LUIGI CERRUTI*

Breve storia dell'ecotossicologia. Osservazioni epistemologiche e riflessioni etiche

Brief History of Ecotoxicology Epistemological Remarks and Ethical Considerations

Summary – The slow development of ecotoxicology is due to the difficulties inherent in the discipline, and the extreme specialization of research. Cognitive ethics highlights the responsibilities of the academic community for such a slowness.

L'ecotossicologia interessa l'epistemologia e la storiografia della scienza per vari motivi, fra cui spicca l'incertezza rispetto alla sua stessa definizione, proprio in quanto pratica di ricerca al confine fra tossicologia ed ecologia[1,2]. Varietà e complessità degli ecosistemi fanno sì che l'indagine della 'tossicità ecologica' di una sostanza ponga molti problemi, spesso interessanti dal punto di vista epistemologico. Nel presente contributo tratterò la definizione operativa di 'ecotossicità' di una sostanza, la scala della ricerca sperimentale (in particolare i microcosmi), la necessità per l'ecotossicologia di essere una disciplina predittiva. In realtà la società nel suo complesso non interviene solo per richiedere agli ecotossicologi di prevedere l'esito dell'immissione nell'ambiente delle sostanze, ma impone una definizione operativa della ecotossicità di una sostanza attraverso una selva di norme accettate a livello internazionale. Di qui l'interesse per le norme emesse da orga-

* Dipartimento di Chimica Generale ed Organica Applicata, Università di Torino.
E-mail: lugi.cerruti@unito.it

[1] W. Halffman, *Boundaries of Regulatory Science. Eco/toxicologyy and aquatic hazards of chemicals in the US, England, and the Netherlands, 1970-1995*, Academisch proefschrif, Antwerpen, 2003, URL: http://dare.uva.nl (ultimo accesso 30 novembre 2009).

[2] C. Bazerman, R.A. De los Santos, «Measuring Incommensurability: Are toxicology and ecotoxicology blind to what the other sees?», in: R. Harris (ed.), *Rhetoric and Incommensurability*, West Lafayette: Parlor Press, 2005, pp. 424-463.

nismi come il Deutsches Institut für Normung (DIN) e l'American Society for Testing and Materials (ASTM). Concluderò questo scritto con un cenno all'etica dell'ambiente e qualche riflessione di etica cognitiva.

Origini e sviluppo dell'ecotossicologia

Nel 1969 il tossicologo francese René Truhaut (1909-1994) propose il termine 'ecotossicologia', ripreso in seguito in questi termini:

> «L'Ecotossicologia è la branca della Tossicologia che studia gli effetti tossici provocati dalle sostanze naturali o dagli inquinanti d'origine sintetica sui costituenti degli ecosistemi animali, ivi compreso l'uomo, vegetali e dei microrganismi, in un contesto integrato»[3].

La definizione di Truhaut è strettamente 'tossicologica', non solo nell'affermare che la nuova disciplina non sia altro che una *branche* della plurisecolare tossicologia, ma ancor più nel mettere in evidenza gli effetti tossici delle *substances naturelles*. È lo stesso Truhaut a raccontare in quale contesto nacque la sua proposta, e noi lo seguiremo con una veloce lettura dei documenti originali e con qualche ampliamento di prospettiva.

Si deve risalire al 1961 per registrare la prima iniziativa di rilievo internazionale sulla questione ormai drammatica dell'onnipresenza dei pesticidi nella catena alimentare. Si trattò della riunione congiunta di un organo della FAO, il Panel of Experts on the Use of Pesticides in Agriculture, e di un comitato della WHO, l'Expert Committee on Pesticide Residues. Come è dichiarato fin dal titolo del rapporto finale[4], durante la riunione l'attenzione degli scienziati (fra cui era anche Truhaut) fu tutta rivolta al tratto finale – umano e animale – delle vicende ambientali dei pesticidi. La validità di una simile limitazione fu trattata in un modo piuttosto ambiguo e superficiale, per cui vale la pena di riportare il passo che costituisce la seconda «considerazione generale» del rapporto:

> «I rischi che presentano i pesticidi variano molto a seconda che si tratti degli utilizzatori, dei consumatori dei prodotti di culture trattati, degli animali domestici, della fauna selvatica e del pubblico. La riunione si è occupata solo dei possibili pericoli per il consumatore, uomo o animale[5]. Si è riconosciuta la necessità di studi sui rischi corsi sia dagli utilizzatori di questi prodotti e sia dalla fauna selvatica, e si è notato con soddisfazione che l'OMS e l'OIL già da un certo tempo si

[3] R. Truhaut, «Ecotoxicologie. Objectifs, principes et perspectives», *Archives belges de médecine sociale, hygiène, médecine du travail et médecine légale.* **34** (4), pp. 201-37 (1976).

