



Dipartimento di
Scienze
Ambientali,
Informatica e
Statistica DAIS



Piano Nazionale
Lauree Scientifiche

Progetto:
Scienze Naturali e Ambientali

Introduzione all'ecotossicologia

Definizioni, finalità, approcci, necessità

Dr. Marco Picone

marco.picone@unive.it



Ecotossicologia – le origini

Il termine **ecotossicologia** è stato introdotto nel 1969 da Truhaut, che ha fuso in un unico concetto i termini “ecologia” e “tossicologia”.

Truhaut ne ha anche formulato la prima definizione nel 1977:

*“la branca della **tossicologia** che si occupa dello studio degli effetti tossici, causati da **inquinanti** naturali e sintetici, verso i costituenti degli **ecosistemi**, animali (inclusi gli umani), vegetali, e microbici, in un contesto integrato”*

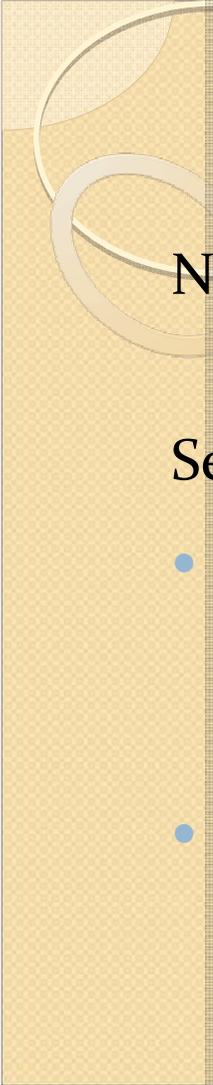


Tossicologia

La **tossicologia** è stata storicamente 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

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 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 di Minamata”

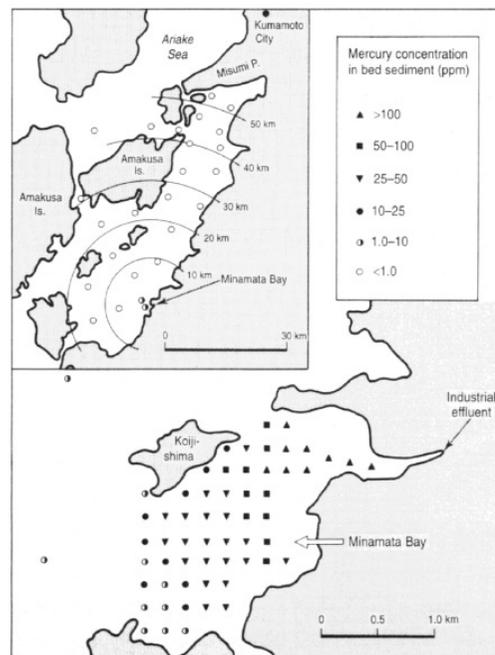


FIGURE 4.7 Mercury concentrations in bed sediments of the Yatsushiro Sea (1975) and Minamata Bay (1973). Reproduced from Kudo et al. (1980) with permission from Elsevier Science Ltd, Pergamon Imprint.

Methylmercury concentrations

- **Freshwater fish** 0.1-0.4 ppm
- **Ocean fish** 0.6-0.8 ppm
- **Predator fish** > 1.0ppm
- **Fish in “polluted” water** > 10ppm
- **Fish from Minamata Bay** ~ 50ppm

- **Whale meat** ~4ppm
- **Whale liver** >1000ppm



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 Jinzū, 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

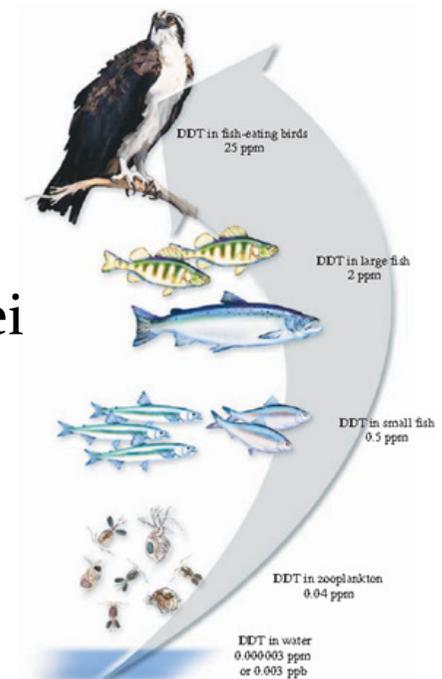
1945 - inizio dei test nucleari ad Alamogordo (New Mexico) e sganciamento delle bombe atomiche su Hiroshima e Nagasaki
prime osservazioni sugli effetti del fallout radioattivo

