



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

Ecotossicologia come mezzo di prevenzione e  
valutazione delle conseguenze nocive sull'ecosistema  
da parte di sostanze dannose

Ecotoxicology as a means of preventing and assessing  
the noxious consequences of harmful substances on the  
ecosystem

TIPO DI TESI: COMPILATIVA

Studente:  
DIEGO BRAVI

Relatore:  
PROF. CRISTIANO CASUCCI

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

A tutti coloro che mi hanno  
sostenuto, supportato e sopportato  
senza i quali  
non sarei riuscito a raggiungere  
questo traguardo.  
Mi auguro di avervi sempre al mio fianco.

# SOMMARIO

ELENCO DELLE FIGURE .....	4
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	5
INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI .....	6
CAPITOLO 1 L'ECOTOSSICOLOGIA: UNA NUOVA BRANCA TRA LE SCIENZE AMBIENTALI .....	8
1.1 Origini, sviluppo e interdisciplinarietà dell'ecotossicologia .....	8
1.2 Campo di ricerca dell'ecotossicologia, suoi obiettivi e utilità.....	11
CAPITOLO 2 L'ECOTOSSICOLOGIA IN PRATICA.....	14
2.1 I saggi ecotossicologici .....	14
2.1.1 I saggi ecotossicologici acuti e cronici.....	17
2.2 I bioindicatori.....	19
2.3 Gli endpoint.....	23
2.4 I diversi effetti causati dagli inquinanti.....	24
CAPITOLO 3 EVENTI STORICI LEGATI ALLO SVILUPPO DELL'ECOTOSSICOLOGIA.....	26
3.1 Disastro ambientale di Minamata.....	26
3.2 Avvelenamento di massa di Toyama.....	30
CONCLUSIONI .....	33
BIBLIOGRAFIA.....	34

## ELENCO DELLE FIGURE

- Figura 1: Relazione tra sostanze chimiche e livelli di organizzazione di un ambiente
- Figura 2: Nematode: microvertebrato acquatico e terrestre
- Figura 3: Lichene epifita
- Figura 4: Daphnia Magna: crostaceo d'acqua dolce
- Figura 5 Pseudokirchneriella subcapitata: Alga unicellulare
- Figura 6: Mappa della baia di Minamata, con relativa posizione della Chisso Corporation
- Figura 7 La fabbrica della Chisso nel 1960
- Figura 8: Il bagno di Tomoko, scatto emblema del disastro ambientale di Minamata
- Figura 9: Effetti dell'intossicazione da metilmercurio
- Figura 10: Rappresentazione del fiume Jinzu e delle regioni contaminate
- Figura 11: Estensione dell'area inquinata
- Figura 12: Effetti dell'avvelenamento da cadmio

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

APAT	Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
CEMAGREF (IRSTEA)	Centre d'etude du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts.
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INFRA	Independent Natural Food Retailers Association
INFREMER	Institut Francais de Recherché Pour l'Exploitation de La Mer
PEC	Concentrazione ambientale predetta
PNEC	Concentrazione ambientale predetta senza effetti
RQ	Quoziente di rischio
LD50	Lethal medium dose
LC50	Lethal medium concentration
EC50	Effective medium concentration
LT50	Lethal medium time
NOEL	No Observable Effect Level
LOEL	Lowest-Observed-Effect Level
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry

## INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

La comunità scientifica e la popolazione mondiale in generale sembrano negli ultimi decenni essersi sensibilizzati al tema dell'inquinamento ambientale, nonché ai numerosi e gravi problemi che da esso possono scaturire. Concetti di particolare interesse legati a questa tematica sono la sostenibilità ambientale, la rinnovabilità, la salute o, per esempio, il costante aumento delle temperature. Queste nozioni sono considerate di fondamentale importanza in un'ottica che sembrerebbe futura e lontana dai nostri giorni, ma che in realtà risulta essere sempre più attuale e risulta interessare le generazioni odierne e quelle che verranno.

Occorre sottolineare il fatto che per riuscire ad avere un'idea concreta del fenomeno "inquinamento ambientale" è necessario rapportare quest'ultimo all'esistenza umana.

Inquinare è una parola che ha un significato molto generico: si può dire che se in un ambiente si introducono sostanze estranee a quell'ambiente lo si inquina. Questo, però, vuol dire che l'inquinamento ambientale è iniziato da quando i primi uomini hanno cominciato a usare il fuoco: fumi, polveri delle sostanze bruciate e ceneri sono saliti nell'atmosfera e si sono sparsi sul suolo, nelle acque e nell'aria. Di fatto, quindi, il legame tra l'uomo e l'ambiente che lo circonda risulta essere la chiave interpretativa del fenomeno "inquinamento ambientale" e per questo è importante porre l'attenzione su quanto il suddetto legame sia passato dall'essere paritario, ossia con l'uomo come parte integrante della natura e al pari di tutti gli altri elementi che la compongono, all'essere segnato dall'imporsi dell'uomo stesso sull'ambiente, grazie alla scoperta dei primi utensili e del fuoco, causando inevitabilmente una sua modificazione e determinando col passare del tempo un suo graduale e inerziale sfruttamento. Le possibilità di dominare la natura e di alterarla si sono moltiplicate poi quando l'uomo ha acquisito maggiori conoscenze tecniche ed è riuscito a realizzare strumenti sempre più raffinati, tuttavia, non sono stati i mezzi di cui l'uomo ha potuto disporre a farlo diventare, negli ultimi decenni, il principale predatore del pianeta, quanto l'uso irresponsabile ed incontrollato di tali mezzi.

Le condizioni in cui ci troviamo oggi, quindi, sono il risultato degli effetti negativi che le rivoluzioni industriali, la crescita demografica, la crescente presenza di gas serra nell'atmosfera, lo smog hanno indotto sulla natura e sugli ecosistemi di cui è composta,

determinando un accumulo di sostanze nocive nell'ambiente e che potenzialmente e concretamente si stanno dimostrando dannose tanto per l'ambiente quanto per l'uomo.

Quest'ultimo, inoltre, manifesta gli effetti rilevati negli ecosistemi in seguito ad un'esposizione diretta e/o indiretta a sostanze chimiche pericolose, all'interno delle quali destano maggiore preoccupazione i cosiddetti contaminanti "emergenti" e le cosiddette miscele, vale a dire una serie di inquinanti recentemente scoperti, che possono essere nocivi per la salute umana se presenti in determinate concentrazioni. Sono ritrovabili, soprattutto, disciolti nelle acque e sono metalli come il cadmio, il piombo, il mercurio o sostanze chimiche come erbicidi o medicinali. Tra i contaminanti "emergenti" una parte considerevole non è ancora riconosciuta a livello legislativo a causa della mancanza di conoscenze sulla dannosità di tali sostanze e quanto risultino essere potenzialmente pericolose per l'uomo.

L'indagine di una branca della tossicologia, conosciuta come ecotossicologia (o tossicologia ambientale) si inserisce in questo contesto ed è ormai ammessa a livello internazionale come un valido strumento di prevenzione nei confronti degli effetti avversi negli ecosistemi e assume un ruolo fondamentale nel collegamento tra salute ambientale e salute umana, dove per quest'ultima si intende uno "stato dinamico di benessere fisico, mentale, sociale e spirituale"<sup>1</sup>. Questa definizione implica un rapporto co-evolutivo tra uomo ed ambiente, con il primo come parte integrante del secondo tenendo a mente che l'essere umano può degradare gli ecosistemi con impatti riscontrabili su scale spazio-temporali differenti e che un ecosistema efficace a livello strutturale e funzionale dovrebbe essere in grado di supportare contemporaneamente la biodiversità e le attività antropiche.

