

Uomo ed Ambiente. Biodiversità, bioindicatori ed organismi geneticamente modificati

Maurizio G. Paoletti

Dipartimento di Biologia, Università di Padova; paoletti@civ.bio.unipd.it

prof. Ecologia presso l'Università di Padova, prof. di Agroecologia presso l'Università di Helsinki, visiting professor University of Melbourne

Pervenuto il 28.9.2006, accettato il 11.10.2006

Riassunto

La biodiversità è essenzialmente formata da invertebrati terrestri di piccola o piccolissima dimensione. Per valutare e validare l'impiego delle risorse del pianeta è la biodiversità a dover essere monitorata attraverso alcune componenti che appaiono più facilmente utilizzabili. Alcuni gruppi di invertebrati detritivori appaiono più facilmente impiegabili in questa valutazione, ad esempio lombrichi, isopodi terrestri. Se molto lavoro è stato compiuto sui carabidi meritano maggiore attenzione alcuni gruppi poco studiati quali pseudoscorpioni, proturi e dipluri. Gli organismi geneticamente modificati vanno monitorati con appropriati bioindicatori. In molti casi, sinora si è proceduto in maniera piuttosto acritica. Quando come per il mais bt si sono impiegati appropriati detritivori, ad esempio lombricidi ed enchitreidi, si sono riscontrati effetti anche considerevoli causati dai residui ad es del mais ingegnerizzato.

PAROLE CHIAVE: sostenibilità / bioindicatori / invertebrati terrestri / monitoraggio / lombrichi / isopodi / pseudoscorpioni / organismi transgenici / GMO

Man and environment. Biodiversity, bio-indicators and genetically modified organisms

Major portion of organisms on the planet, the biodiversity, is run by terrestrial invertebrates. These organisms and especially the detritivores, such as earthworms and terrestrial isopods, play a consistent role as bio-indicator of environmental impact or mismanagement. If ground beetles have attracted consistent research some groups little studies such as pseudoscorpions, protura and diplura seems to be very promising. Genetically modified crops have been monitored with, in general, inappropriate bio-indicators, when adopting appropriate detritivores such as earthworms or Enchytraeidae as bio-indicators environmental harm has been better documented, for instance in the case of bt-corn

KEY WORDS: biodiversity / bio-indicators / detritivores / terrestrial invertebrates / isopods / earthworms / pseudoscorpions / genetically modified crops

INTRODUZIONE

Tra i primi abbiamo parlato nel nostro paese il termine sostenibilità, mutuato da *sustainability*, non nuovo nella letteratura angloamericana e certamente elevato da G.H. Brundland ad un livello di risonanza internazionale (PAOLETTI *et al.*, 1989; NATH *et al.*, 1996). Oggi si propongono solo progetti "sostenibili" o tipi di attività che tengano presenti i vincoli di sostenibilità (ambientale, economica e sociale); probabilmente c'è stato, e non solo in Italia, un modesto sviluppo di come cercare di misurare questa sostenibilità, partico-

larmente quando il riferimento è ambientale.

Quando il legislatore tende a progettare una riduzione di impatto ambientale, ad esempio nell'impiego di pesticidi –è il caso di Danimarca, Olanda, Svezia, Norvegia, per stare in Europa (PIMENTEL, 1997) o quando come in Italia si fa il bilancio della politica comunitaria che, pagando gli agricoltori per esercitare un minor impatto ambientale, dovrebbe cercare di monitorarlo– non si vedono grossi passi per misurare il beneficio economico, ma neppure ambientale, di que-

sto tipo di provvedimenti. Noi amiamo parlare in questo caso di Indicatori biologici di biodiversità, o meglio, di metodologie che permettano di valutare nel tempo la trasformazione di un sistema attraverso un monitoraggio attento della biodiversità. Sebbene la Comunità Europea ratifichi leggi mirate a ridurre l'impatto sull'ambiente nel settore rurale, non si è sufficientemente sviluppata una metodologia, per quanto embrionale, che possa valutare la transizione verso un nuovo tipo di paesaggio.

Esiste una forte domanda di indicatori ma spesso questi sono costruiti su parametri fisici, non ecologici, o sono formati da mere elencazioni di principi. Bioindicatori di biodiversità possono invece essere una utile e promettente base di valutazione (PAOLETTI, 1999). Un velocissimo sviluppo dell'Ingegneria genetica sta rapidamente cambiando il modo di produrre animali e vegetali: piante ed animali transgenici sono già in circolazione. L'impatto ambientale di questa nuova tecnologia è stato valutato solo parzialmente. Colture agrarie ingegnerizzate per la resistenza agli erbicidi, tossine (*Bacillus thuringiensis* cristallo proteine) ingegnerizzate entro piante coltivate, ormoni della crescita ingegnerizzati ovunque su animali da latte o da carne, salmoni grossi dieci volte quelli normali non sono fantascienza. È pensabile attuare una valutazione complessiva di questi nuovi alieni che tenga in conto l'impatto ambientale con i bioindicatori (PAOLETTI e PIMENTEL, 1996; 2000)?

Scopo del presente lavoro è un aggiornamento dell'argomento (trattato in PAOLETTI, 1996, al quale si rimanda per molte figure), in particolare per la parte relativa agli organismi geneticamente modificati.

Utilizzare la biodiversità come metro di valutazione

La vita sul pianeta, gli organismi viventi, la biodiversità, rappresentano la risorsa numericamente più consistente sul pianeta terra. Microorganismi, piante ed animali ed il loro assetto, sono la base delle nostre catene alimentari: tutte. Nonostante gli avanzamenti della conoscenza, la consistenza della biodiversità del pianeta è ancora poco conosciuta, ed ancor meno la concatenazione delle specie tra loro. Questa pluralità di organismi, che ha sperimentato prima dell'uomo la vita sul pianeta, è in grado di suggerire la sostenibilità delle ricette che tecnologia e progresso costruiscono con grande velocità e spregiudicatezza.

La biodiversità come bioindicatore di migliore assetto ambientale

Quanto di vegetale ed animale ci troviamo sul piatto nel nostro mondo sviluppato appare datato: troppe poche specie, con caratteristiche assai discutibili da un

punto di vista ambientale. È pensabile e fattibile attuare una profonda revisione di cosa mangeremo? E se diventassimo più onnivori, non potremmo gestire meglio il nostro ambiente? Quello che mangiamo, l'impatto ambientale, l'evoluzione dei paesaggi rurali sono assai strettamente collegati (PAOLETTI, 1997). È opportuno saperne di più.

