

# Scienza incerta e dubbi dei consumatori

## Il caso degli organismi geneticamente modificati

La prudenza è d'obbligo di fronte a scelte che modificano profondamente l'ambito nel quale vengono applicate.

Nel complesso rimane un'esigenza di carattere generale:  
la richiesta di maggiori studi liberi da interessi economici,  
che diano ai consumatori la sicurezza reale che le carte non siano truccate.



---

Slow Food Editore

# Scienza incerta e dubbi dei consumatori **Il caso degli organismi geneticamente modificati**



---

Slow Food Editore

In collaborazione con



# Sommario

Introduzione	7
Nota tecnica del curatore	13
1. Agricoltura e biotecnologie	15
2. Agricoltura industriale colture transgeniche e biodiversità	27
3. Le piante geneticamente modificate: questione di scienza o sociale ed economica?	43
4. Impatto ambientale e sociale delle coltivazioni transgeniche	53
5. L'impatto ecologico degli OGM	67
6. OGM e rischio ambientale: una prospettiva ecologica	77
7. Il Dna transgenico: il vero problema dell'ingegneria genetica	97
8. Effetti sul topo di un'alimentazione contenente soia geneticamente modificata	115
9. Indagini in vivo e in vitro sull'impiego di OGM nell'alimentazione animale	125
10. OGM e zootecnia: prodotti derivati da animali alimentati con alimenti GM sono realmente uguali a quelli di animali alimentati con razioni GM free?	135
11. OGM: implicazioni per la salute umana	147
12. L'impatto socio-economico degli OGM: perché non è ancora possibile	163
13. Dalla coltivazione all'impiego: la nuova frontiera del problema OGM	175
14. Organismi Transgenici ed Economia Agricola Italiana: Opportunità o Rischi?	185

# Introduzione

**Giovanni Monastra**

*Dirigente U.O. Progetti Europei e Pianificazione Ambientale*

*Dipartimento Tutela Ambientale e del Verde Urbano, Roma capitale*

Il tema degli Organismi Geneticamente Modificati (OGM) in agricoltura suscita atteggiamenti e posizioni contrastanti e spesso molto conflittuali, anche se in certi momenti l'argomento sembra essere meno presente nel dibattito sociale. In realtà è come un torrente che lungo il suo corso alterna tratti nascosti nel sottosuolo a tratti visibili all'aperto, momenti di silenzio a momenti di fragore. Rimane, sempre e comunque, un problema centrale, non solo per il comparto agroalimentare, anche per l'intera società. Uno dei miti, del tutto falsi e mistificanti, che certi ambienti hanno cercato di veicolare e affermare sui media è che la comunità scientifica sarebbe favorevole agli OGM, mentre solo gli ambienti accecati da ideologie antimoderne e antiscientifiche sarebbero contrari. Insomma, uno scontro fra "esperti" e "incompetenti". La contrapposizione in realtà appare pretestuosa, oltre che basata su paradigmi inaccettabili (cioè sulla pretesa di segregare in ambiti chiusi alla società scelte importanti per tutti, delegando ogni decisione a nuovi "sacerdoti" investiti di infallibilità). Infatti, se il parere degli esperti è essenziale nell'ambito strettamente scientifico, quando, invece, si affronta il tema dell'innovazione, cioè dell'applicazione alla società di nuovi strumenti tecnico-scientifici il discorso va necessariamente allargato ad altri

soggetti non più solo di settore, dal momento che entrano in gioco elementi valoriali e interessi diffusi. A guardare con attenzione, inoltre, la storia della scienza ha dimostrato che in alcuni casi importanti gli “esperti” hanno fatto previsioni e valutazioni errate sul danno che particolari prodotti potevano avere per la salute o per l’ambiente. Si ricordi, ad esempio, la responsabilità di molti ricercatori nel minimizzare od occultare gli effetti nocivi di DDT, PCB e amianto. La prudenza, quindi, è d’obbligo di fronte a scelte che modificano profondamente l’ambito nel quale vengono applicate. Il dibattito preliminare deve essere ampio e approfondito e deve coinvolgere tutti i portatori di interesse, non solo alcuni.

Al di là di questo necessario allargamento dei soggetti legittimati a decidere e ritornando al dibattito scientifico sugli OGM, l’opposizione tra “esperti favorevoli” e “incompetenti contrari” è radicalmente falsa: si tratta di un semplicistico schema manicheo per delegittimare le argomentazioni dei critici dell’agricoltura transgenica, che – non va dimenticato – rappresenta solo una parte del più vasto settore agrobiotecnologico, sicuramente ricco di soluzioni utili. Proprio a proposito giunge la pubblicazione di questo testo, che ospita gli interventi presentati al convegno *Agricoltura e biotecnologie: il fronte della ricerca tra un’avanguardia silenziosa e un’innovazione superata*, tenutosi a Roma il 20 luglio 2010, su iniziativa della task force *per un’Italia libera da OGM* composta da varie associazioni di agricoltori, consumatori e ambientalisti. Tra i contributi raccolti troviamo molte qualificate riserve di fronte all’introduzione (in Italia e non solo) delle colture ingegnerizzate: costituiscono l’ennesima smentita alla mitologia, superficiale e interessata, che vorrebbe tutta la comunità scientifica propensa ad aprire l’Italia a questo particolare tipo di soluzioni. Gli interventi pubblicati sono il frutto di analisi e ricerche di studiosi italiani qualificati, con competenze in vari settori, tutti strettamente legati agli OGM in agricoltura: dalla genetica alla nutrizione e alimentazione animale, dalla medicina all’economia agraria, dalla zootecnia all’ecologia, dalle produzioni vegetali alla zoologia. Nel complesso emerge un approccio globale e trasversale, ben lontano da



interventi viziati da un approccio industrialista, tecnocratico e riduzionista. Va considerato, inoltre, che gli autori dei contributi qui ospitati costituiscono solo una parte del mondo scientifico italiano critico rispetto al tipo di innovazione proposto: l'intera area è ben più estesa sia in Italia sia nelle altre nazioni. E proprio dall'estero, con precisione dal Canada, è arrivato di recente un nuovo allarme per la salute, ovviamente ancora da confermare, ma altrettanto ovviamente da considerare con attenzione<sup>1</sup>.

Di che si tratta? Un gruppo di ricerca dell'Università di Sherbrooke, in Canada, ha cercato di verificare se la dieta quotidiana a base di OGM possa rappresentare un problema sanitario. A tale scopo sono stati analizzati campioni ematici di un gruppo di 69 donne, di cui 30 incinte, rappresentative della popolazione canadese, che da tempo si alimenta con prodotti transgenici, ormai diffusi nel Paese (principalmente mais e soia). Le analisi hanno identificato livelli rilevabili della tossina insetticida prodotta dai geni del batterio *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), introdotti negli OGM per conferire resistenza alla piralide, e di due erbicidi, glifosato e glufosinato (e relativi metaboliti), usati estesamente in alcune colture geneticamente modificate rese artificialmente tolleranti a tali composti chimici. I dati sono rilevanti in quanto forniscono un quadro rappresentativo della realtà esistente in una società "transgenica", per altro ancora limitata a pochi OGM, e derivano da uno studio condotto su una popolazione che vive in condizioni "normali" e non su un gruppo sperimentale alimentato in modo particolare. È un'indagine da sviluppare e approfondire ulteriormente, ma comunque molto significativa. Tra l'altro, sull'uso del presunto inoffensivo glifosato si era avuto un altro allarme a metà gennaio 2011 negli USA, dove – secondo la denuncia fatta da un esperto di patologia vegetale, Don Huber, della Purdue University – sarebbe stato identificato un agente patogeno finora sconosciuto, derivante proprio dall'uso di questo erbicida. È opportuno notare

1. Aris A., Leblanc S. (2011), *Maternal and fetal exposure to pesticides associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada*, *Reproductive Toxicology*, 31, pp. 528-33.



che il gruppo di scettici a senso unico (scettici solo quando si tratta di dati pericolosi per gli OGM o per alcuni di essi) si sono precipitati a diffondere insinuazioni, se non addirittura diffamazioni, per demolire il valore di questi allarmi. Senza entrare nel merito di tali notizie, che devono essere verificate da gruppi di ricerca realmente indipendenti, rimane un'esigenza di carattere generale: la richiesta di maggiori studi e sperimentazioni libere da interessi di potenti oligarchie economiche (spesso finanziatrici occulte anche dei ricercatori del settore pubblico), che diano ai consumatori la sicurezza reale che le carte non siano truccate. Il potere di una parte della grande industria in ambito agroalimentare, infatti, sta costituendo un vero e proprio pericolo per la sicurezza alimentare globale, anche se non mancano esempi positivi da parte di industrie private. Va ricordato, poi, il problema dei brevetti sul cibo, forse il più grave degli aspetti negativi legati allo sviluppo degli OGM, che – come è noto – sono terra di conquista principale delle multinazionali (la ricerca interamente pubblica è del tutto residuale nel settore): la crescente privatizzazione di una risorsa essenziale per la vita non solo lede i diritti degli individui, ma anche la sovranità alimentare delle nazioni. Considerando che il fenomeno si sta allargando a macchia d'olio, denunciarlo è un obbligo, specie di fronte alla strategia di gruppi e lobby che ammantano di altruismo e di filantropismo le loro attività (in proposito basta leggere i comunicati dell'ISAAA). Di fronte a chi vorrebbe operare nel silenzio e nella omertà, la migliore risposta è la diffusione di notizie reali (ben diverse dallo scomposto rumore di fondo delle allarmistiche leggende metropolitane) e la difesa di una seria ricerca libera.

Tornando ai contributi del presente testo, desideriamo evidenziare alcuni punti trattati dagli autori. Sul piano della sicurezza per il consumatore, ad esempio, rimangono ancora molti dubbi sull'induzione di reazioni allergiche dovute a effetti imprevisi riconducibili all'espressione di nuove proteine da parte del gene o dei geni transfettati e alla diffusione dell'antibiotico-resistenza, dovuta al perpetuarsi dell'uso di geni marcatori dotati di tale caratteristica. «Le metodologie di accertamento del rischio e gli stessi



criteri di valutazione di salubrità degli OGM (principio di equivalenza sostanziale) sono inadeguati e da alcuni anni sono stati criticati e rimessi in discussione. A fronte di questo scenario e alla luce del principio di precauzione, viene a riconfermarsi la necessità di non consentire al momento il consumo di alimenti geneticamente modificati» (Bizzarri). L'instabilità del DNA transgenico è un problema trascurato, da evidenziare per i suoi potenziali effetti negativi a catena (Perrino, Tamino). Siamo in presenza di una tecnologia obsoleta, dai risultati deludenti, a fronte di promesse molto ambiziose. Si assiste alla "diffusione di prodotti di scarsissima utilità su vaste superfici" sotto il controllo di pochissime grandi imprese, con pesanti risvolti economici e sociali nel Sud del mondo (Buiatti). Vari studi (Infascelli, Malatesta) dimostrano poi che l'alimentazione con soia transgenica, resistente al glifosato, provoca delle alterazioni negli animali analizzati in laboratorio. A questo proposito andrebbe anche segnalata la sperimentazione condotta da ricercatori dell'INRAN su topi alimentati con mais Bt<sup>2</sup>. I dati sono molto chiari e devono fare riflettere. Ancora: «L'utilizzo di alimenti ottenuti da piante GM nell'alimentazione animale [...] tende ad allontanare ulteriormente il sistema agrozootecnico dai sistemi foraggeri tradizionali basati sull'utilizzo di rotazioni con l'impiego di leguminose e prato stabile, e caratterizzati da bassi impatti ambientali» (Corti). Gli effetti ambientali già cominciano a evidenziarsi, e saranno sempre più rilevanti, se si procede su questa strada, con inquinamento genetico, perdita di biodiversità ... (Danovaro, Giovannetti, Modonesi). L'approccio globale è d'obbligo, senza oscurantismi di sorta: infatti, se non si deve essere «contrari allo sviluppo di nuove tecnologie, è tuttavia necessario avere un approccio agroecosistemico per la loro valutazione, che consideri le differenze nel ruolo della tutela della biodiversità, così come le diverse interrelazioni ecologiche, culturali, genetiche e socio-economiche» (Migliorini). L'agricoltura transgenica

2. Finamore A., Roselli M., Britti M.S., Monastra G., Ambra R., Turrini A., Mengheri E. (2008), *Intestinal and peripheral immune response to MON810 maize ingestion in weaning and old mice*, Journal of Agricultural Food Chemistry, 6, pp. 11533-11539.





non è sostenibile, né conveniente (Malagoli), nel settore servono controlli più seri, oltre a nuove norme più stringenti, anche a tutela dai danni dovuti al transgenico (Brunori). L'Italia, se vuole perseguire una scelta OGM-free, deve difendere i suoi prodotti di qualità con coerenza, liberando le relative filiere da contaminazioni transgeniche, «a meno di non voler compromettere l'immagine dell'intero agroalimentare italiano che tradizionalmente lega i suoi prodotti al territorio e, quindi, all'origine» (Vieri).

Da tutti gli studiosi presenti giunge un appello alla prudenza basato su un approccio precauzionale sia per la salute sia per l'ambiente, oltre che un richiamo a scelte tecnologiche in campo agricolo che non contrastino con l'interesse dei popoli e con un sano sistema economico. In definitiva si è ritrovato a discutere un gruppo aperto e interdisciplinare, lontano da certe conventicole chiuse con comportamenti autoreferenziali e un progressivo distacco dalla realtà circostante. La strada, invece, è quella del confronto e della trasparenza, di cui questi Atti costituiscono una testimonianza.



# Nota tecnica del curatore

I saggi qui raccolti rappresentano gli interventi tenuti durante il convegno all'Ara Pacis di Roma il 20 luglio 2010. Come racconta Giovanni Monastra nell'introduzione, a quel convegno si è cercato di fare convergere la maggiore quantità possibile di voci, per testimoniare l'ampiezza del fronte scientifico che esprime fondate perplessità riguardo al tema degli organismi transgenici. Alcune di queste voci sono state ascoltate direttamente durante l'incontro, mentre gli studiosi che non hanno potuto partecipare hanno comunque mandato un loro contributo scritto, che quel giorno venne distribuito al pubblico e che ora trova anch'esso posto in questa raccolta.

Nel riunire i contributi redatti dai diversi autori sono stati applicati alcuni criteri per rendere il risultato finale omogeneo pur mantenendo le peculiarità stilistiche di ogni autore. L'ordine con cui sono riportati i testi segue criterio adottato nel convegno: si parte da una panoramica generale sulla questione OGM per scendere via via nel dettaglio fino a metterne in luce i singoli punti critici.

Alcune esposizioni potranno quindi risultare più complesse di altre e, come è logico che sia in un lavoro che raccoglie interventi di tanti autori

diversi, il lettore noterà una certa eterogeneità di stili e di approcci, a partire dalle indicazioni bibliografiche riportate al termine di ogni intervento. Ma l'elemento che accomuna questo lavoro è l'indiscusso valore scientifico dei contenuti e il fatto che si proponga, per gli studiosi come per tutti i cittadini che desiderino acquisire maggiore consapevolezza, come una preziosa fonte di informazioni attendibili e documentate.



# I.

## Agricoltura e biotecnologie

**Gianni Tamino**

*Docente di Biologia, Università di Padova*

### **Riassunto**

*Contrariamente a quanto si crede, inserire un gene estraneo in un organismo per transgenesi non significa solo determinare uno specifico carattere ma provocare vari effetti a catena. Nel 2002 il premio Nobel Dulbecco chiarì che l'introduzione di un nuovo gene in una cellula altera la funzione di un gran numero di altri geni.*

*Quali alterazioni potrebbe provocare la diffusione nell'ambiente di OGM non è facilmente prevedibile, ma sicuramente si dovrebbero adottare criteri cautelativi.*

### **I limiti della transgenesi**

Il riduzionismo biologico e il determinismo genetico sono concetti collegati e molto diffusi nella società. Il riduzionismo nasce da un'esigenza reale: quella di semplificare, scomporre, analizzare la realtà complessa riducendola in ciò che è più semplice, vale a dire nelle sue componenti essenziali. Ma si pone un problema quando le conoscenze parziali, acquisite attraverso questo metodo, vengono considerate sufficienti per spiegare ogni aspetto dell'insieme scomposto. In pratica, non sempre, partendo da alcuni elementi di un

sistema, si possono fare derivare tutte le successive proprietà attraverso una costruzione razionale, matematica. Non si può eludere la necessità di andare a verificare se la somma delle proprietà di ogni singola parte corrisponda davvero alla realtà che si cerca di descrivere. Quando ciò non accade e si interpreta un sistema complesso come la somma delle proprietà, che derivano dalla conoscenza delle singole parti che lo compongono, si compie un errore metodologico.

A partire dal riduzionismo biologico si approda spesso al determinismo genetico, per cui ogni carattere di un organismo vivente è determinato solo da un gene. Spesso, infatti, si sente dire che ogni nostro carattere fisico, fisiologico o comportamentale è predeterminato dai nostri geni e i titoli sui giornali si sprecano: “scoperto il gene dell’intelligenza”, “trovato il gene dell’omosessualità” sono alcuni tra i titoli più clamorosi. Wilson nel suo libro *Sociobiologia. La nuova sintesi* ritiene che i comportamenti dell’uomo siano tutti spiegabili sulla base di geni che, determinando un particolare comportamento, conferiscono a chi li ha un valore adattativo, aumentando la probabilità di avere una prole numerosa e forte (anche se risulta difficile spiegare l’omosessualità in quest’ottica, anziché come scelta).

Ma come spiega S.J. Gould nel saggio del 1987 *Il sorriso del fenicottero*: «La grande maggioranza dei biologi sostiene che la vita, come risultato della propria complessità strutturale e funzionale, non può essere risolta nei suoi costituenti chimici e spiegata nella sua interezza da leggi fisiche e chimiche, che operano a livello molecolare.... La vita acquisisce i propri principi dalla struttura gerarchica della natura. Man mano che i livelli di complessità salgono lungo la gerarchia dell’atomo, della molecola, del gene, della cellula, del tessuto, dell’organismo e della popolazione, compaiono nuove proprietà, come risultato di interazioni e di interconnessioni che emergono a ogni nuovo livello».

A livello genetico molecolare, il riduzionismo ha portato all’enunciazione del cosiddetto dogma centrale, secondo il quale dal DNA all’RNA, alle proteine vi sarebbe un flusso unidirezionale d’informazione e tutte le proprie-



tà degli organismi deriverebbero da questo flusso. Ma, di per sé, un frammento di DNA non ha informazione né per la sua duplicazione né per la sintesi proteica, ma ha bisogno di un contesto in cui questo si realizzi. In altre parole l'informazione emerge dal contesto delle relazioni e non è una proprietà intrinseca del singolo elemento chimico, come si deduce, invece, dalla logica del dogma centrale.

Ci si sta sempre più rendendo conto che il programma genetico, come un complesso spartito musicale, non potrebbe estrinsecarsi senza “un’orchestra di cellule” e senza specifici strumenti epigenetici in grado di renderlo manifesto.

La conferma del dogma centrale e del determinismo genetico doveva arrivare dal progetto genoma umano, grazie al quale si doveva riconoscere il gene come punto di partenza di ogni carattere umano. In realtà tale progetto è servito a smentire il dogma: il numero di geni verificato dal progetto è, infatti, ben inferiore al numero di proteine e, quindi, la spiegazione della complessità di un organismo non risiede solo nei geni ma anche nelle relazioni tra i geni, che possono sfruttare regolarità ambientali.

Un esempio di visione riduzionista si riscontra nella produzione di organismi transgenici – o organismi geneticamente modificati (OGM) –, cioè di quegli organismi che si vuole predeterminare in qualche caratteristica, inserendo nel loro DNA un gene estraneo. Naturalmente certi OGM possono funzionare: per esempio, inserendo nei batteri geni come quello dell'insulina umana o altri geni utili come produttori di farmaci, si sono ottenuti risultati positivi. Ma, al di là del fatto che non si sa dove il nuovo gene andrà a finire e quali effetti avrà, quando si passa da un organismo più semplice, come i batteri, a organismi più complessi, ogni nuovo gene determina profonde alterazioni nella rete di relazioni.

Nella realizzazione degli OGM, come già detto, si ritiene sufficiente inserire il gene estraneo per determinare un nuovo specifico carattere, ma i geni agiscono come una rete di un sistema complesso, in cui ognuno di essi interagisce con gli altri. Così, anche se nel trasferimento di geni da un

organismo a un altro non ci sono limiti, tuttavia l'ingegneria genetica non è in grado di operare con precisione e non è possibile prevedere quali saranno le interazioni con gli altri geni e con il metabolismo dell'organismo. A questo proposito, nel 2002 il premio Nobel Dulbecco ha dichiarato: «Introducendo un nuovo gene in una cellula, la funzione di un gran numero di altri geni viene alterata: non è sufficiente introdurre un gene nell'organismo per determinarne l'effetto, che invece dipende da quali altri geni sono già presenti».

Vi è poi un problema legato ai tempi dell'evoluzione confrontati con quelli dell'inserimento di un nuovo gene; George Wald, Premio Nobel per la Medicina nel 1967 e professore di Biologia all'Università di Harvard ha dichiarato: «La tecnologia del DNA ricombinante (ingegneria genetica) mette la nostra società di fronte a problemi senza precedenti non solo nella storia della scienza, ma anche nella storia della vita della Terra. Essa mette nelle mani umane la capacità di riprogettare gli organismi viventi, i prodotti di circa tre miliardi di anni di evoluzioni». Analogamente Vittorio Sgaramella (V Congresso Internazionale "Scienza e Società" Roma, 27-28 novembre 2008) ha affermato: «Can we realistically hope to succeed in manipulating organisms genotype in a trait, locus, stage, cell specific way, and not to interfere with the organism functions?» (Possiamo realisticamente sperare di avere successo nella manipolazione del genotipo degli organismi su un singolo tratto, su uno specifico locus, a uno stadio cellulare e in maniera specifica per ogni cellula, senza interferire con le funzioni dell'organismo?).

### **L'impatto ambientale degli OGM**

La diffusione nell'ambiente degli OGM, che non sono il risultato della lenta evoluzione naturale, può alterare gli equilibri ecologici: il polline può contaminare coltivazioni e piante spontanee diffondendo senza controllo il gene estraneo. Se il gene produce vantaggi rispetto ad altre piante o riduce l'effetto dei parassiti, la pianta così contaminata potrebbe divenire una "superinfestante", riducendo la biodiversità naturale e agricola. Se poi con-



sideriamo il caso specifico dei geni inseriti nella soia e nel mais, cioè un gene che rende resistente la pianta agli erbicidi o che produce una tossina contro gli insetti infestanti, è facile capire che: 1) una pianta resistente a un erbicida permette all'agricoltore di usare dosi massicce e inquinanti per l'ambiente di questa sostanza chimica, che sarà ben presente anche nella pianta stessa e nel cibo da essa derivato; 2) gli insetti bersaglio della tossina, inserita per manipolazione, potrebbero diventare presto resistenti al nuovo veleno, che si concentra in modo differente in rapporto alla crescita e alle diverse parti della piante, mentre per gli insetti utili, che si nutrono dei parassiti, la tossina potrebbe essere letale.

Quali alterazioni la diffusione nell'ambiente di OGM potrebbe provocare non è facilmente prevedibile, ma sicuramente si dovrebbero adottare criteri cautelativi, rifiutati, però, dagli Stati Uniti, che non hanno sottoscritto il protocollo di Cartagena sulla biodiversità e sulla diffusione in ambiente naturale degli OGM.

Tuttavia, proprio negli Stati Uniti, dove le coltivazioni transgeniche sono diffuse da vari anni, è stato possibile fare una ricerca sugli impatti ambientali di tali coltivazioni. Nel lavoro del 2009, che si basa esclusivamente su dati forniti dal Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti, *Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use: The First Thirteen Years*, coordinato da Charles Benbrook ([www.organic-center.org](http://www.organic-center.org)), viene ampiamente documentato che tra il 1996 e il 2008, nelle aree coltivate con soia o mais transgenici, l'uso di erbicidi e di insetticidi è aumentato in misura notevole. La principale conseguenza di questo incremento è stata la proliferazione di molte piante spontanee resistenti al glifosato, l'erbicida utilizzato nella coltivazione di soia transgenica. Lo studio, quindi, dimostra non solo che i semi transgenici non riducono l'uso di pesticidi, ma anche che vi è un veloce adattamento di alcune infestanti al glifosato, con il relativo aumento dei costi per gli agricoltori e la diminuzione della produzione.

Di fronte all'impatto dei pesticidi sull'ambiente, la Royal Society, ha pubblicato uno studio sulle strategie da sviluppare per intensificare la produzione



agricola in vista della crescita della popolazione mondiale. Il rapporto *Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture* assegna alla ricerca scientifica un ruolo di primo piano, con l'obiettivo di realizzare una nuova rivoluzione verde che però sia più sostenibile, necessiti di meno acqua e meno fertilizzanti, non eroda ulteriormente i suoli, con piante più resistenti alle malattie, alla salinità, al calore e ai metalli pesanti. Secondo l'Accademia britannica le risposte ai problemi che i paesi devono affrontare in termini di ambiente e cibo devono essere immediate e a lungo termine, e dovranno includere approcci diversificati. Pur non escludendo il ricorso all'ingegneria genetica, lo studio mette in luce come la sicurezza alimentare dipenda anche dai consumi (il cibo c'è, ma non ne è garantito l'accesso) e che i vecchi OGM, modificati per essere resistenti agli insetti o tolleranti ai pesticidi, possono creare problemi di resistenza nelle infestanti e negli insetti.

Va ricordato, poi, che per ovviare alla contaminazione ambientale attraverso il polline, si è pensato di inserire i geni nel DNA dei cloroplasti, ma uno studio pubblicato sul numero di gennaio 2003 di "Nature", condotto da Jeremy Timmis dell'University di Adelaide, mostra come geni estranei possano spostarsi dai cloroplasti al DNA del nucleo della cellula e in questo modo disperdersi nell'ambiente con il polline.

### **L'impatto alimentare e sanitario degli OGM**

Anche in tema di salute i cibi derivati da OGM nascondono rischi per l'uomo: ogni volta che si ingerisce un prodotto alimentare transgenico, questo può provocare allergie o intossicazioni, che magari non vediamo immediatamente ma che possono produrre effetti a distanza di tempo.

Sappiamo inoltre che per identificare i geni introdotti negli organismi transgenici e renderli riconoscibili, si inserisce come marcatore un fattore di resistenza agli antibiotici; questo marcatore però, una volta arrivato nell'apparato digerente attraverso un alimento che lo contiene, potrebbe trasferire tale resistenza ai batteri che normalmente convivono con l'uomo e questi, a loro

volta, potrebbero trasferire questa resistenza a batteri patogeni. A quel punto quel fattore di resistenza renderebbe nullo l'utilizzo dell'antibiotico specifico privandoci di una delle potenziali armi di difesa più importanti contro le malattie infettive. È il caso, ad esempio, della patata Amflora della BASF, recentemente autorizzata dalla Commissione Europea per usi industriali, ma con sottoprodotti impiegabili come mangimi. Questa patata transgenica contiene fattori di resistenza a due antibiotici, kanamicina e neomicina, ancora utilizzati in medicina umana. Per queste ragioni l'Organizzazione mondiale della sanità e l'Agenzia europea per i farmaci si erano dichiarate contrarie all'autorizzazione.

Un ulteriore problema è posto dall'impiego dei diserbanti associati agli OGM: oltre l'80% delle piante transgeniche sono rese infatti resistenti a un diserbante. Il più comune è il Roundup della Monsanto, o glifosato, pubblicizzato come quasi innocuo perché rapidamente metabolizzato. Tuttavia, Hardell ed Eriksson nel 1999 hanno evidenziato un aumento di linfomi non Hodgkin correlati all'uso di glifosato e agli effetti dei suoi metaboliti.

Ma il rischio forse più rilevante dell'utilizzo di OGM è dato dal fatto che i geni esogeni, inseriti in modo casuale, determinano un'instabilità genica, che può favorire spostamenti di porzioni di DNA, con conseguente alterazione dell'espressione dei geni dell'organismo reso transgenico. Una conferma a tale ipotesi viene da un recente studio australiano che indica come piante non contenenti allergeni possano provocare allergie dopo la transgenesi (Prescott *et al.*, 2005). Infatti i ricercatori del centro di ricerche Csiro (Commonwealth scientific and industrial research organization) hanno evidenziato che inserendo geni di fagioli nei piselli si possono ottenere effetti del tutto imprevedibili: i fagioli che contenevano naturalmente geni di resistenza agli insetti non provocano allergie ma, se inseriti per transgenesi, questi geni rendevano i piselli allergenici. L'allarme ha imposto l'immediato stop al progetto.

Altri elementi di preoccupazione vengono da uno studio dell'istituto di ri-



cerche francese Criigen (pubblicato nel 2008) sui mais NK603 e MON810, in cui si evidenziava che il primo era in grado di provocare alterazioni di peso negli animali alimentati con mangimi che lo contenevano, mentre il secondo, in base a studi fatti dalla stessa Monsanto (produttrice di entrambi i mais), alterava alcuni parametri nei reni e nel fegato degli animali alimentati con esso, indicando un disturbo agli organi deputati alla disintossicazione dell'organismo. Anche in questo secondo caso, inoltre, erano riscontrabili alterazioni nella crescita (decremento di oltre il 3% in peso).

Uno studio recente, commissionato dal ministero austriaco per l'Agricoltura e la Salute e realizzato da Jürgen Zentek dell'Università di Vienna, ha dimostrato che topi nutriti con mais GM hanno dato vita a una prole nella terza e quarta generazione ridotta di numero e di peso con differenze statisticamente rilevanti. Al contrario, topi alimentati con mais non GM si sono riprodotti in modo più efficiente.

Molti di questi effetti, riscontrati in diversi laboratori, potrebbero avere una spiegazione in alterazioni provocate dagli OGM sui sistemi di controllo dell'espressione genica a livello epigenetico, cioè quelle modificazioni dell'espressione dei geni che avvengono senza alterare la sequenza del DNA (azione di istoni, metilazioni, micro RNA ...).

Infine va ricordato che Werner Mueller ha verificato che il tratto transgenico inserito nelle piante, una volta immesso nel corpo umano, non viene interamente degradato nel tratto intestinale, ma penetra nel sistema linfatico e nel sangue e si deposita negli organi, dove può svolgere una funzione immunomodulatoria dagli effetti ancora sconosciuti.

## **OGM e fame nel mondo**

Umberto Veronesi, in una lettera aperta inviata nel 2005, affermò che «si sono aperte strade infinite grazie alla bioingegneria, cioè alla capacità di trasferire e modificare geni nelle piante e negli animali. Ha significato di debellare la piaga della fame grazie a piante resistenti a malattie e parassiti, e a raccolti più ricchi in virtù di semi modificati». Ma per le agenzie



internazionali come la Fao, gli OGM non hanno debellato la fame nei paesi poveri. La fame, infatti, non dipende tanto dalla produzione di cibo (oggi nel mondo viene prodotto più cibo di quanto servirebbe, dati Fao), quanto dall'accesso da parte di popoli e persone agli alimenti, che oggi sono nelle mani di pochi paesi e delle loro multinazionali (come aveva già messo in luce il premio Nobel per l'economia Amartya Sen). Nel mercato globale si produce dove costa meno (paesi poveri) e si vende dove si è disposti a pagare di più (paesi ricchi). Gli OGM non risolvono questo problema ma, anzi, lo aggravano a causa del controllo delle multinazionali sulle sementi. Emblematico da questo punto di vista è il caso dell'Argentina, un paese potenzialmente in grado di sfamare dieci volte tanto la sua popolazione e uno dei più grandi produttori di soia transgenica.

In un suo comunicato del 27/11/2002, Save the Children, durante una grave crisi economica, affermava: «Tre bambini muoiono ogni giorno in Argentina per fame o per malattie legate alla malnutrizione. Il 63% dei nati nell'ultimo anno, circa 222.000 bambini, sono figli di famiglie indigenti, con scarse possibilità di soddisfare il fabbisogno alimentare minimo. Sono in tutto 8,6 milioni i bambini e gli adolescenti argentini che vivono in povertà. Almeno 2,6 milioni di loro hanno meno di cinque anni».

## Conclusioni

Il genoma di ogni organismo, e degli organismi superiori in particolare, si trova in uno stato dinamico, in contrasto con la visione della genetica classica di un genoma stabile e statico. Probabilmente vi sono ulteriori aspetti del funzionamento del DNA, a partire dalle porzioni non contenenti informazione genetica, che devono essere studiate per capire il significato adattativo di tali strutture. Per queste ragioni risulta importante individuare tutti i diversi effetti che può provocare l'introduzione di geni estranei sul funzionamento dell'informazione genetica: quanto abbiamo già verificato dovrebbe comunque portare a un periodo di riflessione sull'impiego degli OGM.

Come ricordava l'epidemiologo Lorenzo Tomatis, recentemente scomparso: «Adottare il Principio di Precauzione e quello di Responsabilità significa accettare il dovere di informare e impedire l'occultamento di informazioni su possibili rischi per la salute ed evitare che si continui a considerare l'intera specie umana come un insieme di cavie sulle quali saggiare tutto quanto è capace di inventare il progresso tecnologico».

## Bibliografia

- Benbrook C. (2009), *Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use: The First Thirteen Years* ([www.organic-center.org](http://www.organic-center.org))
- Buiatti M. (2000), *Lo stato vivente della materia*, Utet, Torino
- Buiatti M. (2004), *Epigenesi: la benevola ambiguità*, in *Evoluzione biologica e i grandi problemi della biologia*, Accademia Nazionale dei Lincei, XXXI Seminario sulla Evoluzione Biologica ([www.lincoi.it/centrolineco/bioxxxischeda5.html](http://www.lincoi.it/centrolineco/bioxxxischeda5.html))
- Crick F.H.C. (1970), *The Central Dogma of Molecular Biology*, "Nature", 227, pp. 561-563
- Dulbecco R. (2002), *Giocando coi geni*, "La Repubblica", 22 novembre 2002
- Gould S.J. (1987), *Il sorriso del fenicottero*, Feltrinelli
- Hardell L., Eriksson M. (1999), *A case-control study of non-Hodgkin lymphoma and Exposure to Pesticides*, "Cancer", 85, 6
- Huang C.Y., Ayliffe M.A., Timmis J.N. (2003), *Direct measurement of the transfer rate of chloroplast DNA into the nucleus*, "Nature", 422, pp. 72-76
- Mueller W., Jaschok A. (2007), *Effect of foreign (not self) DNA/RNA on the Human Immune System in regard to Genetically Modified Plants*, Environment Protection Organisation Global 2000, Vienna (<http://www.eco-risk.at/de/stage1/download.php?offname=FOOD-DNA-risk&extension=pdf&id=69>)
- Napoli G., Callegarini L. (2000), *Allergie alimentari e cibi transgenici*, "Ambiente Risorse Salute", 73, p. 20
- Prescott V.E., Campbell P.M., Moore A., Mattes J., Rothenberg M.E., Foster P.S., Higgins T.J.V., Hogan S.P. (2005), *Transgenic Expression of Bean  $\alpha$ -Amylase Inhibitor in Peas Results in Altered Structure and Immunogenicity*, "Journal of Agricultural and Food Chemistry", 53, 23
- Royal Society (2009), *Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture* (<http://www.eco-risk.at/de/stage1/download.php?offname=FOOD-DNA-risk&extension=pdf&id=69>)
- Sgaramella V. (2008), *Scienza e Società*, V Congresso Internazionale, Roma, 27-28 novembre
- Tamino G. (2001), *Il bivio genetico*, Edizioni Ambiente, Milano



- Tamino G. (2006), *Il riduzionismo biologico tra tecnica e ideologia*, in Aa.Vv., *Il gene invadente*, Baldini Castoldi Dalai, Milano
- Velimirov A., Binter C., Zentek J., Herzog U. (2008), *Biological effects of transgenic maize NK603xMON810 fed in long term reproduction studies in mice*, *Report in Forschungsberichte der Sektion IV Band 3/2008*, Bundesministerium für Gesundheit Familie und Jugend Sektion IV (<http://www.botanischergarten.ch/Food-Zentek/Velimirov-Austrian-Maize-Study-20081111.pdf>)
- Wald G. (1976), *The case against genetic Engineering*, in *The Recombinant DNA Debate*, Jackson & Stich
- Wilson E.O. (1979), *Sociobiologia. La nuova sintesi*, Zanichelli, Bologna

## 2.

# Agricoltura industriale colture transgeniche e biodiversità

**Carlo Modonesi**

Zoologo, Museo di Storia Naturale, Università degli Studi di Parma

**Monica Oldani**

Etologa, Libera professionista

### **Riassunto**

*Questo contributo intende tracciare sinteticamente il quadro ambientale globale in cui si inserisce l'agricoltura industriale. Vengono presentati dati e valutazioni forniti dalla letteratura scientifica e da rapporti ufficiali internazionali in merito agli effetti sulla biodiversità, con particolare attenzione a quella animale. Viene inoltre sottolineata l'importanza del Principio di precauzione sancito dalla Convenzione sulla Biodiversità, le cui raccomandazioni in materia di biosicurezza e conservazione della natura sono tutt'oggi largamente disattese. Infine, si puntualizza la scarsa conoscenza del tema biodiversità da parte dei cittadini europei a fronte dell'esigenza – evidenziata dai dati ambientali – di un cambiamento profondo nella cultura ambientale e negli stili di vita.*

### **Introduzione**

*Millennium Ecosystem Assessment* è il titolo di un programma di valutazione ecologica del pianeta i cui risultati sono stati pubblicati nel 2005. Il progetto è stato avviato nel 2000 su iniziativa dei segretariati di al-

cuni dei principali trattati multilaterali in materia ambientale, tra cui la Convenzione sulla biodiversità, con il sostegno delle agenzie delle Nazioni Unite che si sono dotate di programmi di studio e salvaguardia dell'ambiente naturale (UNEP, Fao, UNESCO, UNPD). Nel complesso, i risultati del rapporto finale – alla cui elaborazione hanno partecipato oltre 2000 ricercatori di circa un centinaio di nazioni – fanno emergere il quadro che segue.

Nell'ultimo mezzo secolo l'uomo ha prodotto alterazioni degli ecosistemi con una velocità e una intensità mai registrate in nessun altro periodo della sua storia. Per quanto riguarda l'impatto dell'agricoltura, il 25% del territorio globale (terre emerse) è stato convertito in colture intensive, il che ha determinato la scomparsa del 50% delle foreste tropicali e del 60% di quelle temperate. Soltanto i territori presenti nei biomi di tundra e di foresta boreale sono stati erosi in misura minore dall'avanzata agricoltura, ma nel frattempo hanno cominciato a mostrare gli squilibri dovuti al riscaldamento globale di cui l'agricoltura intensiva è una concausa fondamentale. La produzione industriale di cibo, dunque, si posiziona ai primi posti nell'elenco delle attività ecologicamente non sostenibili. Anche in termini funzionali, gli ecosistemi denotano segni di sofferenza. Per capire la dimensione del problema è sufficiente citare qualche esempio relativo alle alterazioni dei cicli biogeochimici: negli ultimi cinque decenni lo sfruttamento dell'acqua per usi agricoli, industriali e urbani è raddoppiato provocando una drastica riduzione delle disponibilità idriche per i sistemi naturali; inoltre, poiché dal XVIII secolo a oggi la concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub> è passata da 280 ppm (parti per milione) a 376 ppm a causa delle attività umane, il bilancio del carbonio risulta alterato per via di un sensibile aumento della sua componente gassosa (la CO<sub>2</sub> atmosferica è tra i principali agenti climalteranti su scala planetaria). Infine, l'abuso di fertilizzanti chimici in agricoltura ha fatto triplicare la concentrazione di fosforo nei suoli agricoli maggiormente trattati, con effetti a catena sulla chimica





del terreno e sulle probabilità di eutrofizzazione delle acque superficiali ([www.millenniumassessment.org](http://www.millenniumassessment.org)).

### **Un'agricoltura pesante e innaturale**

In termini globali l'agricoltura intensiva si estende su circa 1,5 miliardi di ettari di territorio che vengono trattati con pesticidi, altri composti di sintesi e mezzi tecnologici. Com'è stato evidenziato dalla Fao, negli anni recenti l'area mondiale disponibile per l'agricoltura intensiva ha toccato il suo valore massimo, poiché i rimanenti 1,4 miliardi di ettari (concentrati in alcuni paesi tropicali e sub-tropicali dell'Africa sub-sahariana, dell'America Latina e dell'Asia) “teoricamente” disponibili per ampliare la superficie agricola, sono in realtà convertibili solo per una frazione residuale, essendo occupati per lo più da foreste naturali, aree protette o strutture e infrastrutture umane. Questo significa che un aumento della produttività agricola globale potrà dipendere unicamente da un eventuale innalzamento, su base tecnologica, del rendimento di territori già ora sovrasfruttati; un innalzamento, tuttavia, i cui margini vengono definiti modesti da gran parte degli analisti internazionali (Fao, 2002).