Con riferimento a quanto scritto fino a qui, si vuole mettere in luce con questo elaborato la rilevanza crescente che l'ecotossicologia e le sue sottodiscipline stanno acquisendo nell'ottica della sostenibilità ambientale, dal momento che la continua evoluzione dello stato degli ecosistemi e le maggiori pressioni alle quali questi ultimi sono sottoposti hanno messo in evidenza la necessità e l'urgenza di ripristinare e sviluppare strumenti valutativi utili alla prevenzione e preservazione della salute dell'ambiente e del genere umano in relazione ai cambiamenti globali ambientali e all'antropizzazione in atto.

---

<sup>1</sup> *Definizione ecosistemica di salute fornita dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)*

# CAPITOLO 1

## L'ECOTOSSICOLOGIA: UNA NUOVA BRANCA TRA LE SCIENZE AMBIENTALI

### **1.1 Origini, sviluppo ed interdisciplinarietà dell'ecotossicologia**

L'ecotossicologia è una disciplina giovane, apparsa negli anni '70 in risposta alla delicata problematica riguardante il crescente inquinamento avvenuto nel secondo dopoguerra, che ha sensibilizzato la comunità scientifica, e non solo, nei confronti dell'impatto di agenti inquinanti sull'ambiente e sull'uomo.

Il termine ecotossicologia fu coniato da un comitato dell'International Council of Scientific Unions nel 1969 e da quel momento in poi sono state molteplici le definizioni attribuite a questa disciplina, che hanno centralizzato di volta in volta l'interesse sulla sua componente ecologica o tossicologica.

Frank Moriarty nel suo libro innovativo "Ecotoxicology: the study of pollutants in ecosystems" (Ecotossicologia: lo studio degli inquinanti negli ecosistemi), pubblicato nel 1983, definisce l'ecotossicologia come "lo studio degli effetti degli inquinanti sugli ecosistemi".

Sebbene nessuno discuta l'importanza di conoscere gli effetti a livello di ecosistema, solo raramente possiamo misurare tali effetti sull'ecosistema nel suo complesso; perciò, l'ecotossicologia è obbligata a occuparsi di livelli di organizzazione inferiori rispetto all'ecosistema.

Valery E. Forbes e T.L. Forbes (1994), dopo aver discusso molte altre definizioni, definirono l'ecotossicologia come "il campo di studio che integra gli effetti ecologici e tossicologici degli inquinanti chimici sulle popolazioni, le comunità e gli ecosistemi e la distribuzione di questi inquinanti nell'ambiente". (Peakall, 1999)

In questa definizione si sottolinea l'importanza della sorte delle sostanze e dei loro effetti sugli ecosistemi, quali componenti fondamentali delle attività ecosistemiche e si inquadrano gli effetti tossicologici, i quali possono avere conseguenze dirette, per esempio a livello fisiologico o indirette come quelle ecologiche.

Nel 1977, inoltre, René Truhaut formulò la definizione originale di questa scienza, valida ancora oggi, che descrive quest'ultima come 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”.*

Un ruolo di spicco nello sviluppo, nella concettualizzazione della disciplina e nella definizione dei suoi obiettivi venne assunto da Jean-Michel Jouany, assistente di Truhaut, secondo il quale, l'ecotossicologia era principalmente legata all'ecologia poiché doveva mirare a identificare l'influenza dei fattori di stress sui rapporti tra gli organismi e il loro ambiente.

A Jean-Michel Jouany va, quindi, riconosciuto il merito di aver saputo diffondere a livello internazionale questa disciplina, soprattutto negli anni '80-'90 del '900, dopo la sua promozione come professore all'università di Nancy, ruolo che, insieme al contributo fornito da istituti come CEMAGREF (IRSTEA), INRA, INERIS, IFREMER, nonché da altre università francesi (Rouen, Bordeaux, Le Havre, Lione, Lille, Caen...), gli hanno permesso di far prosperare e sviluppare tale dottrina scientifica, tanto più di sviluppare l'insegnamento e la ricerca nell'ambito dell'ecotossicologia.

La prima vera spiegazione di Ecotossicologia, tuttavia, proviene da “Principles of Toxicology” nel 1978 e riporta la seguente dicitura: “l'ecotossicologia riguarda gli effetti tossici degli agenti chimici e fisici sugli organismi viventi, in particolare su popolazioni e comunità all'interno di definiti ecosistemi; essa comprende anche lo studio delle modalità di diffusione di questi agenti e le loro interazioni con l'ambiente” (Butler, 1978)

A seguito delle numerose definizioni che si sono susseguite nel tempo, attualmente, l'ecotossicologia può essere considerata come la scienza che sfrutta metodi e concetti propri della tossicologia, applicando i principi dell'ecologia e della chimica ambientale allo studio degli effetti delle sostanze tossiche sugli ecosistemi (APAT, 2006).

Questo approccio interdisciplinare prevede che le diverse scienze vadano ad integrarsi secondo un *modus operandi*, il quale regola l'utilizzo delle branche in modo da sfruttare:

- la chimica ambientale per studiare il movimento, il trasporto e le trasformazioni delle sostanze chimiche nell'ambiente, con approcci che non si limitano a prendere in considerazione separatamente le diverse componenti (come l'aria, l'acqua, gli organismi, i suoli ed i sedimenti), ma che cercano di avere una visione di sistema, tendenzialmente previsionale.
- La tossicologia ambientale per possedere strumenti atti alla valutazione del danno, non solo a livello dei singoli organismi e delle specie, ma anche su sistemi biologici complessi (come, ad esempio, le popolazioni e le comunità).

- L'ecologia per evidenziare quali sono i processi chiave che caratterizzano i diversi sistemi e le relazioni che intercorrono tra gli organismi e l'ambiente, compresa la parte non vivente, che li ospita.

Senza la conoscenza di queste materie risulta complicato comprendere a pieno l'ecotossicologia, la quale si presenta come una disciplina in grado di fornire un quadro teorico e gli strumenti necessari ad analizzare e prevenire possibili scenari di esposizione e contaminazione da parte di sostanze tossiche, tenendo conto del fatto che si è esposti costantemente non solo a singoli fattori di rischio derivanti da singoli inquinanti, bensì a miscele complesse di contaminanti che, a seconda del livello e della durata del fattore inquinante, sono in grado di alterare struttura e funzionamento di interi ecosistemi.

## 1.2 Campo di ricerca dell'ecotossicologia e suoi obiettivi

L'ecotossicologia si è occupata simmetricamente, sin dal principio, di due aspetti fondamentali, quali la comprensione dei meccanismi di azione e degli impatti (diretti o indiretti, immediati o ritardati) di sostanze tossiche o miscele di sostanze tossiche su individui e popolazioni, l'inquinamento di uno o più ambienti e sui loro effetti su più più scale, dalla quella individuale a quella della biosfera, con maggiore attenzione agli effetti generali, piuttosto che a quelli specifici.

Gli studiosi hanno prima esaminato la presenza, l'estensione e gli impatti degli inquinanti già noti e sottoposti a regolazione normativa, per poi focalizzare l'attenzione sugli inquinanti, definiti emergenti, come la radioattività, i transgeni, i prioni, gli interferenti endocrini, i nanomateriali a cui vanno aggiunti prodotti di trasformazione, metaboliti e materiali derivanti da processi di degradazione. In particolare, sono state registrate circa 100.000<sup>2</sup> sostanze chimiche, la maggior parte delle quali utilizzate senza una normativa che ne regoli l'impiego, determinando così una conseguente e scarsa conoscenza degli effetti avversi che queste possono determinare a livello ambientale e a livello umano.

Prendendo in considerazione un'ottica più ampia, le fonti di inquinamento studiate in maniera accurata sono l'industria, la produzione di energia, i trasporti, nonché i rifiuti e i farmaci, la loro gestione e il loro smaltimento, così come l'agricoltura moderna. Questa si è resa sempre più protagonista di un utilizzo sconsiderato ed eccessivamente impattante di fertilizzanti, pesticidi ed erbicidi dando il via ad una catena di eventi il cui risultato si è esplicitato attraverso una incapacità dei terreni di generare produzioni e raccolti soddisfacenti e remunerativi a causa di una scarsa fertilità degli stessi.