RIFLESSIONE SU BIODIVERSITÀ E NUMERO DI SPECIE SUL PIANETA

Noi ci nutriamo di un numero assai limitato di organismi biologici: da una quindicina di piante e pochissimi animali ricaviamo oltre il 90% delle nostre risorse. Tre specie vegetali, i cereali – frumento, riso e mais – costituiscono circa il 70% del nostro fabbisogno di cibo. Da un'indagine tra una cinquantina di studenti di Scienze Naturali (quindi, tra presumibili esperti di piante ed animali) a Padova, nel 1995, risulta che il massimo delle specie riconosciute come facenti parte della loro dieta è 87, il minimo 10 e la media 22. Tra le più gettonate appaiono vegetali, frutti e radici di colore vivace rosso od arancio e quindi pomodoro, ciliegia, fragola, carota, mela sono tra le specie più presenti nelle liste. Popolazioni amazzoniche, invece, utilizzano centinaia di specie. Si è calcolato che le specie botaniche che hanno avuto qualche impiego per l'uomo sono nell'ordine delle 5000-8000, sulle circa 250.000 riconosciute (ESQUINAS-ALCAZAR, 1993). Animali e pesci utilizzati sarebbero alcune migliaia; probabilmente, un paio di migliaia sono gli insetti mangiati dall'uomo, su una quantità totale che comprende parecchi milioni di specie (PAOLETTI, 2005).

Ma cerchiamo di stabilire quante sono le specie viventi esistenti sul pianeta. La stima del numero di specie viventi conosciute (descritte) è alquanto imprecisa: i dati oscillano tra 1,4 e 1,8 milioni di specie. Le specie viventi sul pianeta, invece, sono stimate in un intervallo che va da un minimo di 7 ad un massimo di 82 milioni. Il numero, così strepitosamente elevato, rispetto a quanto sinora conosciuto, si basa prevalentemente su recenti stime ottenute in aree tropicali, estrapolando i dati desunti dallo studio dalla chioma della foresta tropicale (PAOLETTI *et al.*, 1992).

Balza immediatamente agli occhi la grande quantità di specie tra gli invertebrati, particolarmente gli insetti (circa 800.000), ed ancor più la stragrande quantità stimata di specie non conosciute di insetti, che potrebbero lievitare sino a 30 milioni!

Il paradosso è l'enorme discrepanza tra il numero di specie conosciute e quelle stimate. Una grande discrepanza tra specie esistenti e stimate e quanto noi riconosciamo come utile per la nostra dieta.

È assai probabile che se noi continueremo a ricorrere a poche specie (animali e vegetali) come utili per la

nostra dieta, i territori coltivati saranno sempre più omogenei, gli agroecosistemi saranno sempre più estese monoculture, poche saranno le nostre possibilità di avere un sistema differenziato di ambienti produttivi. È appunto quanto avviene già in molte parti dei paesi sviluppati. C'è da aggiungere che chi trasforma per portare sulla nostra tavola quanto gli agroecosistemi producono tende a rendersi facile la vita eliminando accuratamente la diversità, che la coltura tecnica e la tecnologia "cartesiana" vedono come "inutile" complicazione. Per fare qualche piccolo esempio, il territorio coltivato viene semplificato al massimo eliminando le formazioni vegetali spontanee quali prati, boschi e siepi. Per venire alle tipologie coltivate, alcuni esempi: le patate che vanno all'industria per produrre patate fritte –la maggior parte– devono essere tondeggianti per permettere le operazioni automatiche di sbucciatura e taglio, la selezione di molti alberi da frutto si basa sulla attrattività del colore della buccia (che preferibilmente deve essere rossa anche in frutti prevalentemente giallo-verdognoli quali la pera). La lunga e facile conservazione, la pezzatura assolutamente uguale sono altre "domande del mercato" estranee agli scopi alimentari e nutritivi. Mele ed agrumi sono spesso lucidati prima di esporli sui banconi dei supermercati. Riduzione della variabilità e monocultura della patata causarono in Irlanda una spaventosa carestia (1845-1846) dovuta ad un nuovo parassita (*Phytophthora infestans*) che falciò praticamente la sola varietà di patata (chiamata *lumper*), purtroppo molto suscettibile. Nella zona andina, da dove la patata proviene, esistono 235 specie di *Solanum* che producono tuberi; almeno sette di esse sono commestibili e molte migliaia sono le varietà locali (HAWKES, 1990; SALAMAN, 1989).

Ma tutti i gruppi umani usano così poche specie? In aree tropicali il numero di specie e differenti varietà utilizzate può raggiungere le migliaia. In un sistema orto si possono trovare sino ad alcune centinaia di specie, ad esempio in Indonesia (PAOLETTI, 1995). Ma anche in aree temperate si può trovare, incredibilmente, una grossa smentita alle poche specie correntemente mangiate. In alcuni paesi del Friuli si mangia il *pistic*, un miscuglio di almeno 56 specie erbacee selvatiche raccolto in primavera in zone prealpine in provincia di Pordenone (PAOLETTI *et al.*, 1995). Probabilmente è il risultato di una coltura celtica venuta assai prima dei cereali –tipo frumento ed orzo– introdotti diffusamente in Italia particolarmente dai Romani. Quasi nessuna di queste piante del *pistic* è stata addomesticata, neppure come ortaggio.

La monocultura è andata prevalendo, il numero di agricoltori è andato scemando, il prezzo pagato per i prodotti agricoli è andato diminuendo e la monocultura

ha la prevalenza.

Si debbono invece incentivare produzioni alimentari con tecniche che tendono a minimizzare l'impatto ambientale: tecniche integrate o biologiche, rotazione, policoltura.

