

MAURIZIO SILIGARDI

La bioindicazione come strumento per il biomonitoraggio

Introduzione

La conoscenza della qualità ambientale costituisce un passo importante ed inevitabile per l'acquisizione di strumenti indispensabili per la pianificazione e la gestione dei sistemi ambientali.

Il conseguimento di tale consapevolezza sia da parte di amministratori che dell'opinione pubblica ha spinto la comunità scientifica verso la ricerca e la definizione di elementi di valutazione in grado di offrire sufficienti garanzie di determinazione della qualità ambientale.

Fino a pochi anni or sono i controlli erano affidati, quasi esclusivamente, a metodiche prevalentemente di tipo chimico, con il rilevamento e la misura di dati puntiformi atti solo al rilievo degli inquinanti presenti in determinati siti di indagine, siano essi appartenenti agli ambienti terrestri, acquatici o all'aria, senza considerare la complessità dei rapporti e processi insiti in ogni ecosistema, sebbene fossero già da anni note le valenze delle ricerche sulla bioindicazione.

Solo con la crescente sensibilizzazione della opinione pubblica e dei decisori politici sono stati raggiunti livelli di convinzione adeguati all'affermazione dei metodi biologici di valutazione della qualità ambientale con conseguente riconoscimento ufficiale della loro valenza applicativa e gestionale.

I segnali provenienti dai vari comparti biologici offrono un ventaglio di possibilità di diagnosi della qualità e controllo degli impatti, con riflessi sulle modalità di gestione. Tali segnali spesso sono annebbiati da un diffuso "rumore di fondo" che non sempre rende agevole il recupero di risposte utilizzabili nel momento di monitoraggio ambientale. Tuttavia gli organismi viventi mostrano una efficace valenza di indicatore in quanto sono in grado di integrare gli stimoli esterni, sia del comparto biotico che abiotico, traducendoli in modelli di adattamento alle nuove condizioni.

La velocità dei processi di trasformazione del territorio e la diversità dell'uso dello stesso spingono verso la definizione di indicatori in grado di produrre giudizi credibili, soprattutto se sono costruiti in modo da rispondere con adeguatezza alle richieste spazio-temporali dell'analisi ambientale. Perciò avviarsi verso la bioindicazione appare, oggi, la soluzione ideale per configurare gli scenari ambientali dove l'uomo condivide con gli altri organismi spazi e processi fondamentali.

Indicatori e indici

L'individuazione di organismi, che per la loro sensibilità ai cambiamenti ambientali, fossero in grado di attivare reazioni com-

portamentali è storia vecchia almeno quanto l'umanità. Infatti è consueto ricorrere ad indicatori per capire ed interpretare i fenomeni e le situazioni che ci circondano anche come allarme e controllo dei processi umani, tecnologici e ambientali. Esempi facili li possiamo trovare nel quotidiano di ognuno di noi: dalle analisi mediche di routine, alla sintomatologia medica e psicologica per comprendere patologie fisiche o comportamentali, alle normali spie, per esempio, del cruscotto dell'automobile che ci informano sullo stato delle condizioni meccaniche del mezzo.

Gli indicatori, in generale, hanno una vasta applicazione in tutti i campi, ma rivestono particolare significato nel campo dell'ecologia in quanto per essere considerati tali devono essere in grado di fornirci elementi di comprensione della complessità del sistema e per fare questo devono per forza interagire con i fenomeni stessi e correlarsi alle diverse variabili ecosistemiche.

I normali indicatori tecnologici forniscono, il più delle volte, indicazioni semplici riferite a risposte binomie del tipo "sì/no", oppure "aperto/chiuso" o "maggiore di/minore di", fornendo indicazioni relative solo ad una particolarità del fenomeno, perciò per ottenere un controllo globale sono necessari parecchi indicatori, aumentando così le difficoltà di analisi sintetica. Gli indicatori biologici invece forniscono informazioni sugli effetti di una sommatoria di parametri significativi relativi alla qualità ambientale; inoltre i diversi ecosistemi sono in grado di mobilitare sinergie di autoregolazione con la ricerca di un equilibrio dinamico che agisca da "tampone", esaltando le proprietà di *resilienza* del sistema considerato. Cosicché un indicatore biologico risponde bene anche nei confronti di situazioni che si sono manifestate a scale temporali diverse, spesso lunghe, per effetto dell'inerzia ecosistemica, non risentendo in modo particolare delle piccole variazioni esprimibili su piccola scala.

D'altro canto l'indicatore da solo a volte non è in grado di esprimere l'effettiva qualità ambientale, perciò sempre più spesso si ricorre all'uso di *indici*, che derivano dalle

risposte degli indicatori ed esprimono un giudizio di qualità ponderato e derivato da diverse risposte.