Una rilevante implicazione di carattere meramente ecologico associata a un ulteriore sovrasfruttamento del territorio agricolo globale è la minaccia alla qualità fisica, chimica e biologica dei suoli, e quindi alla loro fertilità. Lo sforzo mirato ad affrontare il deterioramento dei suoli per mezzo di principi e strumenti agroecologici rappresenta attualmente una delle più importanti scommesse non soltanto per il futuro dell'agricoltura, ma più in generale per il rilancio di un'idea di sviluppo costruita intorno ai reali problemi che l'agricoltura, e non solo l'agricoltura, deve necessariamente affrontare, come la perdita di biodiversità, il cambiamento climatico, il degrado del territorio, la siccità, e quant'altro. Da questo punto di vista, allora, l'impegno assunto da alcuni ricercatori particolarmente lungimiranti, come quelli che hanno visto nel miglioramento genetico partecipativo e nei metodi ecologici di coltivazione delle piante la strada per proporre una vera innovazione in ambito

agricolo, va considerato come un contributo incoraggiante nella direzione della sostenibilità dei sistemi agroalimentari (Modonesi e Tamino, 2009). Si deve precisare che una percentuale crescente dell'output dell'agricoltura industriale non fornisce prodotti vegetali destinati all'alimentazione umana, ma mangimi per lo più a base di mais e soia destinati all'allevamento intensivo del bestiame. La carne e gli altri derivati di origine animale che se ne ottengono prendono la via dei paesi che possono permettersi stili alimentari ad alto input di materia ed energia, provocando rischi di destabilizzazione per l'ambiente e per i mercati alimentari dei paesi poveri. Tale situazione viene spesso dipinta come un miracolo delle tecnologie impiegate nell'agricoltura moderna; tecnologie che, secondo le imprese multinazionali dell'agribusiness, sarebbero in grado di garantire un notevole output di prodotto a prezzi competitivi, garantendo al tempo stesso la realizzazione di un'impresa umanitaria: sfamare l'intera popolazione del pianeta. Si tratta, tuttavia, di un'illusione. Il continuo rincaro dei combustibili fossili, i problemi relativi allo smaltimento dei liquami provenienti dagli allevamenti industriali (dove si alimentano animali con mangimi energetici e/o transgenici, spesso associati a vaccini, antibiotici e altre sostanze), il sovrasfruttamento delle risorse idriche, la diminuzione della fertilità dei suoli, la riduzione della qualità nutrizionale e organolettica degli alimenti prodotti con metodi intensivi e transgenici, la progressiva erosione della biodiversità dovuta all'industrializzazione delle pratiche agricole, la minaccia alla sovranità alimentare e la morsa della fame nelle regioni povere del mondo, che non dà cenni di attenuazione, raccontano una storia molto diversa.

**Nemici della biodiversità:  
xenobiotici, distruttori endocrini, cancerogeni**

In realtà, da molto tempo viene documentato come l'agricoltura industriale sia insostenibile. Fino a oggi il suo obiettivo è stato unicamente



quello di allargare il monopolio dei mercati senza dare alcun peso agli altissimi costi che una scarsa attenzione per i contesti sociali, ambientali ed economici può provocare. La distruzione delle economie di sussistenza e delle dinamiche funzionali dell'ambiente naturale in molti paesi poveri ne sono la prova più chiara, com'è stato ampiamente documentato dalle politiche di *dumping* dei prodotti alimentari che, invece di incentivare la coltivazione locale per i piccoli mercati interni, hanno favorito la coltivazione industriale per i grandi mercati internazionali rafforzando così il controllo dell'agricoltura da parte delle imprese occidentali. Esportare nelle regioni del mondo più ricche di biodiversità lo stesso modello di industria agricola e zootecnica, che nel cosiddetto mondo avanzato ha generato tanti costi occulti per le risorse naturali e per la salute pubblica, significa correre il rischio di produrre un cortocircuito dagli effetti imprevedibili. Un paio di esempi molto semplici possono aiutare a comprendere la questione. Primo: l'erbicida atrazina, composto di riconosciuta tossicità e da molti studiosi ritenuto cancerogeno (Donna *et al.*, 1984; Donna *et al.*, 1989), nonché "distruttore endocrino" sia per l'uomo sia per gli animali, per la sua pericolosità ecologica e sanitaria è stato bandito da circa vent'anni in Italia e in altri paesi, ma viene tuttora ampiamente usato laddove il suo impiego non è vietato, compresi quindi i paesi in via di sviluppo. Questa molecola, come altre triazine, viene ancora rilevata nelle acque superficiali e di falda, oltre che nel latte materno e nel liquido amniotico di donne gravide, per l'abuso che se ne è fatto negli anni passati (per esempio nelle monoculture di mais della pianura padana). Secondo: gran parte delle coltivazioni mondiali di mais e soia destinate all'alimentazione degli animali da reddito oggi sono transgeniche, ossia sono state geneticamente ingegnerizzate per resistere all'erbicida Roundup, a base di glifosato, altro composto accusato di destabilizzare il sistema endocrino di molti animali, uomo compreso, e di essere, anche a concentrazioni molto basse, un fattore di rischio nell'insorgenza di alcune alterazioni cellulari ed enzimatiche



nella placenta di mammiferi e nella comparsa di alcuni tumori (Hardell and Eriksson, 1999; Smith, 2001; Richard *et al.*, 2005).

Per quanto riguarda la riduzione della biodiversità, i dati del monitoraggio biologico ci dicono che nell'ultimo mezzo secolo, per un congruo numero di specie animali e vegetali, si è avuto un consistente incremento del rischio di estinzione per cause antropiche. Tanto per fare qualche esempio, attualmente una specie di mammiferi su quattro, una specie di uccelli su otto, una specie di anfibi su tre, una specie di conifere su quattro e una specie di cicadi su due risultano minacciate (per la classificazione dei diversi rischi di estinzione di specie vegetali e animali si rimanda alla Red List della IUCN). In pratica, le evidenze più nitide circa la condizione biologica del pianeta convergono su un punto estremamente importante, segnalando che con buona probabilità siamo entrati nella sesta estinzione biologica di massa della storia terrestre. Deve essere chiarito, inoltre, che la perdita di biodiversità non si verifica soltanto attraverso un incremento della mortalità delle popolazioni animali e vegetali, ma anche attraverso la riduzione della loro natalità. Le due variabili peraltro sono collegate, dal momento che un aumento della mortalità può tradursi in una flessione della natalità ogni volta che la perdita di individui riproduttivi raggiunge una soglia tale da incidere negativamente sulla probabilità che essi (o i loro gameti) si incontrino e si riproducano. Inoltre, molte specie animali si riproducono a tassi inferiori per una serie di altre ragioni, e tra queste vi è il pesante impatto dei composti chimici di sintesi, che hanno avuto, e tuttora hanno, un largo impiego in agricoltura per le loro proprietà biocide nei confronti dei cosiddetti organismi target. Molti di questi agenti tossici sono xenobiotici che dopo l'immissione nell'ambiente si mantengono sostanzialmente inalterati per lunghi periodi di tempo, arrivando a contaminare – grazie alle loro caratteristiche di persistenza, bioaccumulo e biomagnificazione – anche gli organismi non-target e le reti alimentari su cui si basa l'organizzazione delle comunità biologiche naturali. Tali molecole, oltre



a essere agenti cancerogeni per molte specie della fauna selvatica, sono in grado di ridurre la fertilità e di simulare il comportamento chimico di alcuni ormoni naturali sintetizzati da una serie piuttosto ampia di gruppi tassonomici animali; in altre parole, esse alterano la normale funzionalità dei sistemi endocrini animali e i processi biologici che ne sono a loro volta influenzati, come la riproduzione sessuale. Si deve peraltro osservare che oggi viene individuato un nesso tra l'effetto endocrino e l'effetto cancerogeno, e che tra gli esiti più significativi rilevati nelle popolazioni animali sono emersi, insieme con la riduzione della fertilità dei maschi, anche dismetabolismi e altri effetti degenerativi specialmente a carico dell'apparato riproduttivo e di altri organi (Colborn and Clement, 1992; Soto and Sonnenschein, 2010). Non stupisce allora che nell'ambito della biodiversità animale – e certamente tra i mammiferi, gli uccelli e gli anfibi, ma probabilmente anche in una quantità imprevedibile di invertebrati – la principale causa di sofferenza demografica ed ecologica sia legata proprio agli effetti collaterali delle pratiche agricole e forestali (Baillie *et al*, 2004).

### **I costi dell'allevamento industriale: una storia africana**

Il ragionamento sulle implicazioni dell'agricoltura industriale non deve far perdere di vista un secondo aspetto collegato. La cosiddetta Rivoluzione zootecnica, che nella seconda metà del secolo scorso ha accompagnato la Rivoluzione verde grazie anche al potente sostegno di agenzie sovranazionali come la Banca mondiale, si è rivelata nell'arco di poco tempo un fallimento non inferiore a quello dell'agricoltura industriale. Se da un lato, con la Rivoluzione verde, i paesi industrializzati puntavano a realizzare il programma di introdurre le varietà ibride ad alto rendimento di mais e altri cereali in tutto il mondo, inclusi i paesi in via di sviluppo, dall'altro non può essere trascurato il fatto che quello stesso programma implicava anche il proposito di globalizzare la produzione zootecnica fondata sull'allevamento intensivo.

È stato calcolato che nel quarto di secolo compreso tra i primi anni Sessanta e la metà degli anni Ottanta, la Banca mondiale ha stanziato quasi otto miliardi di dollari (dollari 1983) per favorire la produzione intensiva di bestiame nell'Africa subsahariana. L'insediamento nei territori africani di enormi allevamenti per produrre animali da reddito su scala industriale richiedeva però l'innalzamento di barriere utili a isolare il bestiame domestico dalla fauna selvatica. Si trattava in pratica di realizzare una sorta di fronte di protezione sanitaria, in particolare per evitare le epidemie di afta epizootica, basato sulla costruzione di migliaia di chilometri di recinzioni in acciaio intorno agli insediamenti zootecnici. Ma in realtà, una volta erette le recinzioni di protezione, il loro effetto principale fu quello di ostacolare i normali spostamenti di molte specie migratrici della fauna africana. Si verificarono così massicce morie di animali fondamentali nell'ecologia degli habitat locali, tra le quali la più nota fu quella degli gnu, per la semplice ragione che le migrazioni verso i territori più riforniti di acqua e pascoli erano state impedito dalle barriere ubicate lungo le vie di migrazione. Gli effetti per la biodiversità furono pesanti, come del resto quelli sulle piccole economie rurali locali, al punto che nel 1986 lo stesso governo americano, tra i principali promotori del programma in questione, chiese alla Banca mondiale la dismissione dei finanziamenti. Gli unici a trarre guadagno da questo massacro ecologico furono i grandi allevatori occidentali che avevano colonizzato il territorio africano per produrre, con il sostegno di generosi sussidi governativi, carne e altri prodotti di origine animale da esportare nei paesi ricchi. Alle popolazioni locali vennero lasciati in eredità soltanto suoli sterili, povertà e, *dulcis in fundo*, le infezioni epidemiche di tubercolosi trasmesse dal bestiame allevato a specie selvatiche come i kudu.

Attualmente la Fao e molti biologi della conservazione mettono in guardia dai rischi sollevati dall'allevamento intensivo in Africa e nelle regioni a economia rurale di piccola scala e sostengono che le pratiche zootecniche maggiormente in uso nei paesi occidentali sono, da più punti vista, una



minaccia eccessiva quando vengono esportate in territori ad alta presenza di biodiversità (Fox, 2001; Otte, 2007).

### **Più agricoltura transgenica, meno biodiversità animale**

Alcuni importanti rischi ecologici generati dall'agricoltura industriale oggi vengono associati al rilascio in campo aperto di piante geneticamente modificate. Premesso che qualsiasi attività umana realizzata in campo aperto può determinare alterazioni ambientali difficilmente prevedibili, e che quindi tutte le attività potenzialmente dannose andrebbero valutate caso per caso, alcuni rischi per la biodiversità connessi alle colture transgeniche sono stati definiti in base a una sorta di schema standard che appare molto ragionevole (traferimento genico verticale, trasferimento genico orizzontale, sviluppo di resistenze biologiche, distruzione di organismi non-target ...). Bisogna tuttavia sapere che molte dinamiche dell'ambiente sfuggono alle nostre possibilità di previsione – talora perché mancano le conoscenze sufficienti in merito, talora perché sono intrinsecamente impossibili da ricostruire con precisione – e che quindi il comportamento dei sistemi ecologici non è mai predicibile in modo assoluto. Spesso si usa dire che gli ecosistemi sono sistemi “complessi” (“multiscalari”, “non lineari” ...), il che, in termini un po' semplificati, significa dire che il loro comportamento non può essere spiegato secondo criteri deterministici. Tale condizione spinge gli studiosi più avveduti a usare in modo opportuno gli strumenti statistici e ad accettare i limiti di una conoscenza di carattere meramente probabilistico. La complicazione nasce dal fatto che, di volta in volta, del fenomeno che si vuole studiare (per esempio la risposta fenotipica di un certo organismo) mutano le condizioni esterne (per esempio una o più variabili ambientali), ossia cambiano tutti quei fattori che fanno variare il risultato dell'interazione tra il fenomeno da studiare e il suo contesto (Zbilut e Giuliani, 2008). Questa consapevolezza, ormai ben radicata nella biologia

odierna, dovrebbe indurre tutte le persone di buon senso – non solo gli scienziati, ma anche i tecnologi, i decisori, gli imprenditori o i semplici cittadini – ad assumere un atteggiamento nuovo nei confronti della natura e, allo stesso tempo, nei confronti della scienza (Modonesi *et al.*, 2008). Il rischio di ulteriori guasti ecologici, dalle implicazioni difficili da prevedere e impossibili da gestire, consiglia in molti casi l'adozione del Principio di precauzione. La catastrofe ecologica verificatasi nella primavera del 2010 nel Golfo del Messico, per un incidente nella piattaforma petrolifera Deepwater Horizon, dovrebbe invitare la civiltà occidentale a un bagno di umiltà: a tutt'oggi non vi è modo di fare una ragionevole previsione delle reali conseguenze ecologiche, economiche e sociali dell'impressionante sversamento di greggio avvenuto a meno di 100 chilometri dalle coste della Louisiana. Venendo al dunque, fino a oggi la ricerca scientifica ha prodotto una mole significativa di prove che confutano la tanto propagandata sicurezza delle piante transgeniche. Indagini di laboratorio (la maggiore parte) e indagini di campo (poche) evidenziano una serie di effetti collaterali – e quindi di rischi – delle colture transgeniche che non possono certamente essere liquidati con la tradizionale retorica dell'“assoluta salubrità per l'uomo, gli animali e l'ambiente”. Come abbiamo visto, infatti, in materia di rischio per i sistemi biologici e ambientali, la parola “assoluto” è decisamente fuori luogo.

Un'importante indagine comparativa basata su test di laboratorio effettuati su roditori ha evidenziato per tre mais ingegnerizzati (NK603, MON810 e MON863) che il loro consumo causa implicazioni sanitarie significative, dovute ad alterazioni rilevate a livello di reni, fegato, cuore, surrene, milza e sistema ematopoietico (Spiroux de Vendômois *et al.*, 2009). Una serie di altri studi ha evidenziato le ripercussioni negative provocate negli ecosistemi dalle colture modificate per i tratti più comuni: conferimento della resistenza agli insetti parassiti e conferimento della resistenza agli erbicidi (glifosato e glufosinato). A titolo di puro





esempio, ne vengono qui segnalate alcune particolarmente interessanti che riguardano prevalentemente i seguenti effetti sulla fauna:

- l'incremento della mortalità negli animali non-target impollinatori, dovuta agli effetti letali del transgene che presiede alla sintesi della tossina Bt (*Bacillus thuringiensis*) (Brødsgaard *et al.*, 2003);
- l'incremento della mortalità in lepidotteri non-target, come ad esempio farfalle monarca (Losey *et al.*, 1999);
- l'aumento della resistenza indotta dalla tossina Bt negli insetti target (Huang *et al.*, 1999);
- l'eliminazione delle faune invertebrate non-target associate alle piante erbacee infestanti, a causa di un eccessivo impiego di erbicidi nelle coltivazioni GM resistenti a essi (Meier and Hilbeck, 2001);
- l'allontanamento delle faune avicole non-target associate alle piante erbacee infestanti, a causa di un eccessivo impiego di erbicidi nelle coltivazioni GM resistenti a essi (Watkinson *et al.*, 2000);
- la potenziale selezione di microfaune non-target resistenti al Bt nei popolamenti del suolo (Stotzky, 2004);
- l'alterazione delle comunità acquatiche per gli effetti tossici della tossina Bt veicolata dai campi coltivati ai corsi d'acqua attraverso il dilavamento e le acque reflue (Rosi-Marshall *et al.*, 2007).

### **Educare per conservare**

Un aspetto non meno importante che rileva la scarsa attenzione prestata alla biodiversità concerne l'informazione. In concomitanza con la pro-

clamazione del 2010 come anno della biodiversità da parte dell'ONU, l'Unione Europea ha varato una campagna di sensibilizzazione e informazione per il pubblico, il cui slogan *Biodiversity: we are all in this together* suona molto evocativo. Evocativo di un senso di appartenenza alla rete di relazioni tra tutti i viventi che è la vera essenza del rapporto uomo-natura, ma che, in verità, nella popolazione europea sembra ancora più auspicato che percepito e più teorico che concreto. Una sintomatica discrepanza tra atteggiamento ideale nei confronti del problema della riduzione della biodiversità e cognizione della personale competenza in merito è, infatti, quanto è emerso dal sondaggio prodotto all'inizio del 2010 dalla Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea allo scopo di indagare il livello di familiarità dei cittadini europei con i principali aspetti di conoscenza, coinvolgimento e aspettative (Flash Eurobarometer, 2010).

Nel profilo delineato dal sondaggio due, in particolare, sono gli elementi fortemente suggestivi ai fini di una riflessione. Il primo: gli europei mediamente assegnano un alto grado di importanza al problema della perdita di biodiversità (oltre il 90% lo giudica molto o abbastanza grave, considera un "dovere morale" proteggere la biodiversità e pensa che da essa dipenda la qualità di vita delle persone), eppure ne proiettano l'impatto nel futuro, ritenendolo ancora poco rilevante nella realtà attuale (solo il 17% ammette di sperimentarne già le conseguenze). Il secondo: in Europa il livello di conoscenza sui temi della biodiversità è complessivamente scarso (il 62% del campione non conosce l'esatto significato del termine oppure non l'ha mai sentito) e percepito come insoddisfacente (il 62% si considera poco o per nulla informato sulla perdita di biodiversità), ma non è affatto sottovalutato, tanto che il miglioramento dell'informazione viene collocato al secondo posto tra i provvedimenti richiesti all'Unione Europea per potenziare la tutela della biodiversità – dopo l'adozione di misure più restrittive nei confronti dei settori economici ad alto impatto ambientale ma prima



dell'aumento di aree protette, dell'allocazione di maggiori risorse finanziarie e della promozione di ricerca scientifica.

Nello specifico, la realtà italiana conferma e per certi aspetti rimarca il trend generale descritto: degli oltre mille connazionali intervistati più del 90% giudica doveroso conservare la biodiversità, considerandola un fattore importante del benessere dell'uomo, e ritiene la sua perdita un problema molto o abbastanza grave non solo su scala globale, ma anche nel proprio paese. Tuttavia, meno del 20% ne declina gli effetti al presente e alla prima persona. Quanto alle competenze, circa l'80% non sa bene che cosa si intenda per biodiversità (e di questi il 46% dichiara di non averne mai sentito parlare) e giudica scarso il proprio livello di conoscenza, e coerentemente, oltre il 30% pone l'incremento dell'informazione ai cittadini tra le priorità attribuite all'Unione. Appare dunque chiaro che se in tema di salvaguardia della biodiversità molto, anzi moltissimo, c'è da fare negli ambiti scientifico, produttivo e politico, altrettanto impegno è richiesto in ambito socio-culturale. Se questo è l'intento, il primo obiettivo da perseguire – quasi un principio metodologico – è fare progredire di pari passo, e costantemente intersecare, il piano operativo e quello educativo (Modonesi e Oldani, 2010).

## **Conclusione**

Questo contributo non è motivato da alcun intento allarmista, né dalla pretesa di fornire ricette facili per uscire da una situazione ecologica ormai definita critica dalla maggioranza degli scienziati dell'ambiente. L'unico vero intento, semmai, è stato quello di argomentare in modo semplice e documentato il ruolo che l'agricoltura può giocare nella distruzione o, viceversa, nella conservazione dell'ambiente naturale. Questo modo di concepire l'agricoltura purtroppo è ancora minoritario nel mondo dell'informazione e, in verità, anche negli altri settori economici e nelle istituzioni non sembra riscuotere particolare successo. Vorremmo essere più ottimisti, ma quello che registriamo è che i mass media raramente sanno dare il giusto

peso alle questioni ecologiche della Terra, anche perché, inseguendo esclusivamente il miraggio di rappresentare in modo accattivante e in tempo reale i fatti mediaticamente più appetibili, sembrano avere perduto ogni motivazione a comprendere la reale portata di quelli mediaticamente non appetibili ma sotto altri punti di vista assai più importanti.

Fare informazione (cultura?) sui temi ambientali senza un vero sforzo di obiettività e di assunzione di responsabilità non aiuta il sistema politico ed economico a uscire dalla sua condizione di perenne incompetenza ambientale, né permette di creare una coscienza sociale delle reali implicazioni (sociali, sanitarie, economiche ...) dei problemi ecologici.

La scienza ci sta aiutando a scoprire che dobbiamo cambiare radicalmente il nostro rapporto con la natura e quindi i nostri stili di vita, sia su grande sia su piccola scala. Dunque, non è qui in discussione se il settore agro-zootecnico avrà bisogno o meno di nuove conoscenze scientifiche e nuove tecnologie: è ovvio che ne avrà bisogno. Il problema è capire quali conoscenze scientifiche e quali tecnologie potranno davvero dare un contributo decisivo al miglioramento dell'agricoltura (e delle altre applicazioni della biologia), senza destabilizzare i sistemi ecologici, economici e sociali. Ma per arrivare a quel traguardo, per ora molto lontano, la scienza dovrà abituarsi ad ascoltare anche altre voci.

## **Bibliografia**

Baillie J.E.M., Hilton-Taylor C., Stuart S.N. (2004), *IUCN Red List of Threatened Species. A Global Species Assessment*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK

Brødsgaard H.F., Brødsgaard C.J., Hansen H., Lovei G.L. (2003), *Environmental risk assessment of transgene products using honey bee (Apis mellifera) larvae*, "Apidologie", 34, pp. 139-145

Colborn T., Clement C. (1992), *Wingspread consensus statement*, in *Chemically Induced Alterations in Sexual and Functional Development: the Wildlife/Human Connection*, Princeton Scientific Publishing, Princeton

Donna A., Betta P.G., Robutti F., Crosignani P., Berrino F., Bellingeri D. (1984), *Ovarian mesothelial tumors and herbicides: a case-control study*, "Carcinogenesis", 5, 7

Donna A., Crosignani P., Robutti F., Betta P.G., Bocca R., Mariani N., Ferrario F., Fissi R., Berrino



- F. (1989), *Triazine herbicides and ovarian epithelial neoplasms*, "Scand. J. Environ. Health", 15, pp. 47-53
- FAO (2002), *World Agriculture: Towards 2015/2030. Summary Report*
- Flash Eurobarometer (2010), *Attitudes of Europeans towards the issue of biodiversity*, 290
- Fox M.D. (2001), *Bringing Life to Ethics: Global Bioethics for a Humane Society*, State University of New York Press, New York
- Hardell L., Eriksson M. (1999), *A case-control study of non-Hodgkin lymphoma and exposure to pesticides*, "Cancer", 85
- Huang F., Buschman L.L., Higgins R.A., McGaughey W.H. (1999), *Inheritance of Resistance to Bacillus thuringiensis Toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer*, "Science", 284
- Losey J.E., Rayor L.S., Carter M.E. (1999), *Transgenic pollen harms monarch larvae*, "Nature", 399
- Meier M.S., Hilbeck A. (2001), *Influence of transgenic Bacillus thuringiensis corn-fed prey on prey preference of immature Chrysoperla carnea (Neuroptera: Chrysopidae)*, Basic Appl. Ecol., 2, pp. 35-44
- Modonesi C., Farina L., Licata I., Germano R., Zbilut J.P., Giuliani A. (2008), *A contemporary pathology of science*, "Annali Istituto Superiore di Sanità", 44, 3, pp. 211-213
- Modonesi C. e Oldani M. (2010), *La natura dentro la cultura, la cultura dentro la natura*, in Pereira M., Salvi A., Sani M., Villa L. (a cura di), *MAPforID (Museums as Places for Intercultural Dialogue). Esperienze, sviluppi, riflessioni*, Editrice Compositori, Bologna
- Modonesi C., Tamino G. (2009), *Biodiversità e beni comuni*, Jaca Book, Milano
- Otte J., Roland-Host D., Pfeiffer D., Soares-Magalhaes R., Rushton J., Graham J., Silbergeld E. (2007), *Industrial Livestock Production and Global Health Risks, Pro-Poor Livestock Policy Initiative, Research Report* ([www.fao.org](http://www.fao.org))
- Richard S., Moslemi S., Sipahutar H., Benachour N., Seralini G.E. (2005), *Differential Effects of Glyphosate and Roundup on Human Placental Cells and Aromatase*, "Environ Health Perspect", 113 (6), pp. 716-720
- Rosi-Marshall E.J., Tank J.L., Royer T.V., Whiles M.R., Evans-White M., Chambers C., Griffiths N.A., Pokelsek J., Stephen M.L. (2007), *Toxins in transgenic crop byproducts may affect headwater stream ecosystems*, "Proceedings of the National Academy of Sciences", 104, 41
- Smith G.R. (2001), *Effects of Acute Exposure to a Commercial Formulation of Glyphosate on the Tadpoles of Two Species of Anurans*, Bull Environ Contam Toxicol, July/August
- Soto A.M., Sonnenschein C. (2010), *Environmental causes of cancer: endocrine disruptors as carcinogens*, "Nature Reviews Endocrinology"



- Spiroux de Vendômois J., Roullier F., Cellier D., Séralini G.E. (2009), *A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health*, "International Journal of Biological Sciences", 5 (7), pp. 706-726
- Stotzky G. (2004), *Persistence and biological activity in soil of the insecticidal proteins from Bacillus thuringiensis, especially from transgenic plants*, "Plant and Soil", 266, pp. 77-89
- Watkinson A.R., Freckleton R.P., Robinson R.A., Sutherland W.J. (2000), *Predictions of biodiversity response to genetically modified herbicide-tolerant crops*, "Science", 289
- Zbilut J.P., Giuliani A. (2008), *The Latent Order of Complexity*, Nova Science Publisher, New York



# 3.

## Le piante geneticamente modificate: questione di scienza o sociale ed economica?

**Marcello Buiatti**

*Docente di Genetica, Università di Firenze*

*European Network of Scientists for Social and Environmental Responsibility (ENSSER)*

### **Riassunto**

*Sin dall'immissione sul mercato delle prime Piante Geneticamente Modificate (PGM) il dibattito sui rischi potenziali del loro uso si è incentrato attorno ai possibili pericoli per la salute umana e animale, e in parte agli effetti sull'ambiente. È in gran parte mancata, invece, la discussione circa la reale innovatività delle tecniche usate, l'utilità dei prodotti commercializzati, gli effetti economici e sociali riscontrati nelle agricolture e nelle comunità umane del Nord e del Sud del mondo. Il presente intervento vuole aprire il dibattito su queste lacune. Si dimostra, innanzitutto, il fallimento di una tecnologia che ha immesso in commercio con successo solo quattro piante trasformate per due caratteri dagli anni Ottanta del Novecento. Si discutono, poi, le ragioni scientifiche del fallimento, legate a effetti imprevedibili a priori che destano anche preoccupazione sul piano della sicurezza alimentare. Si chiariscono, infine, le ragioni della diffusione di prodotti di scarsissima utilità su vaste superfici attribuendole al controllo, su gran parte della filiera alimentare, di pochissime grandi imprese, riportando dati precisi sui risvolti economici e sociali delle PGM nel Sud del mondo.*

## Introduzione

Da molti anni, in particolare nei paesi sviluppati, il dibattito sugli organismi geneticamente modificati (OGM) si è concentrato sulla presenza o meno di pericoli per la salute umana e animale, considerando solo in piccola parte gli effetti ambientali, sulla biodiversità naturale e delle piante coltivate, sulle agricolture. L'opinione pubblica e anche molti divulgatori delle due parti in gioco hanno sempre implicitamente data per sicura l'innovatività della tecnologia del DNA ricombinante e la presenza sul mercato di molti prodotti geneticamente modificati (GM). Anche per questo modo di trattare il problema, con l'eccezione delle organizzazioni di piccoli coltivatori, si è generalmente trascurato il significato economico e sociale dell'introduzione delle piante geneticamente modificate (PGM). Sono stati infatti i piccoli coltivatori, che sono ancora la maggioranza della popolazione in molti Paesi del Sud del mondo, a sollevare il problema del controllo della filiera alimentare da parte di poche multinazionali, cosa che contraddice l'antico principio della sovranità alimentare. In questo i contadini del Sud del mondo hanno trovato alleati gli agricoltori dei Paesi mediterranei che, per la bassa dimensione media aziendale e per l'antica storia di selezione di prodotti di alta qualità, sono competitivi sui mercati sul piano di quest'ultima, ma non possono esserlo su quello della quantità.

## L'ingegneria genetica ieri e oggi

È passato ormai molto tempo da quando Mary Dell Chilton, nel 1981, ha messo a punto il primo metodo di ingegnerizzazione delle piante, utilizzando il batterio *Agrobacterium tumefaciens*, di cui aveva scoperto la capacità di inserire parte del suo DNA nei vegetali. È ora quindi di valutare i risultati di questa tecnologia, innanzitutto per quanto riguarda i risultati ottenuti, non nei laboratori ma sul mercato. Sarà bene chiarire subito che la tecnologia dell'ingegneria genetica, introdotta nei primi anni Settanta da genetisti e biologi molecolari batterici, rappresentava una tecnica innovativa basata sul trasferimento artificiale di geni, e quindi di nuove funzioni, da un organismo





a un altro, generalmente appartenente a specie distanti dal punto di vista evolutivo. Operazione diversa dal miglioramento genetico tradizionale, basato sull'incrocio fra individui della stessa specie che – è bene chiarirlo ai non addetti – hanno tutti gli stessi geni con le stesse funzioni anche se in forme varianti (dette alleli) diverse. Fu nel 1983 che Chaleff presentò una pianta di tabacco in cui erano stati inseriti geni di *Bacillus thuringensis* che conferivano la resistenza agli insetti. Il primo prodotto immesso in commercio fu il pomodoro *Flavr Savr* nel 1994, dotato di un gene che impediva la marcescenza, che dato lo scarsissimo successo sul mercato fu ritirato; successivamente nel 1996 fu autorizzata la commercializzazione di piante resistenti a insetti e tolleranti a diserbanti, ambedue ottenute con geni batterici. Da allora, incredibilmente, la tecnologia della trasformazione non è praticamente cambiata, e infatti dal 1996 nessun nuovo carattere è stato inserito con reale successo di mercato. Ora come allora solo quattro piante modificate vengono ampiamente coltivate: il mais, il cotone, la soia e la colza. Il resto a livello commerciale è poco significativo. Al momento sono anche in corso tentativi di introdurre sul mercato riso e grano GM, sempre modificati per la resistenza a insetti e la tolleranza a diserbanti.

Senza dubbio migliaia di altre PGM sono state modificate per altri caratteri, ma non sono mai uscite dai laboratori o dai campi sperimentali, nonostante gli scoop giornalistici che talvolta ne davano notizia: o hanno avuto poco successo o addirittura sono state ritirate perché molto al di sotto delle aspettative di chi le aveva disegnate. Un caso recente è quello del Golden Rice prodotto da Syngenta, presentato come il toccasana per evitare le carenze nutritive di vitamina A, che alla sua prima uscita è stato bloccato dalla stessa ditta produttrice in quanto sintetizzava il precursore di questa vitamina in quantità talmente bassa da costringere chi volesse raggiungere il dosaggio sufficiente a mangiare otto chili di riso modificato al giorno. Adesso, l'impresa produttrice sta reclamizzando un'altra linea della stessa pianta con contenuto maggiore di pro-vitamina, che però non è ancora stata immessa sul mercato.

La ragione di questo fallimento sta nel fatto che le interazioni fra i geni introdotti e la pianta non sono di tipo additivo e portano a un altissimo livello di imprevedibilità del risultato, sempre in qualche modo diverso da quello atteso. Quando si effettua una trasformazione, infatti, non siamo in grado di prevedere a priori il numero di copie del frammento di DNA che si inseriranno nel corredo genetico dell'ospite, dove questi frammenti andranno a inserirsi provocando possibili danni al DNA preesistente, se saranno rimaneggiati dalla pianta o no, se potranno esprimersi e quanto. Non si sa che effetto avranno le nuove proteine introdotte, come si integreranno i nuovi metaboliti nella rete metabolica preesistente, come interagirà la pianta geneticamente modificata con l'agroecosistema in cui è inserita. Gli effetti più immediatamente negativi dell'alto livello di imprevedibilità delle operazioni di ingegneria genetica sono di due ordini. Intanto, come per il Golden Rice, le piante soffrono le modificazioni del genoma, spesso, quindi, sono poco produttive e talvolta mostrano un fenotipo diverso dal previsto. Secondariamente l'imprevedibilità degli effetti dell'ingegnerizzazione desta preoccupazioni anche per la sicurezza alimentare del prodotto. La diffidenza dei consumatori è giustificata dal fatto che il sistema di tutela della sicurezza alimentare presenta alcuni punti oscuri. L'EFSA (Agenzia Europea per la Sicurezza Alimentare) non convince completamente perché, nelle sue valutazioni sugli OGM non si appoggia a laboratori indipendenti, ma chiede alle imprese produttrici di compiere analisi e test per valutare la sicurezza alimentare. Le linee guida per la valutazione del rischio sono considerate obsolete, gli studi di pericolosità degli alimenti vengono condotti su poche decine di topi, usando metodi statistici controversi per l'analisi dei dati. Nei casi in cui laboratori indipendenti hanno compiuto analisi sulle PGM che hanno avuto un parere positivo dall'EFSA, sono state trovate sequenze geniche non previste. Con questo, sia ben chiaro, non si vuole necessariamente dire che le PGM siano pericolose, ma semplicemente che il sistema ufficiale di prevenzione dei rischi è carente. Quello che sorprende, a questo punto, è che le grandi multinazionali non sembrano avere alcun



interesse a trovare tecniche che permettano di ridurre l'imprevedibilità, cosa che potrebbe aiutare la creazione di prodotti più vari e con possibilità di essere accettati; anzi, come risulta da molti dati, hanno ridotto l'intensità di ricerca e quello che ne rimane serve solo a introdurre gli stessi geni di cui ho parlato in più specie di piante. La mia personale opinione è che queste ricerche non vengano fatte perché, per ragioni che vedremo, alla multinazionali non serve ottenere prodotti innovativi veramente competitivi per qualità, ma servono invece pubblicità, annunci di nuove scoperte, spesso inesistenti, o di qualche Paese che finalmente accetti gli OGM, per fare alzare il titolo in borsa delle imprese e di conseguenza le *royalties* poste sui prodotti commerciali.

### **Ricerca sugli OGM e interessi economici**

È, come vedremo, per le politiche economiche e per le pressioni politiche sui governi da parte delle multinazionali che, nonostante la cosiddetta innovazione sia vecchia di più di vent'anni, la soia, il mais, il cotone e, in misura minore, la colza resistenti a insetti e tolleranti a erbicidi hanno avuto grande fortuna, tanto che nel 2010 148 milioni di ettari sono stati coltivati nel mondo con piante geneticamente modificate. Di questi, 66,8 si trovavano negli Stati Uniti, 25,4 in Brasile, 22,9 in Argentina, 9,4 in India e 8,8 in Canada, insieme a Cina, Paraguay e Sud Africa, che superavano anch'essi il milione di ettari di produzione per nazione. Gran parte della superficie coltivata a OGM è costituita da soia tollerante a diserbanti e, in misura minore, resistente a insetti, seguita dal mais, mentre le altre due piante (cotone e colza) hanno avuto un po' meno successo. Questa situazione assume tratti paradossali se si considera che l'utilità di questi prodotti non appare sensazionale. Le piante in commercio, infatti, non producono più di quelle non trasformate, come mostrano i dati reperibili sul sito dell'USDA (Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti) in cui troviamo che le produzioni unitarie di mais e soia sono andate aumentando costantemente dal 1977 al 2007 sempre con la stessa velocità, che non

è cambiata dopo l'introduzione delle PGM, avvenuta, come si diceva, nel 1996. L'aumento di produzione, quindi, non è dovuto alle modificazioni genetiche ma al miglioramento delle tecniche di coltivazione e al lavoro dei miglioratori genetici tradizionali, che hanno continuato a selezionare gli ibridi migliori tra quelli non GM. Le trasformazioni genetiche non hanno neanche ridotto la quantità di diserbanti e insetticidi consumati, dal momento che, essendo le piante GM tolleranti a certi erbicidi, la tendenza spesso è di fare trattamenti di diserbo in tutte le fasi di coltivazione fino alla raccolta. Per quanto riguarda la resistenza agli insetti, inizialmente il consumo di insetticidi è effettivamente calato, ma ora pare che le cose stiano cambiando in peggio. Innanzitutto, relativamente in poco tempo, la presenza delle piante produttrici di insetticida ha provocato la selezione di insetti resistenti; al contempo però la distruzione di questi parassiti ha facilitato l'aumento delle popolazioni di altri insetti dannosi e quindi l'uso rinnovato di pesticidi. Qualcosa di simile sta avvenendo, anche se lentamente, pure per quanto riguarda i diserbanti, in quanto alcune infestanti hanno sviluppato resistenze specifiche. A conti fatti un vantaggio economico reale, ma solo nel caso di piante tolleranti agli erbicidi, sta nella diminuzione del costo della manodopera utilizzata per il diserbo.

Il dubbio che il successo parziale delle PGM non derivi dalla loro competitività per la qualità del prodotto ma da ragioni economiche e, in particolare, dal processo di accumulo e dal controllo dell'intera filiera alimentare, è suffragato dal recente studio di Howard (2009) che ha dimostrato che quattro imprese del settore hanno il controllo del 59% del mercato dei pesticidi e del 56% dei semi attraverso l'aggregazione di produttori complementari che puntano al controllo della filiera produttiva agricola, un processo facilitato dalla concentrazione dei brevetti nelle mani di pochi. Lo strumento del brevetto industriale, infatti, è stato esteso, con la nascita dell'ingegneria genetica, alle piante e agli animali sotto forma di brevetto di sbarramento sia di prodotto sia di processo, che copre tutti i materiali in cui è contenuto il gene o che sono stati prodotti con un cer-



to processo. Anche per questo motivo il coltivatore deve comprare ogni anno il seme dall'impresa produttrice invece di produrlo da solo, non può usarlo per ricerca e ulteriore miglioramento e deve pagare le *royalties* anche se una sola pianta geneticamente modificata viene trovata nel suo campo. In questo momento tre imprese dominano principalmente il mercato (Monsanto, Dupont e Syngenta, in ordine di grandezza). Si tratta di imprese chimiche in possesso di brevetti agrochimici che a partire dagli anni Novanta ne hanno assorbite altre dello stesso tipo, sia farmaceutiche sia sementiere. Così Monsanto, produttrice di diserbanti negli anni Sessanta, fondendosi con Pharmacia e Upjohn, ha acquisito le grandi sementiere Cargill, Dekalb Genetics Corporation, Delta e Pine Land, Seminis, Holden Foundation Seeds e controlla oltre duecento sementiere in India, Cina e Brasile. La Dupont ha acquisito la Pioneer High Bred e, infine, resta Syngenta, derivata dalla fusione fra Novartis agricoltura e Zeneca, che ha acquistato la Wilson Seed allargando a ormoni vegetali e fungicidi la sua produzione. Queste imprese, Monsanto in particolare, trattano da pari a pari con gli Stati e con l'Unione Europea e dispongono di una rete potente di laboratori che, pur riducendo progressivamente l'intensità delle ricerche (Schimmelpfennig *et al.*, 2004), costituiscono il nucleo fondante per la campagna di propaganda sui vantaggi delle PGM, particolarmente pesante nei paesi in via di sviluppo, dove si esplica anche attraverso la presenza negli organismi pubblici di controllo e negli editoriali di molte riviste internazionali, come risulta da una sintesi critica della letteratura sul cotone resistente agli insetti in Cina, India, Sud Africa, condotta da D.Glover nel 2009 per conto dell'Economic and Social Research Council (ESRC) inglese.