QUALCHE ESEMPIO DI MONITORAGGIO E VALUTAZIONE CON BIOINDICATORI

Gli organismi sono in grado di reagire ai cambiamenti del loro ambiente esterno in varia maniera, particolarmente se questi cambiamenti sono drastici e duraturi. Il problema pratico, nell'approccio ambientale della ricerca, è la nostra modesta capacità di riconoscimento di un elevato numero di organismi differenti: se è facile conoscerne una decina, è assai difficile conoscerne qualche centinaio. Organismi empiricamente utilizzabili come bio-indicatori debbono rispondere a vari tipi di impatto ambientale (cambiamento del paesaggio, inquinamento, disturbo della copertura vegetale, lavorazioni dei suoli, loro erosione e perdita di fertilità, immissione di varie sostanze, ricaduta di fumi o residui di pesticidi, piogge acide, polveri, trasformazione del paesaggio, ecc.). Tra gli invertebrati del suolo (mesofauna), ad esempio, i lombrichi, i carabidi, gli isopodi (ma più recentemente anche organismi più piccoli quali dipluri, proturi ed in particolare pseudoscorpioni; mentre altri come acari e collemboli richiedono un livello di conoscenza molto più sofisticato) hanno dimostrato di offrire indicatori assai efficienti a vari tipi di impatto, in ambienti sia rurali che urbanizzati (VANSTRAALEN e KRIVOLUTSKII, 1996; PAOLETTI e BRESSAN, 1996; PAOLETTI *et al.* 1996; PAOLETTI, 1999; PAOLETTI *et al.*, 2007). Quando si analizza un ambiente o più ambienti danneggiati è sempre utile pigliare come confronto elementi del paesaggio vicini e presumibilmente meno disturbati: potrà essere un tratto di bosco, un incolto, una cappezzagna, la golena di un fiume, ecc.

La biomassa di detritivori viene considerevolmente ridotta al passaggio dalla situazione di bosco planiziale a coltura agraria, ad esempio nella pianura padana. I detritivori, nel loro complesso, in un modello di agricoltura a basso impatto ambientale (agricoltura biologica) possono assumere un ruolo indicatore considerevole. La minor mobilità consente loro di essere più fortemente falciati dalle varie operazioni legate all'agricoltura convenzionale (lavorazione del suolo, particolarmente aratura) impiego di vari pesticidi e, talora, anche di fertilizzanti chimici e liquami. L'identificazione del materiale talora migliora l'approccio comparativo di ambienti variamente soggetti ad impatto. Rimando nell'ambito dei frutteti in provincia di Bolzano, osserviamo che carabidi e lombrichi decrescono, per numero di specie, nel meleto convenzionale (tre specie

in meno di lombrichi e di carabidi), ma assai di più crollano in numero di individui nel frutteto convenzionale. Veloci corridori, quali spesso sono, i carabidi possono più rapidamente ricolonizzare ambienti disturbati rispetto a lombrichi o ad isopodi terrestri, meno mobili, soprattutto in agroecosistemi inseriti in un ricco mosaico ambientale fornito di piccoli appezzamenti e molti margini, come è il caso di Veggiano (PAOLETTI *et al.* 1988) o, più in generale, di aree in cui la "porosità" del territorio (presenza di margini) rimane elevata. Così il numero di specie in ambienti molto disturbati non è molto basso rispetto ad ambienti caratterizzati da basso disturbo quali sono ad esempio tratti di bosco planiziale rispetto ai coltivi. Ciò è spesso dovuto alla struttura a mosaico che in molti luoghi, anche fortemente antropizzati, può mascherare il forte disturbo costituito nei campi coltivati e nei frutteti soprattutto da lavorazioni e residui di pesticidi. Il processo di ricolonizzazione è legato alla presenza, sviluppo e dimensione di margini nel mosaico ambientale. Siepi, steccati, recinti, margini di viottoli e strade, le capezzagne, le golene, i bordi di canali e fiumi, boschi, filari, orti, giardini, ecc., sono tutti elementi del mosaico territoriale che innescano elementi di cline, sono canali preferenziali, "continenti" che riducono la repentina sparizione di molte specie dal paesaggio a seguito di disturbi anche pesanti quali sono la lavorazione dei suoli, alcuni tipi di fertilizzazione (ad esempio con liquami freschi), l'immissione di fitofarmaci, ecc.

La dimensione dei lombrichi (lunghezza) viene fortemente condizionata dalle lavorazioni dei suoli: le specie di lombrichi di grande dimensione sono relegate in aree con boschi; è praticamente quasi impossibile reperire nei campi arati lombrichi più lunghi di 16-20 cm. La situazione migliora leggermente se rotazione con colture da sfalcio o minime lavorazioni consentono un minore disturbo fisico del suoli. Peraltro lombrichi di grandi dimensioni non ricompaiono facilmente.

Alcune specie funzionano da indicatori assai precisi. Queste specie, bioindicatori, sono apparentemente sensibili ad alcune condizioni estreme e nel mosaico ambientale sembrano offrire risposte accurate.

Ad esempio, tra i coleotteri carabidi di agroecosistemi italiani abbiamo rilevato che in Veneto ed Emilia Romagna, *Brachinus sclopetae*, *Anchomenus dorsalis* o *Amara aenea* o, tra i ragni, *Pachygnata degeeri*, in maniera assai drastica spariscono dalle situazioni più disturbate.

Queste specie bioindicatrici vanno peraltro "lette" con molta cautela in quanto, avendo spesso nel territorio distribuzione discontinua, spesso sono assenti "anche da siti dove dovrebbero apparire".

È quasi sempre preferibile monitorare il territorio utilizzando serie di specie, o meglio ancora spaziando

con più grandi taxa, anziché operare con poche specie e con pochi bioindicatori. Le scelte dipendono ovviamente da budget, tempo e competenza dell'operatore.

È importante identificare le specie? Non è sempre facile e rapido lavoro, come si è detto. Necessitano mezzi tecnici più evoluti di quanto esiste sul mercato: i manuali, le faune o le faunette. L'esperienza di campo insegna che identificare a livello di specie può accentuare la identificazione di caratteristiche peculiari nel paesaggio rurale, o del paesaggio tout court. Una buona identificazione può prendere in considerazione differenze non sempre esplicite tra ambienti differenziati. La figura 1 sintetizza la risposta di un certo numero di taxa al differente impatto ambientale legato a diversi protocolli di gestione agricola: agricoltura biologica, agricoltura integrata, agricoltura convenzionale (ad elevato input) in pescheti forlivesi (PAOLETTI *et al.*, 1993). Si rileva una forte differenza nel numero di specie tra questi tre tipi di agricoltura, e la più elevata biodiversità si ha nelle aziende biologiche (Fig. 1).