[4] *Principes devant régir la protection de la santé des consommateurs à l'égard des résidus de pesticides.* OMS Séries de rapports techniques, No. 240, Genève, 1962. Il testo inglese è sintatticamente guasto proprio nel passo che ho tradotto; in ogni caso segnalo che ai *services de conservation des ressources naturelles* corrisponderebbero dei generici *nature conservationists*.

[5] I cittadini e gli altri esseri senzienti sono parificati sotto l'ombrello del consumo: *pour le consommateur, homme ou animal*.

interessano dei problemi riguardanti la sicurezza dell'utilizzatore, e che, d'altra parte, i servizi di conservazione delle risorse naturali, si occupano, su scala internazionale, della protezione della fauna selvatica dagli effetti dei pesticidi»[6].

Fu in questi limiti che nel 1963 si ebbe il primo Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). Da allora il JMPR si è istituzionalizzato, con una certa estensione di interessi da parte della FAO[7], e ha prodotto regolarmente i propri rapporti, così che dal 1963 è stato valutato l'impatto sul cibo di circa 230 pesticidi. Tuttavia l'occasione per il 'lancio' dell'ecotossicologia doveva avvenire parecchi anni dopo l'inizio dell'attività del JMPR.

Nel 1968 si riunì a Parigi l'assemblea generale dell'International Council of Scientific Unions (ICSU), e fu deciso che la International Union of Biological Sciences (IUBS) e la International Union of Geodesy Geophysics (IUGG), avrebbero costituito un «ad hoc Committee on Problems of the Human Environment». Si nota qui l'assenza delle discipline chimiche fra i promotori dell'iniziativa, discipline che insieme a molte altre furono coinvolte nel 1969 nella costituzione di un Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). Senza lasciarci distrarre dalle troppe sigle consultiamo l'elenco delle organizzazioni internazionali coinvolte in SCOPE: IUGG per geodesia e geofisica, IUBS per le scienze biologiche, IUTAM per meccanica teorica e applicata, IUPAC per chimica pura e applicata, IUPAP per fisica pura e applicata, IUPAB per biofisica pura e applicata, l'ICSU come tale e attraverso l'International Biological Programme[8], IUNS per scienze della nutrizione, IUB per biochimica, IUPS per scienze fisiologiche, IGU per geografia. È un elenco significativo perché ben quattro organizzazioni portavano in SCOPE la voce e la cultura dei fisici, a fronte delle due di riferimento per i chimici. La prima riunione di SCOPE si tenne a Madrid nel 1970 con la finalità di redigere un rapporto sulla praticabilità/necessità di un monitoraggio ambientale globale[9]. Il rapporto fu uno dei testi base della Conferenza delle Nazioni Unite che si tenne a Stoccolma nel giugno del 1972 sul tema del *Human Environment*.

La formazione di un'arena internazionale favorì un'iniziativa accademica europea per una maggiore visibilità e un più efficace collegamento fra i ricercatori. L'i-

[6] Rif. 4, p. 4; OMS sta per Organizzazione Mondiale della Sanità (acronimo inglese WHO); OIL sta per Organizzazione Internazionale del Lavoro (acronimo inglese ILO).

[7] La FAO opera ora attraverso un Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment.

[8] L'International Biological Programme (IBP) durò dal 1964 al 1974, e fu largamente orientato secondo gli interessi degli ecologi. Di qui l'opposizione e le critiche 'scientifiche' dei biologi molecolari e di altri studiosi che si sentivano esclusi dal progetto. Critiche ed esclusione andrebbero studiate a parte come esemplari lotte fra gerarchie accademiche, condotte in nome del (proprio) metodo di ricerca. A proposito dell'IBP si veda: F.E. Smith, «The international biological program and the science of ecology», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **60** (1): 5-11 (1968).

[9] SCOPE, *Global Environmental Monitoring*, Stockholm: SCOPE ICSU, 1971, pp. 12-16.

niziativa fu dovuta agli sforzi congiunti di Truhaut e del biochimico tedesco Friedhelm Korte (n. 1923), fondatore dell'Institut für Ökologische Chemie di Neuherberg. Dopo una serie di incontri che si erano tenuti a Neuherberg, ancora nel 1972 si costituì l'International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety (SECOTOX). Gli Stati Uniti seguirono con qualche ritardo, in quanto il primo incontro rilevante per la nascente disciplina fu il Pellston Workshop, tenuto nel giugno del 1977, sotto l'egida (significativa) della ASTM. La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) fu fondata nel 1979, e dal 1982 la SETAC divenne la principale organizzatrice dei Pellston Workshops. Tutto sommato, la Società nata negli Stati Uniti fu più dinamica della SECOTOX, e nel 1989 'invadeva' il Vecchio Continente fondando la SETAC Europe.