In molti lavori, Glover nota una evidente parzialità che, ad esempio, porta in Cina a non conteggiare come lavoro quello familiare svolto nelle piccole aziende, a notare che il vantaggio delle PGM c'è solo in casi di attacco forte dei parassiti, che l'uso dei pesticidi non si è abbassato, che nuovi insetti sono diventati pericolosi in seguito alla distruzione del

parassita target da parte delle PGM (Wang *et al.*, 2008). Analogamente l'autore nota che in India le poche aziende che hanno un vantaggio economico lo ricavano da aiuti tecnici e monetari mirati da parte dello Stato, sono in partenza più ricche delle altre e usufruiscono di sistemi di irrigazione efficienti. Il quadro assume così caratteristiche diverse ed è supportato anche da altri lavori non riportati da Glover. In India, ad esempio (Ramasundaram *et al.*, 2007), in alcune regioni come l'Andhra Pradesh e il Maharashtra, per la presenza di ben 150 specie di insetti parassiti a cui le varietà PGM non oppongono nessuna resistenza, si sono dovuti usare più pesticidi, cosa che, insieme alla riduzione del prezzo del cotone sul mercato e agli attacchi virali a cui le varietà locali sono resistenti a differenza delle PGM, ha portato a un aumento di suicidi nelle popolazioni locali. Gioca in questo, come in molti altri casi, la riduzione della variabilità genetica delle piante coltivate, iniziata in India al tempo della rivoluzione verde, ma diventata più pesante con il passaggio a poche varietà GM.

La situazione è molto diversa in America Latina, in particolare in Argentina, Brasile, Paraguay, in cui la PGM più importante è la soia tollerante ai diserbanti. Un aspetto preoccupante è che la coltivazione di soia GM è stata accompagnata dalla distruzione dell'agricoltura di sussistenza, dalla riduzione del numero di imprese agricole, dall'aumento della dimensione media di ciascuna di loro, dal passaggio dalla coltivazione di piante per provvedere al fabbisogno alimentare locale a quella di soia da esportazione. In Argentina, per esempio, l'aumento della produzione di soia dell'11.8% dal 1996 al 2004 è andata di pari passo alla riduzione del grano del 2.3%, della patata del 3.3%, del miglio del 19.1%. Contemporaneamente il numero di imprese agricole si è quasi dimezzato dal 1966 al 2002, sono sparite le imprese familiari e si sono ingrandite quelle industriali, con il raddoppio del rapporto tra capitale e lavoro. In sintesi il tessuto di aziende contadine è stato sostituito da imprese di dimensioni maggiori, spesso unite in reti con un unico direttore e che impiegano



braccianti, con una riduzione del lavoro di più del 50%, così come della variabilità genetica di piante e animali. In Brasile l'esplosione delle coltivazioni di soia ha provocato anche espropriazioni dei contadini da parte dei *sojeros* e dei *grileiros* (speculatori), contadini che, come quelli argentini, si sono spostati nelle *favelas*, abbandonando le sementi e perdendo le loro culture, il tutto accompagnato dal rapido aumento della deforestazione. Tutti questi fenomeni sono avvenuti in modo più cruento in Paraguay, paese in cui gran parte della terra è gestita da stranieri, tanto che dei 60000 produttori di soia il 40% è brasiliano, il 36% tedesco o giapponese e solo il 24% paraguaiano.

## Conclusioni

Tirando le conclusioni di quanto finora detto, gli OGM rappresentano il simbolo di un'agricoltura non mirata alla soluzione del problema della fame (solo il mais fra le piante in commercio ha un significato da questo punto di vista) e alla produzione di cibo, ma alla creazione di reddito e al controllo dei mercati mondiali da parte di poche imprese multinazionali agevolate dalle regole del WTO. Anche per questo la ricerca di OGM utili pare essersi fermata e tutto è accentrato sulla propaganda, sulla brevettazione, sulla speculazione finanziaria. Questo cambiamento, che sembra preludere all'uso della terra per le energie alternative e per la produzione non alimentare (vedi, ad esempio, la patata Amflora per la produzione di carta), ha già provocato e sta provocando problemi economici e sociali molto più gravi di quelli temuti sul piano della sicurezza alimentare. Questi aspetti sono condivisi anche dagli agricoltori italiani che, con pochissime eccezioni in pianura padana, non vogliono le PGM perché appunto non sono produttive, non spunterebbero prezzi plausibili sul mercato, ma soprattutto introdurrebbero le grandi imprese produttrici del transgenico con la possibile conversione dei terreni e la perdita delle caratteristiche di eccellenza dei prodotti agricoli delle piccole aziende italiane, i cui profitti sono basati sulla qualità.

## Bibliografia

- Buiatti M. (2005), *Biologies, Agricultures, Biotechnologies*, "Tailoring Biotechnologies", 1, 2, pp. 9-30
- Buiatti M. (2007), *L'interazione con il genoma ospite*, in *Agrobiotecnologie nel contesto italiano*, INRAN, Roma, pp. 33-47
- Gallacher M. (2009), *The changing structure of production: argentine agriculture 1988-2002*. Documento de trabajo 415, Universidad del CEMA, Buenos Aires
- Glover D. (2009), *Undying promise: agricultural biotechnology's pro-poor narrative, ten years on*, STEPS Centre, ESRC, UK
- Howard P.H. (2009) *Visualising consolidation in the global seed industry*, "Sustainability", 1266-1277
- Ramasundaram P., Vennila S., Ingle R.K. (2007), *Bt Cotton Performance and Constraints in Central India*, "Outlook on Agriculture", 36 (3), pp. 175-80
- Schimmelpfennig D.E., Pray C.E., Brennan M.F. (2004), *The impact of seed industry concentration on innovation: a study of US biotech market leaders*, "Agricultural Economics", 30, pp. 157-167
- Wang S., Just D.R., Pinstrip-Andersen P. (2006), *Tarnishing Silver Bullets: Bt Technology Adoption, Bounded Rationality and the Outbreak of Secondary Pest Infestations in China*. Paper presented at the American Agricultural Economics Association Meeting, Long Beach, California, USA, 22-26 July
- Wang S. (2008), *Bt Cotton and Secondary Pests*, "International Journal of Biotechnology", 10 (2-3), pp. 113-121





# 4.

## Impatto ambientale e sociale delle coltivazioni transgeniche

**Manuela Giovannetti**

*Professore Ordinario di Microbiologia agraria*

*Presidente della Facoltà di Agraria, Università di Pisa*

### **Riassunto**

*In questi anni gli scienziati hanno risposto a molte delle domande sui rischi derivanti dalla coltivazione in campo di piante transgeniche, entrando nel merito delle singole trasformazioni genetiche. Tra gli eventi inattesi che si sono verificati, i più importanti sono rappresentati dalla diffusione di transgeni attraverso l'ibridazione di piante transgeniche con specie e varietà selvatiche filogeneticamente vicine, dall'insorgere di resistenza delle piante agli erbicidi e degli insetti alle tossine transgeniche, dal trasferimento di transgeni presenti nelle piante ai batteri del suolo e dal rilascio nel suolo di tossine transgeniche attraverso le radici.*

### **Introduzione**

La scienza ha acquisito sempre più consapevolezza dell'impossibilità di conoscere le reazioni degli esseri viventi, soprattutto piante e animali, alle modificazioni genetiche prodotte attraverso l'uso dell'ingegneria genetica (Firn e Jones, 1999; Wolfenbarger e Phifer, 2000; Makarevitch *et al.*, 2003). Al contrario, i mass media continuano a rappresentare l'ingegneria genetica come una tecnologia assolutamente

predittiva. In realtà, l'inserimento di qualsiasi gene estraneo in un organismo può provocare reazioni imprevedibili se va a interferire con il funzionamento di vie metaboliche fondamentali e se non è opportunamente regolato nella sua espressione. I dati recenti derivati dal sequenziamento dei genomi di decine di organismi, compreso quello umano, hanno confermato che molto rimane ancora da capire riguardo alla regolazione dei geni, cioè alla loro attivazione e disattivazione in tempi e siti diversi.

L'estrema semplificazione del dibattito ha generato confusione nell'utilizzazione di alcuni termini, gettando una luce negativa sulle biotecnologie e l'ingegneria genetica in particolare. In realtà le biotecnologie classiche sono utilizzate da millenni per produrre cibo (pane, formaggio, yogurt), bevande (vino, birra) e prodotti industriali (antibiotici, cortisone). Anche attraverso l'ingegneria genetica, che permette l'aggiunta di nuovi geni negli organismi viventi, si producono sostanze fondamentali per la vita di molte persone, basti pensare all'insulina umana e agli interferoni.

Il dibattito vero sugli organismi geneticamente modificati (OGM) è iniziato quando dalla coltivazione di batteri transgenici, nell'ambiente confinato delle industrie farmaceutiche, si è passati alla coltivazione di piante transgeniche in campo aperto. Per cercare di dare risposte alle domande di politici e cittadini, gli scienziati hanno valutato l'impatto ambientale delle colture transgeniche da molti punti di vista (Butler e Reichardt, 1999; Giovannetti, 2003a). Si sono chiesti, per esempio, se esista il rischio di trasferimento dei geni per la resistenza agli antibiotici, presenti nelle piante transgeniche, ai microrganismi del suolo durante il ciclo colturale, se i geni per la tolleranza agli erbicidi possano diffondersi nell'ambiente originando piante "superinfestanti", se la produzione di tossine insetticide da parte delle coltivazioni transgeniche sia rischioso per gli organismi non-target. I risultati delle ricerche effettuate dal 1996 in poi sono



stati pubblicati sulle più importanti riviste scientifiche del mondo, cominciando da “Nature”, “Science” e “Nature Biotechnology”. Solo per fare un esempio, una copertina di “Nature” del 1998, dedicata agli OGM, poneva la domanda «How safe is 'safe'?» (Quanto sicuro è ciò che noi definiamo sicuro?).

Prima di discutere dei dati scientifici più importanti relativi all'impatto ambientale delle coltivazioni transgeniche, è bene soffermarsi a riflettere su quali siano le specie interessate. In altri termini: di che cosa stiamo parlando? Stiamo parlando di poche specie vegetali, utilizzate prevalentemente per l'alimentazione del bestiame – mais, soia, cotone, colza – e di solo due tipi di modificazioni genetiche, che conferiscono alle piante resistenza ad alcuni insetti e ad alcuni erbicidi. La modificazione genetica che ha avuto più successo nel mondo è quella della tolleranza agli erbicidi, che permette alle grandi compagnie biotecnologiche che ne possiedono il brevetto di vendere non solo i semi transgenici ma anche l'erbicida chimico da somministrare. Non è un caso che la gran parte della superficie coltivata a piante transgeniche, circa l'85% nel mondo, sia costituita da colture transgeniche resistenti agli erbicidi, il cui consumo negli anni 1996-2003 è aumentato dell'11,5%.

Alla luce di quanto specificato sopra, possiamo considerare quali di queste piante potrebbero essere coltivate con successo in Italia. Certamente non il cotone, poiché il nostro clima non permette una crescita che sia economicamente vantaggiosa. Certamente non la soia e la colza, la cui coltivazione in Italia interessa solo l'1% e lo 0,2 %, rispettivamente, della superficie totale agricola. Inoltre, la coltivazione della colza transgenica per la tolleranza agli erbicidi porrebbe diversi problemi, in quanto l'Europa rappresenta il centro d'origine e di biodiversità del genere *Brassica*, a cui la colza appartiene, e le eventuali ibridazioni tra specie coltivate e spontanee rappresenterebbero un rischio reale. L'unica coltura transgenica che potrebbe essere presa in considerazione sarebbe quindi il mais, una specie utilizzata pre-

valentemente come mangime animale e per produzioni industriali, dall'amido alla plastica.

### **Impatto ambientale delle piante transgeniche**

Nel 1996, quando è iniziata la coltivazione di piante transgeniche, si conosceva poco dei loro effetti su tutti gli altri componenti dell'ecosistema, né si conoscevano le interazioni dei residui della coltivazione con i microrganismi benefici del suolo. Sapendo però che in natura *"tutto va dappertutto"* e che i geni possono essere trasferiti da un organismo all'altro, esattamente come in laboratorio (Doolittle *et al.*, 1990; Heinemann e Sprague, 1989), non ci possiamo meravigliare che siano avvenuti quelli che sono stati da qualcuno definiti "eventi inattesi". Dopo solo quattro anni dall'inizio delle coltivazioni transgeniche, gli scienziati Wolfenbarger e Phifer, in un articolo apparso su *Science*, sottolineavano «... mancano gli esperimenti chiave sia sui rischi che sui benefici ambientali. La complessità degli ecosistemi presenta considerevoli sfide sperimentali per determinare rischi, benefici e inevitabili incertezze sulle piante geneticamente modificate. Collettivamente, gli studi esistenti sottolineano che i rischi variano spazialmente, temporalmente e in dipendenza del tratto e della cultivar modificati». (Wolfenbarger e Phifer, 2000).

Tra gli eventi inattesi che hanno posto problemi relativi all'impatto ambientale delle piante transgeniche, quelli più importanti sono rappresentati da:

- diffusione di transgeni attraverso l'ibridazione di piante transgeniche con specie e varietà selvatiche;
- resistenza delle piante infestanti agli erbicidi;
- resistenza degli insetti alle tossine transgeniche;

- trasferimento di geni ingegnerizzati dalle piante transgeniche ai batteri del suolo;
- rilascio nel suolo di tossine transgeniche da radici di piante transgeniche.

### **Diffusione di transgeni attraverso l'ibridazione di piante transgeniche con specie e varietà selvatiche vicine**

Per quanto riguarda questo evento, è interessante ricordare uno degli interrogativi a cui gli scienziati hanno cercato di rispondere in questi anni: qual è la distanza massima a cui può arrivare il polline di una data pianta transgenica? Le risposte a questa domanda sono importanti per capire la capacità di diffusione dei transgeni, attraverso l'ibridazione delle piante GM con specie selvatiche filogeneticamente vicine, e per poter calcolare la distanza di sicurezza tra colture transgeniche, convenzionali e biologiche (Ellstrand, 2001). Poiché però la propagazione del polline nell'ambiente è un evento inevitabile e ingovernabile, sono stati ormai descritti molti casi di ibridazione tra colture transgeniche coltivate e specie correlate spontanee che crescono nei campi vicini. Per esempio, è stato provato che la colza transgenica resistente agli erbicidi è capace di ibridare con *Brassica campestris* in campo e che gli ibridi interspecifici di seconda generazione contengono il transgene della tolleranza all'erbicida (Halfhill *et al.*, 2002). Un esperimento eseguito in Australia su 48 milioni di piante ha dimostrato che il polline di colza transgenica resistente a un erbicida era capace di ibridare con piante non transgeniche che crescevano fino a distanze di 3 chilometri, anche se in piccole percentuali (Rieger *et al.*, 2002). Gli autori dell'esperimento concludevano «Il trasferimento genico è un processo complesso ed è dipendente da molti fattori, incluse le condizioni ambientali, la varietà vegetale, il comportamento degli insetti e la densità di coltivazione delle piante. Queste osservazioni, unite ai nostri dati

sul movimento a lunga distanza del polline, indicano che esperimenti di laboratorio o in piccola scala possono non necessariamente predire la pollinazione che avviene in condizioni commerciali».

Come abbiamo già ricordato, la coltivazione di piante transgeniche resistenti agli erbicidi comporta un uso più elevato di questi prodotti. Dopo avere eseguito prove in campo su scala aziendale in Inghilterra, Robert May, presidente della Royal Society, ha dichiarato che le quantità, il tipo e il tempo di somministrazione degli erbicidi richiesti dalle colture GM hanno un impatto negativo sulla biodiversità di piante e animali. La conclusione di May è stata che il governo può essere ben giustificato nell'opporci alle coltivazioni di colza geneticamente modificate per la resistenza agli erbicidi.

### ***Resistenza delle piante infestanti agli erbicidi***

La coltivazione di piante transgeniche resistenti agli erbicidi può dare origine a piante spontanee, infestanti, dotate a loro volta di resistenza agli erbicidi, che possono così diventare superinfestanti. Sono stati segnalati casi di piante di colza superinfestanti, dotate di tripla resistenza agli erbicidi Roundup, Liberty e Pursuit (MacArthur, 2000).

A proposito del rischio di insorgenza di piante infestanti resistenti agli erbicidi, è interessante ricordare il caso dell'erba medica Roundup Ready, geneticamente modificata per tollerare l'erbicida Roundup. Approvata nel 2005 negli USA, la sua coltivazione è stata interrotta nel 2007 per decisione della Corte di San Francisco, che ha imposto l'esame del rischio che l'uso di quantità sempre crescenti di glifosato possa produrre piante infestanti resistenti al glifosato stesso (Charles, 2007). Il giudice, nella motivazione della sentenza, affermava che tale tipo di contaminazione rappresenta un danno ambientale irreparabile.



### **Resistenza degli insetti alle tossine transgeniche**

Il primo caso documentato di resistenza alla tossina Bt insorta in insetti target risale al 2008. La rivista scientifica “Nature Biotechnology” ha pubblicato le prove dell’esistenza di popolazioni di *Helicoverpa zea* resistenti alla tossina Bt in campi coltivati in Mississippi e Arkansas tra il 2003 e il 2006 (Tabashnik, 2008). La causa di tale evento è da ricercarsi nella produzione costante di tossina Bt nelle piante transgeniche e la sua presenza nei residui colturali: la tossina esercita una forte pressione selettiva sugli insetti bersaglio ed è alla base dell’insorgenza della resistenza. Tale evento, ineludibile, non era affatto imprevisto. Le ditte produttrici di sementi transgeniche hanno cercato di ritardarlo nel tempo, attraverso la gestione oculata delle zone rifugio, strisce di terreno coltivate con la stessa coltura, ma non transgenica, dove possa mantenersi una popolazione di insetti target non esposta alla tossina Bt. Nel foglio illustrativo allegato alle sementi, si spiega come il rischio di resistenza indotta negli insetti target possa essere ridotto attraverso piani di Insect Resistance Management (IRM), la cui componente chiave è rappresentata dalle zone rifugio. In tali zone gli insetti suscettibili alla tossina possono incrociarsi con gli insetti resistenti eventualmente emersi, dilazionando così nel tempo l’insorgenza della resistenza nella popolazione di insetti parassiti. Per ridurre il rischio di insorgenza della resistenza, si consiglia anche di coltivare nelle zone rifugio varietà simili a quella coltivata transgenica il più vicino possibile alla coltura principale e nello stesso periodo di coltura. È importante sottolineare che le zone rifugio, sia per il mais sia per il cotone Bt, devono rappresentare almeno il 20% dell’area coltivata, salvo in alcune aree dove per il cotone è richiesto che la zona rifugio sia il 50% del totale.



### **Trasferimento di geni ingegnerizzati dalle piante transgeniche ai batteri del suolo**

Il trasferimento di geni per la resistenza agli antibiotici (utilizzati per motivi tecnici nella produzione di piante transgeniche) dalle piante transgeniche ai batteri del suolo (trasferimento genetico orizzontale) è stato dimostrato nel 1998 da due scienziati tedeschi. In condizioni ottimali di laboratorio, sia il DNA sia l'omogeneizzato di foglie di barbabietola transgenica erano in grado di trasformare batteri del genere *Acinetobacter* (Gebhard e Smalla, 1998). Tali dati sono stati confermati anche da altri autori (Nielsen *et al.*, 1997; Nielsen *et al.*, 2000), sottolineando l'importanza della raccomandazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità per l'uso di una tecnologia che non preveda più l'inserimento nel genoma delle piante di geni per la resistenza agli antibiotici (WHO, 1993).

### **Rilascio nel suolo di tossine transgeniche da radici di piante transgeniche**

Il rilascio nel suolo di tossine transgeniche da parte delle radici è stato per la prima volta dimostrato da Stotsky e colleghi dell'Università di New York (Saxena *et al.*, 1999). Gli scienziati americani hanno dimostrato che le radici del mais Bt erano in grado di essudare la tossina insetticida Bt nel suolo, dove rimaneva attiva e protetta dalla degradazione microbica, in quanto assorbita sulle particelle di argilla, per un tempo variabile da 180 a 234 giorni, suggerendo possibili effetti di lungo periodo sugli organismi non-target o sulla selezione di insetti target resistenti alla tossina. Questo fenomeno è stato successivamente confermato dagli stessi autori su altri tipi di mais transgenico e dai dati ottenuti nel mio laboratorio utilizzando melanzane transgeniche in grado di produrre una tossina chiamata defensina: anche in questo caso la tossina prodotta dalle piante transgeniche era essudata dalle radici nell'ambiente circostante (Saxena *et al.*, 2002; Turrini *et al.*, 2004a).





Se aggiungiamo alle tossine rilasciate dalle radici quelle presenti nei residui vegetali che rimangono nel suolo dopo il raccolto, le quantità immesse nell'ambiente aumentano notevolmente e potrebbero rappresentare un rischio potenziale per tutte le comunità di organismi e microrganismi del suolo, sia target sia non-target, che sono fondamentali per il completamento dei cicli biogeochimici, per la degradazione della sostanza organica e per il riciclo dei nutrienti minerali dal suolo alle piante (Tapp and Stotzky, 1998). Una ricerca effettuata nel mio laboratorio ha permesso di studiare l'impatto del mais transgenico Bt11 e Bt176 sugli ecosistemi del suolo e ha dimostrato, utilizzando metodi molecolari, cambiamenti nelle popolazioni batteriche rizosferiche tra le piante di controllo e quelle transgeniche. Inoltre, sono stati trovati livelli significativamente più bassi di colonizzazione delle radici di mais Bt176 da parte di funghi simbiotici benefici (Turrini *et al.*, 2004b; Castaldini *et al.*, 2005).

### **Impatto sociale delle coltivazioni transgeniche**

La pratica di brevettare le sementi rischia di provocare una forte concentrazione nelle mani di poche multinazionali agrochimico-biotecnologico-sementiere delle più importanti piante alimentari e, quindi, della produzione di cibo per milioni di persone. Quanto questo potrebbe essere pericoloso per la sicurezza alimentare dell'umanità è dimostrato dall'aggressività con cui alcune compagnie difendono le loro sementi brevettate, arrivando a introdurre anche "geni suicidi" capaci di impedirne la riproduzione. Gli agricoltori che coltivano piante transgeniche ogni anno devono comprare il seme brevettato o pagare tasse sul brevetto. Tuttavia, poiché non si può impedire loro di conservare il seme dell'anno per usarlo l'anno successivo, se non costruendo una rete di costosissimi controlli, per avere la sicurezza che l'agricoltore acquisti comunque ogni anno nuove sementi (o che in alternativa paghi le tasse brevettuali), sono stati concepiti e brevet-

tati geni artificiali per il controllo della fertilità dei semi (denominati *terminator* o simili), che hanno la funzione principale di impedire ai semi di seconda generazione di germinare. Se l'agricoltore utilizzasse semi *terminator* conservati per la semina dell'anno successivo, durante la germinazione tale seme sarebbe indotto al suicidio e la nuova piantina non sopravviverebbe. In tal modo il monopolio sulle sementi sarebbe garantito, ma la cosa avrebbe conseguenze disastrose soprattutto nei Paesi del Sud del mondo, consegnando nelle mani di poche multinazionali il destino di milioni di persone (Crouch, 1998; Giovannetti, 2003b).

I brevetti sulla fertilità come *terminator* sono stati oggetto di proteste e di campagne di informazione in tutto il mondo, perché considerati una minaccia alla sicurezza alimentare da parte delle compagnie sementiero-agrobiotecnologiche, che avrebbero un potere di controllo sulla produzione di cibo ancora mai sperimentato, e finora non è stata permessa la coltivazione di piante transgeniche con questo tipo di trasformazione genetica. Inoltre, se tale brevetto fosse introdotto in alcune colture fondamentali come il riso o il grano, le principali piante alimentari per tre quarti del mondo povero e affamato, la vita di circa 1,2 miliardi di esseri umani, che secondo stime Fao sopravvivono grazie alla pratica della conservazione dei semi per l'anno successivo, sarebbe seriamente minacciata.

Non è certo un caso che il documento preparatorio del Sinodo per l'Africa conclusosi pochi mesi fa, *Instrumentum Laboris*, avverta dei pericoli rappresentati dalle multinazionali che continuano a invadere l'Africa per appropriarsi delle risorse naturali: «La campagna di semina di organismi geneticamente modificati, che pretende di assicurare la sicurezza alimentare, non deve far ignorare i veri problemi degli agricoltori: la mancanza di terra arabile, di acqua ed energia, di accesso al credito, di formazione agricola, di mercati locali, infrastrutture stradali ... Questa tecnica rischia di rovinare i piccoli



coltivatori e di sopprimere le loro semine tradizionali rendendoli dipendenti dalle società produttrici di OGM”.

## Conclusioni

L'agricoltura transgenica non rappresenta un vero cambiamento rispetto all'agricoltura industriale, ad alto input energetico, praticata negli ultimi cinquant'anni nei paesi industriali. Infatti, come già ricordato, l'85% delle piante transgeniche coltivate nel mondo è rappresentato da quelle resistenti agli erbicidi, il cui consumo è aumentato dell'11,5%. Di questo è consapevole l'Unione Europea, che da oltre dieci anni non finanzia progetti di ricerca agricola che abbiano come fine solo la produzione, ma privilegia ricerche innovative dal punto di vista ecologico ed economico, che permettano di dare nuova forma al sistema alimentare e più importanza alla sostenibilità piuttosto che alla produzione. Noi europei abbiamo bisogno di pratiche agricole che siano più rispettose della biodiversità di quanto lo siano i metodi dell'agricoltura industriale che prevalgono oggi. Occorre tenere in maggiore considerazione la complessità degli agroecosistemi e lavorare per l'integrazione delle conoscenze tradizionali sull'agricoltura organica, le rotazioni colturali, la gestione del suolo, con le ricerche recenti riguardanti i processi ecologici del suolo e il funzionamento degli ecosistemi. La vera sfida che ha di fronte l'agricoltura del terzo millennio – produrre cibo evitando gli effetti estremi dell'agricoltura intensiva – può essere vinta realizzando sistemi agrari e utilizzando tecnologie, sia high-tech sia low-tech, ad alta intensità di conoscenza, conoscenza dei singoli organismi di interesse agrario – piante, animali, microrganismi – e soprattutto della complessa rete di interazioni che regola il funzionamento degli ecosistemi (Giovannetti *et al.*, 2006; Giovannetti, 2009). In particolare l'agricoltura italiana, per reggere la concorrenza dei colossi europei e avere successo, dovrà individuare le pratiche agronomiche che permettano di incrementare e conservare la

fertilità naturale dei suoli e di ridurre l'input energetico, di selezionare varietà capaci di produrre con minori apporti chimici e studiare la diversità chimica degli alimenti e le loro qualità nutrizionali e salutistiche, al fine di perseguire un unico obiettivo: produrre alimenti di alta qualità e, quindi, di alto valore aggiunto.

## Bibliografia

- Butler D., Reichardt T. (1999), *Long-term effects of GM crops serves up food for thought*, "Nature", 398, pp. 651-656
- Castaldini M., Turrini A., Sbrana C., Benedetti A., Marchionni M., Fabiani A., Landi S., Santomassimo F., Pietrangeli B., Nuti M.P., Miclaus N., Giovannetti M. (2005), *Impact of Bt corn on rhizospheric and soil eubacterial communities and on beneficial mycorrhizal symbiosis in experimental microcosms*, "Applied and Environmental Microbiology", 71, pp. 6719-6729
- Charles D. (2007), *U.S. courts say transgenic crops need tighter scrutiny*, "Science", 315, p. 1069
- Crouch M.L. (1998), *How the Terminator terminates: an explanation for non-scientists of a remarkable patent for killing second generation seeds of crop plants*, The Edmonds Institute, Edmonds, Washington
- Doolittle R.F., Feng D.F., Anderson K.L., Alberro M.R. (1990), *A naturally occurring horizontal gene transfer from a eukaryote to a prokaryote*, "Journal of Molecular Evolution", 31, pp. 383-388
- Ellstrand N.C. (2001), *When transgenes wander, should we worry?*, "Plant Physiology", 125, pp. 1543-1545
- Firn R.D., Jones C.G. (1999), *Secondary metabolism and the risks of GMOs*, "Nature", 400, 14-15
- Gebhard F., Smalla K. (1998), *Transformation of Acinetobacter sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA*, "Applied and Environmental Microbiology", 64, pp. 1550-1554
- Giovannetti M. (2003a), *The ecological risks of transgenic plants*, "Biology Forum", 96, pp. 207-224
- Giovannetti, M. (2003b), *Ignoring complex interactions in natural ecosystems: the case of Terminator technology*, in Cerrai P. et al., *Determinism, Holism and Complexity*, Kluwer Academic/Plenum Publishers
- Giovannetti M. (2009), *Reti di interazioni nel funzionamento degli ecosistemi*, in L. Calabi (a



- cura di), *Il futuro di Darwin. L'ecosistema*, Utet, Torino
- Giovannetti M., Avio L., Fortuna P., Pellegrino E., Sbrana C., Strani P. (2006), *At the root of the wood wide web. Self recognition and non-self incompatibility in mycorrhizal networks*, "Plant Signaling & Behavior", 1, pp. 1-5
- Heinemann J.A., Sprague G.F. (1989), *Bacterial conjugative plasmids mobilize DNA transfer between bacteria and yeasts*, "Nature", 340, pp. 205-209
- Halfhill M.D., Millwood R.J., Raymer P.L., Stewart C.N. (2002), *Bt transgenic oilseed rape hybridisation with its weedy relative, Brassica rapa*, "Environmental Biosafety Research", 1, pp. 19-28
- MacArthur M. (2000), *Triple-resistant canola weeds found in Alberta*, *The Western Producer* (<http://www.producer.com/articles/20000210/news/20000210news01.html>) (February 10, 2001)
- Makarevitch I., Svitashv S.K., Somers D.A. (2003), *Complete sequence analysis of transgene loci from plants transformed via microprojectile bombardment*, "Plant Molecular Biology", 52, pp. 421-432
- Nielsen K.M., van Weerelt M.D.M., Berg T.N., Bones A.M., Hagler A.N. and van Elsas J.D. (1997), *Natural Transformation and availability of transforming DNA to Acinetobacter calcoaceticus in soil microcosms*, "Applied and Environmental Microbiology", 63, pp. 1945-1952
- Nielsen K.M., van Elsas J. D., Smalla K. (2000), *Transformation of Acinetobacter sp. strain BD413 (pFG4nptII) with transgenic plant DNA in soil microcosms and effects of Kanamycin on selection of transformants*, "Applied and Environmental Microbiology", 66, pp. 1237-1242
- Rieger M.A., Lamond M., Preston C., Powles S. B., Roush R. T. (2002), *Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields*, "Science", 296, pp. 2386-2388
- Saxena D., Flores S., Stotzky G. (1999), *Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn*, "Nature", 402, 480
- Saxena D., Flores S., Stotzky G. (2002), *Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events*, "Soil Biology and Biochemistry", 34, pp. 133-137
- Tabashnik B.E., Gassmann A. J., Crowder D. W., Carrière Y. (2008), *Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory*, "Nature Biotechnology", 26, pp. 199-202
- Tapp H., Stotzky G. (1998) *Persistence of the insecticidal toxin from Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki in soil*, "Soil Biology and Biochemistry", 30, pp. 471-476



- Turrini A., Sbrana C., Pitto L., Ruffini Castiglione M., Giorgetti L., Briganti R., Bracci T., Evangelista M., Nuti M.P., Giovannetti M. (2004a), *The antifungal Dm-AMP1 protein from Dahlia merckii expressed in Solanum melongena is released in root exudates and differentially affects pathogenic fungi and mycorrhizal symbiosis*, "New Phytologist", 163, pp. 393-403
- Turrini A., Sbrana C., Nuti M.P., Giovannetti M. (2004b), *Development of a model system to assess the impact of genetically modified corn and aubergine plants on arbuscular mycorrhizal fungi*, "Plant and Soil", 266, pp. 69-75
- WHO (1993), *Health aspects of marker genes in genetically modified plants*, World Health Organization, Geneva, WHO/FNO/FOS 93, 6
- Wolfenbarger L.L., Phifer P.R. (2000), *The ecological risks and benefits of genetically engineered plants*, "Science", 290, pp. 2088 -2093



# 5.

## L'impatto ecologico degli OGM

**Paola Migliorini**

*Docente di Produzioni vegetali, Università degli Studi di Scienze Gastronomiche, Pollenzo (Bra, Cuneo)*

### **Riassunto**

*Le colture di Organismi Geneticamente Modificati (OGM) si sono affacciate sul mercato circa un ventennio fa con l'ambizione di ridurre la fame nel mondo, oltre a raggiungere una serie di altri obiettivi. A oggi coprono una vasta superficie che cresce esponenzialmente ogni anno, ma è stata effettuata con successo la modifica di due soli caratteri (tolleranza agli erbicidi e resistenza agli insetti) in quattro colture principalmente di interesse zootecnico (mais, soia, cotone e colza). Non hanno dunque raggiunto i risultati sperati, mentre molti sono i problemi sorti per le implicazioni socio-economiche e ambientali. In particolare per quanto riguarda l'impatto ecologico, gli OGM sono causa di danni ambientali certi, documentati scientificamente da molti autori tra cui anche il National Research Council americano.*

*Non contrari allo sviluppo di nuove tecnologie, è tuttavia necessario avere un approccio agroecosistemico per la loro valutazione, che consideri le differenze nel ruolo della tutela della biodiversità, così come le diverse interrelazioni ecologiche, culturali, genetiche e socio-economiche.*

## Introduzione

Le colture di organismi geneticamente modificati (OGM) nel mondo sono coltivate su una superficie di 114,3 milioni di ettari (James, 2008) e le colture più rappresentate sono soia, mais, cotone e colza, in pratica tutte colture agroindustriali le cui percentuali di transgenico superano il 50% del prodotto sul mercato e nei soli USA (primo coltivatore di OGM al mondo) coprono il 50% della superficie agricola utilizzata (SAU), toccando punte dell'80% per soia e mais.

Tra i sostenitori degli OGM gli obiettivi da raggiungere con l'uso delle biotecnologie erano e sono:

- massimizzare la produzione di piante coltivabili;
- migliorare la qualità nutrizionale di alcuni prodotti agricoli;
- generare resistenza a parassiti e altri patogeni;
- sviluppare linee capaci di crescere in condizioni ambientali avverse quali siccità, alta salinità del terreno e gelo;
- produrre molecole farmaceutiche con proprietà terapeutiche e profilattiche per l'uomo e gli animali non naturalmente presenti nelle piante, dando quindi la possibilità di utilizzare sistemi e tecnologie agronomiche di larga scala;
- proporre una soluzione al problema della fame nel mondo.

Inoltre l'ISAAA (*International Services for Acquisition of Agri-biotech Application*) riporta che i nuovi caratteri introdotti con le biotecnologie sono stati la tolleranza agli erbicidi per il 73% dei casi (glifosate come il Roundup, bromoxynil come il Buctril, glufosinate ammonio come il





Liberty Link), la resistenza agli insetti per il 18% e la tolleranza agli erbicidi + la resistenza agli insetti per l'8%, cosa che significa raggiungere il 99% del totale degli OGM coltivati solo considerando questi due caratteri (James, 2009).

### **I rischi degli OGM**

Il vincitore del premio Nobel per la Pace nel 1970, Norman Borlaug (2000), ha detto che le biotecnologie possono aiutare a produrre più cibo sulle attuali terre coltivate: «What the Green Revolution did for the 20<sup>th</sup> century, the coming gene revolution can do for the 21<sup>st</sup> century — increase production with more environmentally friendly farming techniques to feed a growing, more affluent global population» (quello che la Rivoluzione Verde ha fatto nel XX secolo, la prossima rivoluzione genetica lo potrà fare nel XXI – aumentare la produzione con tecniche di coltivazione ecologicamente sostenibili per nutrire una popolazione globale in continua crescita).

In realtà i metodi per la valutazione dei rischi delle colture transgeniche sono solo all'inizio e vi è giustificabile preoccupazione che le attuali prove di biosicurezza in campo dicano poco sui potenziali rischi ambientali connessi con la produzione su scala commerciale di colture transgeniche. Recentemente è stato scoperto che il mais transgenico (modificato per esprimere proteine insetticide Cry derivate da *Bacillus thuringiensis*) rilascia detriti (foglie, pannocchie, bucce e steli) nell'ambiente circostante nel 100% dei casi e le relative proteine Cry si ritrovano negli ecosistemi acquatici anche dopo sei mesi dal raccolto (Tank *et al.*, 2010).

La preoccupazione principale è che le pressioni internazionali per ampliare mercati e profitti si traduca in una diffusione di vegetali transgenici troppo veloce, senza un'attenta considerazione per gli impatti a lungo termine sulle persone o sull'ecosistema (Mander e Goldsmith, 1996). Basti pensare che dal 2006 al 2007 l'aumento dell'estensione delle colture transgeniche è stata del 12% (James, 2008).

Il dibattito è aperto su come questa tecnologia possa anche modificare

le specie e le popolazioni indigene, le loro lingue, gli agricoltori e i diritti della comunità. Il Protocollo sulla Biosicurezza nasce proprio dalla preoccupazione internazionale che l'industria biotecnologica non abbia testato implicazioni a lungo termine delle nuove forme di vita. A livello di singoli Paesi l'adesione al Protocollo si è tradotta nella definizione di leggi proprie per la protezione delle specie autoctone e della sanità pubblica.

Considerando la loro capacità di riprodurre combinazioni di geni non presenti in natura, i rischi ecologici più gravi provocati dall'uso commerciale su vasta scala delle colture transgeniche e le principali problematiche a loro correlate sono diverse (Rissler e Mellon 1996; Krimsky e Wrubel 1996; Altieri, 2000; NRC, 2010).

- La diffusione delle piante transgeniche minaccia la diversità genetica delle colture, riducendola, a causa della semplificazione dei sistemi colturali e della promozione dell'erosione genetica, così come già verificatosi per la produzione industriale di sementi agricole e colture ibride.
- Si diffonde l'inquinamento genetico di varietà naturali (*flusso genico*) a causa del trasporto di polline mediato dal vento o da insetti impollinatori verso altre varietà della coltura o verso parenti selvatici. Nel primo caso si tratta di un inquinamento da OGM verso altre piante coltivate non-OGM (per esempio soia o mais), che costituisce un serio problema ovunque (secondo quanto riportato nel rapporto 2010 dell'Accademia Nazionale delle Scienze Americana) e a cui non si riesce a porre rimedio soprattutto in quegli areali di coltivazione dove le aziende sono di dimensioni medio-piccole. Il secondo caso è molto pericoloso nel caso di colture quali cotone, colza e barbabietola ma anche orzo, avena e girasole che hanno parenti selvatici molto diffusi negli agroecosistemi. Basti pensare a quando le aziende Monsanto e Scotts hanno sviluppa-

to un agrostide strisciante geneticamente modificato, pensato soprattutto per l'impiego su campi da golf, predicendo che il polline avrebbe viaggiato per circa 1000 piedi (circa 303 metri). Tuttavia, studi indipendenti condotti successivamente hanno scoperto che il polline in realtà ha viaggiato per 13 miglia (21,6 chilometri, più di 70 volte la distanza prevista), con il rischio di inquinare geneticamente parenti selvatici (Pollack, 2004).