Gli organismi biologici (particolarmente gli inverte-

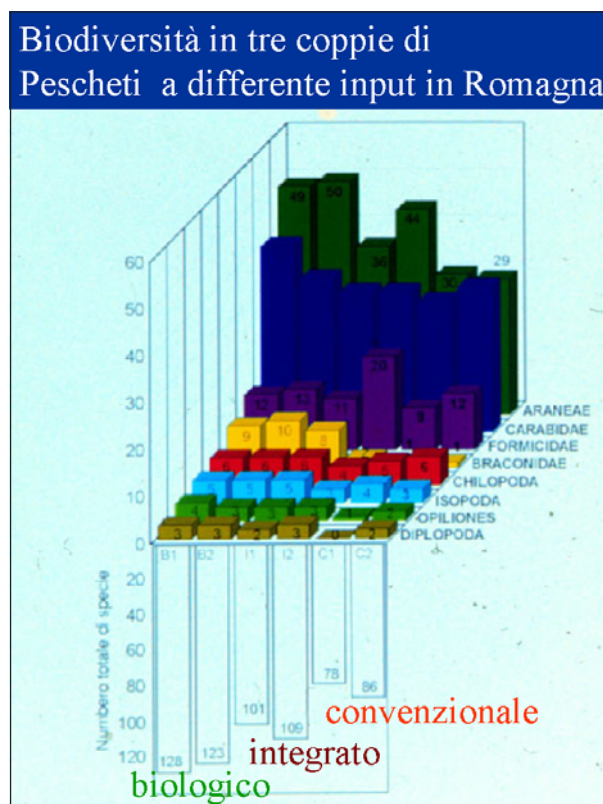


Fig. 1. In tre coppie di pescheti a differente input (due ad agricoltura biologica, due con pratiche di agricoltura integrate e due con agricoltura convenzionale) si è quantificato un impatto crescente sulla biodiversità (invertebrati) monitorata in due anni di catture con vari sistemi di raccolta (PAOLETTI *et al.*, 1993).

brati) sono la chiave per valutare l'impatto sugli ambienti modificati dall'uomo; sono certamente uno strumento più sofisticato di altri parametri, fisici e chimici. Questi ultimi offrono solamente riferimenti relativamente stabili che, però, tengono meno conto del continuo mutamento e trasformazione del paesaggio e della risposta degli organismi viventi alle condizioni del loro ambiente. Avere a disposizione analisi del suolo e più sofisticate analisi quantitative sui residui di pesticidi, metalli pesanti, ecc., può aiutare a costruire un quadro più accurato. Ma c'è un problema di costi e di tempi.

Senso critico e cautela dovranno essere sempre materiale utile per gli operatori di tale innovativo metro di valutazione con bioindicatori.

GLI ORGANISMI GENETICAMENTE MODIFICATI. RISCHI E BENEFICI PER L'UOMO E L'AMBIENTE

Le applicazioni di ingegneria genetica moderna messe in campo a partire dagli anni '90 (produzione di organismi modificati geneticamente –OGM– o transgenici) prevedono il trasferimento, detto “orizzontale” di singoli, o pochi geni, da un organismo ad un altro, anche non affine (ad esempio da un batterio ad una pianta, da un ragno ad un vegetale), trasferimento che non era pensabile con le tecniche tradizionali di incrocio e miglioramento genetico messe in campo dall'uomo sin dall'inizio della rivoluzione agricola, incominciata almeno 10.000-13.000 anni fa. L'addomesticazione di piante ed animali, infatti, è avvenuta particolarmente in alcune aree del pianeta (otto sono le più importanti) di cui la Mezzaluna Fertile (area tra Turchia-Iran-Mesopotamia, Israele, Libano-Egitto) ha costituito la base per la nostra cultura e la nostra identità alimentare. Frumento, mucca, maiale, capra, pecora, orzo, avena, pisello, olivo, mandorlo ecc. (ZOHARY e HOPF, 1993) sono il frutto di tale incredibile rivoluzione che ha comportato cambiamenti morfologici e fisiologici anche consistenti di alcuni animali e piante selvatici di quest'area, assieme ad una modificazione anche radicale del paesaggio e dell'uomo stesso (PAOLETTI e PIMENTEL, 1995, 2000).

La base di partenza della nostra vita sul pianeta è la biodiversità, costituita da circa 1,8 milioni di specie viventi conosciute (che sono state descritte ed hanno un nome scientifico) e da un numero imprecisato di organismi viventi non ancora classificati, stimati in almeno dieci se non trenta milioni di specie prevalentemente appartenenti a piccoli o piccolissimi invertebrati tra cui gli insetti fanno la parte del leone. Molte invece potrebbero essere le specie utilizzabili che attualmente hanno un uso prevalentemente locale (PAOLETTI e PIMENTEL, 2000). Oggi vengono proposte dal mercato alcune piante geneticamente modificate che hanno avuto

successo presso gli agricoltori negli USA ed in altri paesi e che vengono messe prevalentemente sul mercato da importanti Multinazionali. L'Europa mantiene un atteggiamento di cautela, mentre USA, Canada, Australia, Brasile, Argentina, Cina ed altri paesi hanno messo in campo qualcosa tra i 70 ed i 80 milioni di ettari di piante transgeniche (JAMES, 2003). Questa ingente superficie include alcune piante, tra cui cotone, mais e patata con ingegnerizzata la tossina Bt, soia resistente agli erbicidi (glyphosate), barbabietola da zucchero, colza e mais resistenti ad erbicidi o/e Bt (PAOLETTI e PIMENTEL, 2000).

Qualche esempio. La tossina Bt (si tratta di una cristallo proteina) è ottenuta da un batterio, il *Bacillus thuringiensis* che vive in svariati ambienti terrestri e di cui almeno 50 ceppi sono stati descritti e in parte sequenziati; tali tossine hanno effetto letale su alcuni gruppi di insetti, particolarmente i Lepidotteri (FISCHOFF, 1992; KRIMSKY e WRUBEL, 1996; PAOLETTI e PIMENTEL, 1996; CERDA e PAOLETTI, 2004).