Infatti gli elementi dell'informazione ambientale possono essere raffigurati in forma gerarchica come una piramide, detta *piramide dell'informazione* (fig.1), la quale presenta alla base di tutto i dati primari, i quali, dopo trattazione statistica multivariata (ad esempio Analisi delle Componenti Principali), possono essere ridotti numericamente in dati elaborati, da questi si ottengono i parametri significativi che assumono caratteri di indicatori che sostanziano le caratteristiche degli indici posti al vertice della piramide.



Fig. 1 - Rappresentazione della piramide dell'informazione.

Gli indici risentono delle caratteristiche degli indicatori e individuano vari segmenti di operatività: i bioindicatori si pongono a gradi gerarchici diversi coinvolgendo più livelli dell'organizzazione biologica in un ambito di scala dei tempi di risposta (fig.2). Infatti, vi sono indicatori caratterizzati da un tempo di risposta breve ed un'attinenza ecologica bassa ed indicatori che presentano un tempo di risposta lungo, ma una attinenza ecologica elevata. La figura successiva riassume, in una logica temporale ecologica, questo concetto di sensibilità agli stress degli indicatori: si può notare la distribuzione degli ambiti di applicazione e la risposta degli indicatori inerenti a diversi modelli d'indagine.

Ad esempio i bioindicatori a livello biochimico possiedono una capacità di risposta piuttosto veloce, ma hanno una scarsa attinenza ecologica, perché investono i più bassi livelli di organizzazione biologica; invece, a livello di comunità, la risposta ecologica può essere anche a lungo termine,

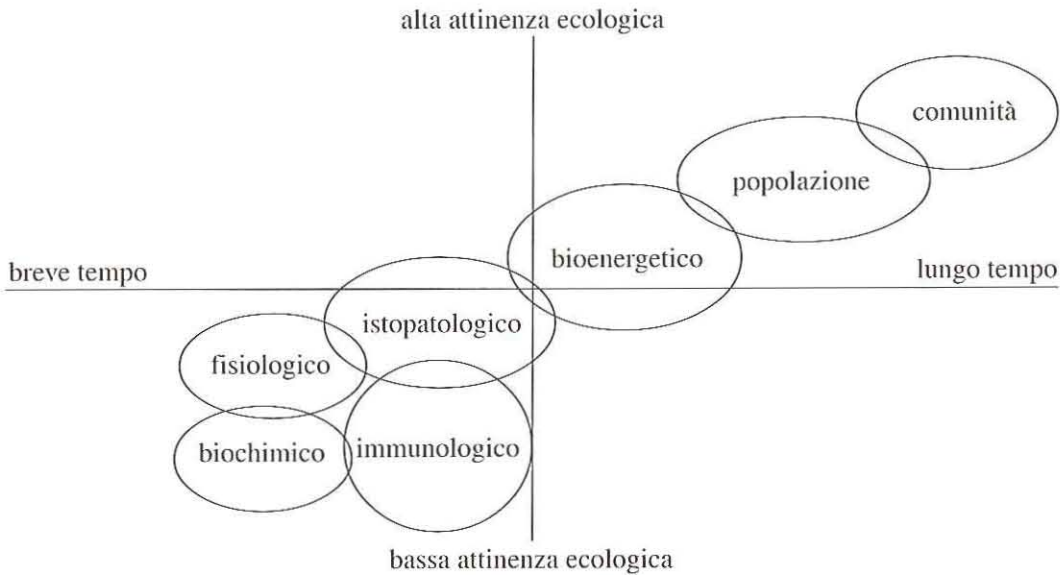


Fig. 2 - Rappresentazione sintetica dei rapporti e valenze degli ambiti di azione dei bioindicatori, nei confronti dell'attinenza ecologica e del tempo di risposta.

ma possiede un'alta attinenza ecologica, in quanto gli effetti degli stress sui sistemi biologici si riflettono ai più alti livelli di organizzazione. È chiaro, inoltre, che il coinvolgimento di più comunità biologiche determina una maggiore attinenza ecologica derivata.

Volendo classificare organicamente gli indicatori e gli indici ai fini di un monitoraggio biologico della qualità ambientale, è necessario considerare le diverse risposte che essi possono fornire, rappresentandoli appartenenti a due gruppi fondamentali, cioè:

1. a livello sovraindividuale;
2. a livello individuale o subindividuale.

Il primo caso si può ulteriormente suddividere secondo l'utilizzo di parametri:

- strutturali;
- funzionali.

Mentre il secondo sull'utilizzo di:

- bioaccumulatori;
- biosensori.