L'indagine ecotossicologica opera su vari livelli mettendo in atto analisi e ricerche in tutti gli ambienti, da quello terrestre a quello acquatico ed aereo avendo come linea guida quella rappresentata dal rischio ambientale principalmente connesso alla produzione, alla gestione e alla distribuzione di beni, servizi o prodotti di lavorazioni industriali che, a seguito di un possibile evento accidentale, possono avere ripercussioni considerevoli sulla popolazione, sugli animali e sul territorio minacciando così l'equilibrio e la salute dell'ambiente in toto.

Le emergenze ambientali sono legate, pertanto, principalmente all'attività antropica e possono formarsi in contesti dai quali non si esclude la presenza di numerosi rischi. A livello generale, si fa riferimento ad un'emergenza ambientale quando un evento mette a repentaglio le componenti ambientali – aria, acqua e suolo – e porta all'avvalersi di provvedimenti

---

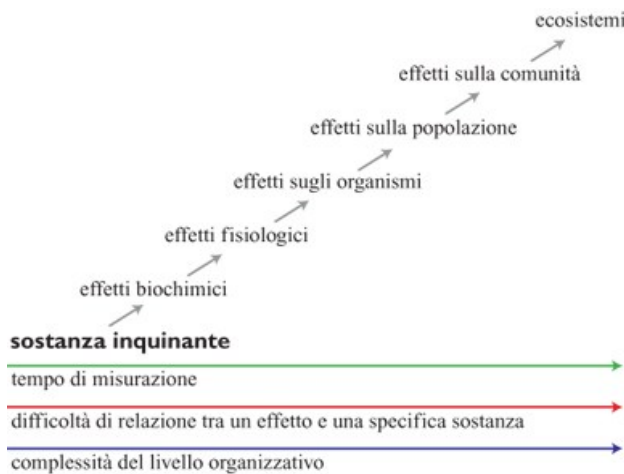
<sup>2</sup> Dato fornito dal Regolamento (CE) 1907/2006 noto come REACH: Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals

straordinari e urgenti atti a controllare le eventuali conseguenze, ridurre al minimo i danni e sostenere il ripristino delle normali condizioni dell'ambiente.

Nello specifico la valutazione del rischio ambientale in ecotossicologia si esplica attraverso quattro fasi principali:

- I. Stima dei pericoli: basata sulla comprensione delle proprietà connaturate delle sostanze chimiche
- II. Stima dell'esposizione: mira a stimare i livelli di contaminazione di una sostanza chimica (PEC)
- III. Stima degli effetti: consiste nel definire la relazione concentrazione-effetti (PNEC);
- IV. Quoziente di rischio definito in base all'esposizione e ai potenziali effetti ed espresso dal rapporto  $RQ = PEC / PNEC$

Una volta stimato il rischio ambientale è anche possibile comprendere quali siano le relazioni tra la sostanza chimica e i vari livelli di organizzazione dell'ambiente. In particolare, si evince che gli effetti su piccola scala, vanno poi ad essere riscontrati su larga scala.



Peakall fig.1

**Figura 1: Relazione tra sostanze chimiche e livelli di organizzazione di un ambiente (Peakall, 1999)**

In virtù di questo si può, quindi, affermare che l'ecotossicologia ha il compito di quantificare e validare in termini scientifici il rischio ambientale.

In aggiunta alla stima del rischio ambientale l'impostazione attuale prevede che la ricerca ecotossicologica si prefigga obiettivi precisi quali la conoscenza e la prevenzione, tanto più la capacità di predire i possibili effetti dell'inquinamento sugli ambienti naturali, la loro intensità e durata, e i rischi collegati. Inoltre, occorre precisare che tutto va relazionato a sistemi ambientali caratterizzati da livelli organizzativi complessi, con la conseguenza che aumenta la difficoltà di associare un effetto ad una determinata sostanza chimica parallelamente all'allungamento delle tempistiche correlate alle osservazioni, agli studi e alle misurazioni.

Da un punto di vista più limitativo ed impreciso, malgrado in maggior misura pratico, l'ecotossicologia è stata delineata come l'esecuzione in laboratorio di test di tossicità su uno o più componenti di un ecosistema, puntando all'obiettivo di preservarlo nella sua totalità. In definitiva, essa può fornire contributi importanti nel ridurre la frequenza e l'intensità dei danni ambientali sotto molteplici punti di vista. Determinando le soglie ecologiche critiche, infatti, favorisce lo sviluppo di sistemi di monitoraggio ecologico, per verificare che le condizioni stabilite per il controllo di qualità siano state raggiunte. Inoltre, fornisce indicazioni utili per stabilire protocolli atti alla protezione e l'accumulo del capitale naturale e per stilare linee-guida atte all'implementazione del principio di precauzione, e per evitare gli sprechi e contribuire alla salute dell'ecosistema. Non da ultimo, aiuta la formulazione di adeguate risposte ai cambiamenti ambientali con pronte misure di rimedio ecologico (restoration e remediation), qualora l'evidenza indichi che sia stata superata un'importante soglia. (APAT, 2006)

## CAPITOLO 2

# L'ECOTOSSICOLOGIA IN PRATICA

### 2.1 I saggi ecotossicologici

Nella totalità del globo ogni giorno, e costantemente, vengono liberate nell'ambiente quantità in continuo aumento di sostanze inquinanti derivanti da attività umane quali agricoltura, produzione di energia, crescita industriale, attività di trasporto e ricreative, l'incidenza delle quali aumenta se si va a considerare come fattore catalizzante la continua crescita demografica mondiale. Dal punto di vista degli effetti causati da tali attività, la componente ambientale che più ne risente è quella delle acque marine, le cui massime fonti di contaminazione sono rappresentate da scarichi urbani e industriali, dispersione di pesticidi e fitofarmaci utilizzati in ambito agricolo, scarti delle attività minerarie e rifiuti radioattivi.

L'ecotossicologia quale scienza sperimentale sfrutta saggi, o test, come strumento di analisi allo scopo non unicamente di verificare la non rischiosità di un campione ambientale legata alle sostanze presenti in esso, bensì di tentare di trovare, attraverso i suddetti saggi, informazioni utili a prevedere taluni processi naturali e le sostanze pericolose ad essi annesse. L'analisi parte, innanzitutto, dalla scelta delle sostanze da esaminare ed essa si fonda su considerazioni relative alla produzione, all'utilizzo, all'eventuale dispersione nell'ambiente, alla possibilità di accumulo nei sistemi biologici (bioconcentrazione, bioaccumulo, biomagnificazione), alla resistenza alla degradazione e al potenziale tossico. In secondo luogo, è importante esaminare non solo le sostanze che sono caratterizzate come tossiche per definizione, ma anche tutte quelle che possono produrre squilibri trofici (come i nutrienti e la materia organica) e, quindi, alterare la composizione degli ecosistemi in modo più o meno permanente. (APAT, 2006)

Relativamente all'ambiente acquatico quelli di bioconcentrazione, bioaccumulo e biomagnificazione, a livello generico, rappresentano processi di arricchimento di sostanze estranee e di un accrescimento delle loro concentrazioni, misurabile attraverso il paragone tra l'ambiente (ad esempio l'acqua di mare) ed i bersagli finali (ad esempio gli organismi che ci vivono). In particolare, bioconcentrazione e bioaccumulo possono essere considerati come sinonimi, tuttavia, i modi di assorbimento di alcune sostanze sono ciò che li differenzia:

- Bioconcentrazione: ha luogo per contatto diretto con le sostanze, per mezzo degli organi di respirazione (ad esempio le branchie) o delle superfici del corpo;
- Bioaccumulo: in questo caso l'assorbimento delle sostanze si attua attraverso la dieta

Per biomagnificazione: ci si riferisce, invece, all'arricchimento di sostanze attraverso la catena alimentare, passando dai livelli più bassi a quelli più alti, per cui la concentrazione nell'organismo che preda si rivela più alta rispettivamente a quella delle prede.