Le piante geneticamente modificate per la resistenza agli erbicidi sono la parte più cospicua dei brevetti sinora depositati ed approvati, circa il 50% (ad esempio: soia, barbabietola, mais e colza). Alcuni animali da allevamento come il salmone, la trota, la carpa sono stati ingegnerizzati con ormoni della crescita di altre specie, per aumentarne la velocità di crescita. Pare siano iniziate alcune produzioni di questi pesci transgenici in paesi extraeuropei. In USA molto del latte prodotto viene ottenuto manipolando con ormoni ingegnerizzati la lattazione delle vacche, che risultano così più produttive. Vari animali da allevamento sono stati ingegnerizzati geneticamente per produrre specifiche proteine per uso medico e farmaceutico (KRIMSKY e WRUBEL, 1996). Ogni giorno vengono proposti sulle riviste specializzate organismi transgenici con proprietà intese a migliorarne alcuni aspetti nutrizionali o di resistenza a fattori ambientali avversi: ad esempio, meloni resistenti ai virus o riso più ricco di vitamina B, ecc (ALTIERI, 2000; PAOLETTI e PIMENTEL, 1996, 2000).

L'opinione pubblica ed il cosiddetto mondo scientifico e politico hanno reagito in vario modo, in differenti momenti ed ambienti di fronte a questo processo recente che vede nel trasferimento “orizzontale” di geni una modalità sempre più diffusa che sembra contrastare la tradizione del miglioramento genetico, che avviene prevalentemente per trasferimento “verticale” di geni ed in un ambito ristretto di organismi affini tra loro.

Le problematiche poste sono di varia natura: da una opposizione di principio che indica come arbitrario il trasferimento di geni tra organismi disparati e loro successiva protezione con brevetti da parte di addetti ai lavori, ai ventilati rischi per l'uomo e per l'ambiente

(KRIMSKY e WRUBEL, 1996; ALTIERI, 2000; PAOLETTI e PIMENTEL, 2000; CERDA e PAOLETTI, 2004). È stato anche evidenziato l'aspetto brevettuale che protegge i prodotti transgenici a scapito di una presunta esigenza di liberalizzare l'utilizzazione della biodiversità e dei semi (ALTIERI, 2000). Sono stati ipotizzati rischi per la salute umana e per le catene alimentari e molti osservatori hanno evidenziato possibili interazioni con l'ambiente e più in generale con la biodiversità (KRIMSKY e WRUBEL, 1996; PAOLETTI e PIMENTEL, 1995 e 2000).

I promotori degli OGM ritengono invece queste tecnologie null'altro che una moderna estensione di quanto già avvenuto sin dalle origini dell'agricoltura, che in anni recenti ha visto l'introduzione di ibridi (ad es. mais e riso) e varie tecniche artificiali per indurre mutazioni da selezionare (FISCHOFF, 1992; ZOHARY e HOPF, 1993; JAMES, 2003). Tra i promotori dell'Ingegneria genetica non è mancato chi ha evidenziato possibili benefici per risolvere i problemi della "fame nel mondo" (ALTIERI, 2000). Peraltro, su quest'ultimo punto il ruolo di queste realizzazioni (attuali prodotti geneticamente ingegnerizzati), come di altre moderne tecnologie, appare irrilevante. Una prova è stata offerta dal Messico. Fu donata una patata transgenica resistente all'attacco dei virus che, pur fornita gratuitamente, si è dimostrata incapace di fornire una nuova base di sussistenza ai piccoli agricoltori che tradizionalmente si scambiano il seme, mantengono alta la biodiversità delle loro colture, non hanno quattrini per approvvigionarsi di materiale distribuito sul mercato da rivenditori (QUAIM, 1998; PAOLETTI e PIMENTEL, 2000). A quanto è dato di sapere, una patata dolce transgenica con elevato contenuto di proteine (la "patata americana" –una importante coltura di paesi poveri tropicali– ha peraltro bassissimo tenore proteico) è rimasta solo un esperimento positivo, ma senza applicazioni.

Qualche ricordo personale, che ha solo il valore di testimonianza, forse può essere utile per indicare il clima in cui avvengono gli esperimenti con gli organismi geneticamente modificati. Immediatamente prima dell'inizio della prima commercializzazione di piante transgeniche, nel 1992, ero stato invitato come *visiting professor* con una borsa di studio dell'OCSE all'Università di Cornell, Itaca (N.Y., USA), una delle università americane più coinvolte nella nascita delle tecniche di ingegneria genetica e, al tempo stesso, un centro molto attento alle problematiche della sostenibilità ambientale (PIMENTEL, 1997). Il clima che si respirava tra gli addetti ai lavori era che le varietà transgeniche, offrendo una migliore immagine biotecnologica, avrebbero avuto una grossa prospettiva di mercato. In realtà tale fattore di *marketing* si è dimostrato almeno in parte erroneo e si è assistito negli anni seguenti ad una rinuncia della prassi di indicare in etichetta la

natura dei prodotti transgenici, che il mercato dimostrava di non gradire in maniera preferenziale rispetto agli equivalenti non ingegnerizzati. Questo problema delle etichette e dell'*OGM free* è ancora una questione dibattuta soprattutto in Europa (KRIMSKY e WRUBEL, 1996; ALTIERI, 2000). Ricordo che lo stesso anno si diceva che una grande società aveva pronto per il lancio sul mercato un pomodoro Bt che peraltro, dopo il responso negativo ottenuto su campioni di consumatori che indicava la non propensione ad acquistare un ortaggio da mangiare fresco contenente una tossina, per quanto specifica di bruchi di farfalle, si sospese il progetto che invece portò alla commercializzazione di mais e patata Bt che richiedono, come è ben noto, la cottura prima di essere consumati. La questione non si poneva per il cotone Bt che è prevalentemente usato per produrre la fibra. Peraltro l'impiego dei semi per uso alimentare umano ed animale va seguito con molta attenzione e gli eventuali rischi vanno accuratamente monitorati.

Ricordo che un illustre scienziato che si occupava di problemi ambientali aveva segnalato ad alcuni biotecnologi della Cornell University che secondo lui era importante sviluppare opportune indagini e verifiche sul rischio ambientale, e questi ribatterono che non era il caso di fare alcuna indagine perché il loro lavoro di laboratorio era assolutamente sicuro e che le questioni ambientali non avevano nulla a che vedere con l'adozione di organismi transgenici per l'agricoltura.