- Vi è il potenziale trasferimento di geni da colture erbicida-resistenti a parenti selvatici o semi-addomesticati con la conseguente creazione di superinfestanti resistenti. A oggi sono stati documentati centinaia di casi di resistenza a triazina, solfoniluree e imidazolinone su oltre 80 specie di piante spontanee, alcune delle quali hanno anche sviluppato multiresistenze (Holt and Le Baron, 1990; Goldberg, 1992). Questo aspetto, documentato nel rapporto 2010 dell'Accademia Nazionale delle Scienze Americana (NRC, 2010), rappresenta un inconveniente per ovviare il quale si suggerisce di utilizzare altri erbicidi diversi da quello a cui la pianta transgenica è resistente, sconfessando di fatto l'utilità di tale tecnologia o ammettendo che porta ad aumentare l'uso di erbicidi.
- Le colture erbicida-resistenti possono diventare infestanti nelle colture successive. Aspetto non molto diffuso ma presente in particolare per quelle colture che vanno a seme prima della raccolta, producendo piante erbicida-resistenti che causeranno sulla coltura successiva molta competizione.
- Secondo i sostenitori, le colture GM resistenti agli erbicidi dovrebbero ridurre l'erosione del suolo perché si può evitare di arare il terreno. Anche se è vero che arare spesso il terreno ha portato alla riduzione della fertilità del suolo, l'aratura non viene fatta solo per controllare le infestanti, ma ha anche molti altri benefici agronomici (ad esempio per la struttura del terreno). La presenza e la copertura di infestanti in misura controllata, inoltre, è uti-

le proprio per evitare l'erosione provocata dall'acqua battente e la mineralizzazione del suolo superficiale, oltre che per ridurre l'evapotraspirazione del suolo nudo.

- Col tempo le colture GM possono causare un incremento nell'uso di pesticidi ed erbicidi con aumento dei costi e dei danni ambientali (Benbrook, 2003). Ad esempio, gli erbicidi bromoxynil e glifosate, a dispetto di quanto assicurano le ditte produttrici, sono prodotti tossici e dannosi per l'ambiente, gli organismi del suolo e degli agroecosistemi acquatici (Pimentel *et al.* 1989). L'aumento di questi prodotti potrebbe essere legato sia alla comparsa di forme di resistenza sia al bisogno di effettuare altri trattamenti per combattere parassiti diversi da quelli per cui gli OGM sono stati disegnati.
- L'uso di colture GM, come tutte le coltivazioni intensive e monoculturali, mina la possibilità di diversificazione delle colture riducendo l'agrobiodiversità nel tempo e nello spazio.
- Esiste la possibilità che si sviluppino nuovi batteri patogeni a seguito di trasferimento genico orizzontale da piante GM.
- Insetti parassiti possono sviluppare resistenza alla tossina Bt con cui le piante sono state modificate. Questo, in realtà, non è un rischio, ma un danno certo documentato anche dal rapporto 2010 dell'Accademia Nazionale delle Scienze Americana per evitare il quale l'Agenzia di Protezione Ambientale degli USA raccomanda di coltivare piante Bt alternandole con piante non-Bt (almeno 30-40% della SAU) secondo schemi precisi, in modo da assicurare una certa distanza tra le file di piante Bt e garantire la sopravvivenza a popolazioni di insetti sensibili a queste tossine. Questa resistenza può rappresentare un problema poiché, se comparisse, le piante geneticamente modificate perderebbero la loro efficacia contro i parassiti (Qayam e Sakhari, 2003; GRAIN, 2004). Il fatto, però, è che le piante GM possono perdere la capacità di resistenza a un parassita, ma non quella di inquinare geneticamente altre piante.



Da questo elenco derivano alcune gravi conseguenze alla diffusione di colture GM:

- perdita di biodiversità vegetale e animale;
- aumento della monocoltura a scapito dei sistemi di policoltura;
- semplificazione dell'agroecosistema e, in particolare, diminuzione dei benefici connessi alla corretta gestione delle infestanti che, se controllate, non diminuiscono le rese ma contrastano l'erosione e forniscono habitat e cibo per gli insetti utili;
- aumento dell'agricoltura industrializzata su larga scala a scapito della piccola agricoltura di qualità;
- impossibilità di coesistenza tra OGM e OGM-free e danneggiamento dell'agricoltura biologica e dei sistemi di produzione di qualità (Igp, Dop, etc.) con notevole aumento dei costi di quegli agricoltori o allevatori che vogliono tenere una filiera libera da OGM;
- standardizzazione produttiva e paesaggistica;
- riduzione della sicurezza alimentare aggravata dal fatto che i semi GM sono protetti da brevetti e patenti;
- non raggiungimento della sovranità alimentare.

## Conclusioni

La maggior parte delle innovazioni nel campo delle biotecnologie agricole è orientata al profitto piuttosto che ai bisogni: la spinta del settore dell'ingegneria

genetica non è risolvere i problemi agricoli, quanto piuttosto creare redditività. L'idea non è essere contrari allo sviluppo di nuove tecnologie, ma è necessario integrare i risultati tecnici con le problematiche socio-economiche per avere un quadro completo dell'impatto agronomico dell'innovazione biotecnologica rappresentata dalle colture GM. È importante assumere un approccio agroecosistemico per la valutazione di queste coltivazioni che consideri le differenze nel ruolo della tutela della biodiversità nei vari agroecosistemi e le diverse interrelazioni ecologiche, culturali, genetiche ed economiche, oltre che i vari sistemi di produzione sementiera, di conservazione delle sementi e di concezione dei diritti (ad esempio diritto di proprietà intellettuale).

Anche se comunemente percepita come un problema ambientale, la biodiversità è una questione anche profondamente politica: «Chi dovrebbe essere in grado di possedere o controllare le varie componenti della biodiversità? In che modo l'accesso alle risorse genetiche dovrebbe essere regolamentato e in che modo gli eventuali benefici derivati dal loro utilizzo dovrebbero essere condivisi in maniera equa e sostenibile?» (Crucible Group II, 2000).

## **Bibliografia**

- Altieri M. (2000), *The Myths of Agricultural Biotechnology: some ethical questions* (www.agroeco.org)
- Belcher K., Nolan J., Phillips P.W.B. (2005), *Genetically modified crops and agricultural landscapes: spatial patterns of contamination*, "Ecological Economics", 53, pp. 387-401
- Benbrook C. (2003), *The path of least resistance*, "American Fruit Grower" 123 (8), August, pp. 16-18
- Borlaug N.E. (2000), *Ending world hunger, the promise of biotechnology and the threat of antiscience zealotry*, "Plant Physiology", 124, pp. 487-490
- Crucible Group II (2000), *Seedling Solutions - Policy Options for Genetic Resources*, International Development Research Centre, Ottawa
- Goldberg R.J. (1992), *Environmental Concerns with the Development of Herbicide-Tolerant Plants*, "Weed Technology", 6, pp. 647-652
- GRAIN (2004), *Bt Cotton at Mali's Doorstep: Time to Act!*, Cotonou, Benin, February
- Holt J.S., Le Baron H.M. (1990), *Significance and distribution of herbicide resistance*, "Weed



- Technology", 4, pp. 141-149
- James C. (2009), *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops*, ISAAA (www.isaaa.org)
- Kjellsson G., Simonsen V. (1994), *Methods for risk assessment of transgenic plants*, "Birkhauser Verlag", Basil, p. 214
- Krimsky S., Wrubel R.P. (1996), *Agricultural biotechnology and the environment: science, policy and social issues*, University of Illinois Press, Urbana
- Mander J., Goldsmith E. (1996), *The case against the global economy*, Sierra Club Books, San Francisco
- National Research Council, Committee on the Impact of Biotechnology on Farm-Level Economics and Sustainability (2010), *The Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States*, National Academy of Sciences
- Pimentel D., Hunter M.S., LaGro J.A., Efroymson R.A., Landers J.C., Mervis F.T., McCarthy C.A., Boyd A.E. (1989), *Benefits and Risks of genetic Engineering in Agriculture*, "BioScience", 39, pp. 606-614
- Pollack A. (2004), *Genes from engineered grass spread for miles*, "New York Times", September 21
- Pollack A. (2004), *The travels of a bioengineered gene*, "New York Times", September 30
- Qayam A., Sakkhari K. (2003), *Did Bt Cotton Save Farmers in Warangal? A season long impact study of Bt Cotton - Kharif 2002 in Warangal District of Andhra Pradesh*, AP Coalition in Defence of Diversity and Deccan Development Society, Hyderabad (www.ddsindia.com)
- Rissler J., Mellon M. (1996), *The ecological risks of engineered crops*, MIT Press, Cambridge
- Tank J.L., Rosi-Marshall E.J., Royer T.V., Whiles M.R., Griffiths N.A., Frauendorf T.C., Treering D.J. (2010), *Occurrence of maize detritus and a transgenic insecticidal protein (Cry1Ab) within the stream network of an agricultural landscape*, "Proceedings of the National Academy of Sciences", 107 (41), pp. 17645-17650



# 6.

## OGM e rischio ambientale: una prospettiva ecologica

**Roberto Danovaro**

*Presidente Società Italiana di Ecologia (S.It.E.)*

*Università Politecnica delle Marche, Ancona*

### **Riassunto**

*L'utilizzo di coltivazioni o allevamenti di organismi geneticamente modificati può avere molteplici conseguenze per gli ecosistemi naturali. I rischi ambientali documentati scientificamente includono: 1) la creazione di nuove o più vigorose pesti e di organismi patogeni per popolazioni naturali di piante e animali; 2) l'aumento degli effetti delle pesti esistenti attraverso l'ibridizzazione con organismi transgenici; 3) rischio per specie "non bersaglio" (non-target), quali ad esempio organismi dei suoli, insetti non dannosi e altri animali tra cui uccelli e numerose specie di invertebrati; 4) alterazione delle comunità naturali, agro-ecosistemi inclusi; 5) irreparabili perdite e/o cambiamenti della biodiversità (a livello sia di specie sia di geni). Questi effetti colpiscono numerose componenti biologiche, dai virus ai procarioti, dalle alghe ai funghi, dall'erba agli alberi, dagli insetti ai pesci e ai molluschi, e agiscono su diversi comparti ambientali e su diversi livelli trofici, con effetti negativi a cascata sul funzionamento degli ecosistemi. Allo stato attuale delle conoscenze, un approccio precauzionale che impedisca l'uso estensivo di OGM in ambiente naturale è assolutamente necessario per preservare gli ecosistemi naturali e i beni e servizi che questi forniscono all'uomo.*



## **Introduzione**

Molti opinionisti e alcuni studiosi ritengono che gli organismi geneticamente modificati (OGM) non producano rischi di alcun genere, anzi, li considerano sostanzialmente equivalenti ai prodotti naturali. Altri si spingono ad assicurare che i benefici delle manipolazioni genetiche siano di gran lunga maggiori dei possibili rischi, i quali, peraltro, sarebbero ancora tutti da dimostrare. Il dibattito tra innocentisti e colpevolisti sta assumendo toni particolarmente accesi e appare di difficile comprensione per i non addetti ai lavori (ovvero coloro che svolgono ricerca scientifica e che possono comprendere meglio le conseguenze dell'utilizzo di OGM). Spesso nello scontro tra posizioni opposte si tende a fare confusione tra aspetti ideologici e dati scientifici. Gli organismi geneticamente modificati (o manipolati), siano essi microrganismi, animali o vegetali, hanno caratteristiche genetiche e riproduttive alterate. L'acquisizione di nuovi dati scientifici in ambito ecologico mette in luce potenziali ripercussioni sugli equilibri ambientali, con conseguenze di notevole portata per la conservazione della biodiversità e del funzionamento degli ecosistemi naturali. In questo contributo saranno esposte le principali problematiche relative all'impiego estensivo di OGM in ambienti aperti, rivolgendo una particolare attenzione al rischio ambientale, mentre viene lasciata ad altre sedi la discussione relativa ai rischi diretti per la salute umana.

## **La prospettiva ecologica**

Volendo affrontare la questione OGM in una prospettiva ecologica è necessario partire dai presupposti che ne costituiscono il fondamento scientifico. I concetti chiave che consentono di comprendere il funzionamento dei sistemi ecologici (in cui l'uomo stesso vive, di cui fa parte integrante e dai quali si è evoluto) e mettono in risalto la vulnerabilità degli ecosistemi all'immissione di OGM, sono i seguenti:

- La risposta di un ecosistema al problema OGM non può essere com-



presa se non tramite studi ecologici specifici (ovvero studiando gli ambienti naturali, con gli organismi che li abitano a scale spaziali e temporali adeguate).

- Ogni sistema ha una propria capacità portante (*carrying capacity*) sia per quanto riguarda il numero di organismi che possono essere ospitati all'interno di una determinata comunità, sia relativamente alla capacità di sopportare eventi di disturbo o di inquinamento antropico. Al di sopra di tali limiti l'ecosistema entra in crisi.
- Tutti i sistemi ecologici tendono a restare stabili il più possibile (concetto di stabilità ecologica) e si oppongono a ogni cambiamento che alteri le loro funzioni. Tuttavia, superato un livello soglia (*tipping point*), crollano, perdendo le funzioni necessarie al nostro benessere. Questo processo può richiedere anni (talora decenni) in quanto gli ecosistemi sono in grado di bilanciare e tamponare buona parte degli impatti che subiscono. Quindi, a differenza di quanto avviene per le molecole e le cellule che rispondono su scala di secondi, le comunità viventi e gli ecosistemi mostrano segni evidenti (e talora irreversibili di cambiamento) solo dopo anni. Ogni ecosistema, una volta cessato l'evento di disturbo, tende a riportarsi naturalmente verso condizioni di equilibrio simili (ma mai identiche) a quelle che possedeva prima. Ne consegue che anche quando un danno alla foresta amazzonica o all'ecosistema antartico fosse reversibile, sarebbero necessari decenni o centinaia di anni per avere segni di recupero. È bene quindi considerare che i tempi di risposta di un ecosistema all'ingresso (programmato o accidentale) di OGM potrebbero essere evidenti solo in tempi lunghi.
- Il funzionamento degli ecosistemi è operato e garantito dalla diversità di specie che lo abitano (biodiversità specifica). L'analisi dei cambia-

menti nella biodiversità può aiutarci a capire i cambiamenti dell'intero ecosistema e prevedere alterazioni del suo funzionamento. Il mantenimento della biodiversità è, quindi, il presupposto chiave per il corretto funzionamento di qualunque ecosistema.

### **Implicazioni ecologiche dell'uso di OGM**

A livello ambientale ed ecologico l'utilizzo di OGM pone altri interrogativi. I rischi per l'ambiente, da un punto di vista tecnico e scientifico, possono essere così riassunti:

- inquinamento genetico: i transgeni sono paragonabili a contaminanti persistenti nell'ambiente e possono interagire con gli inquinanti classici;
- alterazione della biodiversità naturale;
- danno per le popolazioni e comunità di organismi (animali e vegetali) naturali;
- effetto a cascata sul funzionamento degli ecosistemi naturali.

### ***Inquinamento genetico***

I transgeni sono geni "alieni" (ovvero non appartenenti all'organismo modificato geneticamente) che vengono inseriti nel patrimonio genetico di altri organismi per svolgere funzioni specifiche. Ad esempio, possono essere deputati alla sintesi di un determinato composto di valenza economica. Questi geni sono prodotti in quantità industriali, dal momento che le piante geneticamente modificate (GM) sono spesso coltivate in maniera intensiva ed estesa su spazi molto ampi, un affare per alcune multinazionali del settore agroalimentare, cui si aggiunge il crescente numero di aziende biotech che, a basso costo, sintetizzano, sequenziano e clonano geni. Secondo la teoria ecologica detta del



bastone spezzato, la risorsa ambientale (che si tratti di cibo o spazio) viene ripartita all'interno di una comunità ecologica in funzione dell'abbondanza delle specie che la compongono. Se cloniamo e, quindi, moltiplichiamo esponenzialmente il numero di organismi modificati (e dei transgeni che portano) la loro capacità di competere e prevalere su altre specie naturali aumenterà esponenzialmente. Se passiamo dal livello di specie a quello di geni, moltiplicando in modo esponenziale il numero di transgeni aumentiamo la loro possibilità di diffusione nell'ambiente e, quindi, la loro potenzialità di essere incorporati in organismi naturali (ad esempio batteri dei suoli). A questo proposito è bene ricordare che anche l'uso di prodotti con geni *terminator* (geni che non permettono agli organismi di riprodursi) non costituisce un ostacolo alla diffusione dei transgeni che possono diffondersi comunque, anche se l'organismo GM è sterile. La produzione e il rilascio su scala industriale di prodotti GM, quindi, altera i processi di competizione alla base della selezione naturale degli organismi e altera anche la selezione naturale dei geni che gli organismi GM portano.

Il rilascio di transgeni può essere equiparato al rilascio di inquinanti convenzionali. Tuttavia, esiste un elemento che li rende, potenzialmente, ancora più pericolosi. Infatti, mentre i contaminanti chimici (anche i più persistenti quali il DDT o i contaminanti organici) sono soggetti a un naturale decadimento nel tempo e a una progressiva trasformazione in composti generalmente meno tossici – o comunque vengono diluiti o dispersi nell'ambiente – i transgeni sono in grado di inserirsi in sistemi viventi (cellule procariotiche o eucariotiche, incluse quelle vegetali) e sono, quindi, potenzialmente in grado di riprodursi insieme a questi organismi. In altri termini i geni, e quindi anche i transgeni, si moltiplicano insieme agli organismi che li contengono, il che rende il rilascio di transgeni nell'ambiente un problema potenzialmente non controllabile. Il rischio per l'ambiente è certamente trascurabile nel caso in cui le manipolazioni transgeniche riguardino batteri coltivati in ambienti

confinati e controllati (come nell'ambito dell'industria farmaceutica, dove i batteri vengono trasformati per la produzione di molecole specifiche), ma in campo agroalimentare il problema si pone in termini evidenti e su grandi scale spaziali perché gli OGM vengono immessi direttamente, e in grandi quantità, nell'ambiente naturale senza alcuna possibilità di confinamento effettivo.

Inoltre, esiste un altro elemento da tenere in considerazione anche nel caso in cui si pensasse di poter limitare questo tipo di rischio. Tutti gli organismi viventi (e quindi anche gli OGM) dopo la morte (o la raccolta) vanno incontro a una più o meno rapida decomposizione. Nel caso delle produzioni agro-alimentari una parte dell'organismo viene utilizzata (per esempio patata, colza, mais), mentre il resto rimane nell'ambiente. Durante la decomposizione, la rottura della parete cellulare rilascia nell'ambiente il contenuto della cellula e con esso il DNA con inserito il transgene. Questo concetto si può estendere anche al consumo di prodotti contenenti OGM, in quanto è stato dimostrato che l'organismo umano digerisce solo il 95% del materiale genetico che viene ingerito, il resto viene escreto. Sempre a questo proposito, inoltre, si assume che la degradazione del DNA avvenga molto rapidamente dopo la morte delle cellule. Al contrario, recenti studi hanno messo in evidenza che nei suoli e nei sedimenti marini il DNA si complessa a molecole organiche e/o a particelle minerali, venendo così protetto dalla degradazione enzimatica (Nielsen *et al.*, 1998; Demanèche *et al.*, 2001). Ciò porta a un sorprendente accumulo di DNA nei suoli e nei sedimenti di tutti gli ambienti del globo. Recenti studi in ambiente marino, infatti, hanno dimostrato che solo negli strati più superficiali del sedimento sono contenute quantità di DNA extracellulare (DNA detritale) pari a diversi grammi (Dell'Anno and Danovaro, 2005). Il DNA detritale può costituire un'importante risorsa di basi azotate, fosforo e nucleotidi che le popolazioni batteriche naturali possono utilizzare (Redfield, 2001). Tuttavia, i limitati processi



degradativi a carico del DNA (sono stati rinvenuti anche frammenti di DNA di oltre 10 000 anni fa) fanno sì che il DNA possa essere presente anche in frammenti di dimensioni tali da contenere sequenze geniche (Lorenz and Wackernagel, 1994) e il meccanismo di assunzione di questi geni extracellulari da parte di popolazioni batteriche comincia a essere dimostrato (Ochman *et al.*, 2000). Cellule batteriche competenti, infatti, sono in grado di introdurre e ricombinare il DNA extracellulare all'interno del loro genoma con un processo noto come trasformazione naturale. Nei sedimenti marini come nei suoli sono presenti densità batteriche straordinarie, pari o superiori a  $10^{15}$  cellule per metro quadrato, pertanto la possibilità che in ogni istante siano presenti cellule batteriche competenti, in grado di andare incontro a trasformazione naturale, è conseguentemente elevata.

Il problema della presenza di organismi GM nell'ambiente non è quindi legato solamente alla possibilità di ibridarsi (combinarsi geneticamente) con altre specie o al danno causato a specie non bersaglio, ma anche alla possibilità che i transgeni sopravvivano dopo la morte dell'organismo GM. Questo problema è reso statisticamente più rilevante dalla produzione industriale di questi organismi.

Inoltre, l'inquinamento genetico legato alla produzione di OGM non si limita solo al transgene ma anche agli elementi genici che fanno da "promoter" ai transgeni. I promoter sono frammenti di DNA in grado di attivare il funzionamento del gene a cui sono legati. Quelli usati nel caso degli OGM sono generalmente aspecifici, ovvero in grado di attivare e di interagire con una grande quantità di geni (Ho *et al.*, 1999). Se estendiamo il problema della conservazione del DNA extracellulare anche ai promoter, appare chiaro come la diffusione di questi frammenti di DNA nell'ambiente ponga seri problemi non solo per la capacità che hanno di attivare i transgeni ma perché potrebbero attivare geni silenti presenti nelle cellule in cui vengono introdotti.

Questo rischio può essere notevolmente amplificato dal fatto che la trasmissione di frammenti di DNA o di transgeni tra organismi diversi può essere mediata da virus. I virus dopo avere introdotto il loro DNA nella cellula ospite possono riprodursi, talora trattenendo nel loro genoma porzioni di DNA dell'ospite. Si è sempre assunto che esistesse un rapporto specie-specifico tra virus e ospite. Tuttavia, è stato recentemente dimostrato che esistono virus transspecifici, ovvero in grado di infettare specie diverse (Gibbs & Weiller, 1999). Questo meccanismo porterebbe alla diffusione di transgeni anche a specie diverse da quelle naturalmente capaci di acquisire DNA presente nell'ambiente extracellulare. Negli ultimi anni è stato dimostrato che il numero di cellule batteriche infette da batteriofagi è tale da rendere questo fattore uno degli elementi in grado di controllare le dinamiche e la biodiversità delle popolazioni batteriche in ambiente naturale; è quindi facile intuire quale possa essere la portata del rischio di diffusione di transgeni mediata da infezione virale.

Infine, è stato dimostrato che diverse sostanze inquinanti (tra cui idrocarburi e diversi pesticidi attualmente in uso) sono in grado di indurre (al pari di composti quali la mitomicina-c, non presente in natura) il ciclo litico in cellule batteriche portanti un'infezione virale lisogena (l'infezione lisogena è quella in cui il virus è integrato nel DNA della cellula ospite ma non si replica attivamente, non la porta alla morte e non libera altri virus nell'ambiente). La conversione, a opera di inquinanti, dal ciclo lisogeno a quello litico in cellule batteriche infette ha per conseguenza la liberazione nell'ambiente di virus in grado di infettare nuove cellule, il che avrebbe a sua volta risvolti epidemiologici facilmente intuibili. Un'analisi di questo problema in una prospettiva ecologica pone ulteriori interrogativi se si considera il crescente livello di inquinamento cui sono soggetti tutti gli ecosistemi naturali. In questo modo si verrebbe infatti a creare una sinergia tra inquinanti convenzionali e rischio di diffusione di organismi transgenici.



In sintesi il problema OGM pone forti interrogativi in termini di inquinamento genetico anche in una prospettiva ecologica poiché:

- non si sa quale sia il destino dei transgeni e dei loro promotori del funzionamento (i cosiddetti *promoters*) nell'ambiente naturale, in quanto possono conservarsi e rimanere potenzialmente funzionali a lungo anche all'esterno delle cellule che li ospitano;
- transgeni e *promoters* (o loro frammenti) possono essere assunti e integrati nel DNA di cellule competenti, cioè in grado di incorporare del DNA libero presente nell'ambiente;
- il problema può assumere dimensioni di rischio effettivo per le quantità di transgeni prodotti industrialmente tramite semplici tecniche di PCR (*Polymerase Chain Reaction*, con cui si moltiplicano, in pochi minuti, a partire da uno stampo di DNA, milioni di copie);
- geni, transgeni, *promoters* (o loro frammenti) possono essere potenzialmente trasmessi anche tramite virus;
- le infezioni virali tendono a crescere all'aumentare del livello di inquinamento ambientale.

Inoltre la scelta di utilizzare alcuni geni per la produzione di sostanze pone problemi ecologici poiché la loro immissione in elevate quantità nell'ambiente pone interrogativi sui meccanismi di alterazione dei processi di selezione naturale delle specie. La Natura è stata sempre in grado di evolversi attraverso stadi successivi di equilibrio e la presenza di varianti geniche ha avuto un ruolo nella sopravvivenza delle specie (incluso l'uomo). L'immissione di geni nell'ambiente non altera solo gli equilibri naturali tra specie, ma anche, riducendo la



variabilità genetica, i meccanismi stessi con cui questi si stabiliscono e si evolvono.

### **Alterazione della biodiversità naturale**

La biodiversità può essere definita a diversi livelli: numero e diversità di geni, numero di specie, diversificazione degli habitat e degli ecosistemi. Tuttavia, in termini generali, l'accezione più comunemente diffusa, e di più facile comprensione anche per i non esperti, è data dal numero di specie che vivono in un ambiente. Gli organismi transgenici, e più in generale gli organismi geneticamente modificati, da un punto di vista ecologico possono essere considerati alla stregua di specie aliene. Per comprendere questo concetto bisogna risalire a quello di specie. In sintesi, modificare geneticamente un organismo vuol dire, teoricamente, introdurre una nuova varietà, determinando artificiosamente una variabilità intraspecifica che costituisca il presupposto per una variabilità interspecifica e, quindi, per il processo di speciazione. In altri termini la produzione di OGM favorisce la creazione di una nuova specie e ne modifica i processi di selezione naturale.

Una specie aliena è una specie che non è originaria di un determinato ambiente e quindi non è a esso adattata, ma quando vi viene introdotta, accidentalmente o intenzionalmente, non avendo competitori o nemici, né parassiti o malattie, si diffonde senza controllo. Esistono casi eclatanti di invasione da parte di specie aliene di ecosistemi terrestri (piante, insetti e parassiti), di ambienti di acque interne (mitilo zebra) e marine (invasione di specie tropicali). Talora la penetrazione di queste specie è accidentale (come nel caso dell'ingresso attraverso le acque di zavorra), in altri casi intenzionale. Le conseguenze di un'eventuale espansione di una varietà OGM, da un punto di vista ecologico, sono difficilmente prevedibili (Watkinson *et al.*, 2000). È infatti noto che il mantenimento della biodiversità (intesa come numero di specie) dipende da diversi fattori tra i quali l'equilibrio di forze tra le diverse specie per la ripartizio-



ne delle risorse ambientali disponibili. La biodiversità a livello locale è strettamente dipendente dalla biodiversità a livello regionale; talora una bassa diversità locale accoppiata a una forte diversificazione ambientale porta a un aumento della biodiversità complessiva. Tuttavia, nel caso in cui l'organismo GM possedesse caratteristiche di crescita elevata, forte diffusione (dispersione) ed elevata competitività con le specie locali (e magari con le specie endemiche, ovvero quelle esclusive di un determinato ambiente), allora nel tempo il risultato sarebbe una riduzione della biodiversità a livello regionale (e quindi anche a livello locale).

Inoltre la produzione di organismi geneticamente modificati determina un uso esclusivo di poche specie rispetto alla varietà di specie potenzialmente coltivabili in natura, anche perché nella maggior parte dei casi si associa a pratiche monocolturali intensive. Un cambiamento di questo tipo è peraltro già in atto nel caso delle piantagioni, che stanno progressivamente riducendo anche il numero di specie presenti nell'ambiente naturale. I timori in tal senso sono fondati su alcune semplici ragioni. In primo luogo, la selezione (e amplificazione) di geni (quelli che vengono inseriti negli organismi OGM e riprodotti in quantità industriali) va contro il processo di evoluzione per selezione naturale (poiché i geni da clonare vengono selezionati dall'uomo). A tal proposito l'obiezione dei sostenitori degli OGM è che l'uomo ha sempre selezionato organismi, dai cani alle patate, alle pecore, e quindi ha sempre interferito con il processo di selezione naturale. Tuttavia, vanno fatte due considerazioni: 1) il processo tradizionale di selezione si è comunque sempre basato sulla variabilità genetica già esistente o che si produce naturalmente; 2) le specie selezionate sono state inizialmente quasi sempre introdotte su scala locale e in piccoli numeri. La selezione e produzione di organismi GM sposta gli equilibri quantitativi di forze esistenti tra le specie, aumentando in maniera artificiale il numero di individui di una popolazione, cosa che nell'ottica della competizione rappresenterebbe una forte minaccia per le specie

naturali anche nel caso queste avessero capacità di competizione equivalenti. Inoltre, da un punto di vista ecologico, è chiaro che l'evoluzione naturale segue i criteri e i tempi della sostenibilità, cosa che non viene rispettata quando l'uomo interviene in questi processi su scala industriale. Gli Stati Uniti stanno spendendo annualmente milioni di dollari per ridurre l'espansione di specie aliene e/o per contenere la diffusione di tali specie in altre aree del continente americano (Dean, 1998; Kolar and Lodge, 2001).

### **Danno per le popolazioni e comunità di organismi naturali**

L'ipotesi del "gene di Troia" (*Trojan gene hypothesis*) dovrebbe metterci in guardia sulle potenziali conseguenze ecologiche dell'introduzione di organismi geneticamente modificati nell'ambiente. Questa ipotesi è stata formulata per i pesci medaka (*Oryzias latipes*), pesci ornamentali prodotti in laboratorio con tecniche di ingegneria genetica e allevati soprattutto in Giappone: i pesci geneticamente modificati hanno un grande vantaggio riproduttivo rispetto a quelli non ingegnerizzati poiché, essendo di maggiori dimensioni e producendo più uova e sperma, sono in grado di fecondare più femmine di quelli selvatici. Tuttavia, i pesci medaka ingegnerizzati sono anche più cagionevoli dei selvatici e hanno una vita media molto più breve; in altri termini si riproducono più facilmente, ma poi muoiono prima (Muir and Howard, 1999). Ulteriori preoccupazioni emergono anche dall'allevamento di salmoni transgenici, che potrebbero venire largamente utilizzati in Norvegia. Infatti, recenti studi hanno stimato che qualora i salmoni ingegnerizzati venissero in contatto accidentalmente o intenzionalmente con le popolazioni selvatiche, potrebbero determinarne l'estinzione in meno di 40 generazioni (Reichhardt, 2000). Le specie transgeniche potrebbero quindi non essere "superspecie" ma "cavalli di Troia" in grado di sostituirsi alle naturali per poi estinguersi. Alla fine del 1990 l'abbondanza di salmoni del Pacifico, era solo il 10-15% di quella del 1800. Da tempo vengono



utilizzati impianti di riproduzione artificiale al punto che l'80% dei salmone commercializzati proviene da tali impianti. Negli anni Settanta si è scoperto che la diversità genetica e il potenziale demografico del salmone erano stati notevolmente ridotti dalle pratiche di allevamento tradizionale. I pesci provenienti dagli impianti di riproduzione hanno, rispetto a quelli selvatici, minore sopravvivenza e minore capacità di adattarsi alla variabilità delle condizioni oceanografiche e di sfuggire ai predatori. Se questi problemi insorgono nell'allevamento di organismi non geneticamente modificati, appare evidente il potenziale impatto dell'introduzione, anche accidentale, di pesci transgenici nell'ambiente. Un problema altrettanto importante da un punto di vista ecologico è il *gene flow*, ovvero il flusso genico tra organismi geneticamente modificati (per esempio piante transgeniche) e piante/organismi naturali e selvatici (Timmons *et al.*, 1996; Chevre *et al.*, 1997; Crawley *et al.*, 2001; Quist & Chapela, 2001). Il trasferimento di geni per la resistenza agli erbicidi da piante transgeniche a piante selvatiche è stato dimostrato (Hall *et al.*, 2000; Wolfenbarger and Phifer, 2000), anche se tali risultati sono stati contestati da altri ricercatori (Keenan and Stemmer, 2002).

Tra gli obiettivi della produzione di piante geneticamente modificate vi è la resistenza alle tossine (bioinsetticidi benigni) o la resistenza ai trattamenti con antibiotici (Moellenbeck *et al.*, 2001). Tuttavia è stata recentemente dimostrata non solo la possibilità di un flusso genico all'interno della stessa specie tra organismi geneticamente modificati e conspecifici selvatici, ma anche tra organismi appartenenti a Regni diversi, ovvero procarioti e organismi vegetali. Ad esempio, il batterio *Acinetobacter* è in grado di incorporare il DNA transgenico della barbabietola da zucchero (Gebhard and Smalla, 1998).

Il problema dell'inquinamento genetico si può manifestare anche a notevole distanza e può colpire trasversalmente piante e animali, ad esempio girasoli coltivati trasmettono geni a girasoli selvatici. All'aumentare della distanza, diminuisce esponenzialmente la frequenza di trasmissione di geni

inseriti (transgeni), ma il trasferimento di geni può essere significativo soprattutto per popolazioni limitrofe a quelle coltivate (Wolfenbarger and Phifer, 2000). La dispersione del transgene può avere conseguenze anche sugli animali presenti nell'ambiente, per esempio il bruco della farfalla monarca (*Danaus plexippus*), mangiando il polline di mais transgenico, muore. Questo da un lato riduce il danno alle piantagioni, ma dall'altro, essendo il polline trasportato dal vento, può determinare l'estinzione del bruco anche su ampia scala (Losey *et al.*, 1999). Tuttavia, i risultati di queste ricerche sono ancora controversi (Strickland, 1999; Wraight *et al.*, 2000; Hellmich *et al.*, 2001; Oberhauser *et al.*, 2001; Sears *et al.*, 2001; Zangerl *et al.*, 2001), motivo per cui la conclusione è che, ancora una volta, non esistono sufficienti evidenze scientifiche per fare piena luce sul problema.

La possibile formazione di forme resistenti che potremmo definire “supervirus” o “superbatteri” o “superpiante” a seguito dell'incorporazione di geni di resistenza, potrebbe portare l'uomo ad aumentare i trattamenti o a produrre biocidi sempre più potenti (Mascarenhas *et al.*, 1998). Recenti studi hanno dato le prime conferme della realizzazione di questo rischio, dimostrando che la creazione di forme di resistenza a seguito di uno scambio genico tra organismi selvatici e geneticamente modificati determina un aumento da due a cinque volte dell'uso di erbicidi e di pesticidi, con il conseguente aumento dei danni all'ambiente.

### **Effetti sul funzionamento degli ecosistemi**

Difendere una specie è più importante che difendere i suoi geni. Per le proprietà emergenti nei singoli individui, i geni costituiscono solo una funzione potenziale: la specie realizza queste potenzialità e benché la biodiversità possa essere censita anche in termini di numero e diversità di geni in realtà si esprime solo a livello di individui. La conservazione di una specie nel suo ambiente naturale (e non all'interno di zoo o riserve delimitate) è essenziale in quanto l'interazione tra organismi appartenenti a specie diverse e le interazioni di queste con l'ambiente sono alla



base del processo evolutivo e, in particolare, dei processi di co-evoluzione (specie che si evolvono in parallelo con l'evoluzione di altre specie chiave). Data la complessità dei fattori che permettono la sopravvivenza delle specie, per difenderne una è necessario proteggere e conservare l'intero habitat in cui essa vive. Se distruggiamo o modifichiamo le caratteristiche naturali degli habitat, poi dovremo recuperarli. L'industria del recupero ambientale, benché ancora a livelli pionieristici potrebbe divenire in tempi brevi un business: sono già in fase di sperimentazione avanzate tecniche di recupero ambientale con uso di microrganismi selezionati geneticamente (inclusi i *microbial mats* per il biorisanamento di terreni a forte carico di contaminanti chimici). Tuttavia, anche in questo caso esiste la possibilità di produrre organismi geneticamente modificati, con implicazioni ecologiche già precedentemente descritte. Peraltro, non è ancora noto l'effetto che potrebbe avere l'introduzione di batteri GM sulla biodiversità microbica.

Il timore che scaturisce dall'introduzione di OGM nell'ambiente (si pensi ad esempio alla proposta di introdurre nell'ambiente una zanzara del genere *Anopheles* geneticamente modificata in modo tale da non permetterle di trasmettere all'uomo il plasmodio della malaria) è che in tempi più lunghi l'ingresso di queste specie GM possa determinare l'estinzione non solo della specie sorella (che potremmo definire l'*Anopheles* originale), ma anche di altre specie che vivono in relazione con questa. Infatti, non è detto che l'organismo geneticamente modificato sia in grado di svolgere le stesse funzioni della specie che sostituisce o delle specie che porta a estinguersi o a ridursi fortemente in numero. Le ripercussioni ecologiche di un tale processo si possono manifestare con effetti a cascata, dal momento che esistono alcune specie chiave (*keystone species*) che, grazie alla loro attività di pascolo o di predazione o di creazione di habitat specifici, contribuiscono alla sopravvivenza di altre specie accessorie che da queste dipendono (*fan species*). Il concetto di cascata trofica ci permette di capire che la diminuita importanza di

una specie o la sua estinzione può avere ripercussioni su altre apparentemente lontane. In altre parole un organismo transgenico può, con la sua presenza, costituire un elemento di alterazione degli equilibri naturali che possono avere ripercussioni sino all'uomo, anche senza avere un effetto direttamente negativo. L'effetto a cascata è più probabile qualora si vadano a compromettere livelli trofici superiori (ovvero generalmente i predatori che controllano con meccanismi *top-down* la densità delle loro prede), ma nulla toglie, sul piano delle attuali conoscenze, che tali conseguenze possano manifestarsi anche attraverso un meccanismo *bottom-up* (ovvero dal basso). Ad esempio, nel caso delle coltivazioni OGM che uccidono anche la farfalla monarca è possibile che questo danno abbia ripercussioni anche sui predatori del bruco della farfalla (piccoli mammiferi, lucertole o altri insetti).

Un esempio di effetto su comunità ed ecosistemi naturali è fornito dal caso del mais geneticamente modificato per produrre la proteina CryAb (Bt *corn*) resistente all'attacco dei lepidotteri. Il Bt *corn* è largamente utilizzato negli USA e spesso in aree adiacenti a fiumi. Rosi-Marshsal *et al.* (2007) hanno dimostrato che i prodotti del mais, quali polline e detrito, entrano e si accumulano nel sistema fluviale e vengono trasportati anche in altre aree. Esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che l'ingestione di questi prodotti contenenti Bt provoca diminuzione della crescita o mortalità di artropodi e specie di invertebrati non-target (cioè specie non direttamente pensate come soggetti su cui il Bt dovesse fare effetto). Queste specie sono a loro volta prede di predatori fluviali e quindi l'effetto delle colonizzazioni Bt può avere effetti a cascata sui livelli trofici apicali.

## **Conclusioni**

La diffusione di OGM o l'ibridazione dei transgeni che contengono in popolazioni naturali può avere ripercussioni importanti. Il problema non è la volontà pregiudiziale al commercio di un nuovo prodotto, ma



comprendere quali saranno i costi sociali ed economici da pagare nel caso in cui si scopra che il prodotto ha creato un danno. Le ricerche svolte finora e pubblicate sulle più prestigiose riviste al mondo confermano che il rischio esiste e che è stato anche verificato in diverse tipologie di habitat e di ecosistemi. Il sostegno delle tecnologie di transgenesi ha chiare motivazioni economiche da parte di multinazionali che portano necessariamente a un orientamento in termini produttivi prima che conoscitivi (Enserink, 1999). Le ricerche sulle conseguenze della produzione e utilizzo di OGM dovrebbero essere sostenute con il finanziamento da parte di istituzioni pubbliche. Fondi pubblici per la ricerca sugli effetti ambientali degli OGM andrebbero incoraggiati per fornire elementi di certezza circa il rischio in cui si incorre in funzione della tipologia di OGM utilizzato, area, estensione e condizione ambientali di riferimento (Snow *et al.*, 2005). Il dibattito sulla giustezza o meno del principio precauzionale è ancora largamente aperto (Holm and Harris, 1999; Howard and Saunders, 1999): la ricerca non deve essere fermata, ma deve essere valutato attentamente l'aspetto applicativo in ambiente aperto. Nel caso degli OGM esiste un problema di irreversibilità inerente alla tecnologia stessa. Se un farmaco si dimostra dannoso o pericoloso può essere ritirato dal mercato, ma nel caso di geni, quando questi sono rilasciati nell'ambiente naturale e si ibridano con popolazioni naturali, non c'è modo di contenerli o rimuoverli. Il principio precauzionale viene richiesto non sulla base della sicurezza dei prodotti OGM ma proprio sulla sicurezza stessa dei tentativi di applicazione industriale in atto. Sulla base dei dati scientifici acquisiti finora, il principio precauzionale dovrebbe essere applicato per preservare la salute degli ecosistemi naturali così come si fa per la salute umana.