La dinamica su cui porre l'accento in questo contesto è l'accumulo di xenobiotici, vale a dire sostanze estranee al metabolismo di un organismo, provenienti da attività antropiche, prime fra tutte quelle industriali, che possono indurre gravi alterazioni agli organismi, all'ecosistema e all'uomo stesso.

I test ecotossicologici, in particolare, consentono di indicare una corrispondenza causa-effetto, ma generalmente la validità dei risultati acquisiti viene rispettata solo per le condizioni sperimentali impiegate e non permettono che gli esiti possano comprendere ulteriori specie o possano essere riferiti a ordini naturali complessi, giacché non possono prendere in considerazione le molteplici interazioni fra biota ed ambiente. Precisato ciò, è comunque di fondamentale importanza andare a comprendere la relazione causa-effetto tra l'agente contaminante e l'organismo contaminato ed andare a considerare il fatto che un effetto non deve essere necessariamente dannoso, dal momento che per diventare tale devono verificarsi determinati cambiamenti nelle funzioni vitali dell'organismo esposto, come la rilevazione di problematiche funzionali o anatomiche, variazioni incontrastabili dell'omeostasi, una suscettibilità elevata ad altri tipi di sostanze o relativamente a stress biologici. Contestualmente a questo, è basilare capire come un effetto possa avere luogo in seguito ad una causa scatenante, quale potrebbe essere l'esposizione ad un agente tossico e i parametri comunemente utilizzati per comprendere tale aspetto sono:

- LD50 (dose letale mediana): esprime la dose di una sostanza chimica che provoca la morte del 50% degli individui di una popolazione campione dopo una somministrazione diretta;
- LC50 (concentrazione letale mediana): esprime la concentrazione di una sostanza che determina la morte del 50% degli individui utilizzati per intervalli di tempo specifici. Si tiene, quindi, conto della componente temporale;
- EC50 (concentrazione efficace mediana): esprime la concentrazione di una sostanza che crea nel 50% degli individui un effetto voluto e diverso dalla morte in seguito ad un trattamento la cui durata viene precedentemente stabilita;

- LT50 (tempo letale mediano): indica la quantità di tempo utile a comportare la morte del 50% degli individui componenti la popolazione campione;
- NOEL: indica il livello di esposizione più alto in seguito del quale non si verificano effetti tossici;
- LOEL: indica il livello di esposizione più basso in seguito del quale non si verificano effetti tossici;

I saggi di tossicità con animali acquatici vengono eseguiti per stimare se un determinato composto, un cocktail di composti o un campione d'acqua di scarico siano tossici e, nella circostanza in cui lo siano, per andare a quantificare il livello di tossicità o i valori di diluizione conciliabili con la vita in acqua. Nel passato sono stati condotti saggi con organismi di una sola specie allo scopo di aumentare il grado di protettività del dato ottenuto; oggi si tende a sviluppare saggi "multispecie", condotti con organismi di livelli trofici diversi (batteri, alghe, crostacei, pesci) (APAT, 2006). Questo aspetto è di fondamentale rilievo, in quanto uno studio effettuato sfruttando organismi di livelli trofici differenti permette di avere come risultato un quadro più completo e affidabile del contesto fonte di indagine e l'utilizzo di saggi ecotossicologici forniscono una stima complessiva, sia sul piano chimico, che su quello biologico, degli effetti nocivi sugli organismi viventi ad opera di singoli o miscele di inquinanti.

In virtù di ciò l'importanza dei saggi ecotossicologici è stata messa in luce da tempo e si ricorre al loro uso in svariati settori: dall'analisi dei prodotti di natura farmaceutica alle sostanze che verranno poi sfruttate nella cosmesi, dalle acque reflue ai percolati di discarica, dalle acque di superficie a quelle potabili, dai rifiuti tossico-dannosi alla bonifica di aree contaminate. Traendo le conclusioni, quindi, coloro che si occupano di ecotossicologia misurano l'ecotossicità di campioni ambientali attraverso batterie di test che sfruttano un insieme di organismi bersaglio, prevedono il potenziale impatto del campione ambientale sull'ecosistema, analizzano ed eliminano le presumibili cause di tossicità.



### *2.1.1 Saggi ecotossicologici acuti e cronici*

La distinzione dei saggi ecotossicologici in acuti e cronici si basa sulla definizione di cosa effettivamente sia la tossicità. Con questo termine si fa riferimento alla capacità di uno xenobiotico, ossia di una sostanza estranea al normale metabolismo di un organismo, di produrre un danno a carico di quest'ultimo andando, quindi, ad alterarne più o meno gravemente le condizioni di equilibrio delle normali funzioni vitali. In seguito all'entrata in contatto con l'agente tossico, inizialmente l'organismo colpito non risente dell'azione di quest'ultimo, o comunque ne sente gli effetti in maniera ridotta in virtù di una resistenza alla tossicità dello xenobiotico dovuta a mezzi di difesa propri. Tali mezzi riescono a contrastare l'azione del contaminante, però, entro una determinata soglia limite, oltre la quale iniziano a manifestarsi effetti negativi, vale a dire dannosi, in seguito ad un'incapacità degli stessi meccanismi di riuscire a impedire il comportamento tossico dell'elemento.

In particolare, un effetto avverso è rappresentato da qualsivoglia modificazione anomala in un organismo esposto ad una sostanza potenzialmente tossica. In situazioni estreme può verificarsi la morte dell'organismo, mentre nel caso di ripercussioni di minore impatto si osservano condizioni di stress che possono determinare dei cambiamenti riguardanti, per esempio, l'alimentazione, in termini di quantità di cibo consumato, o l'attività enzimatica, in relazioni a valori enzimatici alterati. Tuttavia, una variazione sintomatica dello stato abituale non è indice inevitabilmente di un effetto dannoso: per diventare tale, esso deve trasformare una proprietà vitale ed essere relazionato allo stato globale di salute dell'organismo esposto. Possono essere considerati effetti nocivi, quindi, l'individuazione di danni funzionali o anatomici, cambiamenti permanenti dell'omeostasi o una suscettibilità maggiore ad ulteriori sostanze o allo stress biologico, comprese malattie infettive.

L'attività nociva di una determinata sostanza, nello specifico, dipende da diversi fattori, i quali sono:

- Tossicità propria del contaminante, ossia le sue caratteristiche chimico-fisiche
- Modalità di esposizione, vale a dire durata e frequenza
- Condizioni ambientali nelle quali si verifica l'esposizione
- Concentrazione del contaminante con la quale entra in contatto l'organismo
- Caratteristiche degli organismi indicatori

In seguito a questi fattori l'azione tossica della sostanza si manifesta con degli effetti sull'organismo (danni biologici o funzioni compromesse) la cui quantificazione, espressa in percentuale di incidenza, è rappresentata dalla risposta proveniente dall'organismo colpito.

Suddetti effetti, inoltre, sono il frutto anche delle interazioni fra i vari composti, i quali possono originare eventi sinergici (l'effetto nocivo viene amplificato dalle suddette interazioni) oppure di antagonismo (diminuzione dello stesso). In relazione a ciò, una riduzione o una modificazione dei composti all'interno delle diverse componenti naturali, sono fenomeni verificabili avendo come conseguenza un'intensificazione o un abbassamento del potenziale tossico della sostanza di partenza.

L'esposizione in questo contesto assume funzione di valore discriminante tra saggi ecotossicologici acuti e cronici e in ecotossicologia appare giustificato definire come acuto un effetto che si realizza per un'esposizione inferiore a un decimo del ciclo vitale dell'organismo test, e comunque breve anche in termini assoluti (minuti, ore), mentre cronico un effetto che si rileva per un'esposizione più lunga (giorni, anni) e in ogni caso superiore alla metà della vita dell'organismo. (APAT, 2006)

Quanto sopra scritto prende in considerazione il fatto che la tossicologia ambientale usufruisce per i test di numerosi organismi dalle diverse caratteristiche, soprattutto in termini di cicli vitali, i quali sono strettamente legati al fattore esposizione, che può essere statica (il mezzo che contiene la sostanza viene preparato all'inizio dell'esperimento e rimane lo stesso sino alla fine), semi-statica (il mezzo viene ciclicamente rinnovato) o continua (il mezzo viene rinnovato continuamente).