Possibili rischi: induzione di resistenza sul fitofago che si intende controllare, ad esempio con il mais Bt

Il problema primario previsto a seguito dell'esteso impiego di colture ingegnerizzate con il Bt è l'induzione di resistenza diffusa ai fitofagi che si desidera colpire (presumibilmente almeno la piralide del mais in Europa) non appena tutte le piante in campo siano uniformemente ingegnerizzate con la tossina Bt (FISCHOFF, 1992; PAOLETTI e PIMENTEL, 1996; CERDA e PAOLETTI, 2004;). Qual è la strategia proposta per evitare l'insorgere della resistenza? I maggiori esperti americani sono particolarmente preoccupati (ad esempio Robert T. Roush all'Università di Cornell, ora in Australia, o F. Gould all'Università del North Carolina) ed hanno proposto l'obbligatorietà di mantenere "aree di rifugio" costituite da piante non transgeniche che possano ragionevolmente ridurre la probabilità di selezionare positivamente geni di resistenza (CERDA e PAOLETTI, 2004). Non basta dire, come si suggerisce, che "prossimamente verranno immessi nuovi ceppi di Bt, quando la resistenza sarà conclamata", il che è già l'ammissione che gli agricoltori saranno soggetti alla nuova strategia (CERDA e PAOLETTI, 2004). Ma tale tecnologia

è ritenuta utile in Europa? Attualmente solo pochissimi agricoltori in Italia impiegano insetticidi contro la piralide del mais (circa il 10% della superficie a mais risulta trattata con insetticidi). La tossina Bt, impiegata invece come insetticida a limitato spettro d'azione, ha una crescente importanza nel controllo biologico ed integrato dei lepidotteri di varie colture. Se la resistenza fosse indotta dal mais Bt su alcuni fitofagi, diverrebbe inutilizzabile la difesa delle colture con insetticidi a base di Bt in programmi di lotta biologica ed integrata (CERDA e PAOLETTI, 2004).

Tossicità dei residui delle colture Bt

Se solamente lo 0,01-0,02% delle proteine totali del mais Bt sono rappresentate dalla tossina (cristallo proteina Bt), questa può essere disseminata nell'ambiente (soprattutto il suolo) ed influenzare vari organismi della catena alimentare. Tale rischio si è dimostrato fondato e vari insetti predatori hanno dimostrato di essere danneggiati dalla presenza di materiale Bt nella loro catena alimentare attraverso polline, prodotti e residui delle colture transgeniche (LOSEY *et al.*, 1999; PAOLETTI e PIMENTEL, 2000); lo stesso si è visto per detritivori, ad esempio per anellidi quali *Lumbricus terrestris*, o per Enchitreidi (ZWAHLEN *et al.*, 2003; FROUZ *et al.*, 2004) od addirittura per specie di bruchi innocui alle colture che si nutrono di malerbe che sono state lambite dal polline di mais transgenico (PAOLETTI e PIMENTEL, 1995; LOSEY, 1999).

Spettro di tossicità all'uomo ed agli animali domestici

Apparentemente questa tossina sembra non danneggiare animali vertebrati e molti invertebrati (PAOLETTI e PIMENTEL, 1996); la serietà delle agenzie che hanno stabilito ciò è fuori discussione (ad esempio FDA ed EPA). Fidiamoci delle agenzie, certamente, ma continuiamo a dubitare ed a vigilare nel tempo medio e lungo. Molti principi attivi impiegati in Agricoltura, che oggi sono stati banditi dal mercato, a suo tempo hanno ottenuto il benessere delle agenzie preposte alla difesa della salute dell'uomo e dell'ambiente (ALTIERI, 2000). Principi di precauzione, pur non limitando la ricerca, dovrebbero investire queste come altre tecnologie (PAOLETTI e PIMENTEL, 1996).

L'agricoltura, soprattutto nei paesi avanzati, dovrebbe puntare a produrre non di più, ma meglio ed a minor costo ambientale a vantaggio dei contribuenti, degli agricoltori, dei consumatori, dell'ambiente in senso ampio, non solo a favore della filiera: questa è la priorità più condivisibile. Barbabietola, mais, soia transgenici per il Bt o per la resistenza agli erbicidi non seguono questa strategia (KRIMSKY e WRUBEL, 1996). Ad esempio, il Glyphosate, erbicida associato a soia e

mais geneticamente modificati, da un punto di vista ambientale è un po' meno dannoso di altri "vecchi" erbicidi –ad esempio le triazine ed il 2,4D– ma è molto dannoso ad organismi acquatici, molti invertebrati, ecc. (WHO, 1994; Cox, 1996). Il Glufosinate ammonio, erbicida per la cui resistenza sono stati ingegnerizzati la barbabietola da zucchero, mais e colza, ha presumibili effetti mutageni sui roditori (Cox, 1996) oltre che su svariati invertebrati (AHN *et al.*, 1997).

Recentemente sono stati evidenziati importanti significativi effetti sulla morfologia submicroscopica in tessuti di testicoli, fegato ed epatopancreas in topolini nutriti con soia transgenica resistente al glyphosate (MALATESTA *et al.*, 2002). Tali evidenze preoccupanti necessitano un'approfondita analisi che dovrebbe essere quanto prima finanziata.

Qualche esempio positivo in prospettiva per l'Ingegneria Genetica?

La maggiore aspettativa sembra quella di produrre piante più resistenti agli attacchi di parassiti, che richiedano quindi minori quantità di pesticidi, di ridurre l'impiego di acqua, energia e materiali per produrre derrate in maniera più sostenibile e senza compromettere la biodiversità.