I parametri strutturali

Si basano sull'analisi tassonomica e non tassonomica degli elementi del sistema. Il rico-

noscimento tassonomico, con diverse esigenze di precisione (specie o genere o famiglia), è indispensabile per gli indici che riguardano l'analisi a diversi livelli: popolazione, comunità ed ecosistema. All'interno di ciascuna categoria d'informazione è possibile ottenere indicazione solamente dalla "presenza/assenza" di individui sensibili o dall'elaborazione matematico-statistica di algoritmi anche non parametrici. A questa categoria appartengono soprattutto gli Indici Biotici, di Diversità, di Similarità e di Comparazione di comunità.

I non tassonomici invece si riferiscono alle analisi che non richiedono, ovviamente, alcun riconoscimento tassonomico ma utilizzano comunque materiale biologico a livelli diversi di dettaglio, come ad esempio la stima della biomassa, la misura della clorofilla o altri pigmenti, dell'ATP, del tasso di respirazione, ecc.

I parametri funzionali

Dalla letteratura si definiscono parametri funzionali le misure dei processi di un ecosistema (MATTHEWS *et al.*, 1982), tali parametri sono individuati nei tassi di respi-

razione e produzione, dinamica dei nutrienti, cicli biogeochimici, tassi di crescita, ecc.

Per il monitoraggio sono spesso utilizzati parametri funzionali che si riferiscono a popolazioni o comunità, i quali possono comprendere anche analisi a livello di organismo e specie come la velocità di colonizzazione, o il recupero delle condizioni normali in seguito ad uno stress.

Tra i parametri funzionali più noti ricordiamo:

- Articolazioni trofico-funzionali;
- Produttività primaria e secondaria;
- Rapporto P/R (produzione/respirazione);
- Rapporto carbonio in ATP e nel Peso Secco.

I bioaccumulatori

Tale categoria è rappresentata da animali e vegetali in grado di assumere dall'ambiente determinati composti chimici o semplici elementi, concentrandoli nei propri tessuti, spesso anche in quantità considerevoli. Tale prerogativa consente di valutare a livello qualitativo il grado di inquinamento di un ecosistema e a volte anche in forma quantitativa se il soggetto è particolarmente resistente agli inquinanti e, quindi, può accumulare dosi chimicamente ponderabili.

Questi organismi sono stati utilizzati molto in casi di contaminazioni da radionuclidi (ricordiamo Chernobyl) o da metalli pesanti, sia in ambienti acquatici che terrestri, fornendo un valido contributo al processo di monitoraggio per uno specifico impatto.

Si possono ricordare brevemente alcuni accumulatori specifici (NIMIS, CASTELLO, 1990):

- Licheni, per le loro caratteristiche di assenza di apparato radicale, di alto rapporto tra superficie e volume, capacità di accumulo di diverse sostanze (radionuclidi, metalli, fluoruri, pesticidi, idrocarburi) e possibilità di rilevare l'età e risalire al periodo di stress;
- Alghe e Muschi offrono risultati attendibili per quanto riguarda metalli pesanti e fluoro;
- piante superiori, in forma meno evidente, possono comunque in alcuni casi essere utilizzate come bioaccumulatori, esempio i tulipani *Preludium* e i gladioli *Flowersong* e *Optima* impiegati in Olanda nel monito-

raggio atmosferico, oppure il cedro (*Cedrus deodara* G. Don) utilizzato come accumulatore di fluoro e zolfo (BENEDETTA, 1984);

- Anellidi, presentano alcuni policheti in grado di accumulare metalli tipo rame, zinco, cadmio e manganese, ad esempio *Nereis diversicolor* (BRYAN, HUMMERSTONE, 1971), mentre altri potrebbero essere impiegati come accumulatori di PCBs (poli-clorodifenili) (FOWLER *et al.*, 1978);
- Crostacei, sono poco utilizzati per la loro naturale tendenza ad accumulare sostanze tossiche nella cuticola che poi viene eliminata con il fenomeno della muta, anche se esistono in letteratura citazioni di monitoraggio con granchi e gamberi (BRYAN, 1976);
- Insetti, sono utili soprattutto allo stadio larvale e con abitudini alimentari per filtrazione e triturazione, mentre i predatori non riescono a fornire le stesse garanzie di accumulo;
- Molluschi, comprendono specie molto studiate come bioaccumulatori, soprattutto i bivalvi in ambiente marino e lagunare, per la loro abitudine alimentare filtrante; analogamente sono stati studiati Gasteropodi come accumulatori di pesticidi.

Esistono anche studi su diversi animali superiori quali bioaccumulatori, ma le ovvie difficoltà di utilizzo per un biomonitoraggio ne hanno sconsigliato l'uso.