## Bibliografia

- Chevre A.M., Eber F., Baranger A., Renard M. (1997), *Gene flow from transgenic crops*, "Nature", 389, p. 924
- Crawley M.J., Brown S.L., Hails R.S., Kohn D.D., Rees M. (2001), *Transgenic crops in natural habitats*, "Nature", 409, pp. 682-683
- Dean R.W.J. (1998), *Space Invaders: Modelling the Distribution, Impacts and Control of Alien Organisms*, "Trends in Ecology and Evolution", 13, pp. 256-258
- Dell'Anno A., Danovaro R. (2005), *Extracellular DNA plays a key role in deep-sea ecosystem functioning*, "Science", 309, p. 2179
- Demanèche S., Jocteur-Monrozier L., Quiquampoix H., Simonet P. (2001), *Evaluation of Biological and Physical Protection against Nuclease Degradation of Clay-Bound Plasmid DNA*, "Applied and Environmental Microbiology", 67, pp. 293-299
- Enserink M. (1999a), *Industry response: Ag biotech moves to mollify its critics*, "Science", 286, pp. 1666-1668
- Ferber D. (1999b), *Risks and benefits: GM crops in the cross hairs*, "Science", 286, pp. 1662-1666
- Gebhard F., Smalla K. (1998), *Transformation of Acinetobacter sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA*, "Applied and Environmental Microbiology", 64, pp. 1550-1554
- Gibbs M.J., Weiller G.F. (1999), *Evidence that a plant virus switched hosts to infect a vertebrate and then recombined with a vertebrate-infecting virus*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 96, pp. 8022-8027
- Hall L., Topinka K., Huffman J., Davis L., Good A. (2000), *Pollen flow between herbicide-resistant Brassica napus is the cause of multiple-resistant B. napus volunteers*, "Weed Science", 48, pp. 688-694
- Hellmich R.L., Siegfried B.D., Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Daniels M.J., Mattila H.R., Spencer T., Bidne K.G., Lewis L.C. (2001), *Monarch larvae sensitivity to Bacillus thuringiensis-purified proteins and pollen*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 98, pp. 11925-11930
- Ho M.W., Ryan A., Cummins J. (1999), *The cauliflower mosaic viral promoter - a recipe for disaster?*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 11, pp. 194-197
- Holm S., Harris J. (1999), *Precautionary principle stifles discovery*, "Nature", 400, p. 398
- Howard C.V., Saunders P.T. (1999), *Sensible precautions make good science...*, "Nature", 401, p. 207
- Keenan R.J., Stemmer W.P.C. (2002), *Nontransgenic crops from transgenic plants*, "Nature Biotechnology", 20, pp. 215-217
- Kolar C., Lodge D.M. (2001), *Progress in invasion biology: predicting invaders*, "Trends in Ecology



and Evolution", 16, pp. 199-204

Landi E. (2000), *OGM: una scelta di campo che compete alla politica*, "Biologi Italiani"

Lorenz M.G., Wackernagel W. (1994), *Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment*, "Microbiological Review", 58, pp. 563-602

Losey J.E., Rayor L.S., Carter M.E. (1999), *Transgenic pollen harms monarch larvae*, "Nature", 399, p. 214

Lovelock J.E. (1979), *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press

Mascarenhas R.N., Boethel D.J., Leonard B.R., Boyd M.L., Clemens C.G. (1998), *Resistance monitoring to Bacillus thuringiensis insecticides for soybean loopers (Lepidoptera: Noctuidae) collected from soybean and transgenic Bt-cotton*, "Journal of Economic Entomology", 91, pp. 1044-1050

Moellenbeck D.J., Peters M.L., Bing J.W., Higgins L.S., Sims L. et al. (2001), *Insecticidal proteins from Bacillus thuringiensis protect corn from corn rootworms*, "Nature Biotechnology", 19, pp. 668-672

Muir W.M., Howard R.D. (1999), *Possible ecological risks of transgenic organism release when transgenes affect mating success: sexual selection and the Trojan gene hypothesis*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 96, pp. 13853-13856

Naylor R., Goldburg R.J., Primavera J.H., Kautsky N., Beveridge M.C.M., Clay J., Folke C., Lubchenco J., Mooney H., Troell M. (2000), *Effect of aquaculture on world fish supplies*, "Nature", 405, pp. 1017-1024

Nielsen K.M., Bones A.M., Smalla K., Van Elsas J.D. (1998), *Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria: a rare event?*, "FEMS Microbiology Reviews", 22, pp. 79-103

Oberhauser K.S., Prysby M.D., Mattila H.R., Stanley-Horn D.E., Sears M.K., Dively G., Olson E., Pleasants J.M., Lam W.K.F., Hellmich R.L. (2001), *Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 98, pp. 11913-11918

Ochman H., Lawrence J.G., Groisman E.A. (2000), *Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation*, "Nature", 405, pp. 299-304

Quist D., Chapela I.H. (2001), *Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico*, "Nature", 414, pp. 541-543

Redfield R.J. (2001), *Do bacteria have sex?*, "Nature Reviews Genetics", 2, pp. 634-639

Reganold J.P., Jerry D.G., Preston K.A., Hinman H.R. (2001), *Sustainability of three apple production systems*, "Nature", 410, pp. 926-930

Rosi-Marshall E.J., Tank J.L., Royer T.V., Whiles M.R., Evans-White M., Chambers C., Griffiths N.A., Pokelsek J., Stephen M.L. (2007), *Toxins in transgenic crop byproducts may affect*



- headwater stream ecosystems, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 104, pp. 16204–16208
- Reichhardt T. (2000), *Will souped up salmon sink or swim?*, "Nature", 406, pp. 10-12
- Romei J., Bartsch D., Bigler F., Candolfi M.P., Gielkens M.M.C., Hartley S.E., Hellmich R.L., Huesing J.E., Jepson P.C., Layton R., Quemada H., Raybould A., Rose R.I., Schiemann J., Sears M.K., Shelton A.M., Sweet J., Vaituzis Z., Wolt J.D. (2008), *Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to nontarget arthropods*, "Nature Biotechnology", 26, pp. 203-208
- Sears M.K., Hellmich R.L., Stanley-Horn D.E., Oberhauser K.S., Pleasants J.M., Mattila H.R., Siegfried B.D., Dively G.P. (2001), *Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 98, pp. 11937-11942
- Snow A.A., Andow D.A., Gepts P., Hallerman E.M., Power A., Tiedje J.M., Wolfenbarger L.L. (2005), *Genetically engineered organisms and the environment: current status and recommendations*, "Ecological Applications", 15, pp. 377-404
- Strickland D. (1999), *Recombinant corn viewed as no great threat to monarch butterflies*, "Genetic Engineering News", 19 (21)
- Timmons A.M., Charters Y.M., Crawford J.W., Burn D., Scott S.E., Dubbels S.J., Wilson N.J., Robertson A., O'Brien E.T., Squire G.R., Wilkinson M.J. (1996), *Risks from transgenic crops*, "Nature", 380, p. 487
- Watkinson A.R., Freckleton R.P., Robinson R.A., Sutherland W.J. (2000), *Predictions of biodiversity response to genetically modified herbicide-tolerant crops*, "Science", 289, pp. 1554-1557
- Wolfenbarger L.L., Phifer P.R. (2000), *The ecological risks and benefits of genetically engineered plants*, "Science", 290, pp. 2088-2093
- Wraight C.L., Zangerl A.R., Carroll M.J., Berenbaum M.R. (2000), *Absence of toxicity of Bacillus thuringiensis pollen to black swallowtails under field conditions*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 97, pp. 7700-7703
- Zangerl A.R., McKenna D., Wraight C.L., Carroll M., Ficarello P., Warner R., Berenbaum M.R. (2001), *Effects of exposure to event 176 Bacillus thuringiensis corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 98, pp. 11908-11912



# 7.

## Il Dna transgenico: il vero problema dell'ingegneria genetica

**Pietro Perrino**

*Dirigente di Ricerca del CNR,  
già Direttore dell'Istituto del Germoplasma del CNR di Bari*

### **Riassunto**

*Il DNA transgenico è diverso dal DNA naturale e ciò spiega anche perché gli organismi geneticamente modificati (OGM) siano instabili. Il DNA transgenico contiene punti caldi alla ricombinazione e ciò alimenta il trasferimento genico orizzontale (TGO) anche tra specie lontane. Il TGO naturale è causale e preciso, mentre quello provocato dal DNA transgenico è casuale, impreciso e inaffidabile. Di conseguenza, il DNA transgenico e la ricombinazione possono produrre nuovi virus, nuovi batteri e nuove malattie. Per gli stessi motivi la coesistenza tra colture convenzionali e transgeniche è impossibile e il cibo transgenico può essere causa di mutazioni, neoplasie, tumori e cancro. È come giocare alla lotteria: più cibo transgenico mangiamo e più possibilità abbiamo di ammalarci, più piante transgeniche ci sono in campo e maggiori sono le probabilità che il DNA transgenico e la ricombinazione causino contaminazione e nuove malattie. I risultati delle ricerche suggeriscono di non coltivare e non usare le piante transgeniche per scopi sia alimentari sia non alimentari.*

## Il trasferimento genico orizzontale

In un processo normale di riproduzione, che accade tra individui della stessa specie, i geni sono trasferiti dai genitori ai discendenti per mezzo delle cellule germinali. Recentemente questo processo è stato indicato anche come *trasferimento genico verticale* (TGV) per distinguerlo dal *trasferimento genico orizzontale* (TGO), che indica, invece, il trasferimento di materiale genetico tra individui appartenenti alla stessa specie o a specie diverse, attraverso processi diversi da una normale riproduzione. In lingua inglese è noto come horizontal gene transfer (HGT) o lateral gene transfer (LGT).

Normalmente, il TGO avviene tra batteri che scambiano tra loro alcuni geni, superando le barriere naturali esistenti tra le specie. Ciò può avvenire in tre modi: tramite *coniugazione*, *trasduzione* e *trasformazione*. Nella *coniugazione* il DNA è trasferito da una cellula all'altra attraverso strutture lunghe e sottili chiamate *pili* (singolare *pilus*), nella *trasduzione* il DNA è trasferito da una cellula all'altra attraverso virus (infezione), nella *trasformazione* il DNA passa dall'ambiente alla cellula attraverso assorbimento.

Affinché il TGO avvenga realmente il DNA estraneo deve integrarsi nel genoma della cellula ospite e qui essere mantenuto stabilmente in alcune forme particolari. Durante questo processo d'integrazione il DNA può essere soggetto a riarrangiamenti o ricombinazioni.

Il TGO e la ricombinazione tra virus hanno luogo quando diversi virus infettano e si moltiplicano nella stessa cellula. I genomi virali spesso non avviano subito i processi infettivi, ma si integrano nel DNA della cellula ospite per replicarsi con il genoma di quest'ultima. Quando si attivano i processi infettivi, questi pezzi di DNA virale possono agganciare geni vicini o sequenze di DNA dell'ospite e portarli via con sé. Inoltre, i virus possono agganciare pezzi liberi di materiale genetico nel proprio genoma.

Il TGO e la ricombinazione hanno giocato un ruolo fondamentale nella creazione di nuovi virus e batteri associati a malattie infettive esplosive e



nella diffusione della resistenza ad antibiotici e a medicine tra i patogeni, rendendo le infezioni più difficili da curare.

Per molto tempo, nessuno sospettava che il TGO potesse estendersi a piante e animali superiori. Negli ultimi vent'anni, comunque, è emerso chiaramente che il TGO si estende all'intera biosfera, con batteri e virus che funzionano sia come intermediari per geni trafficanti e sia come recipienti per la moltiplicazione e ricombinazione di geni; possiamo sostenere, in conclusione, che il TGO è diventato molto più frequente con l'avvento dell'ingegneria genetica.

## **Il TGO in organismi superiori**

Potenzialmente ci sono molte vie per il trasferimento orizzontale di geni a cellule vegetali e animali. La via principale è la *trasduzione*, perché ci sono molti virus che infettano piante e animali e ci sono parecchie opportunità per i virus di prelevare geni e trasferirli da un ospite all'altro.

La *trasformazione* è potenzialmente molto importante per le cellule di animali superiori, incluse quelle dell'uomo, e decenni di ricerca di terapia genica non hanno lasciato dubbi. È stato accertato che una grande varietà di materiali genetici nudi è assorbita da tutti i tipi di cellule, semplicemente attraverso l'applicazione di gocce negli occhi, lo strofinamento sulla pelle, materiali iniettati o ingoiati. In molti casi, i costrutti di geni estranei finiscono con l'essere integrati nel genoma, inclusi quei costrutti che non sono progettati per essere integrati. Alcuni di noi sono stati avvertiti per anni dei danni causati dall'integrazione di tali costrutti di geni estranei nel genoma delle cellule, tra cui il cancro e la proliferazione incontrollata di certe cellule.

La *trasformazione* diretta può non essere importante per le cellule vegetali, le quali generalmente hanno pareti cellulari spesse e protettive. Ma i batteri del suolo appartenenti al genere *Agrobacterium* sono capaci di trasferire segmenti di DNA alle cellule vegetali, in un processo molto simile alla *coniugazione*. Questo processo, specifico di *Agrobacterium*, è

largamente sfruttato per il trasferimento genico nell'ingegneria genetica vegetale, sollevando alcuni problemi di sicurezza.

Il materiale genetico estraneo può anche essere introdotto nelle cellule delle piante e degli animali da insetti e altri artropodi (crostacei, miriapodi e aracnidi) con i loro apparati boccali ben affilati. Inoltre, i patogeni batterici che entrano nelle cellule di piante e animali possono essere vettori di TGO. *Pertanto, non ci sono pressoché barriere a prevenire l'entrata di materiale genetico estraneo nelle cellule di qualunque specie terrestre.* Le barriere più importanti al TGO esistono dopo che il materiale genetico estraneo è entrato nella cellula.

La maggior parte del DNA estraneo che entra in una cellula, così come quello presente nel cibo ordinario, è rotta per produrre energia e costruire i mattoni necessari a crescere e riparare eventuali guasti. Anche nell'eventualità che il materiale genetico estraneo sia incorporato nel genoma, una modificazione chimica può ancora metterlo fuori uso o eliminarlo.

Tuttavia, in determinate condizioni ecologiche, ancora non ben comprese, il DNA estraneo sfugge alla rottura e si integra nel genoma delle cellule. Per esempio, shock termici e inquinanti, come i metalli pesanti, aumentano il TGO, ma anche gli antibiotici possono accrescerne la frequenza da 10 a 10 000 volte.

Alcuni materiali genetici possono resistere alla rottura, specialmente quelli dei parassiti genetici, come virus, plasmidi e trasposoni, che non solo supportano il trasferimento orizzontale, ma possono anche agire da vettori (*carriers*) per il trasferimento di altri geni ed essere usati come tali nell'ingegneria genetica.

Questi parassiti genetici hanno segnali speciali e strutture globali che li proteggono dagli enzimi (DNAasi) che rompono il DNA. Un virus è formato da sequenze di materiale genetico avvolte in un mantello di proteine di cui si spoglia quando entra nella cellula ospite. Grazie alla sua struttura può dirigere l'apparato della cellula ospite per replicarsi o può integrare il suo materiale genetico nel genoma dell'ospite trasformando-



si in un provirus. Quando i provirus si attivano e riprendono il processo infettivo, riproducendo molte copie del loro DNA, è possibile che alcuni geni dell'ospite restino legati e vengano trasferiti con successo ad altre cellule durante i seguenti processi infettivi. Questo spiega perché questi parassiti genetici sono considerati veri vettori per il TGO.

In natura i parassiti genetici esistenti possono contare su un numero limitato di specie ospiti che possono infettare, per cui, per esempio, i virus dei suini infettano i suini e non l'uomo, e i virus dei cavolfiori non infettano i pomodori. È il mantello proteico che avvolge il virus a determinare la specificità dell'ospite, che spiega perché i genomi virali nudi (materiale genetico virale senza rivestimento proteico) abbiano generalmente un numero di specie ospiti più ampio rispetto ai virus intatti (cioè quelli il cui materiale genetico è circondato da un mantello proteico).

Altro elemento importante per il trasferimento genico sono i trasposoni, cioè blocchi di sequenze di DNA che hanno la capacità di saltare dentro e fuori i genomi in cui sono contenuti.

L'ingegneria genetica ha creato una grande varietà di costrutti artificiali e vettori attraverso la ricombinazione del materiale genetico di batteri, virus, plasmidi e trasposoni; tali costrutti sono progettati per trasformare cellule di tutte le specie e per inserirsi nei loro genomi. In altre parole, l'ingegneria genetica artificiale (cioè quella eseguita dall'uomo) aumenta il TGO, un processo che crea nuove combinazioni di geni e può diffondere tra i microrganismi patogeni la resistenza ad antibiotici e altri farmaci. Attraverso la creazione di una vasta gamma di varietà di vettori promiscui, l'ingegneria genetica ha agevolato il trasferimento genico orizzontale e la ricombinazione, processi che prima erano strettamente regolati e limitati (Mae Wan Ho). Attualmente, in nessun paese, c'è una legislazione atta a prevenire la fuga e/o il rilascio nell'ambiente di vettori artificiali e di costrutti di DNA nudo (Mae Wan Ho).

Terje Traavik fu il primo ad avvertire il suo governo e la comunità internazionale dei pericoli legati ai costrutti di DNA che, realizzati in manie-



ra crescente dall'industria biotecnologica, sono scaricati nell'ambiente. Traavik fu allarmato dal fatto che durante uno dei suoi esperimenti di routine, insieme ai suoi colleghi, iniettando del DNA nudo di un virus della poliomielite umana in conigli, osservò che il virus intatto non determinò alcuna infezione, mentre con sua sorpresa il genoma virale nudo determinò, nei conigli iniettati, un'infezione esplosiva. Dunque, la semplice manipolazione di genomi virali nudi usati dall'ingegneria genetica è di per sé un pericolo.

### **Pericoli derivanti dal trasferimento orizzontale del DNA transgenico**

Siccome i vettori e i costrutti artificiali sono costituiti prevalentemente da materiale genetico proveniente da virus e batteri normalmente presenti in natura, essi si potranno ricombinare con i ceppi selvatici, con la possibilità di condurre alla creazione di nuovi ceppi potenzialmente più pericolosi.

Negli ultimi quarant'anni è stato registrato un aumento dell'uso di medicine e antibiotici per il trattamento di malattie infettive. Tra le cause, oltre ad abuso di antibiotici, distruzione ecologica, deterioramento della sanità pubblica, malnutrizione, povertà, disintegrazione sociale, aumento di viaggi e trasporti e guerre, possiamo aggiungere anche l'ingegneria genetica (Mae Wan Ho).

Per molti genetisti microbiologi medici ci sono pochi dubbi che il TGO e la ricombinazione siano stati responsabili della creazione di nuovi patogeni e della diffusione della resistenza ad antibiotici e altri farmaci. Questi studiosi hanno affermato che la frequenza del TGO e la ricombinazione sono aumentate da quando è iniziata l'ingegneria genetica. L'Organizzazione Mondiale della Sanità dopo avere ripetutamente negato quest'affermazione ha riconosciuto al TGO un ruolo nell'evoluzione dei patogeni, ma nega che un ceppo benigno di microrganismi si possa trasformare in uno patogeno attraverso l'acquisizione di geni trasferiti orizzontalmente da un microrganismo geneticamente modificato (Mae Wan Ho).



Verso la metà degli anni Settanta, i pionieri dell'ingegneria genetica chiesero una moratoria – la famosa dichiarazione di Asilomar – perché si preoccuparono di questa possibilità. Tuttavia, dopo breve cedettero alle pressioni commerciali e la moratoria finì. L'argomento in questione non è stato mai risolto, anche se scoperte successive hanno fatto crescere di molto la sua rilevanza, specialmente per quanto riguarda la persistenza di DNA nell'ambiente, compreso l'intestino umano, anche dopo la morte degli organismi che lo abitano, e la facilità con cui tutte le cellule, comprese quelle degli esseri umani, assorbono il DNA estraneo.

### **Creazione accidentale di virus pericolosi con l'ingegneria genetica**

A gennaio 2001, il sospetto della creazione di virus pericolosi attraverso l'ingegneria genetica venne alla luce. Alcuni ricercatori in Australia, durante un esperimento d'ingegneria genetica trasformarono incidentalmente il virus innocuo dell'esantema del topo (mouse-pox virus) in un patogeno altamente pericoloso. I ricercatori, inoltre, mostrarono uno dei modi in cui potrebbe avvenire questo processo: è sufficiente inserire nel virus un gene codificante per una proteina che sopprime il sistema immunitario, come ad esempio l'interleuchina-4. Geni simili a questo sono presenti nelle colture transgeniche allevate in campi sperimentali in Canada, come evidenziato da Joe Cummins. Ci sono molte opportunità per virus benigni, presenti nell'ambiente, di diventare simili a virus assassini, semplicemente attraverso l'assorbimento da colture transgeniche contenenti il gene che codifica la proteina immunosoppressore. Ma non è tutto, anche durante altre ricerche di routine su patogeni pericolosi per produrre vaccini, i genetisti hanno creato accidentalmente virus ibridi. Si veda per esempio il virus SHIV, un virus ibrido tra il virus che causa l'AIDS nell'uomo e quello che causa l'AIDS nella scimmia, usato come virus test per saggiare vaccini per l'AIDS in laboratorio. Molti vaccini AIDS – fatti con geni di glicoproteine (gp120) del virus

dell'immunodeficienza umana (HIV) – sono essi stessi così pericolosi che un gruppo di virologi diretti da Veljko Veljkovic dell'Istituto di Scienze Nucleari di Belgrado ha richiesto di bloccare gli esperimenti clinici. La società ProdiGene, ad esempio, che per produrre vaccini ha inserito la proteina gp120 nelle piante di mais, è stata querelata per avere contaminato colture alimentari con colture ingegnerizzate; in tale occasione scienziati come Veljko Veljkovic e Mae Wan Ho dichiararono al giornale AID Science la pericolosità di questo procedimento, sottolineando il fatto che in tal modo si potrebbe anche rischiare di mettere in circolazione una sorta di arma biologica.

La maggior parte dei patogeni mortali prodotti dall'ingegneria genetica è creata e liberata nell'ambiente senza che nessuno se ne accorga. Grandi quantità di DNA transgenico, con geni virali e batterici e combinazioni nuove di geni di organismi diversi possono essere liberate nell'ambiente dalle attrezzature di laboratorio usate come contenitori di residui di DNA, sulla base del presupposto che il DNA una volta scaricato nell'ambiente si disintegra subito. Il DNA transgenico è anche rilasciato deliberatamente nell'ambiente con le coltivazioni di piante geneticamente modificate (GM) che generano polline, polvere e residui; tra le colture GM ci sono anche quelle ingegnerizzate con materiali genetici per produrre farmaci e vaccini.

### **DNA transgenico e cancro**

Mae Wan Ho ha affermato che il cancro può essere generato dall'integrazione di geni estranei nel genoma delle cellule attraverso la terapia genica, che consiste nella modificazione genetica di cellule umane con costrutti simili a quelli usati nella modificazione genetica di animali e piante. La cosa preoccupante di alcuni casi di sperimentazione di questa terapia effettuati in Francia è che sono stati ottenuti solo nove successi, dopo quattordici anni di prove cliniche e ricerche in Europa e negli Stati Uniti. Inoltre, nonostante i pazienti fossero stati trattati con una

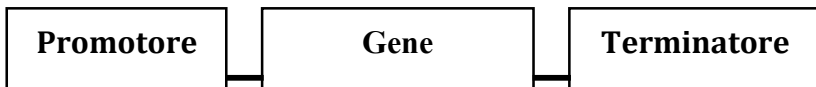


procedura disegnata per minimizzare i rischi di cancro, in alcuni casi le cose non andarono come sperato. Ai pazienti, infatti, furono prelevate dal midollo spinale alcune cellule che furono poi trasformate *in vitro* usando un vettore derivato da un virus contenente il costrutto transgenico. Tra tutte le cellule trasformate si scelsero quelle desiderate e si trapiantarono nuovamente nel paziente originario. La domanda rimasta senza risposta, anzi la domanda mai posta durante l'inchiesta che ne seguì, era se il costrutto transgenico si fosse mosso di nuovo dopo il trapianto: nessuna caratterizzazione molecolare fu eseguita finché non si verificò il primo problema. Nel primo paziente analizzato, il vettore virale che conteneva i nuovi geni introdotti si era integrato in prossimità del gene LMO2, causandone la superespressione, cosa che a sua volta condusse alla proliferazione incontrollata di globuli bianchi e, quindi, allo sviluppo della leucemia nel paziente. Si constatò che il vettore virale si era integrato vicino allo stesso gene anche in un secondo paziente, che allo stesso modo sviluppò la leucemia. Da allora, una terapia simile è stata praticata in un terzo bambino che dopo poco tempo non mostrava ancora segnali di leucemia. Tuttavia, il 10 febbraio 2003, i membri del NIH (National Institute of Health) degli Stati Uniti e quelli del RAC (Recombinant DNA Advisory Committee) si incontrarono e decisero di raccomandare questo particolare tipo di terapia genica solo nel caso in cui i pazienti non rispondano ad altri trattamenti – come il trapianto di midollo spinale convenzionale prelevato da donatori compatibili – omettendo, però, che anche altri vettori comportano lo stesso rischio.

### **Il DNA transgenico non è uguale al DNA naturale**

I fautori dell'ingegneria genetica amano rassicurare il pubblico affermando che il DNA è DNA, non importa come si fa o come si ottiene e affermano: «abbiamo mangiato una quantità di DNA con i nostri cibi e non siamo mai diventati né cavoli né mucche, quindi perché dovremmo preoccuparci del DNA transgenico?» (Mae Wan Ho).

Già abbiamo detto perché dovremmo preoccuparci del DNA transgenico, ma osservandone la struttura di base, possiamo osservare ancora meglio quanto il DNA transgenico sia diverso da quello naturale. I geni non sono mai trasferiti da soli, ma in unità note come *cassette di espressione*. Ciascun gene, infatti, per essere espresso correttamente, deve essere accompagnato da uno speciale pezzo di DNA regolatore, il *promotore*, che segnala alla cellula di accendere il gene attivandone la trascrizione, e da una sequenza detta *terminatore* che ferma la trascrizione e permette che quanto trascritto possa essere ulteriormente processato e tradotto in proteina. La più semplice cassetta di espressione è simile a questa:



Generalmente, ciascun pezzo del costrutto (promotore, gene, terminatore) deriva da una fonte diversa e lo stesso gene può anche essere composto da pezzi di diversa origine. Spesso un costrutto non è sufficiente a ingegnerizzare la pianta e in alcuni casi servono più cassette. Diverse cassette sono, frequentemente, legate in serie o “accatastate” in una grossa cassetta o costrutto finale. Almeno una delle cassette (o costrutti) di espressione sarà quella con il gene marcatore per la resistenza all’antibiotico, che consente alle cellule trasformate con successo dal costrutto estraneo, di essere selezionate utilizzando i relativi antibiotici. In alcuni casi può capitare che queste sequenze capaci di conferire resistenza agli antibiotici restino nell’organismo transgenico.

I blocchi di materiale genetico del costrutto sopra disegnato, di origine diversa, sono legati da semplici linee per indicare la potenziale debolezza dei legami. Tali costrutti artificiali, infatti, sono noti per essere strutturalmente instabili: tendono a rompersi e a inserirsi in punti diversi, talvolta anche in

un numero di copie ripetute. Questa instabilità strutturale non va sottovalutata perché può aumentare la frequenza di TGO e ricombinazione.

## **Il promotore CaMV35S**

Il virus del mosaico del cavolfiore (CaMV) infetta normalmente le piante della famiglia dei cavoli. Uno dei suoi promotori, il promotore 35S, è stato ampiamente usato in colture GM sin dall'inizio dell'ingegneria genetica, prima che venissero alla luce alcuni suoi caratteri preoccupanti. Il più serio di questi è che il promotore 35S sembra avere al suo interno un punto caldo per la ricombinazione, per cui tende a ricombinare con altro DNA. Sin dall'inizio degli anni Novanta sono sorti alcuni dubbi a proposito della sicurezza di geni virali incorporati nelle piante GM per renderle resistenti agli attacchi da virus. Molti dei geni virali tendono a ricombinare con altri virus generandone di nuovi: nel 1994, Joe Cummins fu tra i primi a fare osservazioni sul promotore CaMV35S mettendone in dubbio la sicurezza.

Nel 1999, l'evidenza definitiva sul punto caldo alla ricombinazione del promotore CaMV35S fu fornita da due lavori pubblicati, indipendentemente, da due gruppi di ricercatori. Ciò spinse il gruppo di Mae Wan Ho a condurre un'analisi critica della sicurezza che comporta l'impiego del promotore CaMV35S. Si evidenziò così che il punto caldo per la ricombinazione del promotore CaMV35S è affiancato da diversi elementi noti per essere coinvolti in processi di ricombinazione e simili ad altri punti caldi, tra cui anche gli estremi del DNA di *Agrobacterium tumefaciens* usato come vettore per la trasformazione delle piante. Inoltre, questo promotore funziona con efficienza in molti organismi diversi (piante, alghe verdi, lieviti ed *Escherichia coli*) ed è dotato di struttura modulare, cioè formato da parti comuni e quindi interscambiabili con diversi promotori di altri virus capaci di infettare sia le piante sia gli animali.

Tali scoperte suggeriscono che i costrutti transgenici contenenti il promotore CaMV35S dovrebbero essere particolarmente instabili e inclini

al trasferimento genico e alla ricombinazione, con tutti i rischi che ne conseguono: mutazioni geniche dovute a inserzioni casuali, cancro, riattivazione di virus dormienti e generazione di nuovi virus. Queste considerazioni furono particolarmente rilevanti alla luce del rapporto di Ewen e Pusztai, pubblicato sulla rivista “The Lancet”, nel quale si evidenziava che certe patate transgeniche contenenti il promotore CaMV35S possono essere nocive per i ratti. Gli autori suggerirono che una parte significativa degli effetti potrebbe essere dovuta “al costrutto o alla trasformazione genetica o a entrambi”. Successivamente a tali risultati, il gruppo di Ho chiese l'immediato ritiro di tutte le colture GM contenenti il promotore CaMV35S.

Il problema dei costrutti transgenici risiede nel fatto che tutti o quasi tutti gli elementi integrati nei genomi nel corso dell'evoluzione sono stati “addomesticati”, si sono adattati alle condizioni del loro ospite e hanno ridotto la loro mobilità da un individuo a un altro. Tuttavia l'integrazione di costrutti transgenici prima non presenti (come nel caso di quelli contenenti il promotore CaMV35S) possono mobilitare tali elementi, che a loro volta possono fungere da vettori per destabilizzare il DNA transgenico e favorirne il trasferimento.

### **Evidenze del trasferimento orizzontale del DNA transgenico**

Un mutante di una pianta selvatica, l'*Arabidopsis*, resistente agli erbicidi fu ottenuto attraverso mutagenesi convenzionale in un laboratorio al Department of Ecology and Evolution dell'Università di Chicago. Questo mutante fu usato per creare una linea transgenica mediante introduzione del gene mutato nelle cellule delle altre piante che bisognava rendere resistenti agli erbicidi. Sia il mutante sia le piante transgeniche furono in grado di trasmettere la resistenza agli erbicidi alle piante normali di *Arabidopsis* che crescevano nelle vicinanze, ma con un rapporto variabile: il transgene delle piante transgeniche risultò 30 volte più diffuso tra le piante selvatiche rispetto al gene mutato originario.



Questa differenza è difficile da spiegare se ci si basa esclusivamente sulle diverse capacità d'impollinazione delle piante: perché non pensare che sia legata a effetti inattesi del vettore? Perché non ipotizzare che le piante transgeniche potessero produrre più polline o polline più vitale? O che si potesse verificare un trasferimento genico orizzontale attraverso gli insetti che visitano le piante per il polline e il nettare o che succhiano la linfa? Queste possibilità, che non possono essere escluse a priori, non furono investigate e, indipendentemente dal modo in cui il transgene si diffonde, l'esperimento mostrò che il DNA transgenico era capace di comportarsi in maniera diversa dal DNA non transgenico e che, in particolare, può diffondersi con una capacità superiore al DNA mutante naturale.

Il trasferimento orizzontale di transgeni e di geni marcatori per la resistenza agli antibiotici da piante geneticamente ingegnerizzate a batteri e funghi del suolo è stato registrato in laboratorio la prima volta verso la metà degli anni Novanta. Il trasferimento di transgeni a funghi fu ottenuto semplicemente allevando funghi insieme a piante transgeniche e il trasferimento ai batteri attraverso l'applicazione di DNA totale, estratto da piante transgeniche, a colture di batteri.

Verso la fine degli anni Novanta, fu possibile estrarre i geni per la resistenza alla kanamicina dalle foglie di piante transgeniche e trasferirli a batteri del suolo del tipo *Acinetobacter*; l'esperimento fu condotto con successo con diversi tipi di piante GM: patata (*Solanum tuberosum*), tabacco (*Nicotiana tabacum*), barbabietola (*Beta vulgaris*), colza (*Brassica napus*), pomodoro (*Lycopersicon esculentum*). Secondo alcune stime, le sequenze transgeniche presenti in una singola pianta GM dovrebbero essere sufficienti per trasformare circa 109 batteri.

Nel 1999 alcuni ricercatori tedeschi riportarono i risultati del primo esperimento di monitoraggio in campo che forniva l'evidenza che il DNA transgenico si trasferiva dai residui della barbabietola da zucchero ai batteri del suolo.





Il DNA non solo persiste nell'ambiente, sia nel suolo sia nell'acqua, ma non si degrada in modo sufficientemente veloce nel sistema digestivo per prevenirne il trasferimento ai microrganismi residenti nell'intestino degli animali. La letteratura scientifica esistente mostra che il rischio di TGO esiste.

## **Conclusioni**

Quanto finora riportato mostra come il TGO esista realmente, sebbene la ricerca per studiarne i meccanismi non venga pianificata adeguatamente. La valutazione del rischio per l'ambiente non può concentrarsi solo sulle distanze di coltivazione per evitare la contaminazione di colture circostanti a seguito di trasferimento genico verticale (cioè attraverso l'impollinazione), ma deve considerare anche il trasferimento genico orizzontale del DNA transgenico, più pericoloso di quello verticale perché non conosce distanze né barriere tra specie. La letteratura esistente sul TGO è sufficiente a dimostrare che la coesistenza di piante transgeniche con piante non transgeniche è impossibile. La coesistenza significa, in modo certo, contaminazione anche di piante e microrganismi appartenenti a specie molto diverse e lontane. In definitiva, le piante transgeniche non solo non servono e non risolvono i problemi della fame nel mondo, ma sono anche nocive per la salute, l'ambiente e la biodiversità. Non si comprende perché, nonostante le evidenze, il TGO sia completamente ignorato dalle istituzioni pubbliche deputate a salvaguardare la salute dell'uomo. Il vero problema dell'ingegneria genetica è il DNA transgenico, un DNA instabile e facile alla ricombinazione. Qualunque governo bene informato non dovrebbe consentire l'introduzione, la coltivazione e l'uso di piante transgeniche, per usi sia alimentari sia non alimentari.

## **Ringraziamenti**

Ringrazio Mae Wan Ho, direttrice della rivista "Science in Society", e Joe Cummins, professore emerito di Genetica all'Università del We-



stern Ontario, perché senza i loro contributi, questo lavoro non sarebbe stato possibile. Desidero ringraziare anche Giovanni Monastra e gli organizzatori del Convegno, svoltosi presso l'Ara Pacis di Roma, per avermi dato la possibilità di intervenire e presentare i risultati riportati nel presente lavoro.