1966	*Bulletin of environmental contamination and toxicology*
1976	*Archives of environmental contamination and toxicology*
1977	*Ecotoxicology and Environmental Safety*
1981	*Aquatic Toxicology*
1982	*Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC)
1984	*Journal of environmental pathology, toxicology and oncology*
1992	*Ecotoxicology*
1996	*Environmental Toxicology and Pharmacology*
2000	生态毒理学报 (shēngtài dú lǐ xué bào *Giornale di Ecotossicologia*)*
2009	*Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*
* Il *Giornale di Ecotossicologia* è un organo dell'Accademia delle Scienze cinese. Eccetto i riassunti è scritto in cinese, anche se la testata recita come secondo titolo *Asian Journal of Ecotoxicology.* Con questo titolo è indicizzato dai Chemical Abstracts.	

Tab. 1. La comunicazione disciplinare dell'ecotossicologia.

In Tabella 1 sono riportate le date di nascita e le testate delle riviste scientifiche dedicate ai temi dell'ecotossicologia. Si può notare che la crescita della comunicazione disciplinare non è stata tumultuosa e che un rimando esplicito all'ecotossicologia si ebbe solo nel 1992[10].

[10] Un richiamo all'ecotossicologia si ha anche nella testata della rivista cinese, la cui traduzione letterale ci dà qualche idea delle somiglianze/differenze fra le lingue europee e il cinese: 生态毒理学报 (shēng tài dú lǐ xué bào) si compone di tre termini: 报 (bào) «giornale»; 生态 (shēng tài) «situazione della vita», il tutto viene fatto corrispondere a ecologia; 毒理学 (dú lǐ xué) «scienza dei veleni», tossicologia.

La difficile crescita accademica e scientifica dell'ecotossicologia è testimoniata da un rapporto redatto da Gaston Vettorazzi, nel 1980. Vettorazzi era allora capo tossicologo dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, professionalmente impegnato nella tossicologia alimentare. Il contributo aveva un titolo che intendeva sottolineare la praticità del suo approccio ai problemi disciplinari: «Tre livelli operativi in tossicologia. Una rassegna»[11]. I livelli operativi citati nel titolo corrispondevano a tre orientamenti principali della tossicologia: forense, economica, e ambientale. I tre orientamenti includevano sotto di sé una folla di 26 diverse 'tossicologie', da «tossicologia comportamentale» fino a «tossicologia tropicale» (l'elenco è definito «non esaustivo»), ed erano caratterizzati secondo due parametri essenziali: il tempo di esposizione e l'ampiezza della popolazione umana coinvolta. Al primo livello le dosi sono molto alte, l'esposizione molto breve, e sono coinvolti settori minimi della popolazione. Al secondo livello le dosi sono minori, i tempi più lunghi, e l'esposizione riguarda più ampi settori di popolazione; è il campo d'azione della tossicologia industriale e occupazionale. Infine vi è un terzo livello: le dosi sono molto basse, i periodi di esposizione molto lunghi (anche per tutta la vita), e sono interessati settori molto ampi di popolazione. La tossicologia ambientale è descritta da Vettorazzi in questi termini: «è applicata alla valutazione degli effetti a lungo termine sull'uomo dovuti a lunghi periodi di esposizione a dosi molto basse di agenti, presenti nel cibo, nell'acqua e nell'aria», e gli effetti citati sono i «carcinogenici, mutagenici e teratogenici»[12].

L'eleganza dei ragionamenti di Vettorazzi mette in evidenza i limiti della concezione della *tossicologia ecologica* come disciplina tutta rivolta alla protezione e al benessere degli esseri umani, con tutti altri esseri viventi considerati specificatamente come cibo. L'ambiente è ridotto a due componenti, aria ed acqua, e non vi è traccia di un possibile approccio sistemico ai pur pressanti problemi ambientali quali i residui dei pesticidi, di cui per altro lo stesso Vettorazzi era un noto studioso.

La definizione operativa di 'ecotossicità' di sostanze e materiali

Si è già detto che Truhaut intendeva l'ecotossicologia come un «ramo della tossicologia», ma al di là delle ripetute 'avocazioni' disciplinari[13] non c'è dubbio che fin dall'avvio della disciplina la definizione dell'*ecotossicità* di una sostanza poneva non pochi problemi. Pur nei limiti ristretti della definizione di una tossicologia ecologica di 'terzo livello' Vettorazzi aveva sottolineato fin dal 1980 che «è in particolare ai

[11] G. Vettorazzi, «Three Operational Levels in Toxicology. An Overview», Geneva: WHO, 1980; URL: www.cepis.org.pe/ bvsacd/eco/002826/02826-03.pdf (ultimo accesso 30 settembre 2009).

[12] Ib., p. 27.

[13] R. Truhaut, «Ecotoxicology: Objectives, Principles and Perspectives», *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **1**, 151-173 (1977).

tossicologi del terzo livello che si applica il detto del defunto (*late*) dr. Arnold J. Lehman (1900-1979): "Anche tu puoi diventare un tossicologo in due facili lezioni – ciascuna delle quali dura 10 anni"»[14]. È proprio in decenni che si deve valutare il lento sviluppo dell'ecotossicologia, e questo non solo per una prolungata 'indifferenza ecologica' degli accademici e degli imprenditori, ma anche per l'intrinseca difficoltà di porre su basi salde e condivise le procedure disciplinari. Termini cronologici di riferimento assai significativi si trovano nell'emissione di norme specifiche sulla ecotossicità da parte degli enti di certificazione, in particolare nel contesto della valutazione della biodegradabilità e della compostabilità dei polimeri.