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*

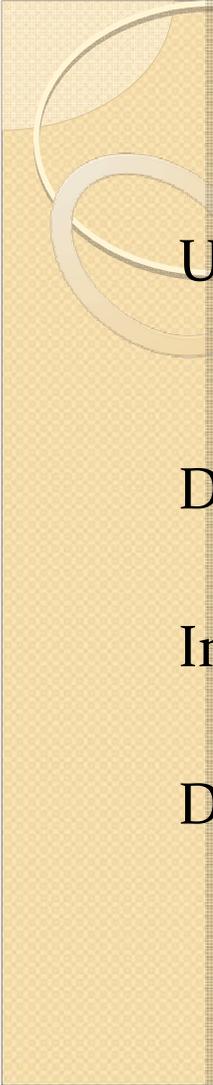
Pesticidi organoclorurati

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)



<http://myriverside.sd43.bc.ca/vivianh-2013/category/ecology/>



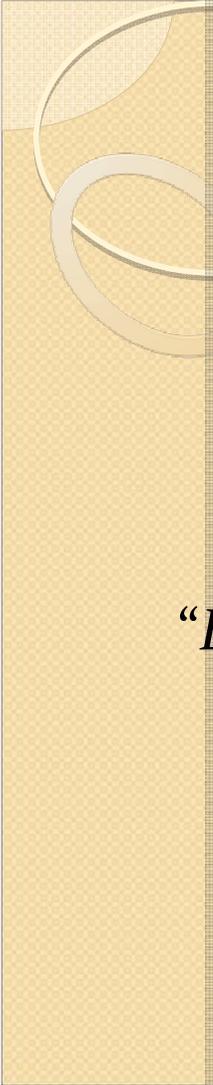
Pesticidi organoclorurati

Uno dei meccanismi implicati è l'inibizione della Ca-ATP asi 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



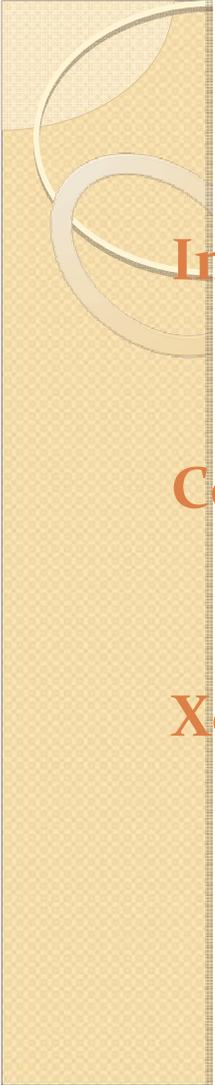
L'ecotossicologia oggi

*“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 hanno 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.

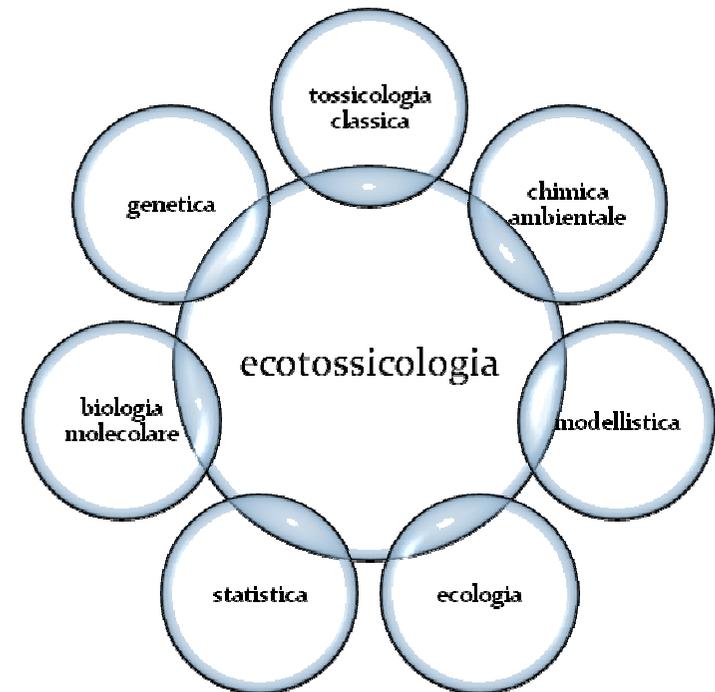
Posizione controversa, è preferibile mantenere la distinzione tra i due termini come da "tradizione" ecotossicologica