L'aspetto più complesso è rappresentato dalla scelta della (o delle) specie, che può essere eseguita prendendo in considerazione principi diversi, a seconda dello scopo:

- specie indigene dell'ambiente da preservare, in funzione della consistenza ecologica (specie chiave nella catena alimentare), della rilevanza economica o della semplicità di reperimento e di gestione (disponibile e/o allevabile);
- specie particolari, in funzione della sensibilità ai composti tossici, delle disponibilità del laboratorio, della uniformazione dei metodi

Numerosi studi in materia mostrano l'uso di molti organismi eterogenei e sottolinea come, per le diverse sostanze, ognuno sia dotato di una differente sensibilità. Si prende atto da ciò che, in quanto nessun organismo riesce singolarmente a soddisfare l'esigenza di comprendere l'intero range di risposte agli stressori e di rispondere a varie scale di concentrazioni di xenobiotici, è doveroso servirsi di una batteria multispecie la quale sia in grado di assicurare una complementarità tra gli ambiti di sensibilità. Si delinea come opportuno, inoltre, il fatto che i componenti della batteria, i quali andranno ad essere utilizzati come campioni per le diverse analisi, vengono normalmente selezionati sulla base delle loro peculiarità ed in base ai loro legami con la catena alimentare.

## 2.2 I bioindicatori

Un indicatore biologico, o bioindicatore, è un organismo o un sistema biologico generalmente sfruttato per stimare un'alterazione della qualità ambientale. Per chiarire, un bioindicatore assume il ruolo di bersaglio biologico il quale, a causa di uno stress di origine naturale o antropica, subisce cambiamenti percepibili del naturale stato individuale. Un dato organismo, nella fattispecie, può assumere il ruolo di buon bioindicatore allorché manifesti reazioni identificabili in risposta ad un'esposizione a diverse concentrazioni di determinati inquinanti.

Sul piano ecotossicologico, un indicatore rappresenta una metodologia di studio, analisi e valutazione degli stress ambientali per mezzo degli effetti dannosi che essi determinano su specifici organismi bersaglio.

Come già detto una condizione di stress a cui può essere sottoposto un'organismo, porta quest'ultimo a subire delle modificazioni o alterazioni ed esse possono verificarsi a diversi livelli di organizzazione biologica, nel contesto della quale vengono presi in considerazione sintomi, o endpoints, specifici e diversi, nonché utili ad un'analisi qualitativa del fenomeno.

Nel momento in cui gli eventi inquinanti determinano variazioni stimabili in scala ecosistemica o di comunità, più organismi unitamente possono essere impiegati quali bioindicatori. La tossicità di matrici complesse, quali quelle ambientali, viene valutata, con una pratica ormai stabilmente consolidata, mediante un complesso di bioindicatori, avendo come obiettivo quello di analizzare il più ampio ventaglio di effetti su organismi le cui risposte agli svariati composti presenti nelle matrici, possono risultare differenti.

A livello generale e pratico, contestualmente a quanto scritto finora, un bioindicatore da considerarsi valido dovrebbe essere dotato delle caratteristiche che seguono:

- Sensibilità agli inquinanti;
- Vasta distribuzione nell'area d'osservazione;
- Scarsa mobilità;
- Lungo ciclo vitale;
- Omogeneità genetica.

In termini riassuntivi ed esplicativi, la scelta del bioindicatore da impiegare per i differenti saggi di tossicità si trova in un rapporto di dipendenza con il fine che si intende raggiungere e con le peculiarità proprie che permettono di contraddistinguere gli organismi tra di loro: ogni bioindicatore mostra, difatti, una tipica caratteristica, la quale può risultare vantaggiosa ai fini della messa in opera del test ecotossicologico e della sua affidabilità.

Una precisazione va fatta nel contesto dei bioindicatori in relazione alle diverse componenti ambientali, quali suolo, acqua e aria. Per ognuna di esse, infatti, sono stati presi in considerazione organismi modello rappresentativi, ciascuno dei quali attraverso analisi e saggi, si è dimostrato efficace nella valutazione di quelle che erano le condizioni ottimali di qualità della loro matrice di interesse.

Studi hanno dimostrato, per esempio, che i licheni epifiti (che crescono cioè sulla corteccia degli alberi) sono bioindicatori ottimali per lo studio della qualità dell'aria, dal momento che essi assorbono gli agenti inquinanti presenti nell'atmosfera senza riuscire ad espellerli. Nello specifico le alterazioni da inquinanti sono attribuibili a ossidi di azoto o anidride solforosa, risultanti dai fenomeni di combustione. Per tale ragione si dimostrano un'ottima risorsa nel biomonitoraggio dell'aria.

A livello del suolo, rivestono un ruolo di primo piano come bioindicatori i microorganismi (batteri, funghi, alghe) che rappresentano la componente biologica predominante dei suoli, ma anche organismi micro (nematodi) e macroinvertebrati (lumbricidi, termiti), nonché le piante.

In ambito acquatico, invece, i bioindicatori più importanti sono rappresentati sia da batteri, che da alghe (ad esempio l'alga unicellulare *Pseudokirchneriella subcapitata*), o ancora pesci e crostacei, come per esempio, *Daphnia Magna*.

Oltre a quanto scritto finora, è necessario aggiungere che l'organismo assunto come bioindicatore deve avere:

- caratteristiche biologiche, genetiche ed ecologiche note;
- un ruolo ecologico rappresentativo nel contesto ecosistemico oggetto di studio;
- una facile reperibilità (si predilige una limitata mobilità);
- incapacità nel regolare la concentrazione tissutale dello xenobiotico.

L'ultima caratteristica, in particolare, è la più rilevante, dal momento che se nell'ecosistema la concentrazione dell'inquinante aumenta, essa deve aumentare anche nei tessuti dell'organismo, per poter essere questo sfruttato come campione rappresentativo di quell'ambiente. I bioindicatori, quindi, sono organismi non-regolatori, diversamente dagli organismi regolatori che mantengono costante la concentrazione degli inquinanti nei tessuti, malgrado questa cambi all'interno dell'ambiente in cui essi vivono.

Gli organismi utilizzati come biondicatori, inoltre, permettono di assicurarsi un'informazione integrata dell'ambiente, che fornisce, quindi, dati riguardanti un arco di tempo più o meno ampio, al contrario le analisi di una matrice, come l'acqua, consentono di avere informazioni puntiformi, ossia limitate al momento del prelievo del campione. Questo aspetto avvalorava l'impiego di organismi biondicatori, in quanto le informazioni da essi ricavabili risultano essere effettivamente più complete riguardo ad un'analisi a campione di una matrice ambientale.



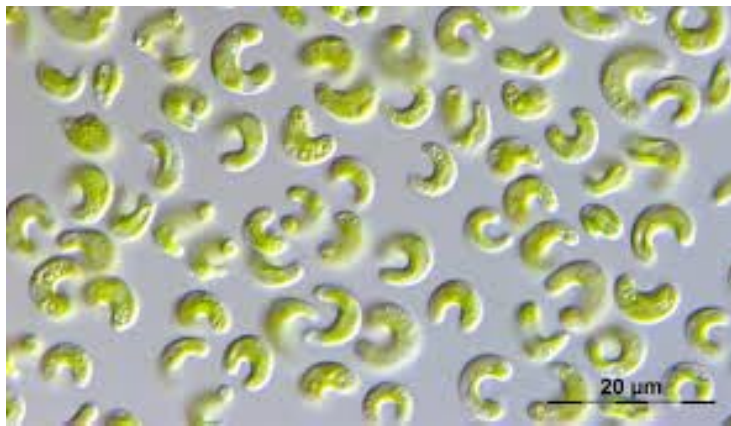
*Figura 2 Nematode: microvertebrato acquatico e terrestre*



*Figura 3 Lichene epifita*



*Figura 4 Daphnia Magna:*  
*crostaceo d'acqua dolce*



*Figura 5 Pseudokirchneriella subcapitata:* Alga  
unicellulare

### 2.3 Gli endpoint

I parametri e i fattori da considerare nell'esecuzione di un saggio di tossicità sono molteplici e tra di essi rivestono un ruolo di primario interesse gli endpoints.