Questo contesto è rilevante per gli aspetti di 'risposta' ai terribili problemi del degrado ambientale prodotti dai materiali plastici dispersi nell'ambiente[15]. Di fronte alla messa in commercio di oggetti di consumo etichettati come 'biodegradabili' mentre non lo erano affatto, si levarono da varie parti pressanti richieste di una normativa ufficiale e risolutiva. Qui va enfatizzato un fatto troppo sottovalutato a livello storiografico: la funzione sociale delle certificazioni di sicurezza e di qualità. In realtà le norme sono al centro di un cerchio di relazioni che vede interagire cittadini, imprenditori e istituzioni. Spesso nelle analisi economiche i cittadini sono presentati come consumatori e gli imprenditori come produttori, ma questi termini tendono a minimizzare le responsabilità civili (e politiche) degli attori sociali, specie quando essi si devono rivolgere alle autorità – locali, nazionali, internazionali.

Possiamo qui prendere in considerazioni due normative nel campo dei polimeri biodegradabili. La prima normativa importante fu quella elaborata dal Deutsches Institut für Normung. I protocolli sulla compostabilità dei materiali polimerici erano tre. Il primo riguardava le prove chimiche[16], il secondo concerneva la «Verifica della completa degradabilità biologica dei materiali sintetici nelle ricerche di laboratorio»[17], il terzo trattava due temi diversi e fra loro connessi, le «Prove in condizioni rilevanti per la pratica» e la «qualità del composto»[18]. La messa a punto dell'intero processo di certificazione fu annunciata in una conferenza stampa il 16 ottobre 1998. In questo caso l'Europa anticipò il contributo degli Stati Uniti sulla «Compostabilità dei materiali polimerici»[19], pubblicato nel maggio 1999. L'iniziativa dell'ASTM era stata avviata per rispondere alle esigenze dei consumatori e dei

[14] Rif. 11, p. 29. Lehman fu a capo della Divisione di farmacologia della FDA.

[15] L. Cerruti, «Not only goods: the difficult social life of biodegradable plastics», comunicazione presentata alla settima International Conference on History of Chemistry, dal titolo *Consumers and Experts: The Uses of Chemistry and Alchemy*. 2-5 agosto 2009, Sopron, Ungheria.

[16] DIN V 54900-1 (1998): Teil 1: Chemische Prüfung. Vornorm, pubblicata nell'ottobre 1998.

[17] DIN V 54900-2 (1998): Teil 2: Prüfung auf vollständige biologisch Abbaubarkeit von Kunststoffen in Laborversuchen. Vornorm, settembre 1998.

[18] DIN V 54900-3 (1998): Teil 3: Prüfung unter praxisrelevanten Bedingungen und der Qualität der Komposte. Vornorm, settembre 1998.

[19] ASTM D6400-99 Test Method.

magistrati che avevano denunciato e condannato il commercio di materiali falsamente definiti 'biodegradabili' e 'compostabili'. L'ente americano fu esplicito sui tempi lunghi che erano stati necessari per giungere prima ad un consolidamento delle pratiche sperimentali, e successivamente al perfezionamento delle proposte. Il metodo fu infatti il risultato di sei anni di ricerche (1991-1996) e di più di due anni di discussione (1997-maggio 1999). I due anni di discussione sono un indice incontrovertibile delle difficoltà extra-scientifiche (cioè sociali) connesse al rapporto chimica-materiali-ambiente. Per quanto riguarda la ecotossicità un materiale polimerico ne risultava privo se rispettava l'esigenza di «non diminuire la capacità del compost finito di supportare la crescita delle piante». Il limite drastico di questa definizione è evidente, perché l'unico riferimento di una possibile tossicità è alle piante, mentre vedremo più avanti che la questione della salubrità del suolo non riguarda solo le piante ma anche la fauna che vive in quel suolo, e i batteri che vi proliferano con funzioni insostituibili per l'equilibrio ecologico.

I protocolli proposti dagli enti di certificazione tedesco e americano costituivano il quadro normativo generale per quanto concerneva le plastiche commerciali, materiali complessi che per essere fruibili contenevano oltre ai polimeri biodegradabili una quantità di altre sostanze (antiossidanti, pigmenti, ecc.). L'attenzione di ricercatori era appuntata su un ciclo di vita dei materiali molto particolare, perché la 'compostabilità' di cui si parlava era quella dei processi industriali e non quella dei contenitori nel giardino di casa. Rimaneva quindi impregiudicato, anche in un caso molto circoscritto, il problema del 'vero' impatto ambientale dei polimeri biodegradabili.