La multidisciplinarietà

L'ecotossicologia è una scienza multidisciplinare

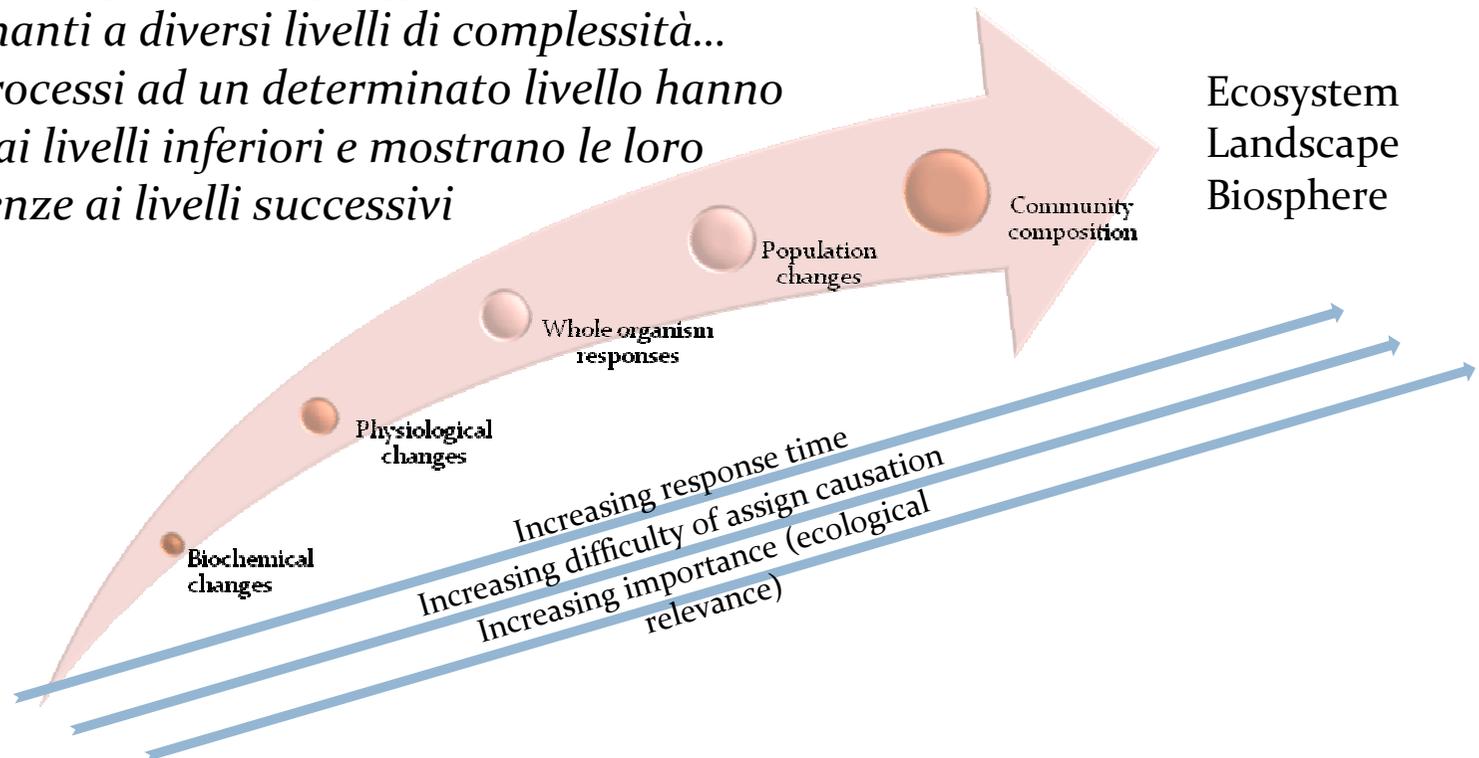
Si basa su concetti della tossicologia classica e dell'ecologia abbracciando i campi di:

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



Le scale spatio-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*



Le scale implicite



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”