Un endpoint, letteralmente "punto di fine", indica un elemento distintivo di un costituente ecologico il quale può risentire l'effetto dell'esposizione ad uno stressore. Nel momento in cui l'endpoint viene raggiunto il test si può definire concluso. Inoltre, l'endpoint può rappresentare un criterio di giudizio misurabile (risponde allo xenobiotico e descrive aspetti necessari alla salvaguardia delle proprietà dell'ecosistema) oppure stimabile (descrive le caratteristiche dell'ecosistema da preservare). Un esempio di endpoint stimato potrebbe essere lo studio del regresso di una popolazione di pesci, potendo ipotizzare che tale fenomeno si sia verificato in concomitanza con la presenza di una sostanza tossica. La validazione dell'ipotesi può arrivare in seguito ad una serie di studi di laboratorio incentrati, per esempio, sulla mortalità di specie sostitutive a quelle della popolazione presa in esame, che rappresenterebbero l'endpoint misurato. Tali specie vengono messe a contatto con campioni della stessa acqua in cui vive quella selvatica e si osservano i risultati. Se le risposte delle specie surrogate sono le stesse di quelle della specie in esame, l'ipotesi del declino causato da sostanza tossica è validata.

In genere gli endpoints che vengono presi maggiormente in considerazione sono:

- mortalità;
- immobilizzazione;
- effetti sulla riproduzione;
- effetti sul DNA;
- effetti sulla crescita e sullo sviluppo degli individui;
- effetti sulla crescita di una popolazione;
- alterazione di parametri metabolici e/o fisiologici;
- alterazione di particolari caratteristiche comportamentali.

## 2.4 I possibili effetti causati dagli inquinanti

Le proprietà tossiche di una sostanza possono essere condizionate da molteplici fattori ed in relazione ad essi è necessario considerare anche la metabolizzazione da parte dell'organismo e dell'influenza reciproca con ulteriori composti.

La diversa tipologia di esposizione caratterizza gli effetti della sostanza:

- singola (unica esposizione alla sostanza potenzialmente tossica)
- ripetuta (più esposizioni in tempi consecutivi)
- cronica (esposizione regolare).

Gli effetti stessi, inoltre, possono mostrarsi nell'immediato o in modo ritardato e possono essere reversibili (nel caso in cui non siano più individuabili a fine esposizione) o irreversibili (se il danno causato rimane permanente dopo l'esposizione). Un fattore che influenza l'entità dell'effetto è rappresentato dai meccanismi di adattamento che l'organismo colpito può essere in grado di sviluppare. Questi, infatti, determinano differenti effetti tra la prima esposizione e quelle seguenti, in quanto per ottenere l'effetto iniziale, più marcato, è necessaria un'esposizione che duri più a lungo. Un altro caso che potrebbe avere luogo è quello in cui, invece, l'effetto iniziale, mostrato dall'organismo in seguito all'esposizione, non sia rilevante, mentre possano rivelarsi più profondi gli effetti successivi, anche a tempi di esposizione minori.

In aggiunta a questo non bisogna dimenticare che nell'ambiente in cui si trova, il singolo organismo non è esposto all'azione di una singola sostanza, bensì a numerose altre sostanze, anche se non tutte nocive, e da questo aspetto ne consegue che l'effetto totale si esplicita in seguito alle interazioni tra di esse. Ovviamente interazioni tra più sostanze, determinano maggiori complessità in fase d'interpretazione dei risultati, giacché si possono verificare fenomeni, quali:

- effetto addizionale, quando l'effetto combinato di più composti è pari alla somma dell'effetto di ciascun singolo agente;
- sinergismo, quando l'effetto combinato dei composti è maggiore della somma degli effetti dei singoli agenti;
- potenziamento, quando una sostanza di per sé non tossica, somministrata unitamente ad un composto tossico, ne aumenta la tossicità;
- antagonismo, quando i composti interferiscono l'uno con l'altro. Si distinguono:
  - a) antagonismo funzionale, quando due agenti si controbilanciano producendo effetti opposti sulla stessa funzione biologica;



- b) antagonismo chimico, quando i composti interagiscono chimicamente e l'effetto risultante è minore o addirittura nullo;
- c) antagonismo nella biodisponibilità, quando vengono alterate fasi di assorbimento, metabolismo, distribuzione e/o escrezione;
- d) antagonismo recettoriale, quando le sostanze competono per lo stesso recettore e l'effetto risultante può essere la diminuzione dell'azione di entrambe le sostanze tossiche oppure di una sola di esse.

Inoltre, lo sviluppo di un effetto tossico passa attraverso tre fasi: chimica, o di esposizione; tossicocinetica, o di trasformazione tossicodinamica. (APAT, 2006)

Focalizzando l'attenzione sull'ultima fase, in particolare, in essa le sostanze tossiche (quelle di partenza o i loro prodotti metabolici) interagiscono in siti specifici dando avvio ai processi che definiscono gli effetti tossici veri e propri.

Il bersaglio dell'azione tossica della sostanza, infine, può variare ed essere:

- un organo: può verificarsi un'alterazione della sua funzionalità, potendo terminare con la morte.
- il DNA: si possono sviluppare tumori o anomalie e malformazioni nel corso dello sviluppo embrionale;
- il sistema immunitario: può esserci un abbassamento delle difese, rendendo l'organismo più suscettibile agli agenti che lo circondano.

Concludendo, poiché l'esplicitarsi di un effetto a molti fattori diversi, come ad esempio il danno procurato dalla sostanza inquinante, prevedere con certezza l'effetto ultimo risulta essere un'operazione problematica.

## CAPITOLO 3

### EVENTI STORICI LEGATI ALLO SVILUPPO DELL'ECOTOSSICOLOGIA

#### 3.1 Disastro ambientale di Minamata

Il caso di inquinamento ambientale, o per meglio dire, di disastro ambientale che ha interessato il Giappone è senza dubbio quello legato alla “Sindrome di Minamata”, conosciuta anche come “Malattia di Minamata” o “Malattia di Chisso-Minamata”, ossia una malattia neurologica causata da intossicazione acuta da metilmercurio e che prende il nome dall'omonima città nella quale si diffuse negli anni '50. Suddetta malattia neurologica determina nelle persone colpite, sintomi quali atassia (disturbo che consiste nella graduale privazione della coordinazione muscolare, che ha come conseguenza la quasi totale incapacità di eseguire movimenti volontari), parestesie (alterazione della sensibilità degli arti o di altre



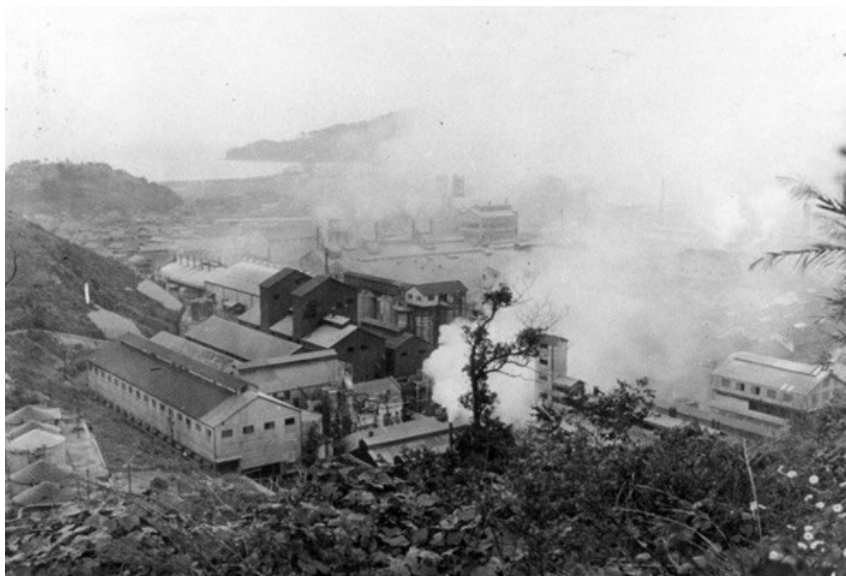
*Figura 6 Mappa della baia di Minamata, con relativa posizione della Chisso Corporation*

parti del corpo) alle mani e ai piedi, indebolimento del campo visivo, danni all'udito e problematicità nell'articolare le parole. Nei casi più gravi, la malattia porta confusione mentale, paralisi, coma e morte. Inoltre, può essere trasmessa al feto durante la gravidanza.