La natura in una bottiglia

L'analisi epistemologica delle pratiche sperimentali e teoriche dell'ecotossicologia mette in evidenza almeno tre aspetti di grande interesse: i modelli predittivi, dedicati in particolare alla valutazione del rischio; le scale sperimentali da prendere in considerazione (dall'acquario al lago); gli *end points* che descrivono quantitativamente l'effetto di una sostanza su una specie vivente. Nella prossima sezione parlerò dei modelli predittivi, mentre sugli *end points* non dirò nulla, e non solo per questioni di spazio. Gli effetti su una specie della presenza nell'ambiente di una sostanza chimica sono difficili da valutare, anche perché si tratta in primo luogo di scegliere quale fenomenologia si debba prendere in considerazione (sviluppo, crescita, riproduzione, ecc.). Mi mancano le specifiche competenze biologiche per entrare nel merito di questi problemi, e d'altra parte mi paiono più interessanti, in quanto più generali, i problemi riguardanti la scala su cui condurre la ricerca.

Nel presente contesto per 'scala' dell'esperimento si intendono le dimensioni fisiche del sistema in esame e la complessità del 'cosmo' racchiuso nel sistema. Sappiamo che il termine microcosmo ha una storia lunghissima, in campo ecologico si può risalire ad un articolo di Stephen A. Forbes, dal titolo «Il lago come microco-

smo»[20]. Forbes era professore di zoologia ed entomologia e ricopriva la carica pubblica di «entomologo di Stato» dell'Illinois (una carica impensabile in Italia). Il contributo citato appartiene ai classici del pensiero ecologico perché anticipa gli studi successivi sulle reti trofiche, l'ecologia delle popolazioni e delle comunità, la nozione di ecosistema. Ed ecco come Forbes descrive il concetto di microcosmo:

> «In un singolo corpo d'acqua si ritrova un'attività ed un equilibrio della vita organica di gran lunga più completi ed indipendenti che in qualsiasi eguale corpo di terra. [...] Esso forma di per sé un piccolo mondo, – un microcosmo al cui interno tutte le forze elementari sono all'opera e lo spettacolo della vita vi è completamente rappresentato, ma su una scala così piccola da permettere alla mente di afferrarlo»[21].

La storia dei microcosmi modello proseguì con una certa lentezza nei decenni successivi, ma per apprezzare cosa sia un microcosmo in ecotossicologia possiamo riprendere la descrizione sintetica fattane dal suo proponente all'inizio degli anni 1970. Si trattava di «un piccolo acquario di vetro con un'interfaccia acquatico-terrestre in pendenza, di pura sabbia bianca»[22]. All'inizio delle catene alimentari riprodotte nel microcosmo vi erano germogli di sorgo fatti crescere sulla porzione terrestre, già trattata con una dose di pesticida marcato con ^{14}C. La catena alimentare continuava con larve che si nutrivano delle foglie del sorgo: i loro corpi e le feci contaminavano l'acqua, ed erano all'origine di due distinte catene alimentari che si diramavano a partire da un'alga e dal plankton presenti nella parte immersa del sistema. L'alga era l'alimento di una lumaca, e qui terminava la prima catena. La seconda catena seguiva questa successione: plankton → pulce d'acqua (la *Daphnia magna*, popolare nelle ricerche sull'inquinamento delle acque) → zanzara → pesce. Con questo sistema sperimentale Robert Metcalf ottenne fin dall'inizio risultati straordinari sull'accumulo dei pesticidi e dei loro residui nei diversi anelli della catena alimentare. Ad esempio il DDT e i suoi derivati metabolici più immediati si accumulavano nelle larve delle zanzare, nelle lumache e nei pesci con fattori che andavano da 10.000 a 100.000 volte la concentrazione degli inquinanti nell'acqua dell'acquario[23].

[20] S.A. Forbes, «The Lake as a Microcosm», *Bulletin of the Peoria Scientific Association*, Peoria, Illinois, 1887, pp. 77-87; URL: http://web2.wku.edu/~smithch/biogeog/FORB1887.htm (ultimo accesso 30 novembre 2009).

[21] Rif. 20, p. 77.

[22] R.L. Metcalf, I.P. Kapoor, P.Y. Lu, C.K. Schuth, P. Sherman, *Environmental Heath Perspectives*, June 1973, pp. 35-44.

[23] R.L. Metcalf, G.K. Sangha, I.P. Kapoor, «Model Ecosystem for the Evaluation of Pesticide Biodegradability and Ecological Magnification», *Environmental Science & Technology*, 5 (8), pp. 709-713 (1971).