I biosensori

I biosensori sono sistemi che connettono l'elemento biologico con un trasduttore di segnale, convertendolo in segnale biochemicalmente rilevabile. Tali possono essere enzimi, anticorpi, batteri, membrane cellulari, cellule e tessuti animali e vegetali, che nella bioindicazione possono essere utilizzati come *sensory dello stato di salute* di un essere vivente (PALLESCHI *et al.*, 1989). Le alterazioni in un organismo sono generalmente di tipo comportamentale, ma possono essere anche fisiologiche e patologiche nei casi più gravi; ne sono un esempio l'alterazione del comportamento di molti animali, superiori e non, se sottoposti ad esposizione di iniqui-

nante, oppure le variazioni della frequenza respiratoria, la presenza di anomalie epidermiche, la riduzione della attività enzimatica come la fosfatasi, l'ossidasi o la catalasi del fegato, i danni genetici, ecc.

Conclusioni

L'utilizzo della bioindicazione per la valutazione della qualità ambientale comincia a prendere sempre più piede nelle nostre realtà alpine, siano esse terrestri o acquatiche, configurando un aspetto importante come quello dello *screening* conoscitivo e del controllo nei confronti degli impatti. Tuttavia c'è ancora molta strada da fare, soprattutto nella definizione di indici legati ad aspetti più generali e meno specialistici, di facile applicazione, e di operatori qualificati e formati appositamente; c'è bisogno di indici che possano garantire non solo il controllo degli impatti e la diagnosi, ma che possano soprattutto essere preventivi e, perciò, avere valenza di strumento progettuale e programmatorio nell'ambito della gestione del territorio.

dott. Maurizio Siligardi

Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente
Provincia Autonoma di Trento
Via Mantova 14, 38100 Trento
e-mail: msilig@tin.it

BIBLIOGRAFIA

- BENEDETTA G., 1984 - *Utilizzazione dei licheni e dei cedri (Cedrus deodara G. Don) come bioindicatore dell'inquinamento atmosferico in aree urbane*. Atti del convegno di studi: *I biologi e l'ambiente. Nuove esperienze per la sorveglianza ecologica*. Reggio Emilia, 157-163.
- BRYAN G. W., HUMMERSTONE L. G., 1971 - *Adaptation of the polychaete Nereis diversicolor to estuarine sediments containing high concentrations of heavy metals. I General observations and adaptations to copper*. J. Marine Biol. Ass. UK, 51: 845-863.
- BRYAN G. W., 1976 - *Heavy metal contamination in the sea*. In: Johnstone R. (ed.), *Marine pollution*. Academic Press, London and New York, 185-302.
- FOWLER S. W., POLIKARPOV G. G., ELDER D. L., PARSİ P., VILLENEUVE J. P., 1978 - *Plychlorinated biphenyls: accumulations from contaminated sediments and water by the polychaete Nereis diversicolor*. Mar. Biol., 48: 303-309.
- MATTHEWS R. A., BUIKEMA A. L. JR., RODGERS J. H., 1980 - *Biological monitoring. Part IIA. Revealing System Functional Methods, Relationships and Indices*. Water Res., 16: 129-139.
- NIMIS P. L., CASTELLO M., 1990 - *L'uso dei licheni nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico*. Biologia Ambientale, 2: 5-25.
- PALLESCHI G., PIZZICHINI M., PILLOTON R., CREMISINI C., CHIAVARINI S., 1989 - *Biosensori: ricerca, sviluppo e applicazioni in campo biomedico, industriale e ambientale*. Rapporto tecnico ENEA, RT/PAS/89/8 Roma.

Riassunto

I comparti interessati alle vicende ambientali necessitano di strumenti in grado di agevolare e rendere credibile la valutazione della qualità dell'ambiente e delle sue modificazioni, offrendo elementi di riferimento di facile comprensione. Tali strumenti sono gli indici ambientali, costruiti utilizzando indicatori ambientali, che per loro specifica caratteristica dovrebbero garantire un alto grado di rappresentazione sintetica dell'obiettivo preposto.

In ambito biologico esistono svariati indici, costruiti con i più diversi indicatori, ottenendo modelli di valutazioni e di giudizio in funzione di ogni altra metodologia al tempo di risposta e alla attinenza ecologica dell'indice.

L'uso di metodi della bioindicazione è recente, ma ha assunto molta importanza e affidabilità nella definizione dello stress ambientale più di ogni altra metodologia analitica puntiforme. Il quadro delle conoscenze che ne derivano forniscono una base per lo studio, il controllo, la gestione e la conservazione degli ecosistemi che compongono l'ambiente alpino.

Summary

The compartments interested in the environmental problems need tools to facilitate the evaluation both the quality of the environment and its modifications, offering elements easily to be understood. Such tools are the environmental indexes, developed using environmental indicators, that for their specific characteristics should offer a high capability of synthetic representation.

Varied indexes are developed in biological studies, created with the most different indicators, supplying models of evaluations tied to the time response and the ecological relation of the index.

The use of bioindication methods is recent, but it has assumed a lot of importance and reliability in the definition of the environmental stress more than every other analytical methods. The derived knowledge furnishes a base to the study, the control, the management and the maintenance of the ecosystems that form the alpine environment.