## Bibliografia

- Beachy R., Bennetzen J.L., Cgassy B.M., Chrispeels M., Chory J., Ecker J.R., Noel J.P., Kay S.A., Dean C., Lamb C., Jones J., Santerre C.R., Schroeder J.L., Umen J., Yanofsky M., Wessler S., Zhao Y., Parrott W. (2002), *Divergent perspectives on GM food*, "Nature Biotechnology", 20, 1195-1196
- Bergelson J., Purrington C.B., Wichmann G. (1998), *Male promiscuity is increased in transgenic plants*, "Nature", 395, p. 25
- Bizzarri M. (2001), *Quel gene di troppo. L'inquietante realtà dei cibi transgenici*, Frontiera Editore, Milano
- Buiatti M. (2006), *Epigenetic Processes and the "Unintended Effects" of Genetic Engineering. Proceedings of the Conference "Epigenetics, Transgenic Plants & Risk Assessment"*, Öko-Institut, Freiburg, pp. 12-14
- Burke C., Yu X.B., Machitelli L., Davis E.A., Ackerman S. (1990), *Transcription factor IIA of wheat and human function similarly with plant and animal viral promoters*, "Nucleic Acids Research", 18, pp. 3611-20
- Courtail B., Fenebach F., Ebehard S., Rhomer L., Chiapello H., Carilleri C., Lucas H. (2001), *Tnt1 transposition events are induced by in vitro transformations of Arabidopsis thaliana, and transposed copies integrated into genes*, "Molecular Genetics and Genomics", 265, pp. 32-42
- Cummins J. (2002), *Poison pharm crops near you*, "Science in Society", 15, 16
- Cummins J., Ho M.W., Ryan A. (2000), *Hazardous CaMV promoter?*, "Nature Biotechnology", 18, p. 363
- Dobrindt U., Hochhut B., Hentschel U., Hacker J. (2004), *Genomic islands in pathogenic and environmental microorganisms*, "Nature Reviews Microbiology", 2, pp. 414-424
- Doolittle W.F. (1999), *Lateral genomics*, "Trends in Cell Biology", 9, pp. 5-8
- Check E. (2003), *Cancer fears cast doubts on future of gene therapy*, "Nature News", 421, p. 678
- Ermakova I. (2005), *Conclusion to the report about feeding of rats by genetically modified potatoes Russet Burbank*, "Agrarian Russia", 4, pp. 62-64



- Ermakova I. (2006), *Influence of genetically modified soya on the birth-weight and survival of rat pups*. Proceedings of the Conference "Epigenetics, Trans-genic Plants & Risk Assessment", Öko-Institut, Freiburg, pp. 41-47
- Ewen S., Pusztai A. (1999), *Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Glycine max* lectin on rat small intestine*, "The Lancet", 354, pp. 1352-1354
- Frost L.S., Leplae R., Summers A.O., Toussaint A. (2005), *Mobile genetic elements: the agents of open source evolution*, "Nature Reviews Microbiology", 3, pp. 722-732
- Gibbs M., Weiler G. (1999), *Evidence that a plant virus switched hosts to infect a vertebrate and then recombined with a vertebrate infecting virus*, "Proceedings of the National of Academy Sciences", 96, pp. 8022-8027
- Gogarten J.P., Townsend J.P. (2005), *Horizontal gene transfer, genome innovation and evolution*, "Nature Reviews Microbiology", 3, pp. 679-687
- Gogarten M.B., Gogarten J.P., Olendzenski L. (2009), *Horizontal Gene Transfer*, Springer
- Grillot-Courvalin C., Goussand S., Huetz F., Ojcius D.M., Courvalin P. (1998), *Functional gene transfer from intracellular bacteria to mammalian cells*, "Nature Biotechnology", 16, pp. 862-866
- Ho M.W., Traavik T., Olsvik R., Tappeser B., Howard V., Von Weizsacker C., McGavin G. (1998), *Gene technology and gene ecology of infectious diseases*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 10, pp. 35-59
- Ho M.W., Ryan A., Cummins J. (1999), *Cauliflower mosaic viral promoter - a recipe for Disaster?*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 11, pp. 194-197
- Ho M.W. (2000), *What is horizontal gene transfer?*, SCOPE Website, AAAS, Science
- Ho M.W., Ryan A., Cummins J. (2000), *Hazards of transgenic plants with cauliflower mosaic viral promoter*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 12, p. 189
- Ho M.W., Ryan A., Cummins J. (2000), *CaMV 35S promoter fragmentations hotspot confirmed and it is active in animals*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 12, p. 189
- Ho M.W. (2001), *Horizontal Gene Transfer. Hidden Hazards of Genetic Engineering*, "TWN Biotechnology & Biosafety Series", 4
- Ho M.W. (2001), *Genetic engineering superviruses*, "ISIS News", 9/10, July
- Ho M.W., Cummins J. (2001), *AIDS virus more deadly*, "ISIS News", 11/12, October
- Ho M.W. (2002), *Predicted hazards of gene therapy a reality*, ISIS Report
- Ho M.W. (2002), *GM and bioweapons, in the post genomics-era*, "Science in Society", 15, p. 15
- Ho M.W. (2003), *Gene therapy's first victim*, "Science in Society", 17, pp. 26-27
- Ho M.W. (2003), *Living with the Fluid Genome*, ISIS & TWN
- Ho M.W., Cummins J. (2008), *Horizontal gene transfer from GMOs does happen*, "Science in



- Society", 39, pp. 22-24
- Ho M.W. (2008), *Transgenic lines unstable hence illegal and ineligible for protection*, "Science in Society", 39, p. 29-39
- Ho M.W. (2009), *GM maize disturbs immune system of young and old mice*, "Science in Society", 41, p. 42
- Hull R., Covey S.N., Dale P. (2000), *Genetically modified plants and the 35S promoter assessing the risks and enhancing the debate*, "Microbial Ecology in Health and Disease", 12, pp. 1-5
- Jain R., Rivera M.C., Lake J.A. (1999), *Horizontal gene transfer among genomes: The complexity hypothesis*, "Proceedings of National Academy Sciences", 96, pp. 3801-3806
- Malatesta M. (2006), *A diet based on genetically modified soybean affects cell functions in mice. Proceedings of the Conference "Epigenetics, Transgenic Plants & Risk Assessment"*, Öko-Institut, Freiburg, pp. 48-50
- Malatesta M., Caporaloni C., Gavaudan S., Rocchi M.B.L., Tiberi C., Gazzanelli G. (2002), *Ultrastructural, morphometrical and immunocytochemical analysis of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean*, "Cell Structure and Function", 27, pp. 173-180
- Malatesta M., Biggiogera M., Manuali E., Rocchi M.B.L., Baldelli B., Gazzanelli G. (2003), *Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on GM soybean*, "European Journal of Histochemistry", 47, pp. 385-388
- Monastra G. (2002), *"Maschera e volto" degli OGM: fatti e misfatti degli organismi geneticamente modificati*, Edizioni Settimo Sigillo, Roma
- Nielsen K.M., Bones A.M., Smalla K., van Elsas J.D. (1998), *Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria—a rare event?*, "FEMS Microbiology Reviews", 22, pp. 79-103
- Perrino P., Ho Mae-Wan (2006), *Horizontal transfer of transgenic DNA. Proceedings of the Workshop "Environmental risk assessment of GM plants: discussion and consensus"*, Policoro (Mt), Italy, 5-9 June
- Perrino P., Ho M.W. (2008), *Il DNA transgenico ed effetti su biodiversità, ambiente e salute. Atti del convegno nazionale "La biodiversità, una risorsa per sistemi multifunzionali"*, Lecce, 21-23 aprile
- Pollack A. (2003), *Gene therapy trials halted*, "The New York Times", 15 January
- Prlić J., Veljkovic N., Doliana R., Colombatti A., Johnson E., Metlas R., Veljkovic V. (1999), *Identification of an active Chi recombinational hot spot within the HIV-1 envelope gene: consequences for development of AIDS vaccine*, "Vaccine", 17, pp. 1462-1467



- Pusztai A. (2001), *Genetically Modified Foods: Are They a Risk to Human/Animal Health?*, ActionBioscience.org
- Schubert D. (2002), *A different perspective on GM food*, "Nature biotechnology", 20, p. 969
- Simpson D.J., Fry J.C., Rogers H.J., Day M.J. (2007), *Thematic issue on horizontal gene transfer. Transformation of Acinetobacter baylyi in non-sterile soil using recombinant plant nuclear DNA*, "Environmental Biosafety Research", 6, pp. 101-112
- Sørensen S.J., Bailey M., Hansen L.H., Kroer N., Wuertz S. (2005), *Studying plasmid horizontal transfer in situ: a critical review*, "Nature Reviews Microbiology", 3, pp. 700-710
- Tappeser B., Jager M., Eckelkamp C. (1999), *Survival, Persistence, Transfer: An update on current Knowledge on GMOs and the fate of their recombinant DNA*, "TWN Biotechnology & Biosafety Series", 3
- Traavik T. (1998), *Too early may be too late: ecological risks associated with the use of naked DNA as a biological tool for research, production and therapy*, Report for the Directorate for Nature Research
- Veljkovic V., Metlas R., Kohler H., Urnovitz H.B., Prljic J., Veljkovic E., Muller S. (2001), *AIDS epidemic at the beginning of the third millennium: time for a new AIDS vaccine strategy*, "Vaccine", 19, pp. 1855-1862
- Veljkovic V., Ho M.V. (2002), *Edible AIDS vaccine or dangerous biological agent?* "AIDS Science",



# 8.

## Effetti sul topo di un'alimentazione contenente soia geneticamente modificata

**Manuela Malatesta**

*Ricercatore universitario, Docente di Anatomia umana,  
Università degli Studi di Verona*

### **Riassunto**

*Topi Swiss sono stati alimentati fino a 24 mesi con soia geneticamente modificata Roundup Ready (RR) tollerante l'erbicida Roundup. Sono state osservate modificazioni morfofunzionali nel nucleo e nel citoplasma di cellule di fegato, pancreas esocrino e testicolo, modificazioni che scompaiono sostituendo la soia RR con soia non transgenica. Nei topi di 24 mesi, inoltre, risultano accentuati i fenomeni di invecchiamento cellulare, mentre negli embrioni preimpianto viene ritardata la riattivazione del genoma. In ogni caso, i cambiamenti osservati non inducono disfunzioni o patologie. Studi in vitro indicano i residui di erbicida come potenziali responsabili del fenomeno.*

### **Introduzione**

Per millenni le popolazioni umane hanno modificato il genoma delle piante mediante incroci selettivi, ottenendo il miglioramento delle colture in termini sia qualitativi sia di produttività. Negli ultimi decenni la biologia molecolare e l'ingegneria genetica hanno consentito l'inserimento di geni specifici nel DNA delle piante al fine di modificarne determinate caratteristiche; sono state così ottenute varietà genetica-

mente modificate (GM) arricchite in particolari nutrienti, tolleranti verso specifici pesticidi o resistenti a fattori ambientali, agenti patogeni o parassiti.

Attualmente, l'utilizzo di piante GM è molto diffuso in zootecnia per la produzione di mangimi e si sta espandendo anche all'alimentazione umana, sulla base di valutazioni di sicurezza principalmente fondate sul criterio di equivalenza sostanziale con le corrispettive varietà convenzionali non transgeniche (EFSA, 2008). Tuttavia, non tutti i ricercatori ritengono che la sola equivalenza sostanziale sia sinonimo di sicurezza e che si possa pertanto escludere la necessità di una valutazione globale, a livello di organismo, delle conseguenze del consumo di alimenti GM (Novak and Haslberger, 2000; Kuiper *et al.*, 2002). Alcuni ricercatori sostengono che dovrebbe essere presa in considerazione ogni conseguenza nutrizionale del consumo di cibo GM, sia per quanto concerne i possibili cambiamenti nel livello di nutrienti del prodotto stesso, sia per gli effetti – diretti e indiretti, immediati e cumulativi – derivanti dalla sostituzione nella dieta del prodotto convenzionale con un prodotto GM. Per questo motivo i fattori di rischio da tenere in considerazione nella valutazione della sicurezza dei cibi GM sono molteplici e includono la possibilità che eventuali effetti non siano imputabili direttamente ai nuovi geni inseriti nel DNA, ma a eventi conseguenti alla loro introduzione nel genoma: tra i potenziali rischi presi in considerazione dalla comunità scientifica sono da annoverare le allergie, la persistenza di residui di erbicidi a cui la pianta GM è stata resa tollerante, effetti secondari dovuti all'espressione di proteine ricombinanti nell'organismo ricevente il transgene (modificazioni post-trascrizionali, post-traduzionali e del *folding* delle proteine potrebbero generare, in un processo a cascata, conseguenze inattese in ogni distretto della pianta).

La letteratura scientifica sulla valutazione della sicurezza degli alimenti GM è assai eterogenea e non esiste a tutt'oggi un'evidenza scientifica universalmente accettata (Malatesta, 2009). I fattori alla base di que-



sta situazione sono molteplici, dalla grande varietà di piante GM studiate all'eterogeneità dei parametri analizzati, alla varietà degli approcci metodologici utilizzati. Non va inoltre sottovalutata l'influenza che esercitano sulla ricerca relativa agli organismi GM gli enormi interessi economici legati allo sviluppo e allo sfruttamento delle biotecnologie (Malatesta, 2007).

### **Risultati sperimentali dell'effetto di una dieta contenente soia GM su organi di topi di età diverse e nei primi stadi di sviluppo embrionale**

Il nostro gruppo di ricerca ha indagato per alcuni anni i possibili effetti di un'alimentazione contenente soia Roundup Ready (RR) sull'organizzazione cellulare e tissutale di topo. La soia RR è stata modificata geneticamente per renderla tollerante all'erbicida Roundup, a base di glifosate. Questa sostanza inibisce l'enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintetasi (EPSPS) che, nelle piante, catalizza una tappa della sintesi degli aminoacidi aromatici; nella soia RR, l'enzima originale è stato sostituito dall'enzima CP4-EPSPS, derivato da *Agrobacterium tumefaciens*, che non viene inibito dal glifosate, rendendo così la pianta resistente all'erbicida (Padgett *et al.*, 1995).

Topi Swiss sono stati allevati in condizioni ambientali controllate e suddivisi in due gruppi: uno alimentato con una dieta contenente 14% di soia RR, l'altro (il gruppo di controllo) nutrito con la stessa dieta contenente la medesima percentuale di soia ma non transgenica. Gli effetti delle diete sono stati analizzati a 1, 2, 5, 8, 12, 18 e 24 mesi di vita su diversi organi, associando indagini in microscopia ottica ed elettronica ad analisi biochimiche e microbiologiche.

La nostra attenzione è stata inizialmente rivolta al fegato (Malatesta *et al.*, 2002), organo implicato in molteplici vie metaboliche, sito primario per la biotrasformazione dei prodotti della digestione, responsabile della degradazione o modificazione di composti tossici e sede di sintesi



di molti componenti proteici del plasma sanguigno. I risultati ottenuti su topi da 1 a 8 mesi di età hanno evidenziato come varie caratteristiche strutturali e molecolari dei nuclei di cellule epatiche si modificano significativamente nei topi nutriti con soia RR rispetto ai controlli. Le modificazioni osservate suggeriscono un aumento dell'attività metabolica, in particolare nei topi nutriti con soia RR: i nuclei mostrano forma irregolare e un elevato numero di pori (indice di intensi scambi molecolari tra nucleo e citoplasma), i nucleoli presentano molti centri fibrillari di piccole dimensioni e un'abbondante componente fibrillare densa (caratteristiche tipiche di un'elevata attività di sintesi proteica) e alcuni fattori di *splicing* nucleoplasmatici e nucleolari sono più abbondanti rispetto ai topi di controllo, segno di una elevata attività nucleare. Tuttavia, l'organo sembra non subire disfunzioni evidenti, come confermato dalle analisi biochimiche di alcuni enzimi epatici, che risultano invariati.

Per verificare la relazione tra ingestione di soia RR e modificazioni cellulari epatiche, su topi di 3 mesi di età è stata operata un'inversione di dieta: animali che erano sempre stati nutriti con soia RR sono stati nutriti con soia non transgenica per un mese, mentre animali che erano sempre stati nutriti con soia non transgenica, sono stati nutriti con soia RR (Malatesta *et al.*, 2005). I risultati hanno dimostrato che nei topi adulti l'inversione di dieta può ristabilire in poche settimane alcune caratteristiche tipiche dei controlli in animali in precedenza alimentati con soia RR, ma, allo stesso tempo, può indurre nei controlli modificazioni tipiche degli animali nutriti con soia RR sin dallo svezzamento.

È stato, quindi, eseguito uno studio sugli effetti a lungo termine, analizzando il fegato di topi nutriti per 24 mesi con soia RR o con soia non transgenica (Malatesta *et al.*, 2008). Nei topi nutriti con soia RR sono state identificate diverse proteine epatiche che presentano un'espressione ridotta rispetto ai controlli, in particolare si tratta di proteine implicate nel ciclo dell'urea, di enzimi della respirazione mitocondriale, di *heat shock proteins* (proteine che proteggono la cellula da vari tipi di



stress) e della proteina regucalcina (implicata nel metabolismo del calcio, della quale è nota la diminuzione nel corso dell'invecchiamento). A questa ridotta espressione proteica si associano una diminuzione della lunghezza delle creste mitocondriali e modificazioni strutturali del nucleo cellulare, indicative di un calo dell'attività metabolica. Questi dati, nel loro insieme, suggeriscono un'accentuazione delle alterazioni fisiologiche legate all'invecchiamento nei topi nutriti con soia RR rispetto ai controlli. Tuttavia, nelle nostre condizioni sperimentali, tale fenomeno non sembra influenzare l'incidenza di patologie o il tasso di mortalità, anche in animali di età avanzata.

Sono stati condotti studi anche sul pancreas esocrino, le cui funzioni sono necessarie per la digestione del cibo (Malatesta *et al.*, 2002; Malatesta *et al.*, 2003). Le cellule acinose pancreatiche sono, infatti, responsabili della sintesi, dell'accumulo e della secrezione di oltre venti enzimi che compongono il succo pancreatico ed è noto che la composizione del cibo è in grado di modulare la sintesi e la secrezione dei vari enzimi digestivi. I risultati hanno rivelato che, nelle cellule acinose pancreatiche di topi nutriti con soia RR, varie caratteristiche strutturali e molecolari dei nuclei si modificano significativamente rispetto ai controlli: i nuclei assumono forma più tondeggianti e diminuisce il numero dei pori nucleari, i nucleoli diventano compatti con abbondante componente granulare, i granuli pericromatinici si accumulano nel nucleoplasma, alcuni fattori di *splicing* nucleoplasmatici e nucleolari diminuiscono. Anche gli organuli citoplasmatici coinvolti nell'attività di sintesi proteica – come il reticolo endoplasmatico granulare e l'apparato di Golgi – mostrano cambiamenti nei topi nutriti con soia RR, in particolare il loro contenuto in enzimi risulta ridotto. Tutti questi cambiamenti suggeriscono una diminuita attività sintetica sia nucleare sia citoplasmatica, anche se la funzionalità della ghiandola non risulta ridotta, come dimostrato dalle analisi biochimiche di alcuni enzimi digestivi. Anche nel caso del pancreas esocrino, la sostituzione nella dieta di topi adulti della soia RR con soia non transgenica porta in

poche settimane alla scomparsa delle modificazioni e all'assunzione delle caratteristiche tipiche dei controlli; d'altro canto, nei topi di controllo passati alla dieta contenente soia RR si assiste alla comparsa di alcune caratteristiche tipiche dei topi nutriti con soia RR sin dallo svezzamento (Battistelli *et al.*, 2008).

L'intestino, sia tenue (duodeno) sia crasso (colon), sembra, invece, non subire modificazioni strutturali legate alla dieta, neppure dopo 24 mesi di alimentazione con soia RR; anche la popolazione di batteri coliformi non mostra differenze rispetto ai controlli dal 1° al 24° mese di vita dei topi (Battistelli *et al.*, 2010). Tuttavia, nel duodeno dei topi nutriti con soia RR si assiste a una diminuzione dell'espressione di mucine acide e solforate, entrambe responsabili della protezione della superficie intestinale.

La nostra ricerca si è occupata anche degli effetti della dieta sul testicolo (Vecchio *et al.*, 2004), organo responsabile della produzione di spermatozoi, che nel topo, durante i primi due mesi di vita, subisce un importante processo di sviluppo e differenziamento legato ai cicli di divisione cellulare. Si tratta di un momento molto delicato dello sviluppo di quest'organo ed è stato dimostrato che la dieta può alterare la proliferazione cellulare, la trascrizione di RNA e altri meccanismi cellulari nell'epitelio seminifero. Le nostre indagini hanno evidenziato cambiamenti strutturali e molecolari dei nuclei delle cellule che si svilupperanno in spermatozoi, nel testicolo di topi di 2, 5 e 8 mesi di età nutriti con soia RR rispetto ai topi nutriti con soia di controllo. Queste modificazioni suggeriscono una diminuita attività nucleare e interessano i topi nutriti con soia RR nei primi mesi di vita; esse, infatti, non sono più osservabili all'8° mese. Inoltre, in un particolare tipo di cellule del testicolo (le cellule di Sertoli) sono state osservate dilatazioni del reticolo endoplasmatico liscio, indice di un aumentato stress funzionale, modificazioni che permangono anche nei topi di 8 mesi. Va sottolineato che non sono state osservate differenze di fertilità tra i topi nutriti con soia RR o con soia di controllo.



Le nostre analisi sugli effetti di una dieta contenente soia RR si sono estese anche alle prime fasi di sviluppo intrauterino (Cisterna *et al.*, 2008). Sono stati presi in considerazione gli embrioni nella fase subito precedente all'impianto nell'utero, poiché a questo stadio di sviluppo avvengono le primissime fasi di riattivazione del DNA dell'embrione. Topi maschi dell'età di 2 mesi nutriti con soia non transgenica sono stati accoppiati con femmine di controllo o nutrite con soia RR. È stato osservato che negli embrioni dei topi nutriti con soia RR si verifica una riduzione della trascrizione e dello *splicing* di RNA messaggero allo stadio embrionale di 2 cellule e un ritorno ai livelli standard allo stadio di 4-8 cellule. Altri fattori rimangono più bassi in tutti gli embrioni dei topi nutriti con soia RR e sono indice di una maturazione del RNA messaggero meno efficiente rispetto ai controlli allo stadio sia di 2 sia di 4-8 cellule. L'assenza di differenze di fertilità tra topi nutriti con soia RR e non transgenica indica che questo ritardo nell'attivazione dei meccanismi nucleari allo stadio pre-impianto rappresenta un fenomeno temporaneo e non danneggia il successivo sviluppo embrionale.

### **Studio in vitro sul possibile ruolo di residui di erbicida nell'induzione delle modificazioni cellulari osservate nei topi nutriti con soia GM**

Per chiarire se le modificazioni morfofunzionali osservate nei tessuti dei topi nutriti con soia RR possano dipendere dalla presenza nel mangime di residui di erbicida, è stato condotto uno studio su cellule in coltura. Questa indagine in vitro si è resa necessaria perché, successivamente alla somministrazione in campo di Roundup, risulta assai difficoltoso determinare, attraverso analisi chimiche, la presenza di suoi residui nelle piante trattate e nel mangime da queste ottenuto. Cellule epatiche isolate sono state trattate per tempi diversi (da 3 a 48 ore) con basse concentrazioni (0,1% e 0,01%) di Roundup e i risultati hanno evidenziato modificazioni cellulari analoghe a quelle osservate nel fegato dei topi nutriti con soia RR (Malatesta *et al.*, 2008). Nelle nostre condizioni sperimentali, né il tasso di mortalità delle

cellule né la struttura della maggior parte degli organuli citoplasmatici subiscono alterazioni. Fanno eccezione i mitocondri, che a tutte le concentrazioni impiegate diminuiscono la loro attività e presentano una riduzione dell'estensione delle loro membrane interne, e il nucleo cellulare, che presenta modificazioni strutturali e funzionali del tutto simili a quelle osservate negli epatociti dei topi adulti nutriti con soia RR. Questi dati sembrano, quindi, avvalorare l'ipotesi che residui di Roundup possano avere un ruolo nell'instaurarsi delle modificazioni cellulari e tessutali nei topi nutriti con soia RR. Coerentemente, dati in letteratura dimostrano che lo stesso erbicida è in grado di inibire l'attività mitocondriale (Peixoto, 2005), alterare il processo di trascrizione e rallentare la riattivazione del genoma in embrioni precoci di riccio di mare (Marc, 2005).

### **Considerazioni conclusive**

Presi nel loro insieme, i risultati dello studio condotto sugli effetti a breve e lungo termine di una dieta contenente soia RR su diversi organi di topo dimostrano una serie di modificazioni a livello istologico e cellulare che, però, non sembrano avere conseguenze sulla funzionalità degli organi o sullo stato di salute generale dell'animale. Infatti, nel corso delle nostre indagini non è stata mai osservata alcuna differenza macroscopica tra i due gruppi di animali, così come nessun incremento di patologie e tanto meno di mortalità è stato rilevato nei topi nutriti con soia RR fino al 24° mese di vita.

Questi dati, certamente rassicuranti, non devono però indurre a sottovalutare il significato biologico delle modificazioni indotte dall'ingestione di soia RR. Ulteriori indagini sarebbero opportune, soprattutto nella prospettiva di introdurre gli organismi GM nella dieta umana: rispetto alla omogeneità del modello sperimentale animale, la popolazione umana è, infatti, composta da individui assai eterogenei per età, condizioni di salute e stile di vita, con la presenza di soggetti particolarmente vulnerabili, come malati, bambini e anziani. Ciò dovrebbe sempre indurre alla prudenza nell'estrapolare i risultati ottenuti da animali all'organismo umano. Un aspetto, questo, che



andrebbe tenuto in debita considerazione quando i risultati vengono valutati in sede scientifica e che assai raramente viene portato all'attenzione del grande pubblico, nella presentazione attraverso i media.

## Bibliografia

- Battistelli S., Baldelli B., Malatesta M. (2008), *Influence of a GMO-containing diet on pancreatic acinar cells of adult mice: effects of a short-term diet reversion*, "Microscopie", 10, pp. 36-43
- Battistelli S., Citterio B., Baldelli B., Parlani C., Malatesta M. (2010), *Histochemical and morphometrical study of mouse intestine epithelium after a long term diet containing genetically modified soybean*, "European Journal of Histochemistry", 54, pp. 162-165
- Cisterna B., Flach F., Vecchio L., Barabino S.M.L., Battistelli S., Martin T.E., Malatesta M., Biggiogera M. (2008), *Can a GMO-containing diet influence embryo development? A preliminary study on pre-implantation mouse embryos*, "European Journal of Histochemistry", 52, pp. 263-267
- EFSA GMO Panel Working Group on Animal Feeding Trials (2008), *Safety and nutritional assessment of GM plants and derived food and feed: the role of animal feeding trials*, "Food and Chemical Toxicology", 46, suppl. 1, pp. S2-70
- Kuiper H.A., Kleter G.A., Noteborn H.P., Kok E.J. (2002), *Substantial equivalence - an appropriate paradigm for the safety assessment of genetically modified foods?* "Toxicology", 181-182, pp. 427-431
- Malatesta M. (2009), *Animal feeding trials for assessing GMO safety: answers and questions*, "CAB Reviews, Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources", 4, pp. 1-13
- Malatesta M. (2007) *Contrôle de la recherche*, in Y. Dupont (sous la direction de), *Dictionnaire des risques*, 2<sup>e</sup> édition, Armand Colin, Paris, pp. 400-404
- Padgett S.R., Kolacz K.H., Delannay X., Re D.B., LaVallee B.J., Tinius C.N., Rhodes W.K., Otero Y.I., Barry G.F., Eichholtz D.A., Peschke V.M., Nida D.L., Taylor N.B., Kishore G.M. (1995), *Development, identification and characterization of a glyphosate-tolerant soybean line*, "Crop Science", 35, pp. 1451-1461
- Malatesta M., Caporaloni C., Gavaudan S., Rocchi M.B.L., Tiberi C., Gazzanelli G. (2002), *Ultrastructural morphometrical and immunocytochemical analyses of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean*, "Cell Structure and Function", 27, pp. 173-80
- Malatesta M., Caporaloni C., Rossi L., Battistelli S., Rocchi M.B.L., Tonucci F., Gazzanelli G. (2002), *Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean*, "Journal of Anatomy", 201, pp. 409-416
- Malatesta M., Biggiogera M., Manuali E., Rocchi M.B.L., Baldelli B., Gazzanelli G. (2003), *Fine*



- structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on GM soybean*, "European Journal of Histochemistry", 47, pp. 385-388
- Malatesta M., Tiberi C., Baldelli B., Battistelli S., Manuali E., Biggiogera B. (2005), *Reversibility of hepatocyte nuclear modifications in mice fed on genetically modified soybean*, "European Journal of Histochemistry", 49, pp. 237-242
- Malatesta M., Boraldi F., Annovi G., Baldelli B., Battistelli S., Biggiogera M., Quaglino D. (2008), *A long-term study on female mice fed on a genetically modified soybean: effects on liver ageing*, "Histochemistry and Cell Biology", 130, pp. 967-977
- Malatesta M., Perdoni F., Santin G., Battistelli S., Muller S., Biggiogera M. (2008), *Hepatoma tissue culture (HTC) cells as a model for investigating the effects of low concentrations of herbicide on cell structure and function*, "Toxicology in Vitro", 22, pp. 1853-1860
- Marc J., Le Breton M., Cormier P., Morales J., Bellé R., Mulner-Lorillon O. (2005), *A glyphosate-based pesticide impinges on transcription*, "Toxicology and Applied Pharmacology", 203, pp. 1-8
- Novak W.K., Haslberger A.G. (2000), *Substantial equivalence of antinutrients and inherent plant toxins in genetically modified novel foods*, "Food and Chemical Toxicology", 38, pp. 473-483
- Peixoto F. (2005), *Comparative effects of the Roundup and glyphosate on mitochondrial oxidative phosphorylation*, "Chemosphere", 61, pp. 1115-1122
- Vecchio L., Cisterna B., Malatesta M., Martin T.E., Biggiogera B. (2004), *Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean*, "European Journal of Histochemistry", 48, pp. 449-453



# 9.

## Indagini *in vivo* e *in vitro* sull'impiego di OGM nell'alimentazione animale

### **Federico Infascelli**

*Professore Ordinario di Nutrizione e alimentazione animale*

### **Raffaella Tudisco**

*Ricercatrice di Nutrizione e alimentazione animale*

*Dipartimento di Scienze zootecniche e ispezione degli alimenti*

*Facoltà di Medicina Veterinaria, Università di Napoli Federico II*

### **Riassunto**

*Frammenti del promotore 35S e del gene cp4 epsps sono stati rilevati nel latte e nel sangue di capre alimentate con soia geneticamente modificata (GM) Roundup Ready (RR) nonché in fegato, rene, muscolo, milza, cuore e sangue dei redi alimentati esclusivamente con latte materno. Alterazioni significative di AST e ALT e di LDH e GGT sono state registrate, rispettivamente, nel siero delle madri e nel cuore, muscolo, rene e fegato dei capretti. Analoghe modifiche enzimatiche sono risultate a livello cardiaco, renale ed epatico in conigli alimentati con soia RR. Da indagini effettuate in vitro, inoltre, è emerso un significativo aumento della velocità di fermentazione del mais GM rispetto alla controparte convenzionale.*

### **Il destino metabolico del DNA transgenico**

Una tra le preoccupazioni sollevate dall'opinione pubblica sull'impiego di organismi geneticamente modificati (OGM) nel settore agroalimentare è rappresentata dal destino metabolico dei frammenti di DNA



modificato ingeriti dagli animali. L'integrità del DNA, infatti, rappresenta il fattore chiave per un ipotetico trasferimento genico orizzontale del DNA ricombinante alla microflora intestinale con acquisizione di nuove informazioni da organismi geneticamente distinti (Van den Eede *et al.*, 2004).

Diversi sono i quesiti ancora da risolvere:

- i frammenti di DNA modificato o le proteine derivanti potrebbero essere trasferiti e accumulati nell'organismo di animali che sono stati alimentati con piante GM e nei prodotti (latte, carne e uova) da loro forniti?
- Il DNA del gene introdotto o modificato in una specie vegetale, se trasferito agli animali che la consumano, potrebbe causare effetti avversi alla loro salute?
- Il consumo di specie vegetali geneticamente modificate o di prodotti di origine animale provenienti da animali alimentati con piante GM potrebbe portare a effetti avversi alla salute dell'uomo?

Numerose ricerche sono state effettuate nell'uomo e in diverse specie animali allo scopo di valutare la sopravvivenza del DNA nel tratto gastro-intestinale e la presenza di frammenti genici in diversi tessuti e organi. Alcune di esse hanno messo in luce una rapida degradazione del DNA, sia *in vivo* sia *in vitro* (Harrison *et al.*, 1996), a seguito di processi fermentativi ruminali (Smith and McAllan, 1973) o extraruminali (Fearing *et al.*, 1997) dei frammenti di DNA trasformato. Se tali risultati sembrano negare la possibilità che il DNA trasformato possa essere assorbito, altre osservazioni indeboliscono questa ipotesi. Nell'uomo, Martin-Orúe *et al.* (2002) non osservarono, in prove *in vitro*, frammentazione del DNA in ambiente gastrico per soia e mais GM; invece, incubando il solo DNA



estratto dalla prima, questo veniva degradato per circa l'80%. Anche nel piccolo intestino, entrambi gli alimenti GM venivano degradati non totalmente e con diverse velocità. Netherwood *et al.* (2004) somministrarono a sette volontari ileostomizzati una dieta contenente soia resistente al glifosate: il transgene veniva recuperato non degradato da tutti gli ileostomizzati, ma in quantità altamente variabili tra i soggetti. Schubbert *et al.* (1997) in topi alimentati con DNA proveniente dal batteriofago M13mp18 – un virus che infetta i batteri – misero in evidenza che il DNA estraneo attraversava l'epitelio della parete intestinale, raggiungeva i leucociti ed era trasportato attraverso il sangue periferico alla milza e al fegato. Molte altre pubblicazioni mettono in luce la presenza di frammenti di DNA transgenico che sono sopravvissuti ai processi digestivi di animali nutriti con alimenti GM (Duggan *et al.*, 2003; Aeschbacher *et al.*, 2002; Chambers *et al.*, 2002; Chowdhury *et al.*, 2003).

### **Recenti indagini sperimentali**

Allo scopo di apportare un contributo in merito, presso il Dipartimento di Scienze Zootecniche e Ispezione degli alimenti della Facoltà di Medicina Veterinaria dell'Università di Napoli Federico II, sono state effettuate alcune indagini sperimentali in ognuna delle quali sono stati costituiti gruppi omogenei di animali che ricevevano con la dieta soia convenzionale o in alternativa soia Roundup Ready (RR), caratterizzata dalla presenza del gene *epsps*, isolato dal batterio *Agrobacterium tumefaciens* e capace di rendere la pianta resistente all'azione dell'erbicida glifosate. In tutte le indagini si è provveduto alla ricerca delle sequenze di DNA transgenico nei tessuti degli animali, nonché alla valutazione dell'attività di alcuni enzimi.

Una prima indagine è stata effettuata su conigli bianchi di Nuova Zelanda di età media di circa 70 giorni, equamente distribuiti tra i sessi, allevati in gabbie individuali e suddivisi in due gruppi omogenei (uno per il test con soia GM e uno per il controllo). Entrambi i gruppi sono stati

alimentati con una dieta costituita per l'80% da un mangime completo e per il 20% da farina di estrazione di soia. Mentre per il gruppo A è stata utilizzata soia convenzionale, al gruppo B è stata somministrata soia RR. Subito prima della macellazione da tutti gli animali sono stati prelevati campioni di sangue e, successivamente, anche di tessuto muscolare, epatico, renale, splenico e cardiaco, nonché dei contenuti di duodeno, cieco e ampolla rettale (feci). Mentre non è stato possibile mettere in evidenza sequenze di DNA transgenico, gli animali alimentati con soia GM hanno mostrato livelli significativamente più elevati dell'attività degli enzimi LDH a livello cardiaco e renale, e di ALT e GGT solo a livello renale (Tudisco *et al.*, 2006).

La seconda indagine (Tudisco *et al.*, 2010) è stata effettuata impiegando capre pluripare, equamente suddivise in due gruppi (A e B) omogenei per numero di parti e per quantità di latte prodotto nella precedente lattazione. I soggetti del gruppo A ricevevano fieno di avena *ad libitum* e un mangime concentrato integrato presente normalmente in commercio che non conteneva alimenti geneticamente modificati. I soggetti del gruppo B, invece, ricevevano con modalità analoghe un mangime con la stessa quantità di apporto proteico ed energetico del precedente, ma che tra gli ingredienti presentava soia geneticamente modificata RR. Dopo il parto i soggetti di entrambi i gruppi hanno ricevuto il mangime concentrato integrato sopra descritto. A partire da quindici giorni dopo il parto è stata registrata, a cadenza mensile e per un totale di cinque controlli, la produzione latteica individuale. In occasione di ciascun controllo sono stati prelevati campioni individuali di latte (ottenuti ponderando le produzioni delle due mungiture giornaliere) per le determinazioni chimiche. Inoltre, da ogni capra 100 millilitri di latte sono stati prelevati e congelati a -20 °C per l'estrazione del DNA. Dopo il parto, dieci capretti (A e B) per gruppo nati da parti bigemini sono stati tenuti in box separati, su lettiera in terra battuta, senza alcuna possibilità di accesso agli alimenti e nutriti unicamente con il latte materno. Da tutti gli animali, immediatamente prima



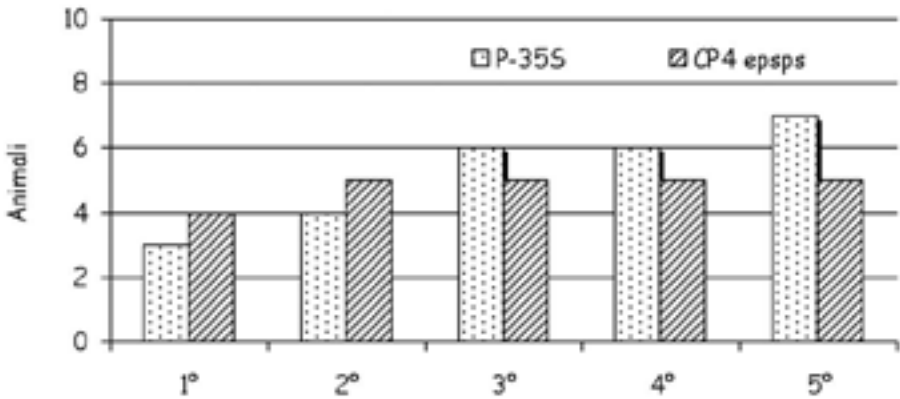
della macellazione, sono stati prelevati dei campioni di sangue e, successivamente, dei campioni di tessuto muscolare, epatico, renale, splenico e cardiaco.

Soltanto nel gruppo di animali alimentati con soia RR, sono stati rilevati frammenti transgenici della soia RR sia nel latte sia nel sangue, con frequenze variabili a seconda del prelievo e della sequenza del frammento che si voleva rilevare (Tabella 1). Nel siero di questi animali, inoltre, i livelli degli enzimi epatici AST e ALT risultavano significativamente più bassi. Di notevole interesse appaiono i risultati scaturiti dalle indagini effettuate sui capretti. Soltanto nel gruppo nato dalle madri alimentate con soia GM, infatti, sono stati rilevati frammenti di DNA transgenico in fegato, rene, muscolo, milza, cuore e sangue (Tabella 2). Tali risultati suggerirebbero un passaggio di DNA attraverso il latte. In questi capretti, infine, è stato registrato un significativo aumento dell'LDH in cuore, muscolo e rene, nonché della GGT nel fegato. Tali ultime alterazioni, confermate anche da reazioni di istochimica, sarebbero da attribuire a un aumento del metabolismo cellulare e indicano la necessità di ulteriori studi per valutare possibili effetti a lungo termine.

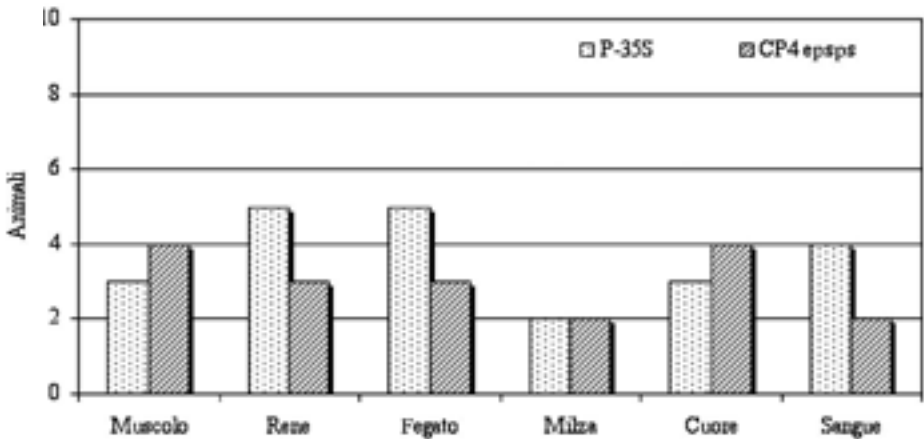
L'indagine condotta al fine di valutare l'integrità del DNA vegetale di origine alimentare nel latte di capra e in alcuni organi e tessuti dei figli di tali soggetti ha portato a risultati molto interessanti: avere rilevato sequenze transgeniche contribuisce a dare giusto credito alle preoccupazioni di una larga fascia di consumatori nei riguardi del consumo di alimenti GM. Se, infatti, la sola presenza di DNA transgenico nelle derrate non è corretto venga considerato pericoloso per la salute umana, siamo dell'avviso che essa rappresenti in ogni caso un'alterazione della naturale composizione di un alimento. Riguardo alla possibilità che gli alimenti GM possano determinare alterazioni morfo-funzionali nell'organismo animale, infine, ci preme ricordare la necessità di condurre ulteriori indagini, alla luce dei risultati relativi alle alterazioni enzimatiche osservate anche nell'indagine sui conigli precedentemente descritta.

Di notevole ausilio allo studio degli alimenti zootecnici GM appare il ricorso a tecniche in vitro in grado di svelarne eventuali modificazioni dell'andamento fermentativo. Allo scopo è stata effettuata una indagine sperimentale (Tudisco *et al.*, 2004), impiegando la tecnica della produzione cumulativa di gas (Theodorou, 1993), che consente di stimare la digeribilità della sostanza organica nonché la cinetica di fermentazione di alimenti incubati in liquido ruminale. Confrontando granelle intere di mais MON810 e di soia RR con le rispettive controparti convenzionali, è emerso, malgrado la composizione chimica non differente, che la modificazione genetica comporta per il mais un significativo aumento della velocità di fermentazione (Figura 1) e per la soia un significativo decremento della produzione di gas. Per quanto riguarda il mais, non avendo elementi a sufficienza per giustificare con validi supporti scientifici il diverso comportamento dell'alimento GM, non possiamo che formulare qualche ipotesi, la cui verifica è ora oggetto di ulteriori ricerche. Sulla base delle conoscenze in nostro possesso e di quanto è stato reperito in letteratura, è verosimile credere che l'aver indotto la resistenza a *Ostrinia nubilalis* tramite inserzione del gene *cry1Ab* di *Bacillus thuringiensis*, abbia in qualche modo comportato una modificazione della struttura dell'amido presente nel contenuto cellulare.

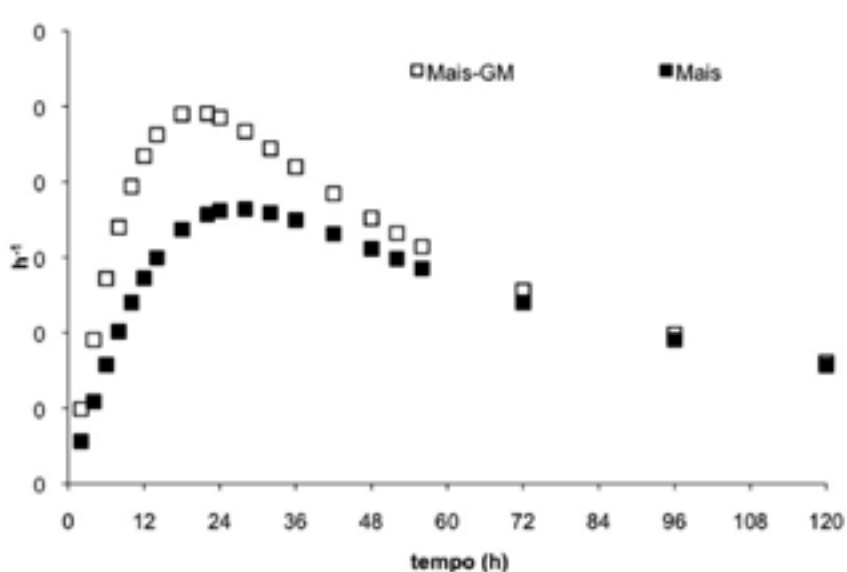




**Tabella 1.** Ricerca di frammenti transgenici (P-35S e CP4 epsps) nel latte delle capre in funzione del prelievo.



**Tabella 2.** Ricerca di frammenti transgenici (P-35S e CP4 epsps) nel sangue e nei tessuti dei capretti.



**Figura 1.** Andamento della velocità di fermentazione del mais GM e convenzionale.

### Conclusioni

I risultati sopra riportati consentono innanzitutto di rilevare l'inadeguatezza del principio di "sostanziale equivalenza nutrizionale", qualora essa si basi sulla similitudine delle sole caratteristiche chimiche. Inoltre, in termini di sicurezza alimentare non va sottovalutata l'ipotesi, scaturita dai nostri risultati, circa la possibile alterazione, a seguito dell'introduzione del gene modificato, di altri siti del genoma (responsabili come ipotizzato nel caso del mais di una struttura differente dell'amido).