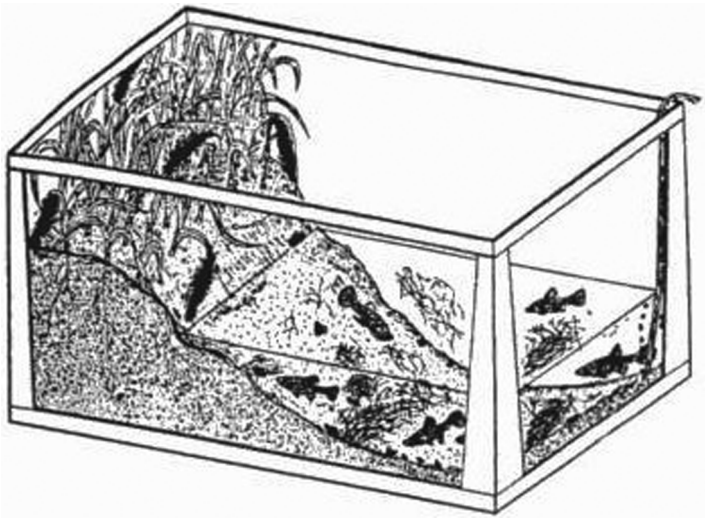

Figura 1. Il primo microcosmo, il modello di ecosistema di Metcalf, 1971.

Nell'articolo che proponeva il nuovo metodo di ricerca in tossicologia ambientale Metcalf scriveva:

> «Abbiamo bisogno di un metodo di laboratorio realistico per valutare il destino (*fate*) ambientale delle proposte di nuovi pesticidi. L'uso di composti radioattivi marcati darebbe informazioni qualitative e quantitative sul metabolismo di un composto in varie piante e animali e dovrebbe idealmente fornire la simulazione di una situazione ambientale semplice, in quanto organismo di laboratorio a più componenti»[24].

Si noti che Metcalf proponeva il suo modello di ecosistema come *a multicomponented laboratory organism*. In ogni caso il metodo di 'mettere la natura in bottiglia' per finalità di ricerca ecotossicologiche fu recepito come importante sfida conoscitiva[25], esteso nelle dimensioni al livello di mesocosmi[26], storicizzato e criticato[27]. Sui mesocosmi cito uno dei primi impianti, allestito nel 1976 nella Narragansett Bay dalla EPA e dalla University of Rhode Island. L'impianto, posto sulla riva della baia e tuttora in funzione, utilizza 14 contenitori cilindrici, ciascuno di 1,8 m di diametro e profondo 5,5 metri. Ogni mesocosmo simula l'habitat naturale

[24] Ib., p. 709.

[25] C.C. Daehler, D.R. Strong, «Can You Bottle Nature? The Roles of Microcosms in Ecological Research», Ecology, **77** (3), pp. 663-664 (1996).

[26] Su veda ad es.: E.P. Odum, «The Mesocosm», *BioScience*, **34** (9), pp. 558-562 (1984).

[27] J.A. Drake, G.R. Huxel, C.L. Hewitt, «Microcosms as Models for Generating and Testing Community Theory», *Ecology*, **77** (3), pp. 670-677 (1996).

contiguo con una colonna d'acqua della baia, i sedimenti, e il ricambio dovuto al flusso delle maree[28].

La valutazione del rischio

Molte discipline scientifiche aspirano ad adeguarsi ad un canone consolidato di 'scientificità', e cioè si propongono di essere predittive nel campo di eventi di loro competenza. L'ecotossicologia non può esimersi da questo compito, anche per non essere 'abbassata' al rango delle discipline storiche – quelle che operano solo *post factum*. Ma è proprio qui che nascono problemi critici, che riguardano le difficoltà tecniche della previsione dell'impatto ambientale di una qualche sostanza chimica, e in modo più intrinseco cosa è messo a rischio dal rapporto dell'ambiente con quella certa sostanza.

Substrato per la crescita delle piante
1993 ISO 11269-1 Soil Quality Root Growth
1993 ISO 11269-2 Soil Quality Growth of Higher Plants
Habitat per la fauna che vive nel suolo
1994 ISO 11268-1-2 Soil Quality Earhtworms – Acute Toxicity and Reproduction
1999 ISO 11267 Soil Quality Collembola
Habitat per microrganismi
1997 ISO 14240-1-2 Biomass
1997 ISO 14238 Nitrogen Mineralization
2004 ISO 15685 Ammonium Oxidation
2005 DIN ISO 23753-1-2 Soil Quality Dehydrogenase

Tab. 2. La valutazione del rischio: il suolo.

Nella tabella sono riportati i temi di nove normative emesse fra il 1993 e il 2003 per la protezione del suolo dagli agenti chimici. I dati sono troppo pochi per poter parlare di ritardo nella presa in considerazione di un ambito rispetto ad un altro, lo scopo della tabella è diverso: sottolineare che la stessa entità (astratta), il suolo, può essere considerata in modo assolutamente diverso, sia come funzione (substrato *vs*. habitat), sia come ambiente di vita (fauna *vs*. microrganismi).

[28] URL: http://www.gso.uri.edu/merl/merl.html (ultimo accesso 30 novembre 2009).