Arrivare a mettere a punto "perennial grains" è un obiettivo molto importante (PIMENTEL, 1997; PAOLETTI e PIMENTEL, 1996, 2000). W. Tingey e R. Plaisted all'Università di Cornell and Ithaca N.Y., USA (con metodi tradizionali d'incrocio e senza l'impiego di tecniche di ingegneria genetica) hanno prodotto un ibrido tra due patate (*Solanum berthaultii* x *Solanum tuberosum*) giungendo dopo quattordici anni ad una pianta "tossica" per gli insetti su foglie e steli, ma con tuberi assolutamente commestibili. La differenza è che questa "tossicità" è stata prelevata non da un lontano microrganismo, ma semplicemente da un "cugino" appartenente allo stesso genere (*S. berthaultii*, vivente sulle Ande Boliviane) che sa difendere da solo, e meglio, le proprie foglie dagli insetti rispetto alla nostra indispensabile patata (*S. tuberosum*). Da qualche anno, tale nuova varietà è sul mercato nello Stato di New York. Teniamo pure per benino in osservazione questa realizzazione, ma è più probabile che sia questa la strada meno arrischiata di aumentare la tossicità (perduta) delle piante coltivate per renderle meglio attrezzate contro insetti ed organismi patogeni: operando nella cerchia dello stesso o di generi affini. Sviluppare melo e vite, resistenti ai funghi patogeni, che attualmente richiedono l'impiego di ingenti quantità di fungicidi, partendo dai parentali selvatici (PAOLETTI e PIMENTEL, 1995) non è più un'utopia: quest'anno si è riusciti per il melo ed anche ad opera di ricercatori italiani (BELFANTI *et al.*, 2004). Se darà responsi positivi in

pieno campo questo melo transgenico potrebbe ridurre l'impiego di fungicidi che attualmente esercitano notevoli impatti sulla biodiversità degli agroecosistemi (PIMENTEL, 1997; PAOLETTI e PIMENTEL, 1995, 2000). Il cotone ingegnerizzato con il Bt ha dimostrato, soprattutto in Cina (PRAY *et al.*, 2002) ed in Australia (Gary Fitt, comunicazione personale, VIII 2004), di richiedere quantità di insetticidi molto inferiori: va quindi considerata a fondo, prima di un giudizio definitivo, questa valenza ambientale certamente positiva. Caso per caso. Comunque ricerche più recenti di ricercatori della Cornell University ridimensionano i vantaggi del cotone bt almeno per la realtà cinese, mentre l'impiego alimentare dei semi di cotone Bt rimane da valutare accuratamente, come l'effetto nel suolo dei residui della coltura.

La strada attualmente intrapresa nella realizzazione di piante transgeniche proposte è assai controversa. Si era partiti pensando che "geneticamente ingegnerizzato" fosse una nuova *griffe*, un modo di ottenere con un brevetto nuovi spazi di mercato, ed ora ci si accorge non solo che in parecchie situazioni le piante transgeniche non sono una *griffe* popolare, ma addirittura che emerge una richiesta opposta di *OMG free, slow food*, di prodotti derivati da agricoltura biologica certificata, ecc.

Pare che si stia legiferando in Italia per garantire sia le produzioni *OMG* che quelle esenti. Questo processo di far convivere due tipi di tecnologie in territori resi giocoforza contigui dalla tipologia rurale del nostro paese non sarà privo di problemi e contraddizioni: ad esempio l'accresciuta possibilità di contaminazione per le colture che praticheranno l'*OGM free*. Non sappiamo se questo processo comporterà forme di monitoraggio, ma certamente si dovranno prescrivere non in maniera formale ma sostanziale.

L'Europa ha sinora mantenuto un profilo di cautela di fronte alle realizzazioni dell'ingegneria genetica (KRIMSKY e WRUBEL, 1996). Questa cautela ricorda la lentezza con cui il mais divenne coltura di pieno campo quasi due secoli dopo la sua prima comparsa in Spagna ed Italia nelle prime decadi del XVI secolo. Cautela, però, non vuol dire bandire la ricerca e neppure restringere ogni tipo di ricerca solo sugli organismi transgenici.

Le scelte degli uomini dovrebbero poter essere basate sulla razionalità ed il buon senso. Per le realizzazioni dell'Ingegneria Genetica la generalizzazione non aiuta; sembra più appropriato un approccio caso per caso, anche se scontenterà molti. Mantenere sì la ricerca sulle biotecnologie, ma non fornire i mezzi solo a chi lavora ad "occhi bendati" e non si pone questioni più ampie di visuale che travalicano il suo minuto campo d'indagine. Le difficoltà ad avere finanziamenti adeguati sulla ricerca che analizza i rischi delle piante *GMO*, ad esempio su organismi del suolo (bioindicatori), sono un sintomo preoccupante.

Recentemente è stato ricordato che *Ecological Engineering* suggerisce che anche l'approccio ambientale ha il suo ruolo e la sua importanza nella gestione dell'Agricoltura e dell'ambiente con strategie, appunto, ecologiche. Un approccio *soft* dell'"ingegneria ecologica" (GURR *et al.*, 2004) —che minimizza i rischi ambientali e mette al centro biodiversità, uso delle risorse, agricoltori e consumatori— può essere molto promettente e richiede la stessa tensione ed attenzione dell'ingegneria genetica. Si dovrà tener conto di queste metodiche che raccolgono tradizione ed innovazione, ma che debbono operare con il più vasto consenso e la maggior sostenibilità possibile ed un occhio alla biodiversità ed al suo monitoraggio con bioindicatori appropriati.

BIBLIOGRAFIA

- AHN Y.J., CHO J.R., KIM Y.J., YOO J.K., LEE J.O., 1997. Toxicity of the herbicide glufosinate-ammonium to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) under laboratory and field conditions. *Pestic. Sci.* **51**: 455-461.
- ALTIERI M.A., 2000. The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health*, **6**: 13-23.
- BELFANTI E., SILFVERBERG-DILWORTH E., TARTARINI S., PATOCCHI A., BARBIERI M., ZHU J., VINATZER B.A., GIANFRANCESCHI L., GESSLER C., SANSAVINI S., 2004. The HcrVf2 gene from a wild apple confers scab resistance to a transgenic cultivated variety. *PNAS*, **101**(3): 886-890.
- CERDA H., PAOLETTI M.G., 2004. Resistance management to Bt engineered crops: is it different to conventional insecticide resistance management? *Critical Reviews of Plant Science*, **23**(4):317-23.
- COX C., 1996. Herbicide Factsheet: Glufosinate. *Journal of Pesticide Reform*, **16**(4): 15-19.
- ESQUINAS-ALCAZAR J.T., 1993. La diversidad Genetica Como Material Basico Para el Desarrollo Agrícola. In: J.I.Cuberto and M.T. Moreno *La Agricultura del Siglo XXI*, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 79-102.
- FISCHOFF D.A., 1992. Management of Lepidopteran pests with insect resistant cotton: recommended approaches. 1992