La città di Minamata sorge sull'isola più a sud del Giappone nella Prefettura di Kumamoto e si affaccia sul mar Shinui. La sua storia ha inizio negli anni '30 come cittadina di pescatori, dal momento che le risorse ittiche rappresentavano la fonte primaria di sostentamento degli abitanti del luogo.

In questo contesto favorevole, vista l'elevata quantità d'acqua a disposizione, la Chisso Corporation, componente fondamentale dell'economia locale dal 1908, iniziò a produrre fertilizzanti chimici divenendo la più grande azienda chimica giapponese. Lo sviluppo dell'azienda e quello della città di Minamata andarono di pari passo, tanto la città conobbe un notevole incremento della popolazione. A partire dagli anni '30 l'azienda cominciò a produrre materiali plastici servendosi di composti chimici quali, per esempio, acetaldeide<sup>3</sup> e metilmercurio<sup>4</sup>, una sostanza assai tossica.

Il fattore catalizzante l'insorgere e il rapido sviluppo della malattia fu lo scarico nelle acque dei reflui delle lavorazioni industriali della Chisso, contenenti metilmercurio, che durò dal 1932 al 1968. Si verificò, quindi, un grande bioaccumulo di tale sostanza nei pesci, nei molluschi e nei crostacei che formavano la fauna ittica del luogo e che rappresentavano la principale fonte di cibo degli abitanti, finendo così nella loro catena alimentare determinando l'avvelenamento da mercurio. Per decenni questo fenomeno rimase incontrastato, finché non



***Figura 7 La fabbrica della Chisso nel 1960***

---

<sup>3</sup> Il nome IUPAC è etanale ed è un composto chimico dalla formula  $\text{CH}_3\text{CHO}$  liquido incolore volatile e infiammabile dall'odore pungente e irritante, nonché molto tossica

<sup>4</sup> È un catione  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , molto tossico e si accumula con facilità nell'ambiente

arrivò un lungo periodo di riforme, dagli anni '50 agli anni '70, per la tutela dell'ambiente e della salute umana, ma anche normative atte a riconoscere l'imprescindibile responsabilità della Chisso Corporation nel ruolo di fautrice di un disastro ambientale su larga scala, nonché di essere la causa della morte di migliaia di persone.



***Figura 8 Il bagno di Tomoko, scatto emblema del disastro ambientale di Minamata***

La rilevanza storica e, soprattutto sociale, di tale disastro ambientale, venne anche confermata da un fotografo documentarista statunitense, William Eugene Smith, che nel 1971 realizzò uno dei suoi reportage più di successo, nonché iconico, denominato, “Minamata”, in cui fotografò i tragici effetti dell'inquinamento e dell'intossicazione da mercurio, mettendo in luce le problematiche legate a questo avvenimento.

Smith si fermò lì fino al 1973, scattando migliaia di foto ai malati e ai bambini nati da madri intossicate, la più emblematica e famosa delle quali, “Il bagno di Tomoko”, ragazzo nato nel 1956 affetto da cecità, sordità e paralisi, nelle braccia materne nella vasca da bagno tradizionale, portò, come già sottolineato precedentemente, prepotentemente all'attenzione mondiale la tragedia di Minamata. La risonanza di tali scatti fu talmente grande che Smith pagò a caro prezzo il suo obiettivo di far comprendere quale fosse la realtà dei fatti. Venne,

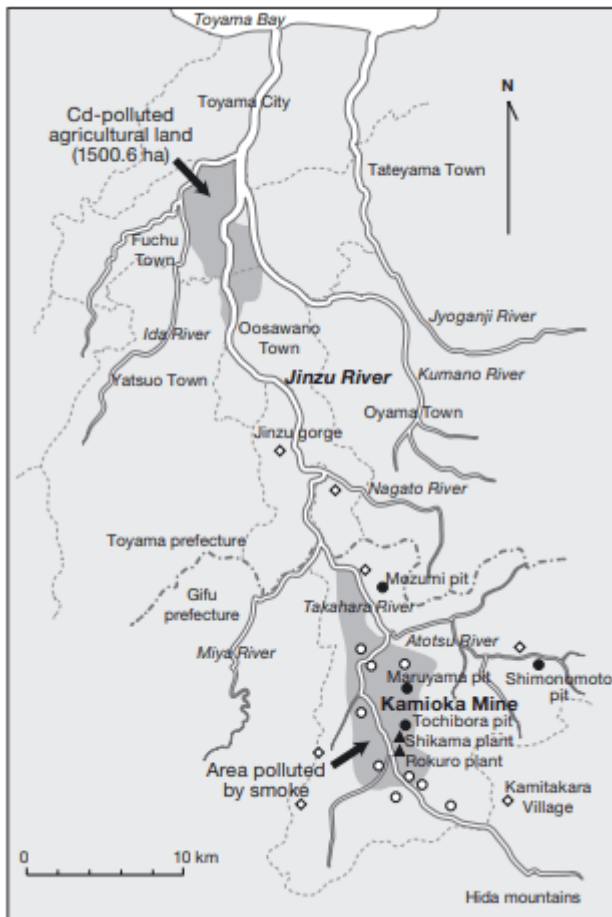
infatti, aggredito in un agguato da parte di un centinaio di membri della yakuza locale, salvandosi a stento, ma riportando danni permanenti ad un occhio.



*Figura 9 Effetti dell'intossicazione da metilmercurio*

### 3.2 Avvelenamento di massa di Toyama

Toyama è una città giapponese capoluogo dell'omonimo prefettura, attraversata dal fiume Jinzu, che fu teatro agli inizi del '900 della diffusione di una malattia, conosciuta oggi come sindrome di Itai-Itai. Questa sindrome si diffuse, secondo alcune fonti, già a partire dal 1910, anche se il suo periodo di massima criticità ci fu verso gli anni '60-'70, in seguito all'intenso incremento demografico giapponese, connesso al forte progresso del paese e alla crescita economica.

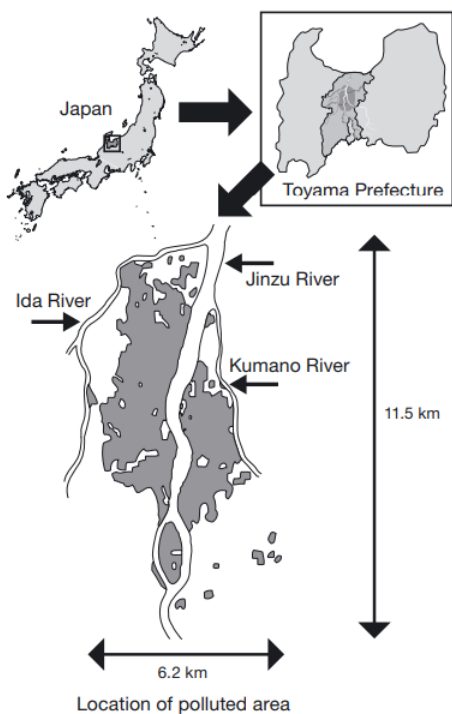


*Figura 10 Rappresentazione del fiume Jinzu e delle regioni contaminate (Masanori Kaji, 2012)*

Numerose forme di inquinamento si sono sviluppate di pari passo, ponendo la questione delle malattie derivanti da fonti inquinanti all'ordine del giorno. Fu in questo contesto che iniziò a diffondersi la malattia Itai-Itai, legata ad una prolungata e costante esposizione al

cadmio<sup>5</sup>, un metallo pesante presente sulla crosta terrestre. Venne riconosciuta come causa primaria, però, solo nel 1960.