## Bibliografia

- Aeschbacher K., Meile L., Messikommer R., Wenk C. (2002), *Influence of genetically modified maiza on performance and product quality of chickens*, "Proceedings of the Society of Nutrition Physiology", 11, p. 196
- Chambers P.A., Duggan P.S., Heritage J., Forbes J.M. (2002), *The fate of antibiotic resistance marker genes in transgenic plant feed material fed to chickens*, "Journal of Antimicrobial Chemotherapy", 49, pp. 161-164
- Chowdhury E.H., Kuribara H., Hino A., Sultana P., Mikami O., Shimada N., Guruge K.S., Saito M., Nakajima Y. (2003), *Detection of corn intrinsic and recombinant DNA fragments and CryIAb protein in the gastrointestinal contents of pigs fed genetically modified corn Bt 11*, "Journal of Animal Science", 81, pp. 2546-2551
- Duggan P.S., Chambers P.A., Heritage J., Forbes J.M. (2003), *Fate of genetically modified maize DNA in the oral cavity and rumen of sheep*, "British Journal of Nutrition", 89, pp. 159-166
- Fearing P.L., Brown D., Vlachos D., Meghji M., Privalle L. (1997), *Quantitative analysis of CryI(A)(b) expression in Bt maize plant, tissues and silage and stability of expression over successive generation*, "Molecular Breeding", 3, pp. 169-176
- Harrison L.A., Baily M.R., Naylor M.W., Ream J.E., Hammond B.G., Nida D.L., Burnett B.L., Nickson T.E., Mitsky T.A., Taylor M.L., Fuchs R.L., Padgett S.R. (1996), *The expressed protein in glyphosate-tolerant soybean, 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase from Agrobacterium sp. strain CP4, is rapidly digested in vitro and is not toxic to acutely gavaged mice*, "Journal of Nutrition", 126, p. 728
- Netherwood T., Martín-Orúe S.M., O'Donnell A.G., Gockling S., Graham J., Mathers J.C., Gilbert H.J. (2004), *Assessing the survival of transgenic plant DNA in the human gastrointestinal tract*, "Nature Biotechnology", 22 (2), pp. 204-209
- Martín-Orúe S.M., O'Donnell A.G., Ariño J., Netherwood T., Gilbert H.J., Mathers J.C. (2002), *Degradation of transgenic DNA from genetically modified soya and maize in human intestinal simulations*, "British Journal of Nutrition", 87, pp. 533-542
- Schubbert R., Renz D., Schmitz B., Doerfler W. (1997), *Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leukocytes, spleen, and liver via the intestinal wall mucosa and can covalently linked to mouse DNA*, "Proceedings of National Academy Sciences", 94, pp. 961-966
- Smith R.H., McAllan A.B. (1970), *Nucleic acid metabolism in the ruminant. 2. Formation of microbial nucleic acids in the rumen in relation to the digestion of food nitrogen, and the fate of dietary nucleic acids*, "British Journal of Nutrition", 24, pp. 545-556
- Theodorou, M.K. (1993), *A new laboratory procedure for determining the fermentation kinetics of ruminant feeds*, "Ciencia e Investigación Agraria", 20, pp. 332-344





- Tudisco R., Calabrò S., Terzi V., Cutrignelli M.I., Bovera F., Piccolo V., Zicarelli F., Piccolo G., Infascelli F. (2004), *In vitro fermentation kinetics of some genetically modified feeds*. 2<sup>nd</sup> International Meeting on Veterinary morpho-functional Biotechnologies, Napoli, 1-3 July, p. 68
- Tudisco R., Lombardi P., Bovera F., D'Angelo D., Cutrignelli M.I., Mastellone V., Terzi V., Avallone L., Infascelli F. (2006), *Genetically modified soybean in rabbit feeding: detection of DNA fragments and evaluation of metabolic effects by enzymatic analysis*, "Animal Science", 82 (2), pp.193-197
- Tudisco R., Mastellone V., Cutrignelli M.I., Lombardi P., Bovera F., Mirabella N., Piccolo G., Calabrò S., Avallone L., Infascelli F. (2010), *Fate of transgenic DNA and evaluation of metabolic effects in goats fed genetically modified soybean and in their offspring*, "Animal", 4 (10)
- Van den Eede G., Aarts H., Buhk H.-J., Corthier G., Flint H.J., Hammes W., Jacobsen B., Midtvedt T., Van der Vossen J., Von Wright A., Wackernagel W., Wilcks A. (2004), *The relevance of gene transfer to the safety of food and feed derived from genetically modified (GM) plants*, "Food and Chemical Toxicology", 42, pp. 1127-1156



# 10.

## **OGM e zootecnia: prodotti derivati da animali alimentati con alimenti GM sono realmente uguali a quelli di animali alimentati con razioni GM free?**

**Michele Corti**

*Docente di Sistemi zootecnici, Dipartimento per la Protezione dei sistemi agroalimentare e urbano e per la valorizzazione delle biodiversità, Università degli Studi di Milano*

### **Riassunto**

*L'utilizzo di alimenti ottenuti da piante geneticamente modificate (GM) nell'alimentazione animale è largamente diffuso in zootecnia. Questa abitudine tende ad allontanare ulteriormente il sistema agrozootecnico dai sistemi foraggeri tradizionali, basati sul sistema delle rotazioni con l'impiego di leguminose e prato stabile e caratterizzati da basso impatto ambientale. Dal punto di vista della qualità delle produzioni l'impiego di razioni alimentari comprendenti prodotti derivati da piante GM non può essere considerato ininfluenza, come ancora tendono a sostenere le agenzie ufficiali (tra le quali l'Autorità Europea per la Sicurezza Alimentare, EFSA). Secondo una serie ormai nutrita di indagini sperimentali, che ormai abbracciano diverse specie di animali d'allevamento, frammenti di materiale transgenico (derivati da DNA e proteine) sono rinvenibili nel tratto gastrointestinale degli animali. Un numero più limitato di studi indicherebbe la possibilità che questi frammenti siano assorbiti nel circolo sanguigno e la loro conseguente presenza nei tessuti. Alcuni studi recenti confermerebbero la presenza di materiale transgenico*



*nel latte anche in condizioni che escludono forme di contaminazione ambientale (polveri). Quest'ultima, insieme alla contaminazione fecale, rappresenta in ogni caso una via alternativa all'assorbimento intestinale in grado di spiegare la presenza di materiale transgenico in alimenti di origine animale.*

## **Introduzione**

La struttura dei sistemi zootecnici intensivi in Italia e in diversi altri Paesi europei determina un elevato fabbisogno di mangimi che includono in larga misura prodotti derivanti dalla coltivazione di mais e soia. La forte dipendenza dalle importazioni fa sì che questi approvvigionamenti vengano spesso effettuati da paesi extraeuropei dove le coltivazioni geneticamente modificate sono ampiamente diffuse. L'Italia produce solo 500 000 tonnellate di soia, rispetto a un fabbisogno di 2,2 milioni, e 9 milioni di tonnellate di mais, rispetto a una domanda di 11,2 milioni. Circa l'80% della soia (per lo più geneticamente modificata) e il 15% del mais sono importati (quest'ultimo, però, solo per il 20% proviene da paesi dove la coltivazione di varietà GM è praticata su larga scala). L'utilizzo di alimenti geneticamente modificati per il bestiame, almeno per quanto riguarda le fonti proteiche, rappresenta quindi la norma per gran parte della zootecnia convenzionale (fatta eccezione per quella che segue le regole della produzione biologica certificata).

## **La dipendenza da soia e mais GM allontana la zootecnia italiana ed europea dalla sostenibilità**

L'utilizzo di alimenti GM caratterizza anche le filiere "tipiche" (prosciutti crudi e altri salumi Dop, formaggi Dop). La polemica suscitata intorno al parmigiano reggiano "libero da OGM" divampata oltre due anni orsono – all'epoca sollevata da Greenpeace – è ormai sopita e alcuni marchi commerciali, in attesa di una "liberazione" che presumibilmente non avverrà in tempi brevi, hanno proceduto a certificare autonomamente il proprio parmigiano reggiano quale "prodotto con latte ottenuto da alimentazione



NON OGM”. Solo fontina, trentin grana, robiola di Roccaverano e pochi altri formaggi hanno avuto il coraggio di escludere gli OGM. Eppure il problema della soia GM pareva avesse assunto una rilevanza strategica, con il conseguente impegno delle parti e di alcune regioni a ricercare fonti proteiche alternative.

Una rivoluzione quale quella della “liberazione” dalle materie prime GM per l’alimentazione animale avrebbe effetti imponenti in termini di recupero della sostenibilità ambientale dei sistemi agrozoocaseari che, come nel caso dei ruminanti, possono essere riconvertiti introducendo sistemi foraggeri “alternativi” e riducendo il fabbisogno di soia e mais (due materie prime complementari dal punto di vista della formulazione delle razioni alimentari nei sistemi intensivi).

I sistemi foraggeri “tradizionali” o “alternativi”, oltre a non essere interessati dalla problematica OGM, richiedono una quantità molto ridotta di pesticidi, concimazioni azotate (specie nel caso delle leguminose), acqua di irrigazione, lavorazioni meccaniche... Una simile rivoluzione metterebbe, però, i sistemi zootecnici intensivi nella condizione di ridurre fortemente la produzione o, in alternativa, di dover reperire nuove superfici coltivabili non facilmente disponibili (Corti, 2008). Una situazione che è ulteriormente complicata dalla rapida espansione di coltivazioni bioenergetiche.

Queste considerazioni spingono alcuni a ritenere “obbligatoria” la coesistenza tra filiere tradizionali e OGM (Mordenti e De Castro, 2005). Tuttavia, l’affrancamento dai mangimi GM è un processo difficile, ma non impossibile se concepito nel quadro di ripensamento complessivo dei sistemi agrozootecnici alle prese con problemi sempre più pressanti di sostenibilità ambientale in termini di emissioni di gas serra e ammoniaca, di contaminazione delle acque ... (Bernard Seguin e Soussana, 2008; Bittman e Mikkelsen, 2009; Burkholder *et al.*, 2007).

Andrebbero messi in discussione quegli stili produttivi che implicano costi molto elevati (strutture imponenti, meccanizzazione massiva, tecno-

logie costose e sofisticate), ma anche la stessa struttura di distribuzione e consumo. Quest'ultima, in particolare, determina un valore aggiunto molto modesto per il produttore zootecnico a fronte di livelli di consumo di prodotti animali molto elevati, consumi che non solo sono largamente eccedenti i fabbisogni nutrizionali e tali da determinare rischi per la salute umana, ma che sono anche accompagnati da sprechi alimentari elevati. Le colture GM destinate alla produzione zootecnica agiscono in modo diretto o indiretto, esasperando le conseguenze delle coltivazioni monoculturali, accentuando l'internazionalizzazione dei mercati, spingendo ulteriormente la specializzazione e l'intensificazione produttiva, in direzione opposta a quella del recupero di sostenibilità dei sistemi agrozootecnici. Agli impatti ambientali della zootecnia intensiva europea corrispondono nel *world food and feed system* quelli delle estese coltivazioni GM nel nuovo continente e, specialmente, della soia GM Roundup Ready e del diserbante glifosato, largamente impiegati nei Paesi sudamericani da dove deriva la gran parte dell'integrazione proteica della zootecnia europea basata su soia GM (Antoniou *et al.*, 2010).

### **I rischi dell'impiego di colture GM per la salute**

Alcuni studi condotti su animali da laboratorio hanno evidenziato come l'alimentazione con mais MON863 geneticamente modificato possa determinare fenomeni di tossicità epatorenale (Seralini *et al.*, 2007). Questi risultati sono stati poi confermati dallo stesso gruppo di ricerca con tre diversi tipi di mais GM (NK603, MON810, MON863), evidenziando danni anche a carico di altri organi (Vendemois *et al.*, 2009). Alcune indicazioni di reazioni immunitarie specifiche per la soia GM sono state osservate da Yum *et al.* (2005) mentre, di recente, il gruppo argentino di Carrasco (Paganelli *et al.*, 2010) ha evidenziato significative alterazioni embriogenetiche in anfibi esposti a basse concentrazioni di glifosato (l'erbicida al quale la soia Roundup Ready è stata resa resistente mediante modifica genetica). Va comunque rilevato come, nello studio degli effetti negativi che



possono essere causati da un'alimentazione con piante GM, la possibile presenza di pesticidi utilizzati durante la coltivazione può alterare i risultati perché gli effetti metabolici o immunitari indotti da questi prodotti possono confondersi con quelli legati al contatto con sequenze transgeniche o con proteine presenti negli OGM. Nel caso del consumo umano di prodotti derivati da animali alimentati con piante o parti di piante GM, invece, il rischio potenziale è limitato al passaggio di materiale transgenico dal vegetale all'organismo animale. Su questo aspetto concentreremo l'attenzione nei prossimi paragrafi.

### **I prodotti derivati da animali alimentati con piante GM recano traccia di DNA transgenico e di “nuove” proteine codificate da questi OGM**

Tenendo conto delle conseguenze negative – riscontrate in alcuni test di laboratorio – sull'integrità di organi e tessuti a seguito di un regime alimentare contenente piante GM, la possibile presenza nei prodotti animali (carni, latte, uova) di DNA e proteine transgeniche rappresenta motivo di preoccupazione, indipendentemente dal fatto che tale contaminazione abbia origine negli animali stessi (tramite il passaggio diretto dal mangime all'apparato digerente e poi al resto dell'organismo) o derivi da effetti indiretti dell'utilizzo di piante GM, come la contaminazione ambientale. Polveri o aerosol presenti nell'aria contenenti tracce di materiale GM di origine vegetale possono, infatti, contaminare il latte dopo che è stato munto o la carne dopo che è stata macellata (Heinemann, 2009).

Le preoccupazioni per il possibile trasferimento di materiale transgenico nella catena alimentare derivano dal fatto che il DNA geneticamente modificato non può essere considerato uguale a quello non sottoposto a modifiche: esso, infatti, contiene nuove combinazioni di materiale genetico mai esistite in miliardi di anni di evoluzione, comprese sequenze di geni sintetizzati in laboratorio, che differiscono in maniera significativa da quelle corrispondenti presenti normalmente in natura. Il DNA geneticamente modificato, inoltre, viene disegnato in modo da contenere sequenze facili

alla ricombinazione che consentano l'inserimento nel genoma, e porta anche altre modifiche finalizzate a superare le differenze genetiche tra specie che ostacolano il trasferimento genico.

L'individuazione di sequenze di DNA transgenico in organismi o tessuti animali destinati all'alimentazione umana non rappresenta, di per sé, un pericolo per il consumatore ma non possono neppure essere sottovalutate le possibili implicazioni. Il trasferimento di materiale specifico da piante GM, in ogni caso, non si limita solo al DNA: le piante GM, come ricordato, producono specifiche e inedite proteine che, per quanto digerite e frammentate in unità più piccole, possono mantenere caratteristiche strutturali (epitopi) capaci di indurre la produzione di anticorpi specifici. Diventa cruciale a questo punto sapere sino a che punto tali materiali siano degradati nel passaggio attraverso l'apparato gastro-intestinale.

**Può essere ragionevolmente e prudenzialmente considerato OGM free – o comunque equiparabile a un prodotto analogo ottenuto da animali alimentati con razioni OGM free – un prodotto derivante da un animale alimentato con alimenti GM?**

Tenendo conto dell'evidenza del trasferimento di materiale transgenico in animali alimentati con piante o parti di piante GM, i prodotti derivati possono essere ancora considerati OGM free? O andrebbero in qualche modo distinti da quelli ottenuti da animali alimentati con razioni prive di OGM? Il mondo accademico, almeno nella sua maggioranza, e le agenzie ufficiali hanno teso sinora a minimizzare il problema della possibile presenza di componenti GM negli alimenti di origine animale derivati da una filiera in cui si impieghino mangimi, sottoprodotti o materie prime derivate da coltivazioni di OGM. A tale proposito, ad esempio, risultano eccessivamente rassicuranti le conclusioni del rapporto dell'Agenzia Europea per la Sicurezza Alimentare (EFSA, 2007) che, nel 2007, escludeva categoricamente il passaggio nel latte o nella carne di sequenze di DNA o di specifiche proteine sintetizzate da piante GM. I risultati tenevano conto



di diversi articoli che escludevano, senza se e senza ma, queste eventualità (tra gli altri: Beever *et al.*, 2003; Aumaitre, 2004; Flachowsky and Chesson, 2003). Tuttavia, questo atteggiamento della componente maggioritaria del mondo scientifico appare in contrasto con l'ormai scontata evidenza che DNA esogeno di origine vegetale può passare nei tessuti di quegli animali che se ne nutrono. Ed è singolare che chi tende a escludere i rischi derivanti dal consumo di OGM fondi le sue teorie sull'assunto che il DNA ricombinante si comporti allo stesso modo di quello non ricombinante.

### **Materiale di origine transgenica nel latte: risultati controversi**

I risultati pubblicati l'anno precedente alla pubblicazione del rapporto EFSA da un gruppo di ricerca italiano avevano evidenziato la presenza di sequenze transgeniche nel latte del commercio (Agodi *et al.*, 2006). Furono considerati un'eccezione, eppure questa ricerca indicava come, in una buona percentuale di campioni di latte di marche normalmente commercializzate in Italia, si rintracciassero sequenze di DNA ricombinante di mais (25% dei casi) o di soia (12%). Gli autori indicavano come probabili fonti di contaminazione quella fecale (DNA non digerito) o quella aerea (particelle di alimento GM). Come ipotesi alternativa suggerivano una generica contaminazione ambientale (che fu l'ipotesi, certamente più tranquillizzante, accolta dall'EFSA). Va evidenziato che gli studi sperimentali che hanno escluso la presenza di sequenze di DNA ricombinante di origine alimentare nel latte bovino prevedevano la somministrazione di alimenti GM per periodi sperimentali di durata limitata (Phipps *et al.*, 2002; Phipps *et al.*, 2003; Guertler *et al.*, 2009). Ultimamente, però, Guertler *et al.* (2010) hanno pubblicato i risultati di una prova di lunga durata (25 mesi), effettuata in condizioni controllate, che confermano l'assenza di materiale genetico ricombinante nel latte. Questione chiusa? Per nulla, perché uno studio molto recente l'ha riaperta. Anche questa volta è un gruppo italiano a riscontrare la presenza di frammenti di DNA transgenico nel latte (caprino) come conseguenza dell'alimentazione delle lattifere con soia GM (Todisco



*et al.*, 2010). Un aspetto interessante, e in un certo qual modo inquietante, di questo studio è che mette per la prima volta in evidenza come il materiale transgenico possa entrare nella catena alimentare. Negli organi (fegato, rene, cuore e muscolo) dei capretti svezzati con il latte delle capre trattate (raccolto in contenitori sterili in condizioni asettiche) sono stati rinvenuti piccoli frammenti di DNA transgenico. Va precisato, ai fini dell'esclusione di possibili contaminazioni di origine ambientale, che i capretti erano mantenuti in un locale separato e in gabbie individuali. In questa ricerca è stato anche messo in evidenza come frammenti del gene *cp4 epsps* non solo erano individuabili nel latte delle capre trattate, ma anche nel loro sangue.

### **Materiale transgenico nel canale digestivo e nelle feci**

Lo studio sopracitato in cui si esclude la presenza nel latte di materiale transgenico (Guelter *et al.*, 2010) ha però evidenziato la presenza nelle feci di tutte le bovine utilizzate per la prova e alimentate con mais GM, di frammenti della proteina Cry1Ab espressa dal mais GM. In realtà si tratta di un risultato non nuovo: la presenza di materiale transgenico nell'ultimo tratto del canale digerente e nelle feci è già stata osservata in diversi studi volti a studiare il destino del DNA transgenico post ingestione. Studiando suini alimentati con mais GM, Chowdhury *et al.* (2003) hanno osservato la presenza di frammenti di proteine specifiche del mais GM in diversi organi (stomaco, duodeno, ileo, ceco e retto). Altri studi (Lutz *et al.*, 2005) hanno poi evidenziato la presenza di frammenti derivati dalla digestione delle proteine del mais GM Bt176 nel rumine, nel contenuto intestinale e nelle feci di bovine. La somministrazione a polli di mais MON863 ha consentito a Scheideler *et al.* (2008) di rintracciare la proteina GM Cry3Bb1 derivata da questo mais – o frammenti della stessa – in tutte le sezioni del tratto digerente. Un'osservazione analoga è stata rilevata anche in suinetti alimentati con mais GM MON810 (Mazza *et al.*, 2005). Tutti aspetti da tenere in considerazione. Non è forse la possibilità di contaminazione del latte con materiale fecale che ha indotto il ministero della Salute a imporre la bollitura del latte crudo in considerazione del rischio



di presenza di ceppi potenzialmente pericolosi di *Escherichia coli*? Analogamente andrebbe valutato il rischio – in sede di macellazione – di contaminazione di carni e organi da parte di eventuale materiale transgenico presente nel tratto digerente.

### **Materiale transgenico in organi di animali nutriti con alimenti GM**

Il passaggio di materiale transgenico attraverso la barriera intestinale, e quindi l'entrata nel circolo sanguigno e la presenza negli organi, è stato osservato in un numero relativamente limitato di studi che, in ogni caso, hanno riguardato diverse specie animali: frammenti di DNA transgenico sono stati rinvenuti in pesci, polli, ruminanti e suini. Ad esempio nel pesce tilapia (*Oreochromis niloticus*) è stata osservata la presenza, in vari organi e tessuti, di frammenti di DNA provenienti da soia GM, indicando l'assorbimento sistematico di tale materiale che evidentemente sfugge a una completa digestione (Ran *et al.*, 2009). Anche suini alimentati con colza GM mostrano non solo sequenze di DNA transgenico nell'ultimo tratto del tubo digerente ma – in alcuni casi – anche nel fegato e nel rene (Ranjana *et al.*, 2006). Nella trota iridea sono state rintracciate sequenze di DNA transgenico nei globuli bianchi, nel muscolo e nel rene (Chainark *et al.*, 2008). Il gruppo di lavoro di McAllister (Alexander *et al.*, 2007), passando in rassegna la letteratura allora disponibile, concludeva che: «La ricerca attuale suggerisce che il passaggio di frammenti di DNA alimentari attraverso la parete intestinale è un evento fisiologico naturale, che la probabilità dipende dalla loro concentrazione nel mangime e che è di conseguenza possibile individuare DNA transgenico nei tessuti animali».

In ogni caso va precisato che la presenza di frammenti di DNA transgenico di origine alimentare negli organi animali tende a scomparire in un periodo breve se si sostituisce la razione contenente alimenti GM con una convenzionale (Deaville and Maddison, 2005; Chainark *et al.*, 2008).

Ma una volta introdotto nelle cellule qual è il destino dei frammenti di DNA

transgenico? Anche se non vi sono evidenze di incorporazione di tale materiale nel DNA dell'animale che si è nutrito di OGM, la possibilità teorica di questa evenienza non può essere esclusa a priori. A livello sperimentale, per esempio, in alcune cellule dell'intestino di salmone sono state riscontrate alcune modifiche della regolazione dell'espressione genica (Frøystad-Saugen, 2009).

## Conclusioni

Diverse osservazioni tendono a fare ritenere possibile un trasferimento di componenti specifiche delle piante GM nei prodotti animali attraverso la via alimentare o la contaminazione ambientale. Nessuno può – allo stato attuale degli studi – avanzare ipotesi sui rischi che ciò potrebbe comportare per la salute umana, ma l'evidenza che il materiale transgenico possa inserirsi nella catena alimentare dovrebbe destare preoccupazioni dal momento che, negli animali da laboratorio nutriti direttamente con alimenti GM, sono state osservate in diversi casi alterazioni fisiopatologiche.

## Bibliografia

- Agodi A., Barchitta M., Grillo A., Sciacca S. (2006), *Detection of genetically modified DNA sequences in milk from the Italian market*, "International Journal of Hygiene and Environmental Health", 209 (1), pp. 81-88
- Alexander T.W., Reuter T., Aulrich K., Ranjana Sharma, Okine E.K., Dixon W.T., McAllister T.A. (2007), *A review of the detection and fate of novel plant molecules derived from biotechnology in livestock production*, "Animal Feed Science and Technology", 133 (1/2), pp. 31-62
- Antoniou M., Brack P., Carrasco A., Fagan J., Abib M., Kageyama P., Leifert R.O., Nodari, Pengue W. (2010), *A summary of scientific evidence showing that genetically modified (GM) soy and the glyphosate herbicide it is engineered to tolerate are unsustainable from the point of view of farming, the environment, rural communities, animal and human health, and economies*, GLS Gemeinschaftsbank eG and RGE Gentechnik-frei, September, Vienna ([http://www.gmwatch.org/files/GMsoy\\_Sust\\_Respons\\_FULL\\_ENG\\_v10.pdf](http://www.gmwatch.org/files/GMsoy_Sust_Respons_FULL_ENG_v10.pdf))
- Beever D.E., Glenn K., Phipps R.H. (2003), *A safety evaluation of genetically modified feedstuffs for livestock production; the fate of transgenic DNA and proteins*, "Asian-Australasian Journal of Animal Sciences", 16 (5), pp. 764-772
- Bernard Seguin B., Soussana J.F. (2008), *Greenhouse gas emissions and climate change: causes and*



- consequences observed for agriculture and animal production*, "Courier de l'Environnement de l'INRA", 55, pp. 79-91
- Bittman S., Mikkelsen R. (2009), *Ammonia emissions from agricultural operations: livestock*, "Better Crops with Plant Food", 93 (1), pp. 28-31
- Burkholder J., Libra B., Weyer P., Heathcote S., Kolpin D., Thorne P.S., Wichman M. (2007), *Impacts of waste from concentrated animal feeding operations on water quality*, "Environmental Health Perspectives", 115 (2), pp. 308-312
- Chainark P., Satoh S., Hirono I., Aoki T., Endo M. (2008), *Availability of genetically modified feed ingredient. II: Investigations of ingested foreign DNA in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss**, "Fisheries Science", 4 (2), pp. 380-390
- Chowdhury E.H., Shimada N., Murata H., Mikami O., Sultana P., Miyazaki S., Yoshioka M., Yamanaka N., Hirai N., Nakajima Y. (2003), *Detection of CryIAb protein in gastrointestinal contents but not visceral organs of genetically modified Bt11-fed calves*, "Veterinary and Human Toxicology", 45 (2), pp. 72-75
- Corti M. (2008), *Le problematiche agroambientali del sistema di produzione del Grana Padano Dop. Parte I*, "Alimenta, commentario tecnico-giuridico della produzione agro-alimentare", 41 (11-12), pp. 223-232
- Deaville E.R., Maddison B.C. (2005), *Detection of transgenic and endogenous plant DNA fragments in the blood, tissues and digesta of broilers*, "Journal of Agricultural and Food Chemistry", 53 (26), pp. 10268-10275
- EFSA (2007), *Statement on the fate of recombinant DNA or proteins in meat, milk and eggs from animals fed with GM feed*
- Flachowsky G., Chesson A. (2004), *Feeds from genetically modified plants in animal nutrition*, in WAAP book of the year 2003: a review on developments and research in livestock systems, pp. 241-267
- Frøystad-Saugen M.K., Lilleeng E., Bakke-McKellep A.M., Vekterud K., Valen E.C., Hemre G.I., Krogdahl A. (2009), *Distal intestinal gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed genetically modified maize*, "Aquaculture Nutrition", 15 (1), pp. 104-115
- Guertler P., Paul V., Steinke K., Wiedemann S., Preissinger W., Albrecht C., Spiekers H., Meyer H.H.D. (2010), *Long-term feeding of genetically modified corn (MON810) - Fate of cryIAb DNA and recombinant protein during the metabolism of the dairy cow*, "Livestock Science", 131 (2/3), pp. 250-259
- Heinemann J.A. (2009), *Reports on animal exposed to GM ingredients in animal feed*. Prepared for the Commerce Commission of New Zealand, July 2009 ([www.biosafetyinfo.net/file\\_dir/16329274254b0b792716b0f.pdf](http://www.biosafetyinfo.net/file_dir/16329274254b0b792716b0f.pdf))
- Lutz B., Wiedemann S., Einspanier R., Mayer J., Albrecht C. (2005), *Degradation of CryIAb protein from genetically modified maize in the bovine gastrointestinal tract*, "Journal of Agricultural and Food Chemistry", 53 (5), pp. 1453-1456



- Mazza R, Soave M, Morlacchini M, Piva G, Marocco A. (2005), *Assessing the transfer of genetically modified DNA from feed to animals*, "Transgenic Research", 14 (5), pp. 775-784
- Mordenti A, Castro P. (2005), *Genetically modified fodders and typical products, a force coexistence*, "L'Informatore Agrario", 61 (14), pp. 47-50
- Paganelli A, Gnazzo V, Acosta H, López S.L, Carrasco A.E. (2010), *Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signalling*, "Chemical Research in Toxicology" (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/tx1001749>)
- Phipps R.H., Beever D.E., Humphries D.J. (2002), *Detection of transgenic DNA in milk from cows receiving herbicide tolerant (CP4EPSPS) soybean meal*, "Livestock Production Science", 74 (3), pp. 269-273
- Phipps R.H., Deaville E.R., Maddison B.C. (2003), *Detection of transgenic and endogenous plant DNA in rumen fluid, duodenal digesta, milk, blood, and feces of lactating dairy cows*, "Journal of Dairy Science", 86 (12), pp. 4070-4078
- Ran T, Mei L, Lei W, Aihua L, Ru H., Jie S (2009), *Detection of transgenic DNA in tilapias (Oreochromis niloticus, GIFT strain) fed genetically modified soybeans (Roundup Ready)*, "Aquaculture Research", 40 (12), pp. 1350-1357
- Sanden M, Bruce I.J., Rahman M.A., Hemre G.I. (2004), *The fate of transgenic sequences present in genetically modified plant products in fishfeed, investigating the survival of GM soybean DNA fragments during feeding trials in Atlantic salmon Salmo salar L.*, "Aquaculture", 237 (1/4), pp. 391-405
- Seralini G.E., Cellier D., Vendomois J.S. de (2007), *New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity*, "Archives of Environmental Contamination and Toxicology", 52 (4), pp. 596-602
- Scheideler S.E., Hileman R.E., Weber T., Robeson L., Hartnell G.F. (2008), *The in vivo digestive fate of the Cry3B1 protein in laying hens fed diets containing MON 863 corn*, "Poultry Science", 87 (6), pp. 1089-1097
- Sharma R, Damgaard D., Alexander T.W., Dugan M.E.R., Aalhus J.L., Stanford K., McAllister T.A. (2006), *Detection of transgenic and endogenous plant DNA in digesta and tissues of sheep and pigs fed Roundup Ready canola meal*, "Journal of Agricultural and Food Chemistry", 54 (5), pp. 1699-1709
- Tudisco R, Mastellone V, Cutrignelli M.I., Lombardi P, Bovera F, Mirabella N., Piccolo G., Calabrò S., Avallone L., Infascelli F. (2010), *Fate of transgenic DNA and evaluation of metabolic effects in goats fed genetically modified soybean and in their offspring*, "Animal", 4, pp. 1662-1671
- Yum H.Y., Lee S.Y., Lee K.E., Sohn M.H., Kim K.E. (2005), *Genetically modified and wild soybeans: an immunologic comparison*, "Allergy and Asthma Proceedings", 26, pp. 210-216



# II.

## OGM: implicazioni per la salute umana

**Mariano Bizzarri**

Dipartimento di Medicina Sperimentale  
Università La Sapienza, Roma

### **Riassunto**

*L'introduzione di piante e cibi geneticamente modificati (GM) nella dieta umana solleva interrogativi e preoccupazioni. I timori sono fondamentalmente riconducibili al fatto che l'espressione di nuove proteine da parte del/i gene/i transfettato/i possa indurre reazioni allergiche, alterare cascate metaboliche con formazione di intermedi tossici, determinare danni a carico del DNA ospite in corrispondenza del sito di inserzione o di altri segmenti del genoma. Organismi geneticamente modificati (OGM) veicolanti geni per la resistenza agli antibiotici, considerato che la trasmissione orizzontale del nuovo costruito genico è stata ora accertata anche nell'uomo, potrebbero concorrere alla diffusione del fenomeno dell'antibiotico-resistenza. Queste minacce rientrano spesso tra i cosiddetti effetti imprevisi, non prevedibili in base ai test utilizzati di routine nell'accertamento della tossicità dell'alimento. Le metodologie di accertamento del rischio e gli stessi criteri di valutazione di salubrità degli OGM (principio di equivalenza sostanziale) sono inadeguati e da alcuni anni sono stati criticati e rimessi in discussione. A fronte di questo scenario e alla luce del principio di precauzione, viene*

*a riconfermarsi la necessità di non consentire al momento il consumo di alimenti geneticamente modificati.*

## **Salubrità degli alimenti**

La difficoltà di ottenere informazioni probanti sull'innocuità dei cibi tramite studi tossicologici classici è nota da molti anni (OECD, 1996)<sup>3</sup>. Tali limitazioni si sono rese particolarmente evidenti quando si trattò di valutare l'impatto sulla salute di animali alimentati con cibi irradiati (Atherton, 2002).

Queste difficoltà si sono rivelate ancora più limitative nell'ambito delle problematiche poste dai cibi e dagli organismi geneticamente modificati (OGM). Questa situazione ha reso necessario elaborare un approccio alternativo che, in prima istanza, ha portato a sviluppare il criterio di *equivalenza sostanziale*, un parametro che, pur non essendo di per sé un criterio di valutazione dell'innocuità degli alimenti, dovrebbe consentire di determinare se l'alimento geneticamente modificato (GM) sia paragonabile, per caratteristiche e composizione, all'analogo prodotto convenzionale. Questo presupposto ha per molto tempo legittimato il ricorso a un parametro minimalista, in base al quale viene ritenuto salubre un nuovo alimento (anche se GM) purché presenti una composizione strutturale (i.e. percentuale di lipidi, vitamine, proteine e carboidrati) sostanzialmente equivalente a quella dell'alimento non modificato. Tale impostazione, derivante da una visione radicalmente riduzionista della complessità biologica, è stata sottoposta a critica severa, dato che non prende in considerazione né le modificazioni metaboliche collaterali (che possono accompagnarsi al trasferimento genico), né l'imprevista (*unintended*) comparsa di molecole (frammenti di DNA, proteine o altre sostanze) che in più di un'occasione hanno complicato l'operazione transgenica apparentemente riuscita.

A prescindere da questi limiti, sono pur tuttavia emersi con chiarezza al-

4. Aggiornamenti e revalutazioni critiche delle procedure di validazione dell'equivalenza sostanziale sono state pubblicate altresì nel 1996 e nel 1998, altre due distinte pubblicazioni sono state edite nel 2001 e nel 2008.



cuni pericoli il cui possibile impatto sulla salute umana, benché di difficile valutazione, si profila come potenzialmente elevato.

### **Resistenza agli antibiotici**

Come noto, da alcuni decenni il problema della resistenza agli antibiotici è venuto imponendosi all'attenzione della comunità scientifica e degli stessi media (Arias and Murray, 2009). Nonostante la sua drammaticità e le preoccupazioni che alimenta negli infettivologi di mezzo mondo, tale questione non sembra avere sollevato l'interesse che merita da parte delle autorità preposte alla tutela della sanità (Gorbach, 2001). Questo scenario rischia di aggravarsi ulteriormente proprio a causa delle tecnologie impiegate nella produzione di semi GM.

Infatti, per identificare i geni introdotti negli organismi geneticamente modificati è spesso necessario inserire un gene capace di conferire resistenza agli antibiotici, in modo che questo funga da marcatore delle cellule che hanno ricevuto il transgene. Fino a pochi anni fa si riteneva impossibile che un gene di resistenza agli antibiotici potesse essere trasferito da una pianta modificata a un batterio (Schluter *et al.*, 1995). Tuttavia, la storia della biologia molecolare è fatta di impossibilità relative: ciò che oggi appare improbabile, domani rischia di diventare realtà. Il gene che conferisce la resistenza alla kanamicina, integrato nel genoma della barbabietola da zucchero transgenica, è stato dimostrato essere in grado di trasformare l'*Acinetobacter sp.*, trasferendogli la resistenza (Gebhard and Smalla, 1998). Il fenomeno è stato successivamente documentato anche per altre sequenze geniche che conferiscono resistenza ad antibiotici come la neomicina e l'ampicillina (Droge *et al.*, 1998).

I produttori di semi GM hanno addotto motivazioni diverse a giustificazione di questa pratica che, tuttavia, è stata criticata anche da scienziati non certo ostili nei riguardi della transgenesi vegetale (Kupier and Kleter, 2003). Le argomentazioni sviluppate dai sostenitori dei cibi *biotech* insistono sulla bassa probabilità di trasmissione dei marcatori di resistenza ai batteri della flora intestinale e sulla irrilevanza statistica delle possibili conseguenze



(Konov, 2002), dato che l'intestino umano presenta già elevate concentrazioni di microbi resistenti. Tuttavia, per quanto infrequente, un determinato evento rischia di assumere proporzioni statisticamente rilevanti se riguarda popolazioni di centinaia di milioni di individui: nell'intestino di un essere umano esistono miliardi di batteri, mentre centinaia di milioni sono le persone potenzialmente consumatrici di cibi geneticamente modificati. Non occorre essere grandi matematici per calcolare che frequenze inverosimilmente basse possano in questo modo portare a un numero elevatissimo e significativo di eventi di trasmissione genica.

Non serve in questi casi cercare di minimizzare la portata del problema con il sottolineare che riguardi esclusivamente antibiotici scarsamente utilizzati, come la kanamicina e la neomicina (D'Agnolo, 2005), nei confronti dei quali numerosi ceppi microbici hanno ormai da tempo sviluppato resistenza. Innanzitutto, sia la kanamicina sia la neomicina fanno ancora parte integrante dell'arsenale terapeutico del medico e conservano la loro specificità nella cura di alcune infezioni<sup>4</sup>. In secondo luogo, perché il fenomeno della resistenza e del trasferimento orizzontale di questa interessa anche altri farmaci di uso corrente – come l'ampicillina – e a largo spettro di attività. È per questo legittima la preoccupazione in base alla quale la diffusione di cibi transgenici potrebbe costituire una possibile causa di resistenza agli antimicrobici, soprattutto alla luce dell'ormai comprovata esistenza della trasmissione genica, attraverso la quale segmenti di DNA presenti in un determinato microambiente possono essere assorbiti dai batteri e integrati nel loro patrimonio cromosomico.