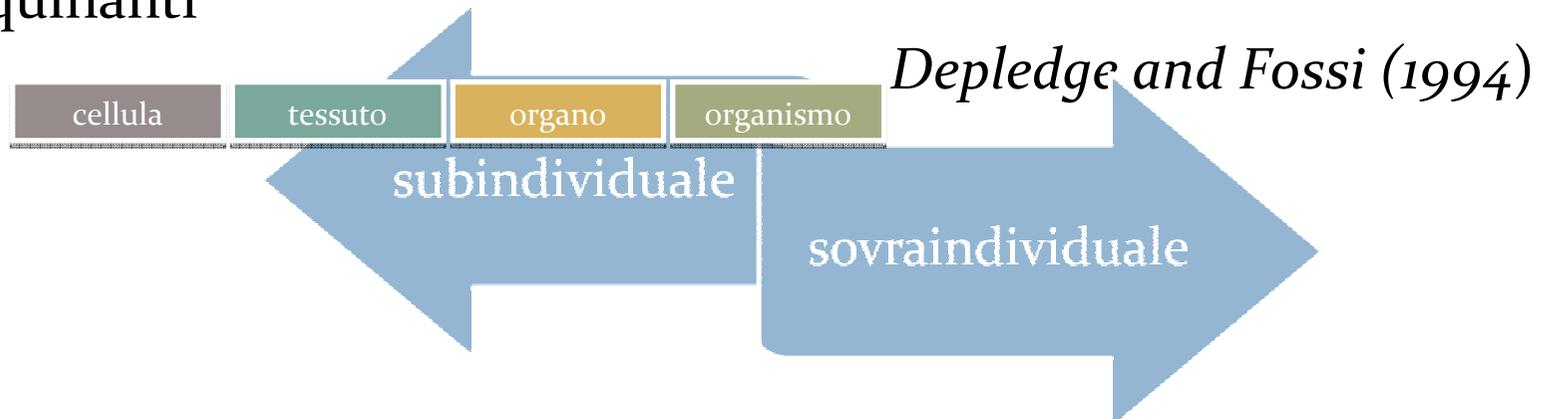
Introduce il concetto di effetto a lungo termine e di effetti indiretti, che costituiscono il cardine della **community ecotoxicology**