Studi eseguiti dal fisico locale Shigejiro Hagino e suo figlio Nobuo Hagino provarono che la responsabilità di questa forma di inquinamento ambientale fosse da imputare alla miniera



**Figura 11 Estensione dell'area inquinata (Masanori Kaji, 2012)**

di Karioka, la quale negli anni '20, dopo la Prima guerra mondiale, divenne una delle più grandi produttrici di zinco del Giappone. Un incremento di questa produzione ci fu grazie all'impiego del processo di flottazione con schiuma (Masanori Kaji, 2012), allora di recente introduzione, il quale permetteva la riduzione in polvere o in minuti granuli di un materiale, in questo caso i minerali di zinco. Alcuni di queste particelle minerali finemente polverizzate prodotte nel corso del processo di flottazione, però, finirono nelle acque del fiume, andando

---

<sup>5</sup> Simbolo “cd” è Metallo bianco-argentato, tenero molto duttile e malleabile, che si trova raramente in natura e non esiste libero a causa della sua alta reattività, ma lo si trova, soprattutto, nei minerali di zinco. Tutti i suoi composti, nonché lo stesso metallo in polvere o come vapore, sono fortemente tossici per la salute umana e animale.

poi ad essere facilmente ossidate<sup>6</sup> in ioni e a loro volta assorbite da piante ed esseri umani. In seguito a numerose analisi riguardo il contenuto di metalli nell'acqua, nei vegetali, nel suolo, negli animali e persino negli organi delle persone presenti nella zona in cui si trovava la miniera venne riscontrata una strana abbondanza di cadmio e furono proprio queste analisi a dimostrare che la causa dell'insorgere di questa malattia era proprio l'avvelenamento da parte di questo metallo pesante.

Gli individui colpiti da tale malattia presentano una serie di sintomi, tra i quali, quello emergente è la fragilità sul piano osseo. Il soggetto affetto, di norma, presenta dolore forte a gambe e colonna vertebrale e può presentare deformazioni osseo in seguito all'azione tossica del cadmio. Con il progredire dell'indebolimento osseo diviene più alto il rischio di fratture, a volte anche gravi. Organi interni che vengono colpiti in forma pesante sono i reni ed il fegato, tanto che nei casi più gravi può sopraggiungere insufficienza renale, la quale porta inevitabilmente alla morte.



**Figura 12 Effetti dell'avvelenamento da cadmio**

---

<sup>6</sup> L'ossidazione, o più precisamente ossidoriduzione, è un processo mediante il quale un elemento reagisce con l'ossigeno, perdendo elettroni a favore di un altro elemento. Si parla di ossidoriduzione, dal momento che la specie chimica che perde elettroni si ossida e viene chiamata specie chimica riducente, poiché induce una riduzione, quindi un'acquisizione di elettroni da parte di un'altra specie chimica. Inoltre la specie chimica riducente, vede aumentato il suo numero di ossidazione (carica acquisita da un atomo che cede elettroni)



## CONCLUSIONI

Tirando le fila del discorso riguardo la tematica approfondita nel presente elaborato si intende partire dagli argomenti trattati nel terzo capitolo. Partire con una riflessione finale su due disastri ambientali, come quello di Minamata e di Toyama, significa porre l'attenzione sul fatto che questi sono solo due dei tanti esempi che si potrebbero prendere in esame per dimostrare quanto nel corso della storia le condizioni di equilibrio e di salute dell'ambiente, degli habitat e degli ecosistemi, siano state minacciate costantemente da molteplici fattori, spesso volte concomitanti e sinergici, con effetti che sono risultati inevitabilmente più impattanti. Basti, difatti, pensare all'intenso sviluppo industriale del quale siamo stati e siamo fautori e vittime allo stesso tempo, all'inesorabile peggioramento delle condizioni climatiche, (surriscaldamento globale, scioglimento dei ghiacciai, siccità...) nonché alla continua crescita demografica che mette sempre più a repentaglio la disponibilità di risorse, disponibilità che dipende anche da come tali risorse vengono utilizzate. Ne è un esempio la notizia che sta girando da qualche tempo riguardo una possibile regolamentazione riguardo l'utilizzo dell'acqua, in un'ottica di risparmio e preservazione di questa vitale risorsa. In questo contesto si va poi ad inserire inevitabilmente il problema dell'inquinamento ambientale.

Gli obiettivi posti per il presente elaborato sono quelli di sensibilizzazione e diffusione di nozioni riguardo tematiche di interesse primario, come quelle precedentemente citate, ma anche porre l'attenzione sull'ecotossicologia, non ancora profondamente conosciuta, ma estremamente essenziale come strumento in grado di fornire indicazioni riguardanti la qualità dell'ambiente e alla qualità della vita, vegetale e animale, compresa quella umana, all'interno dei diversi habitat.

In aggiunta a quanto scritto finora è, inoltre, possibile affermare che l'ecotossicologia potrà, o meglio dovrà, rivestire in un futuro più vicino di quanto si pensi, un ruolo da protagonista, sia contestualmente alla prevenzione dall'inquinamento ambientale, sia per quanto riguarda i controlli che bisogna eseguire tanto di routine quanto in merito ad eventi eccezionali. A questo va poi a sommarsi il fatto che i test tossicologici ed ecotossicologici sono ad oggi presi in considerazione e ritenuti fondamentali per la valutazione dell'impatto di nuove sostanze sull'ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- <https://www.tuttogreen.it/ecotossicologia/>
- <https://www.studenti.it/tesina-sull-inquinamento-ambientale.html>
- <https://www.lifegate.it/inquinanti-emergenti-pericolo-salute>
- <https://www.researchgate.net/>
- <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003300/3308-c2507-m1-u2.pdf>
- <https://www.tesionline.it/default/tesi.asp?id=44796>
- <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/pagina-base/rischio-ambientale>
- [https://it.frwiki.wiki/wiki/%C3%89cotoxicologie#Protection\\_environmentale](https://it.frwiki.wiki/wiki/%C3%89cotoxicologie#Protection_environmentale)
- [https://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/ANPA\\_2000\\_Indicatori\\_indici.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files/biodiversita/ANPA_2000_Indicatori_indici.pdf)
- <https://www.artaabruzzo.it/licheni.php>
- [http://www.cisba.eu/images/rivista/biologia\\_ambientale/Ba2006-2\\_VENTENNALE/02-Biagini\\_et\\_al-Bioindicatori\\_suolo.pdf](http://www.cisba.eu/images/rivista/biologia_ambientale/Ba2006-2_VENTENNALE/02-Biagini_et_al-Bioindicatori_suolo.pdf)
- <https://www.biopills.net/tecnico-ecotossicologo/>
- <https://www.chimica-online.it/organica/acetaldeide.htm>
- <https://www.scuolavittorioemanueleorlando.edu.it/attachments/article/493/Morbo%20di%20Minamata.pdf>
- <https://www.iltascabile.com/scienze/minamata-disastro-sindrome/>
- <http://www.biologiamarina.eu/ECotossicologia1.html>
- <https://www.int-res.com/articles/esep2012/12/e012p099.pdf>
- <https://www.issalute.it/index.php/la-salute-dalla-a-alla-z-menu/c/cadmio#effetti-sulla-salute>
- <https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003700/3710-rapporto-71-2006.pdf>
- Butler G.C., 1978 - Principles of Toxicology. SCOPE 12. John Wiley and Sons. Chichester
- Ecotossicologia e salute: approcci metodologici . Laura Mancini, Ines Lacchetti, Silvana Cacioli, Mario Carere Dipartimento Ambiente e Salute