- Beltwide cotton conference*. pp. 751-753.
- FROUZ J., ELHOTTOVÁ D., 'OURKOVÁ M., KOCOUREK F., 2004. The effect of Bt-corn on soil invertebrates and decomposition rates of corn post-harvest residues under field and laboratory conditions. *In stampa*.
- GURR G.M., WRATTEN S.D., ALTIERI M.A., 2004. *Ecological Engineering for pest management*. CSIRO Pub. 232 pp.
- HAWKES J.G., 1990. *The potato Evolution, Biodiversity and Genetic Resources*. Smithsonian Institution Press, Washington DC, 259 pp.
- JAMES C., 2003. *Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2002 Feature: Bt maize*. ISAAA Briefs No. 29. ISAAA: Ithaca, NY.
- KRIMSKY S., WRUBEL R.P., 1996. *Agricultural Biotechnology and the Environment*. University of Illinois press, Urbana and Chicago, 295 pp.
- LOSEY J.E., RAYOR L.S., CARTER M.E., 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* **399**: 214
- MALATESTA M. *et al.*, 2002. Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean. *J. Anat.* **201**: 409-415.
- NATH B., DEVUYST B.E., HENS L., 1996. *Sustainable Development*, Vubpress Bruxelles, 365 pp.
- PAOLETTI M.G., 1995. Biodiversity, Traditional Landscapes and Agroecosystem Management. *Landscape and Urban Planning*, **31**: 117-128.
- PAOLETTI M.G., 1996 (2000). La biodiversità come risorsa strategica: valutazione di sostenibilità nei sistemi produttivi. In: Baldaccini G.N. e G. Sansoni *I Biologi Italiani e l'Ambiente... oltre il duemila*. Ed. CISBA, Reggio Emilia, pp. 139-155.
- PAOLETTI M.G., 1997. Are there alternatives to wheat and cows in order to improve landscape quality and biodiversity? In: Napier T., Camboni S. and J. Tvrdon, *Soil and Water Conservation Policies: Successes and Failures*. Water and Conservation Society press, in press.
- PAOLETTI M.G. (ed.), 1999. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes. Practical use of Invertebrates to assess sustainable Landuse*. Elsevier, 446 pp.
- PAOLETTI M.G. (ed), 2005. *Ecological Implications of the use of minilivestock. Insects, rodents, frogs and snails*. Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire, USA, 648 pp.
- PAOLETTI *et al.*, 2007. Bioindicator strategy at Vallevicchia. In prep.
- PAOLETTI M.G., BRESSAN M., 1996. Soil Invertebrates as bioindicators of Human Disturbance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **15**(1): 21-62.
- PAOLETTI M.G., DREON A.L., LORENZONI G.G., 1995. Edible Weeds "Pistic" found in W. Friuli, (N.E. Italy), *J. Econ. Bot.*, **49**(1): 26-30.
- PAOLETTI M.G., FAVRETTO M.R., MARCHIORATO A., BRESSAN M., BABETTO M., 1993. Biodiversità in pescheti forlivesi. In: Paoletti M.G. *et al. Biodiversità negli Agroecosistemi*. Osservatorio Agroambientale, Centrale Ortofrutticola, Forlì, pp. 20-56.
- PAOLETTI M.G., IOVANE E., CORTESE M., 1988. Soil Pedofauna Bioindicators and Heavy Metals in Five Agroecosystems in N.E. Italy. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **25**: 33-58.
- PAOLETTI M.G., PIMENTEL D., 1995. The Environmental and Economic Costs of Herbicide Resistance and Host-Plant Resistance and Host-Plant Resistance to Plant Pathogens and Insects. *Technological Forecasting and Social Change*, **50**: 9-23
- PAOLETTI M.G., PIMENTEL D., 1996. Genetic Engineering in Agriculture and the Environment. *BioScience*, **46** (9): 665-673.
- PAOLETTI M.G., PIMENTEL D., 2000. Environmental Risks of Pesticides versus Genetic Engineering for Agricultural Pest Control. *J. Agricultural and Environmental Ethics*, **12**(3): 279-303.
- PAOLETTI M.G., PIMENTEL D., STINNER B.R., STINNER D., 1992. Agroecosystem Biodiversity: Matching production and conservation biology. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **40**: 3-26.
- PAOLETTI M.G., SCHWEIGL U., FAVRETTO M.R., 1995. Soil Macroinvertebrates, Heavy Metals and Organochlorines in Low and High Input apple Orchards and a Coppiced Woodland. *Pedobiologia*, **39**: 20-33.
- PAOLETTI M.G., SOMMAGGIO D., BRESSAN M., CELANO E., 1996. Can sustainable agriculture practices affect biodiversity in agricultural landscapes? A case study concerning orchards in Italy. *Acta Jutlandica*, **71**(2): 241-254.
- PAOLETTI M.G., STINNER B.R., LORENZONI G.G. (eds.), 1989. *Agricultural Ecology and Environment*. Elsevier, 636 pp.
- PIMENTEL D. 1997. *Techniques for Reducing Pesticide Use: Economic and Environmental Benefits*. J. Wiley and Sons Ltd, 444 pp.
- PRAY C.E., JIKUN HUANG, RUIFA HU, SCOTT ROZELLE, 2002. Five years of Bt cotton in China the benefits continue. *The Plant Journal*, **31**(4): 423-430.
- QUAIM M., 1998. *Transgenic Virus Resistant Potatoes in Mexico: Potential Socioeconomic Implications of North-South Biotechnology Transfer*. ISAAA Briefs, Cornell University 7-1998.
- SALAMAN R.N., 1989. *Storia Sociale della patata*. Garzanti, 434 pp.
- VAN STRAALEN, KRIVOLUTSKII D. (eds), 1996. Bioindicator Systems for Soil Pollution.
- WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION), 1994. *Glyphosate*. Geneva. 177 pp.
- ZOHARY D., HOPF M., 1993. *Domestication of Plants in the Old World*. Clarendon Press, Oxford, 278 pp.
- ZWAHLEN C., HILBECK A., HOWALD R., NENTWIG W., 2003. Effects of transgenic Bt corn litter on the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Molecular Ecology*, **12**: 1077-1086.