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

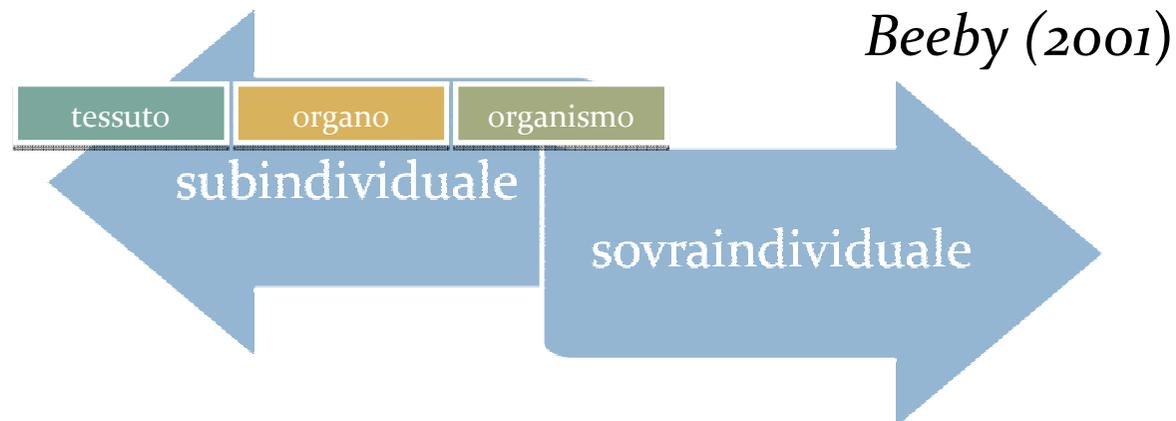


Studio dell'ecotossicità

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



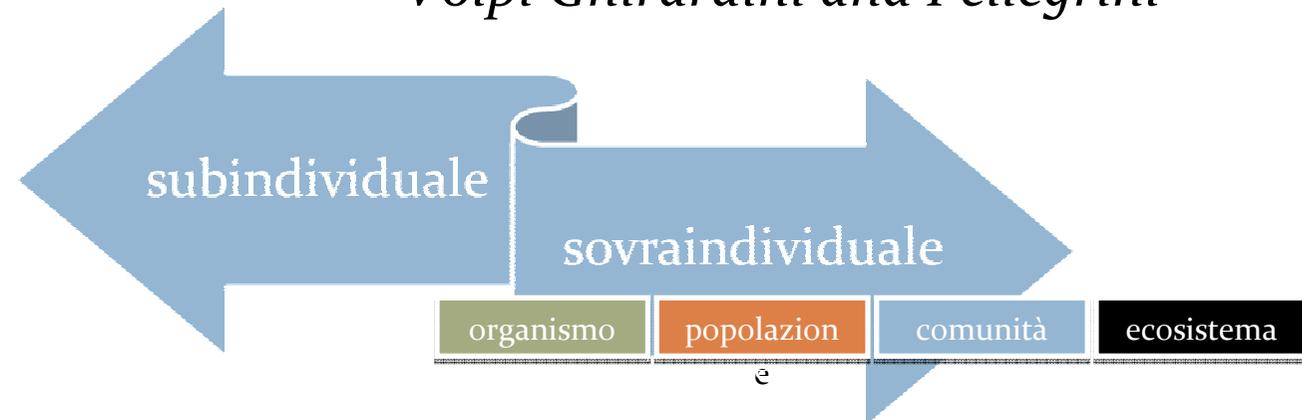
Studio dell'ecotossicità

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 Pellegrini

(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 disruptors (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 (PBDE)

Tematiche attuali per l'ecotossicologia

Endocrine disruptors (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

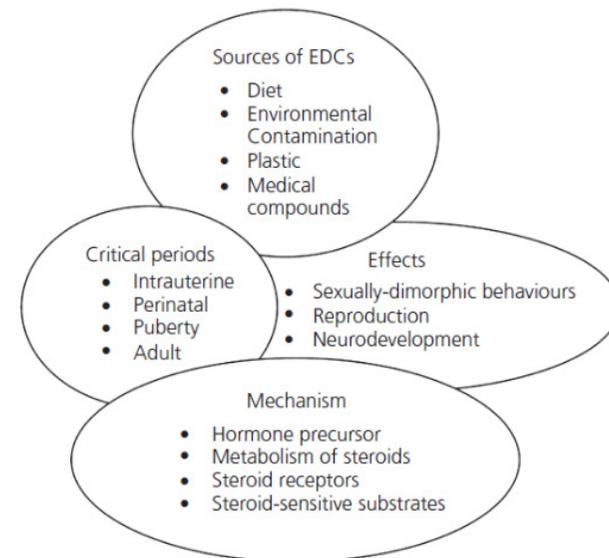
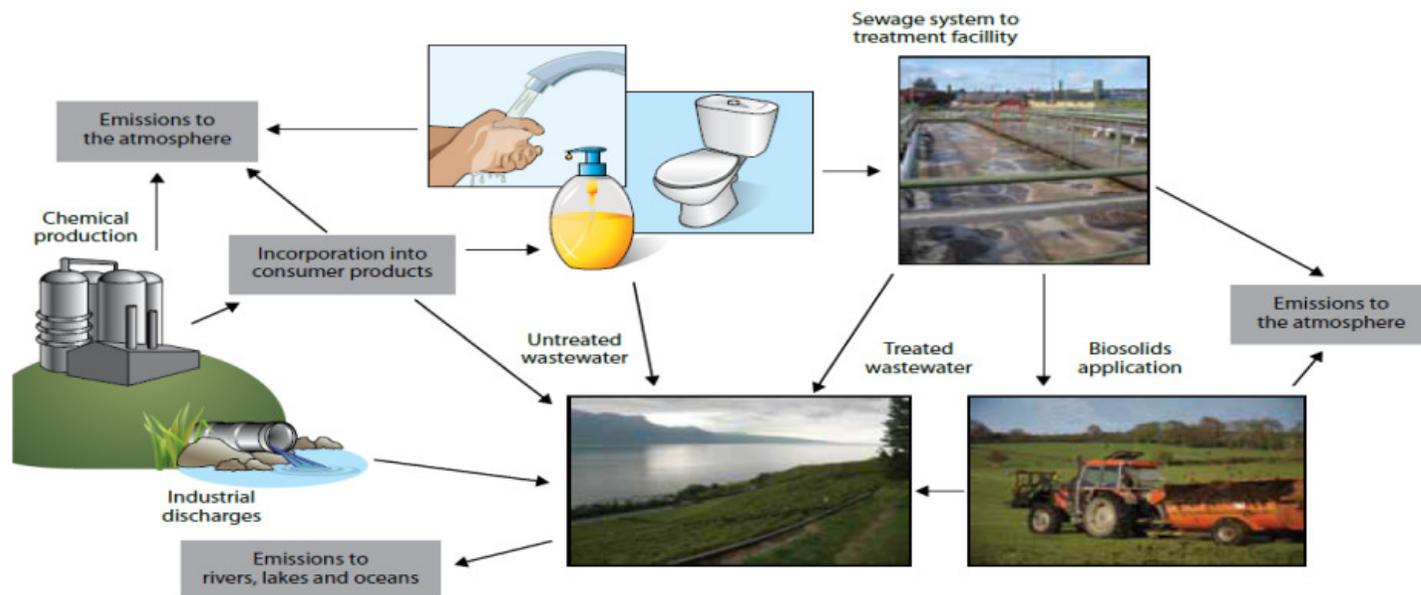