L'aspetto predittivo dell'ecotossicologia richiama le forti responsabilità pubbliche degli scienziati impegnati nel campo. Cairns e Niederlehner hanno sottolineato alcuni aspetti rilevanti della ecotossicologia predittiva a partire dalla distinzione fra valutazione e predizione ambientale: «Una gestione di successo [dell'ambiente] richiede non solo tecniche per valutare il danno esistente nei sistemi naturali, ma anche tecniche per predire l'esito ambientale delle azioni che si propongono. La valutazione definisce il problema. La predizione permette la prevenzione del danno prima che avvenga». La distinzione non riguarda solo le diverse strutture temporali della valutazione e della previsione (il presente e il futuro), ma anche i 'mondi' di riferimento: «L'ecotossicologia predittiva è distinta dalla valutazione ambientale perché spesso non vi è nessun 'mondo reale' da indagare. [...] l'ecotossicologia predittiva deve basarsi su modelli». Dopo una simile distinzione *ontologica* i due ricercatori affrontano le fasi del processo predittivo, e pongono un interrogativo cruciale:

> «Per prima cosa il problema deve essere definito. Cosa vale la pena di proteggere? Mentre porre le finalità è responsabilità della società nel suo complesso, gli scienziati sono chiamati sia ad interpretare il significato dei cambiamenti per il mondo naturale, sia a rendere operative le finalità della società»[29].

What is it worthy of protection? Cairns e Niederlehner pongono la domanda per poi articolare i compiti operativi degli scienziati, ma è altissimo il valore etico dell'interrogativo, specialmente quando subito dopo compare la parola *responsibility*.

Un richiamo a proposito di etica dell'ambiente

Le proprietà molecolari delle sostanze sono 'globali', nel senso ovvio che la termodinamica e la chimica quantistica non variano con la latitudine. È pure ovvio che non esiste una analoga globalità per le specie e gli ecosistemi. Non solo i diversi organismi rispondono in modo diverso alla stessa sostanza, ma la risposta di una popolazione non è la stessa in ambienti diversi. L'ecotossicologia con l'impiego di micro- e mesocosmi ha inteso rispondere a domande che non riguardano una singola specie ma interi ecosistemi. Però quando si giunge a considerare gli ecosistemi si incontra un aspetto della ricerca nuovo, non più solo epistemologico ma anche etico. Per farla breve riprendo soltanto la legge 14 febbraio 1994, n. 124, nel cui testo leggiamo:

> «Per "diversità biologica" si intende la variabilità tra gli organismi viventi di ogni origine, compresi tra gli altri, gli ecosistemi terrestri, marini e gli altri ecosistemi acquatici, ed i complessi ecologici di cui fanno parte; ciò include la diversità nell'ambito di ciascuna specie, e tra le specie degli ecosistemi».

[29] J. Cairns, Jr., B.R. Niederlehner, «Predictive Ecotoxicology», in: D.J Hoffman, B.A Rattner, G.A. Burton, Jr., J. Cairns, Jr. (a cura di), Handbook of Ecotoxicology, 2002, pp. 911-924; cit. alla p. 912.

Che un ecosistema sia un *organismo vivente* era già stato detto da Metcalf a proposito del suo sistema modello, ma qui siamo di fronte ad una affermazione assai più impegnativa, in quanto esito di lunghe discussioni scientifiche e di trattative diplomatiche. Ed è proprio perché di tratta di una convenzione diplomatica ogni termine è definito a parte, come nel caso della citazione su riportata[30]. Personalmente credo che il considerare un ecosistema come un essere vivente abbia implicazioni etiche.

Il dibattito interno all'ecotossicologia e l'etica cognitiva

I nodi operativi non risolti e l'accentuarsi della crisi ambientale hanno suscitato un senso di urgenza fra gli scienziati, producendo tensioni interne alla disciplina. Riprendo qui due posizioni che indicano fino a che punto si sia spinta la polarizzazione fra opposte tendenze metodologiche. La tendenza riduzionista, invariabilmente 'metodologica', è ben rispecchiata nell'uso *pro domo sua* della filosofia della scienza da parte di M.C. Newman, un 'ecotossicologo scientifico', che ha iniziato la sua perorazione con una limpida avocazione della 'scientificità' a se stesso, e a quanti la pensassero come lui:

> «Il fine della scienza è organizzare e classificare la conoscenza basata su principi esplicativi (Nagel, 1961). Ne segue che il fine dell'ecotossicologia come scienza è l'organizzazione basata su principi esplicativi della conoscenza sul destino e sugli effetti dei tossici (*toxicants*) negli ecosistemi (Newman, 1995)»[31].

