inquinanti che accumulano nei loro tessuti.

BIOINDICATORI: organismi che subiscono variazioni evidenti nella fisiologia, nella morfologia o nella distribuzione spaziale sotto l'influsso delle sostanze presenti nell'ambiente.

Il biomonitoraggio, rispetto alle tecniche analitiche tradizionali, ha il vantaggio di fornire stime degli effetti inquinanti sugli esseri viventi.