Fig. 1. A schematic representation of varied sources of endocrine disrupting chemicals (EDCs) and how they may influence sexually-dimorphic, reproductive and neurodevelopmental processes, in particular through their actions during critical periods of development. Some of the steroids mechanisms that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

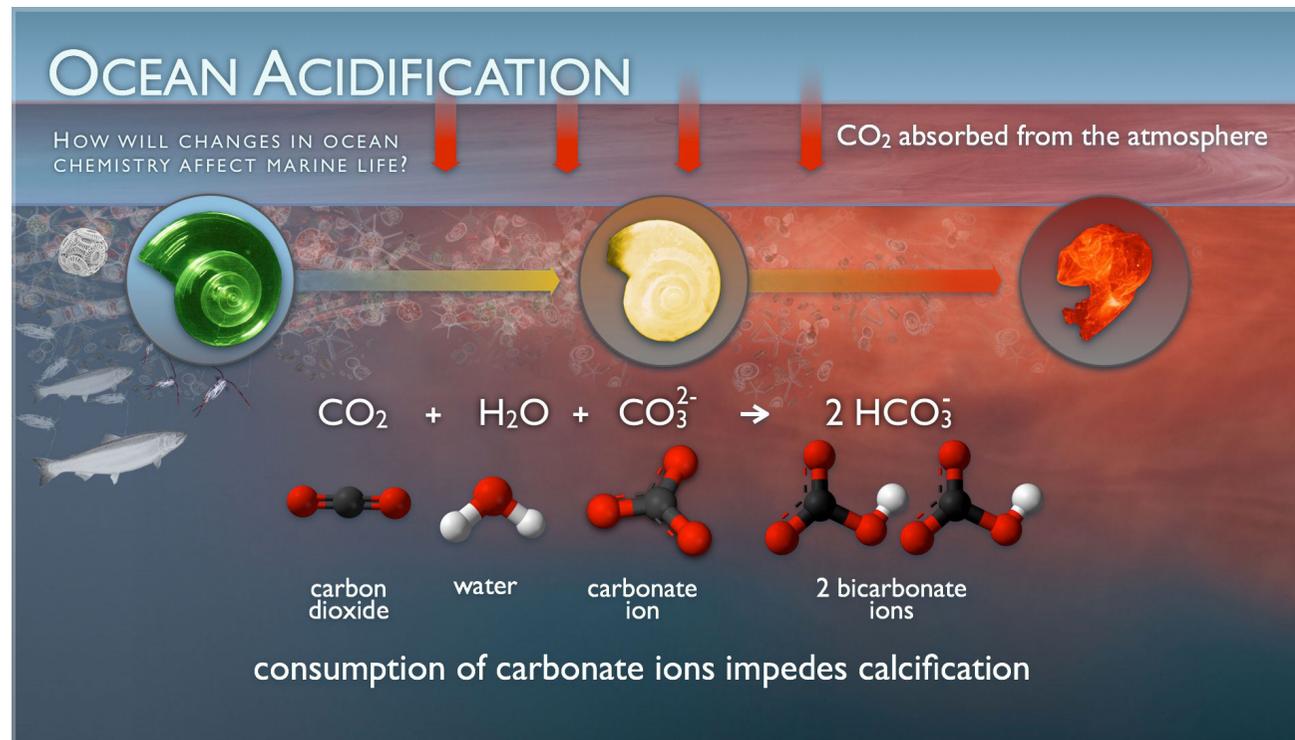
L'aumento della CO₂ atmosferica determina un aumento dell'acidità degli oceani.

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





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