Newman risolve il problema della 'scientificità' con due citazioni, di un noto filosofo della scienza e di se stesso, con parecchie presunte conseguenze accademiche, fra cui una decisiva: «Effettivamente gli studenti non sono preparati ad affrontare le questioni ecologiche in un modo scientifico»[32]. Il secondo polo dell'ecotossicologia, quello 'olistico', si rispecchia in un contributo di Banks e Stark, che non partono dai detti di un filosofo ma da un problema, la «contaminazione dell'ambiente», e da un testo, il classico *Silent Spring* di Rachel Carson. Bank e Stark affermano che troppo spesso ecologisti e tossicologi hanno lavorato «con punti di vista spaventosamente semplicistici della vera complessità di molti problemi applicativi». A livello di prospettiva pratica i due ricercatori si richiamano alla mole di studi dedicati alla valutazione dei nuovi pesticidi 'più sicuri', e affermano:

[30] Essendo ostinatamente incredulo ho controllato il testo della Convenzione in inglese e in tedesco. In entrambi i casi si conferma la correttezza del testo italiano. Il testo tedesco è particolarmente chiaro: *die Vielfalt der Ökosysteme*, «la diversità degli ecosistemi».

[31] M.C. Newman, «Ecotoxicology as a science», in: M.C. Newman, C.H. Jagoe (eds.) *Ecotoxicology: A Hierarchical Treatment*, Boca Raton, FL: CRC Press, 1996, pp. 1-9; cit. alla p. 1.

[32] Ib., p. 2.

> «questo servirà a rafforzare il campo dell'ecotossicologia, richiedendo alla ricerca di assumere una prospettiva più olistica, ed aumentando la consapevolezza della complessità di questo nuovo e importante campo»[33].

Sia gli aspetti strettamente epistemologici, sia quelli di carattere più sociologico, meritano una riflessione etica. Qualche anno fa, in una nota Luciano Gallino ha puntato l'attenzione sull'etica cognitiva:

> «Parlare di etica cognitiva significa avanzare un'ipotesi specifica. È l'ipotesi che tutti noi come osservatori, come ricercatori, siamo responsabili dei modelli mentali che utilizziamo per conoscere il mondo, per inquadrarlo, per interpretarlo, ovvero per produrre qualche forma di conoscenza intorno ad esso»[34].

Gallino spende quasi la totalità del breve saggio in una difesa dell'ipotesi della responsabilità nella scelta dei modelli dall'accusa di relativismo. Avrebbe risolto immediatamente il problema assumendo la posizione di Donald Mikulecky, un teorico della biologia, che ha scritto in modo molto convincente:

> «La complessità è la proprietà di un sistema del mondo reale che si manifesta nell'impossibilità per ogni formalismo di catturare in modo adeguato tutte le sue proprietà. [...] quando costruiamo modelli che hanno successo, i sistemi formali necessari per descrivere ogni aspetto distinto NON sono derivabili l'uno dall'altro»[35].

Va da sé che la molteplicità dei modelli non giustifica affatto l'incoerenza nel loro uso, ed anzi Cairns parla di *cognitive dissonance*[36] anche a proposito di scelte etiche molto pratiche: «le persone possono invocare nello stesso tempo robusta crescita economica e protezione ambientale, malgrado la preponderante evidenza scientifica che la crescita economica sta causando un pesante danno ambientale»[37].

Due parole di conclusione

Sul piano epistemologico si può constatare che se gli scienziati (non solo gli ecotossicologi) avessero condiviso i principi dell'etica dell'ambiente i rapporti fra sostanze antropogeniche e ambiente sarebbero stati indagati meglio, ossia fin dall'inizio con un approccio olistico e non del tutto subordinato agli interessi economici.

[33] J.E. Banks, J.D. Stark, «What is ecotoxicology? An ad-hoc grab bag or an interdisciplinary science?», *Integrative Biology*, **5**, pp. 195-204 (1998).

[34] L. Gallino, «Etica cognitiva e sociologia del possibile», *Quaderni di sociologia*, **46** (n. 28), 25-32 (2002).

[35] Enfasi nel testo originale; cfr. D. Mikulecky, «Definition of Complexity», URL: http://www.people.vcu.edu/~mikuleck/ON%20COMPLEXITY.html.

[36] È molto significativo che sia uno scienziato percepire una *dissonanza cognitiva* quando si mettono a confronto comportamenti che diventano contraddittori solo alla luce di principi etici.

[37] J. Cairns, Jr., «Putting the Eco in Ecotoxicology», intervento alla Sessione speciale in onore di J. Cairns, 18 novembre 2008, SETAC Annual Meeting, Tampa, Florida; URL: http://www.johncairns.net/Commentaries/SETACcomm.pdf (ultimo accesso 30 novembre 2009).

Sul piano sociologico si può constatare la prevalenza degli interessi accademici su quelli conoscitivi, per non parlare di quelli sociali e di salvaguardia degli ecosistemi. Qui sarebbero stata necessaria qualche nozione di etica cognitiva, e la comunità scientifica avrebbe dovuto favorire un'operazione – non indolore – di decentramento da una esibita autoreferenzialità metodologica ad un più modesto pluralismo epistemologico.