Il trasferimento genico è infatti stato osservato in coltura (Saunders and Saunders, 1993), così come *in vivo*: nel pollo (Guillot and Boucaud, 1992) e nel topo (Wilcks *et al.*, 2004), sia a livello del tubo digerente sia

4. In Finlandia hanno cominciato ad adottare misure in questo senso: con la riduzione delle prescrizioni di eritromicina, la frequenza di ceppi di *Streptococcus pyogenes* resistenti è passata in poco tempo dal 19,8% all'8% (cfr. Levy S.B. (1992), *Antibiotic paradox: how miracle drugs are destroying the miracle*, Plenum Pub. Corp., New York, p. 172 e seguenti).



nella bocca (Doucet, 1992). Il prerequisito perché ciò possa accadere è che i segmenti di acido nucleico possano sopravvivere all'ambiente acido dello stomaco e giungere nell'intestino in quantità e lunghezze significative. Fino a qualche anno fa si riteneva che il DNA contenuto negli alimenti venisse completamente degradato grazie all'azione congiunta delle nucleasi e delle secrezioni acide dello stomaco. In realtà oggi sappiamo che tale degradazione non è né completa né istantanea e può essere modulata anche in modo considerevole da numerosi fattori (lunghezza del tratto intestinale, acloridria, stipsi cronica), che prolungano la sopravvivenza del DNA estraneo favorendone il transito lungo l'apparato intestinale (Palka-Santini, 2003). Intere sequenze geniche possono così sopravvivere alle procedure di cottura e di confezionamento degli alimenti; il procedimento usuale per il trattamento di farine animali o di altri cibi – riscaldamento a secco a 90°C per 30 minuti – lascia il DNA praticamente intatto e in concentrazioni superiori alle 100 parti per miliardo (o parti per bilione, ppb), ben al di sopra della soglia delle 25 ppb ritenuta necessaria per evitare l'insorgere di reazioni autoimmuni e di fenomeni di trasferimento orizzontale (Forbes, 1998). È da tempo stato dimostrato come sequenze estranee di DNA addizionate alla dieta dei topi possano, in percentuale significativa (5%), superare la barriera gastrica ed essere assorbite dal sistema circolatorio, attraverso cui possono raggiungere organi e cellule distanti, dove si integrano nel genoma della cellula-ospite (Schubbert *et al.*, 1994). Sequenze di DNA estraneo, somministrate con gli alimenti a topine gravide, passano attraverso la placenta e raggiungono il feto, finendo con l'essere captate all'interno di organi e cellule, dove possono venire integrate nel genoma dell'ospite (Schubbert *et al.*, 1998). L'inserzione di DNA estraneo nel genoma delle cellule di mammifero innesca una serie di eventi complessi che tendono a silenziare l'attività del segmento genico estraneo con l'intento di preservare le caratteristiche identitarie del genoma ospite (Heller *et al.*, 1995). Tuttavia, se tale processo è inefficiente, l'inserzione del DNA

estraneo potrebbe svolgere un ruolo tutt'altro che indifferente nella genesi di fenomeni evolutivi o patogenetici, tra cui l'insorgenza di tumori o l'accentuazione di processi mutagenici (Doerfler, 1997).

La sopravvivenza nel tratto gastrointestinale è stata accertata anche per segmenti di DNA transgenico, in animali alimentati con cibi geneticamente modificati. La probabilità che ciò accada dipende anche qui da numerosi fattori che coinvolgono la stabilizzazione del DNA e il numero di copie del transgene inserite nell'alimento modificato (Klotz *et al.*, 2002; Reuter and Aulrich, 2003). Il fenomeno descritto non è limitato agli animali alimentati con OGM, ma riguarda anche l'uomo: dal 6% al 25% dei plasmidi geneticamente modificati sopravvivono alla degradazione operata dagli enzimi salivari e riescono a integrarsi nel DNA dello *Streptococcus gordonii*, normalmente presente nelle mucose umane (Mercer *et al.*, 1999). Il transgene *bla* del mais modificato, codificante per la  $\beta$ -lattamasi – enzima che conferisce resistenza all'ampicillina – resiste alla degradazione enzimatica per circa un'ora quando viene incubato con la saliva (Duggan *et al.*, 2000). Il DNA transgenico è stato ritrovato nell'intestino tenue dei volontari umani alimentati con soia geneticamente modificata. In tre casi su sette si poteva riscontrare «un trasferimento genico di bassa frequenza dalla soia GM alla microflora intestinale» (Netherwood *et al.*, 2004). Gli autori dello studio, pur sottolineando l'importanza della scoperta che per la prima volta documentava la sopravvivenza del costrutto transgenico assunto dall'uomo, concludevano che tale fenomeno difficilmente avrebbe potuto costituire un pericolo per la salute. Di diverso avviso il parere di altri commentatori (Heritage, 2004) che hanno ritenuto che tale affermazione potesse essere vera nel caso dello specifico costrutto genico preso in considerazione (il transgene *epsps*), ma non esserlo nel caso di geni che codificano per la resistenza agli antibiotici. Colpisce l'elevata frequenza del trasferimento che ha riguardato tre individui su sette: questo semplice dato lascia pensare che il fenomeno non sia così raro.



## Allergie

Una delle principali preoccupazioni sollevate dall'introduzione sul mercato alimentare di cibi e/o microrganismi geneticamente modificati riguarda il pericolo di indurre reazioni allergiche, intolleranze o altre forme di alterata reattività immunologica.

Circa dieci anni fa la società di sementi Pioneer Hi-Breed, nell'intento di arricchire il valore nutrizionale della soia, aveva pensato bene di "migliorarne" il corredo genomico inserendo un gene derivato dalla noce di cocco brasiliana che, in teoria, avrebbe dovuto consentire una più elevata sintesi di albumina-2s, una proteina particolarmente ricca in metionina e in cisteina. I test di routine non avevano rilevato alcuna potenziale allergenicità, nonostante la noce di cocco fosse nota per produrre un ampio ventaglio di reazioni allergiche, dal prurito alla morte improvvisa (Gillespie, 1976). Un successivo controllo – condotto in modo indipendente da un ente universitario – ha invece documentato come il potere allergenico del nuovo prodotto fosse addirittura maggiore di quello della noce di cocco e questo nonostante fosse stato "trapiantato" nella soia un singolo gene. La Pioneer è stata costretta a ritirare le nuove sementi dopo la pubblicazione dei dati da parte del "New England Journal of Medicine". L'azienda ha provato a giustificarsi ricordando che la soia così prodotta avrebbe dovuto essenzialmente essere destinata agli allevamenti zootecnici; il fatto è che non solo non c'è modo di separare la soia destinata al consumo umano da quella prodotta per gli animali, ma è probabile che la proteina in questione possa essere assimilata dagli animali tal quale e ripresentarsi in questo modo sul tavolo dei consumatori.

L'episodio si presta a molte riflessioni. La prima riguarda la presunta necessità di dover modificare la soia per incrementarne il contenuto proteico: non si capisce infatti per quale motivo un alimento già in sé completo dovrebbe essere modificato. In secondo luogo, va rilevato che l'accertamento dell'allergenicità del prodotto avrebbe dovuto spettare alla ditta produttrice, stando alle regole sancite dalla FDA che prevedono, per l'appunto, l'esecu-

zione di test obbligatori volti ad accertare salubrità e innocuità dell'alimento *prima che questo venga immesso sul mercato*. I test realizzati dall'azienda sono stati inadeguati e insufficienti, il prodotto è stato immesso sul mercato e, anche dopo che la denuncia è stata divulgata, nulla è stato fatto per evidenziare sull'etichetta le possibili controindicazioni.

Successivamente altre aziende hanno ritenuto di dover modificare la soia introducendo nelle sementi il gene che codifica per la caseina di latte bovino (Maughan *et al.*, 1999) e di trasformare il riso transfettandolo con una sequenza proveniente dalla soia che sintetizza la glicinina (Katsube *et al.*, 1999). Nei due casi si tratta di proteine *già note per essere allergeniche*: risultano quindi di difficile comprensione i motivi di tali modificazioni che, già in partenza, minacciano di rivelarsi un rischio per la salute.

I casi sopra ricordati riguardano rischi da un certo punto di vista prevedibili, dato che il gene transfettato codifica per proteine già note per la loro allergicità, ma il potenziale allergenico dei cibi OGM è più ampio di quanto possa essere previsto (Bindsley, 1998). Le nuove proteine, di origine batterica, virale, animale e vegetale, vengono infatti ad affacciarsi *per la prima volta* nella dieta dell'uomo e poco sappiamo di come possano influenzare la nostra reattività immunologica. In secondo luogo, le modificazioni genetiche possono alterare la struttura primaria, secondaria o terziaria delle proteine, conferendo loro proprietà nuove e impreviste. Una proteina, infatti, anche se non allergenica quando prodotta nel contesto biologico da cui proviene originariamente, *può comunque diventarla* se il gene che la codifica viene trasposto artificialmente in un nuovo ambiente cellulare. L'allergenicità di questi polipeptidi non può essere dedotta dalle caratteristiche strutturali e biochimiche delle proteine parentali da cui provengono, dato che l'eventuale proteina chimerica può assumere conformazioni imprevedibili. Può accadere, inoltre, che la proteina prodotta in un contesto diverso da quello originario venga degradata o processata in modo incompleto, a maggior ragione se essa presenta configurazioni anomale.

Inoltre, individuare il potenziale allergenico non è banale: il parametro più



affidabile resta, ancora oggi, l'anamnesi accurata, capace di svelare specifiche reazioni negative ai cibi intercorse nel corso della vita della persona (Jansen *et al.*, 1994). Le reazioni avverse possono essere di natura non-immunologica (intolleranze) o mediate dalla reazione del sistema immunitario. Queste ultime, nella maggior parte dei casi, dipendono dalla secrezione di immunoglobuline specifiche (IgE) a opera di linfociti di tipo B. Tuttavia non tutte le allergie sono mediate da IgE: alcune sono ritardate – soprattutto quelle rivolte contro latte e derivati nei bambini – e possono indurre una sindrome enterocolitica caratterizzata da vomito, diarrea e, negli adolescenti, ritardo nella crescita (Lake, 1997). Le ricerche finora condotte per mettere in evidenza l'allergenicità dei cibi ingegnerizzati si sono concentrate *esclusivamente* sulle reazioni precoci mediate da IgE (Metcalf, 2003): poco si sa di altre possibili reazioni allergiche.

Sarebbe per questo auspicabile condurre rigorosi studi clinici (*postmarket surveillance*), rivolti a individuare se il nuovo prodotto possa o meno indurre reazioni allergiche a distanza di tempo (Kuiper *et al.*, 2001). Purtroppo tali indagini restano al momento solo sulla carta, nonostante siano auspicate da tutti (Hlywka *et al.*, 2003). Le difficoltà organizzative e metodologiche sono considerevoli, ma soprattutto, non essendo prevista alcuna etichettatura proprio nei Paesi dove è maggiore il consumo di OGM, risulta pressoché impossibile mettere in relazione il consumo di un dato prodotto con gli eventuali effetti secondari. L'adozione di tale normativa non solo è apertamente osteggiata dalle aziende produttrici, ma non è neanche presa in seria considerazione dagli Enti istituzionalmente preposti alla salvaguardia della salute umana. Le regole approvate dalla FDA (Maryanski, 1995), infatti, prendono esclusivamente in considerazione i dieci più noti allergeni di origine alimentare e trascurano di considerarne altri, il cui consumo è attualmente meno diffuso, ma le cui implicazioni per la salute non sono per questo meno gravi e rispetto ai quali i consumatori sono tutelati in modo inadeguato (General Accounting Office, 1993).

## Sostanze tossiche

Un articolo pubblicato su “Lancet” dell’ottobre 1999 dal gruppo di lavoro del dottor Pusztai del *Rowett Institute* ha evidenziato come le diete contenenti patate geneticamente modificate per esprimere livelli elevati della lectina agglutinina (gene bucaneve) inducessero danni rilevabili sui diversi tratti del piccolo intestino del ratto (Ewen and Pusztai, 1999). Lo studio ha fornito per la prima volta la prova sperimentale di un danno biologico correlato all’assunzione di OGM. I risultati ottenuti da Pusztai sono stati indirettamente confermati da studi originariamente rivolti a valutare eventuali effetti indesiderati prodotti dalle patate GM sugli insetti. In una ricerca condotta dallo *Scottish Crop Research Institute* (Birch *et al.*, 1999), alcune coccinelle sono state alimentate per dodici giorni con afidi nutriti con foglie di patate geneticamente modificate in cui, come nell’esperimento di Pusztai, era stato inserito il gene bucaneve. Le coccinelle hanno mostrato una ridotta fertilità – con un tasso di uova fecondate che è passato dal 95% al 78% – e un crollo della vita media superiore del 50%. Risultati per certi versi analoghi erano stati in precedenza pubblicati da Fares un anno prima: animali alimentati con patate GM – transfettate con il gene di *Bacillus thuringensis* per produrre la specifica endotossina – manifestavano anomalie agli enterociti dell’ileo (Fares and El-Sayed, 1998).

Ulteriori conferme sono venute da studi italiani. Ratti alimentati con soia geneticamente modificata per sviluppare la resistenza al glifosato (soia Roundup Ready) hanno presentato alterazioni a carico del pancreas (Malatesta *et al.*, 2003), con riduzione della sua efficienza enzimatica (Malatesta *et al.*, 2002) e attenuazione dell’attività metabolica cellulare, e delle cellule epatiche, indicative di un generale incremento metabolico (Malatesta *et al.*, 2002). Alterazioni analoghe sono state rilevate anche nei testicoli degli animali (Vecchio *et al.*, 2004). Un precedente lavoro – realizzato dalla Monsanto (Hammond *et al.*, 2004) – non era stato in grado di rilevare nessuna alterazione a carico dei ratti alimentati con grano geneticamente modificato con lo stesso transgene della soia Roundup: va rilevato che in quel caso gli animali erano stati sottoposti a un periodo troppo breve (13 settimane) di



alimentazione sperimentale, un limite cui sembrano incorrere anche altri studi condotti sugli animali e che, forse proprio per questo, non riescono a evidenziare alcun effetto negativo (Hashimoto *et al.*, 1999).

Ancora più rilevanti sono i dati rilevati su ratti alimentati con il mais modificato MON863, prodotto dalla Monsanto. Questa varietà di mais è stata al centro di veementi polemiche e controversie, culminate nella decisione della Corte di Appello di Münster, in Germania, di consentire l'accesso ai dati inerenti i risultati della sperimentazione condotta dalla Monsanto sugli animali, dati su cui si era basata l'autorizzazione concessa nel 2005. Quei dati, successivamente pubblicati dal gruppo di Hammond (Hammond *et al.*, 2006) sotto supervisione della stessa Monsanto, sono stati rianalizzati dal gruppo di Séralini, dopo avere intentato e vinto un ulteriore ricorso legale cui l'azienda produttrice si era strenuamente opposta fino all'ultimo. Mentre la metodologia statistica utilizzata da Hammond e collaboratori non aveva permesso di evidenziare differenze significative, l'approccio analitico di Séralini ha consentito di portare alla luce ben altre evidenze. I ratti alimentati con MON863 presentavano chiari segni di tossicità epatorenale (in 18 casi su 20, non considerati rilevanti dagli esperti della Monsanto), aumento dei lipidi, riduzione nell'escrezione di sodio e fosforo, ritardi nella crescita ponderale (Séralini *et al.*, 2007).

### **Instabilità genomica ed effetti pleiotropici**

Le attuali tecniche di trasferimento dei geni non permettono di guidare l'inserimento del segmento estraneo di DNA in una posizione precisa del genoma. Il gene può ritrovarsi collocato in una zona cieca, che gli può impedire di esprimere qualunque funzione, così come in settori dove la sua attività viene più o meno influenzata dai geni vicini. Il contesto spaziale in cui si integra il frammento genico ne condiziona, quindi, la stessa espressione (*effetto di posizione*). Il DNA non è insomma una semplice successione di segmenti di acidi nucleici specializzati associati a casaccio, così come una città non è una successione di case, negozi e monumenti: ciascun elemento vi occupa un



posto definito, unico ed essenziale. Il posto che un determinato segmento genico occupa non è indifferente rispetto alla funzione espressa. Questo non vuol dire che sia obbligato, ma solo che esistono probabilmente posizioni incompatibili con l'espressione del gene stesso o altre che lo privano delle necessarie connessioni con geni regolatori e operatori, o altre ancora che ne stimolano maggiormente l'espressione. Indubbiamente una qualunque cellula vivente in cui sia stato artificialmente inserito un nuovo segmento genetico presenta una maggiore instabilità del genoma e una propensione ad andare incontro a mutazioni spontanee. I geni esogeni inseriti in modo casuale determinano condizioni di riarrangiamento del DNA, con possibili alterazioni nell'espressione di geni differenti da quello trapiantato ed espressione di proteine leggermente modificate e, proprio per questo, potenzialmente dannose. Modificazioni di questo tipo sono verosimilmente all'origine di fenomeni inaspettati di tossicità, presentati da cibi modificati come la colza e la barbabietola da zucchero (Tardieu, 1996): una modificazione anche minima può avere conseguenze più ampie, soprattutto se riattiva tossine normalmente bloccate, come i glucosinolati e l'acido erucico della colza.

## **Conclusioni**

Modificare il genoma di una semente può determinare effetti metabolici inattesi e potenzialmente dannosi. Un esempio paradigmatico è quello offerto dalla modifica indotta su alcuni enzimi del lievito, volta ad accelerare alcune tappe della degradazione del glucosio. Come atteso, l'aumentata concentrazione dell'enzima del lievito aveva generato un accumulo del prodotto della reazione catalizzata dall'enzima stesso. Il composto in questione è un intermedio nel processo di degradazione degli zuccheri che, in condizioni fisiologiche, non si accumula solo perché viene prodotto a una velocità di gran lunga inferiore a quella con cui viene ulteriormente trasformato lungo la cascata enzimatica. Disgraziatamente il prodotto in questione è il metil-gliossale, un cancerogeno conosciuto, le cui concentrazioni risultavano essere trenta volte superiori a quelle rilevate nei ceppi



di lievito non modificati. L'esperimento è stato bloccato, dato che risultava evidente come «nelle cellule di lievito geneticamente modificato il metabolismo è sensibilmente perturbato dai geni introdotti o dai loro prodotti e la perturbazione provoca l'accumulo del composto tossico e indesiderato (il metil-gliossale) nelle cellule. Tale accumulo può comportare degradazioni del DNA, il che suggerisce che il concetto scientifico di equivalenza sostanziale utilizzato per gli studi sulla sicurezza degli alimenti geneticamente modificati non sempre si applica ai microbi geneticamente modificati. [...] I risultati presentati possono sollevare alcuni *problemi relativi alla sicurezza e all'accettabilità degli alimenti geneticamente modificati* e dare ragione ai molti consumatori che non sono ancora pronti ad accettare alimenti prodotti mediante tecniche di manipolazione genetica» (Inose and Murata, 1995).

## Bibliografia

- Arias C.A., Murray B.E. (2009), *Antibiotic-Resistant Bugs in the 21st Century - A Clinical Super-Challenge*, "The New England Journal of Medicine", 360 (5), pp. 439-443
- Atherton K.T. (2002), *Safety assessment of genetically modified crops*, "Toxicology", 181, pp. 421-426
- Bindslev J.C. (1998), *Allergy risks of genetically engineered foods*, "Allergy", 53, pp. 58-61
- Birch N.A.E., Geoghegan I.E., Majerus M.E.N., McNicol J.W., Hackett C.A., Gatehouse A.M.R., Gatehouse J.A. (1999), *Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance*, "Molecular Breeding", 1, pp. 75-83
- D'Agnolo G. (2005), *GMO: Human Health Risk Assessment*, "Veterinary Research Communications", 29 (Suppl. 2), pp. 7-11
- Doucet F. (1992), *Conjugal transfer of genetic information in gnotobiotic mice*, in M.J. Gauthier, *Microbial Releases*, Springer Verlag, Berlin
- Doerfler W., Schubert R., Heller H., Kammer C., Hilgher-Eversheim K., Knoblauch M., Remus R. (1997), *Integration of foreign DNA and its consequences in mammalian systems*, "Tibtech", 15, pp. 297-301
- Droge M., Puhler A., Selbitschka W. (1998), *Horizontal gene transfer as a biosafety issue: a natural phenomenon of public concern*, "Journal of Biotechnology", 64, pp. 75-90
- Duggan P.S., Chambers P.A., Heritage J., Forbes J.M. (2000), *Survival of free DNA encoding antibiotic resistance from transgenic maize and the transformation activity of DNA in ovine saliva, ovine rumen fluid and silage effluent*, "FEMS Microbiology Letters", 191, pp. 71-77



- Ewen S.W., Pustzai A. (1999), *Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing lectin on rat small intestine*, "The Lancet", 354, pp. 1353-1354
- Fares N.H., El-Sayed A. K. (1998), *Fine structural changes in the ileum of mice fed on delta-endotoxin-treated potatoes and transgenic potatoes*, "Natural Toxins", 6, pp. 219-233
- Forbes J.M. (1998), *Effect of feed processing conditions on DNA fragmentation*, UK Ministry of Agriculture Fisheries and Food, Section 5, Scientific Report, London
- Gebhard F., Smalla K. (1998), *Transformation of strain BD413 by transgenic sugar beet DNA*, "Applied and Environmental Microbiology", 64, pp. 1550-1554
- General Accounting Office (1993), *Food quality and safety: innovative strategies may be needed to regulate new food technologies*, Washington, D.C.
- Gillespie D.N., Nakajima M.D.S., Gleich M.D. (1976), *Detection of allergy to nuts by the radial allergosorbent tests*, "Journal of Allergy and Clinical Immunology", 57, pp. 302-309
- Gorbach S.L. (2001), *Editorial: antimicrobial use in animal feed: time to stop*, "The New England Journal of Medicine", 345 (16), pp. 1202-1203
- Guillot J.F., Boucaud J.L. (1992), *In vivo transfer of a conjugative plasmid between isogenic Escherichia coli strains in the gut of chickens, in the presence and absence of selective pressure*, in M.J. Gauthier, *Microbial Releases*, Springer Verlag, Berlin, pp. 167-174
- Hammond B., Dudek R., Lemen J., Nemeth M. (2004), *Results of a 13 week safety assurance study with rats fed grain from glyphosate tolerant corn*, "Food and Chemical Toxicology", 42, pp. 1003-1014
- Hammond B., Lemen J., Dudek R., Ward D., Jiang C., Nemeth M., Burns J. (2006), *Results of a 90-day safety assurance study with rats fed grain from rootworm-protected corn*, "Food and Chemical Toxicology", 44, pp. 147-160
- Hashimoto W., Momma K., Yoon H-J., Ozawa S., Ohkawa Y., Ishige T., Kito M., Utsumi S., Murata K. (1999), *Safety assessment of transgenic potatoes with soybean glycinin by feeding studies in rats*, "Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry", 63, pp. 1942-1946
- Heller H., Kammer C., Wilgenbus P., Doerfler W. (1995), *Chromosomal insertion of foreign (adenovirus type 12, plasmid or bacteriophage) DNA is associated with enhanced methylation of cellular segments*, "Proceedings of National Academy Sciences", 92, pp. 5515-5519
- Heritage J. (2004), *The fate of transgenes in the human gut*, "Nature Biotechnology", 2, pp. 170-172
- Hlywka J.J., Reid J.E., Munro J.C. (2003), *The use of consumption data to assess exposure to biotechnology-derived foods and the feasibility of identifying effects on human health through post-market monitoring*, "Food and Chemical Toxicology", 41, pp. 1273-1282
- Inose T., Murata K. (1995), *Enhanced accumulation of toxic compound in yeast having glycolytic activity; a case-study on the safety of genetically engineered yeast*, "International Journal of Food, Science & Technology", 30, pp. 141-145



- Jansen J.J., Kardinaal A.F., Huijberg G., Vlieg-Boerstra B.J., Martens B.P., Ockhuizen T. (1994), *Prevalence of food allergy and intolerance in the adult Dutch population*, "Journal of Allergy and Clinical Immunology", 93, pp. 446-456
- Katsube T., Kurisaka N., Ogawa M., Maryama N., Ohtsuka R., Utsumi S., Takaiwa F. (1999), *Accumulation of soybean glycinin and its assembly with the glutenins in rice*, "Plant Physiology", 120, pp. 1063-1073
- Klotz A., Mayer J., Eispänier R. (2002), *Degradation and possible carry over effects of feed DNA monitored in pigs and poultry*, "European Food Research and Technology", 214, pp. 271-275
- Konov A.L. (2002), *Biotechnology and the Horizontal Gene Carrying: can one eat genetically modified products and acquire the resistance to antibiotics?*, "Ekologija i Zhizn'", 2, pp. 66-68
- Kuiper H.A., Kleter G.A., Noteborn H.P.J.M., Kok E.J. (2001), *Assessment of food safety issues related to genetically modified foods*, "The Plant Journal", 27(6), pp. 503-528
- Kuiper H.A., Kleter G.A. (2003), *The scientific basis for risk assessment and regulation of genetically modified foods*, "Trends in Food Science & Technology", 14, pp. 277-293
- Lake A.M. (1997), *Food protein-induced colitis and gastroenteropathy in infants and children*, in *Food Allergy: Adverse Reactions to Foods and Food Allergies*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 277-286
- Malatesta M., Caporaloni C., Gavaudan S., Rocchi M.B.L., Serafini S., Tiberi C., Gazzanelli G. (2002), *Ultrastructural morphometric and immunocytochemical analyses of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean*, "Cell Structures and Function", 27, pp. 173-180
- Malatesta M., Caporaloni C., Rossi L., Battistelli S., Rocchi M.B.L., Tonucci F., Gazzanelli G. (2002), *Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean*, "Journal of Anatomy", 201, pp. 409-415
- Malatesta M., Biggiogera M., Manuali E., Rocchi M.B.L., Baldelli B., Gazzanelli G. (2003), *Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on genetically modified soybean*, "European Journal of Histochemistry", 47 (4), pp. 385-388
- Maryanski (1995), "Food Chemical News", January 23, pp. 34-35
- Maughan P.J., Philip R., Cho M.J., Widholm J.M., Vodkin L.O. (1999), *Biolistic transformation, expression, and inheritance of bovine beta-casein in soybean (glycine max)*, "In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant", 35, pp. 344-349
- Mercer D.K., Scott K.P., Bruce-Johnson W.A., Glover L.A., Flint H.J. (1999), *Fate of free DNA and transformation of the oral bacterium Streptococcus gordonii DL1 by plasmid DNA in human saliva*, "Applied and Environmental Microbiology", 65, p. 66
- Metcalfe D.D. (2003), *Introduction: what are the issues in addressing the allergenic potential of genetically modified foods?*, "Environmental Health Perspectives", 111 (8), pp. 1110-1113



- Netherwood T., Martin-Orue S.M., O'Donnell A.G., Gokling S., Graham J., Mathers J.C., Gilbert H.J. (2004), *Assessing the survival of transgenic plant DNA in the human gastrointestinal tract*, "Nature Biotechnology", 22, pp. 204-209
- OECD (1996), *Food safety evaluation*, Report of workshop held in Oxford, UK, September 12-15, Softcover
- Palka-Santini M., Schwarz-Herzke B., Hosel M., Renz M., Auerochs S., Brondke H., Doerfler W. (2003), *The gastrointestinal tract as the portal of entry for foreign macromolecules: fate of DNA and proteins*, "Molecular Genetics and Genomics", 270, pp. 201-215
- Reuter T., Aulrich K. (2003), *Investigation on genetically modified maize (Bt maize) in pig nutrition: fate of feed-ingested foreign DNA in pig bodies*, "European Food Research and Technology", 216, pp. 185-192
- Saunders J.R., Saunders V.A. (1993), *Genotypic and phenotypic methods for the detection of specific released microorganisms*, in C. Edwards, *Monitoring Genetically Modified Organisms in the Environment*, J. Wiley & Sons Ltd, New York
- Schluter K., Futterer J., Potrykus I. (1995), *Horizontal gene transfer from a transgenic potato line to a bacterial pathogen (Erwinia shrysanthemii) occurs, if at all, at an extremely low frequency*, "Biotechnology", 13, pp. 1094-1098
- Shubbert R., Hohlweg U., Renz D., Doerfler W. (1998), *On the fate of food ingested foreign DNA in mice chromosomal association and placental transmission to the foetus*, "Molecular Genetics and Genomics", 259, pp. 569-576
- Shubbert R., Lettmann C., Doerfler W. (1994), *Ingested foreign (phage M13) DNA survives transiently in the gastrointestinal tract and enters the blood-streams of mice*, "Molecular Genetics and Genomics", 242, p. 495
- Séralini G-E., Collier D., Spiroux de Vendomois J. (2007), *New analysis of a rat feeding study with genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity*, "Archives of Environmental Contamination and Toxicology" 52 (4), pp. 596-602
- Tardieu V. (1996), *La génétique menace-t-elle l'alimentation?*, Dossier "Science et Vie", 950, pp. 33-35
- Vecchio L., Cisterna B., Malatesta M., Martin T.E., Biggiogera M. (2004), *Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean*, "European Journal of Histochemistry", 48 (4), pp. 449-454
- Wilcks A., van Hoek A.H.A.M., Joosten R.G., Jacobsen B.B.L., Aarts H.J.M. (2004), *Persistence of DNA studied in different ex vivo and in vivo rat models simulating the human gut situation*, "Food and Chemical Toxicology", 42, pp. 493-502



# 12.

## L'impatto socio-economico degli OGM: perché non è ancora possibile introdurli nel nostro ambiente

**Gianluca Brunori**

*Docente di Sviluppo rurale, Dipartimento di Agronomia e Gestione dell'agroecosistema,*

*Laboratorio di studi rurali Sismondi, Università di Pisa*

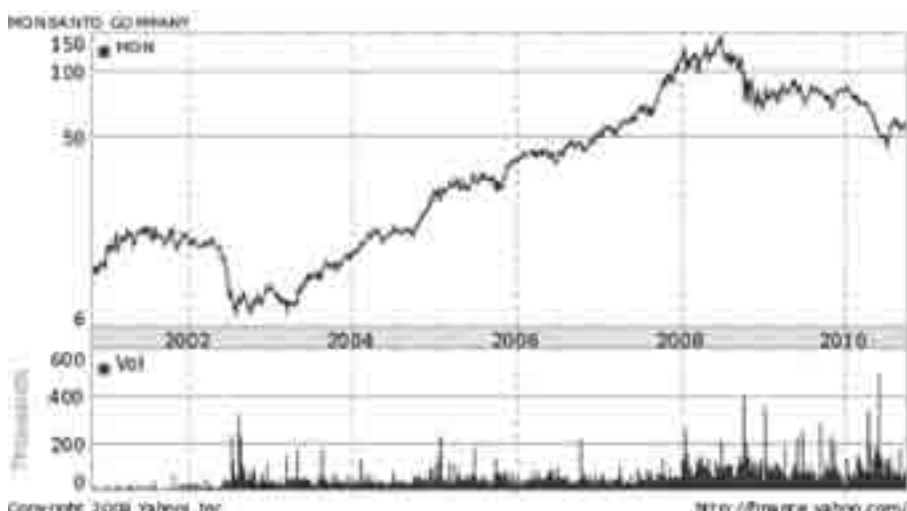
### **Riassunto**

*Sulla base della letteratura esistente, il paper traccia un quadro degli aspetti più rilevanti dell'impatto socio-economico degli organismi geneticamente modificati (OGM), da cui emergono le seguenti conclusioni: a) gli OGM non rispondono a molti dei requisiti di un'agricoltura basata su un concetto forte di sostenibilità quale quello necessario in tempi di crisi ambientale. Anche se fosse accertato che le varietà GM sono più efficienti ecologicamente dell'agricoltura convenzionale, non è scontato che queste siano in grado di affrontare i problemi della scarsità e della vulnerabilità dei sistemi agricoli. Anzi, in alcuni casi potrebbero aggravarli; b) c'è un urgente bisogno di ricerca indipendente e di adeguati canali di comunicazione sugli impatti attuali e futuri degli OGM sull'ambiente, sulla sicurezza alimentare e sulla società. Il quadro normativo sarà cruciale per i futuri sviluppi e impatti degli OGM. In particolare vengono identificati tre aspetti su cui concentrare la riflessione: il regime di autorizzazione e in particolare le procedure di analisi del rischio; le norme sulla coesistenza, la capacità degli stati membri di implementarle in modo efficace, la distribuzione dei costi dell'implementazione e della responsabilità per eventuali danni; le norme sulla proprietà intellettuale.*

## Alcuni fatti recenti

Secondo le più recenti statistiche, nel mondo sono coltivati 134 milioni di ettari di colture geneticamente modificate (GM), circa il 10% della terra arabile. Al momento, più del 90% è rappresentato da quattro colture (soia, colza, mais, cotone) e due tratti: resistenza agli insetti e tolleranza agli erbicidi (ISAAA, 2009). Gran parte della crescita delle vendite di sementi GM nel mondo è dovuta a varietà con tratti multipli (tolleranza agli erbicidi + resistenza agli insetti), con la tolleranza agli erbicidi che si avvia a diventare un tratto comune a tutte le varietà commercializzate. La crescita della coltivazione di organismi geneticamente modificati (OGM) è stata accompagnata da una crescente concentrazione del mercato delle sementi. Nel 2006, le prime quattro imprese di produzione di sementi avevano una quota di mercato pari al 44% del totale del mercato delle sementi. Chi ha beneficiato di questa crescita?

La risposta è facile: basta considerare la crescita del valore delle azioni di Monsanto negli ultimi anni, con un picco (2008) nell'anno in cui si è registrata una delle crisi agricole più intense di tutti i tempi<sup>5</sup>.



5. A partire dal 2008 si registra la crisi finanziaria globale, da cui anche Monsanto è stata influenzata, anche se molto meno di altri.

Per quello che riguarda l'adozione da parte degli agricoltori ci sono almeno tre spiegazioni.

- La tolleranza agli erbicidi incontra le esigenze delle imprese agricole grandi e specializzate. Infatti, le coltivazioni tolleranti agli erbicidi consentono la semplificazione delle operazioni, la riduzione dei costi del lavoro e il conseguimento di economie di scala. Questo però non riguarda i piccoli agricoltori, che di fronte a questa avanzata sono costretti dai debiti e dagli stenti a cedere la propria terra alle aziende più grandi.
- La resistenza agli insetti è percepita dagli agricoltori come un'assicurazione contro il rischio di attacchi e dunque come un incentivo alla riduzione della spesa per pesticidi. Ma questo da una parte genera maggiori costi quando gli attacchi non si verificano e, dall'altra, non mette al riparo dall'insorgenza di insetti resistenti o dalla maggiore aggressività di insetti minori, come è stato osservato da tempo in Cina (Yanhui, 2010).
- In territori dove le reti di distribuzione delle grandi compagnie sono molto dense e vicine al monopolio, il marketing delle sementi di OGM è molto aggressivo e lascia pochi margini di scelta agli agricoltori.

### **L'impatto presunto e accertato**

La Tabella 1 mostra una lista dei principali fattori di impatto rilevati in letteratura e un'analisi del grado di consenso sulla presenza e sul livello di impatto. Su alcuni fattori, come nel caso delle superinfestanti o della resistenza agli insetti, non ci sono controversie sulla loro esistenza, quanto piuttosto sul livello di danno che questi possono provocare. Per quello che riguarda in particolare gli aspetti socio-economici, i principali riguardano:

- marginalizzazione tecnologica dei piccoli agricoltori, che significa rovina o progressivo impoverimento con effetti differenziati a seconda delle caratteristiche dei Paesi in cui si verifica;



- contaminazione genetica di coltivazioni ad alto valore aggiunto, con conseguente perdita di valore commerciale;
- erosione della biodiversità e riduzione delle conoscenze in campo agricolo;
- concentrazione crescente del settore della produzione di sementi e formazione di catene globali del valore fortemente controllate dall'agribusiness.

**Tabella 1.** Impatto degli OGM e grado di consenso intorno alla reale presenza.

Impatti	Grado di consenso sui fatti	Grado di consenso sulla rilevanza	Argomenti
Superinfestanti*	Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> gli eventi finora accaduti non sono rilevanti quantitativamente <b>Contro OGM:</b> chiari segni di pericolo
Sviluppo di insetti resistenti (Qiu, 2008)	Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> è sufficiente seguire specifiche regole agronomiche per evitarlo <b>Contro OGM:</b> lo sviluppo degli OGM può creare un ciclo perverso come quello dei pesticidi
Mettono in pericolo la biodiversità	Moderato	Basso	<b>Pro OGM:</b> non c'è alcuna differenza rispetto all'agricoltura convenzionale <b>Contro OGM:</b> gli OGM perpetuano e aggravano i problemi generati dall'agricoltura convenzionale
Emergenza e sviluppo di insetti minori (Yanhui <i>et al.</i> , 2010)	Moderato / Alto	Basso / Moderato	<b>Pro OGM:</b> il fenomeno è ancora circoscritto, i benefici sono molto superiori ai costi <b>Contro OGM:</b> chiari segni di pericolo
Incentivo alla monocoltura e all'agricoltura industriale	Alto	Alto	<b>Pro OGM:</b> sono un avanzamento rispetto all'agricoltura convenzionale <b>Contro OGM:</b> gli OGM perpetuano e aggravano i problemi generati dall'agricoltura convenzionale (Gurian-Sherman, 2009)
Contaminazione di specie selvatiche (riso)	Moderato	Basso	<b>Pro OGM:</b> manca evidenza empirica scientificamente testata



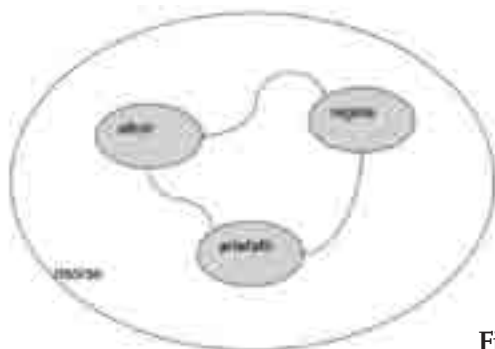
Resistenza agli antibiotici apportata dai markers	Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> la tecnica è ormai superata <b>Contro OGM:</b> nonostante la tecnica sia superata, per diversi anni circoleranno sementi ottenute con questo metodo
Crescente concentrazione del settore delle sementi	Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> i monopoli sfruttano le economie di scala e d'altronde sono generati dagli alti costi necessari per l'applicazione delle regole vigenti <b>Contro OGM:</b> la concentrazione crea dipendenza e vulnerabilità tra i soggetti più deboli
Chiara vantaggio per aziende di grande scala, monoculturali, specializzate	Moderato / Alto	Molto basso	<b>Pro OGM:</b> molti piccoli agricoltori nel mondo hanno adottato questa tecnologia <b>Contro OGM:</b> gli OGM hanno contribuito ad aggravare il problema della marginalizzazione degli agricoltori più piccoli
Gli OGM non offrono benefici ai consumatori	Moderato	Basso	<b>Pro OGM:</b> i consumatori possono beneficiare dei prezzi ridotti. Inoltre, alcuni prodotti in via di messa a punto miglioreranno le caratteristiche nutrizionali
Crescita della vulnerabilità dei piccoli agricoltori	Basso	Molto basso	<b>Pro OGM:</b> i costi dei semi sono ripagati dall'aumento delle rese <b>Contro OGM:</b> con gli OGM si aggrava il problema dell'indebitamento in caso di condizioni avverse
Efficienza ecologica	Basso	Molto basso	<b>Pro OGM:</b> riduzione dei pesticidi, migliore uso dell'acqua e dei fertilizzanti <b>Contro OGM:</b> queste sono promesse, per ora non esiste alcuna dimostrazione
Contaminazione di colture ad alto valore aggiunto	Moderato / Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> gli OGM sono in tutto e per tutto equivalenti ai prodotti convenzionali. Il problema è solo legato all'educazione dei consumatori.
Rilascio di tossine nel suolo	Moderato / Alto	Basso	<b>Pro OGM:</b> non c'è evidenza di impatto dannoso

\* International survey of herbicide tolerance <http://www.weedscience.org/In.asp>



Bisogna dire che la ricerca sull'impatto socio-economico è ancora a uno stadio iniziale di sviluppo, in quanto richiede un consolidamento delle metodologie e una vasta applicazione prima di essere in grado di sostenere i processi decisionali. Uno degli approcci più adeguati nell'affrontare questi aspetti parte dalla consapevolezza che le nuove tecnologie non producano gli stessi effetti ovunque e in qualsiasi contesto. Per capirne veramente i possibili impatti è necessario analizzare il sistema socio-tecnico in cui vengono inseriti. Ogni sistema socio-tecnico è basato su tre elementi: gli attori, le regole, gli artefatti, che agiscono in un contesto caratterizzato dalla disponibilità di un insieme di risorse naturali (Figura 1) e che stabiliscono specifici modelli di relazione reciproci.

Gli OGM, che in quanto tali sono da classificare all'interno degli artefatti, esprimono il proprio potenziale in funzione dei vincoli o delle risorse dati dalla specifica configurazione di un sistema socio-tecnico. Atteggiamento dei consumatori (attori), regole sulla proprietà intellettuale, sulla responsabilità, sull'ambiente, sulla ricerca (regole), e infrastrutture, distribuzione delle coltivazioni sul territorio, tecnologie di monitoraggio e controllo (artefatti) possono influenzare enormemente l'impatto socio-economico. Al momento, il sistema socio-tecnico in cui gli OGM si inserirebbero è un sistema dominato da attori esterni all'agricoltura (i produttori di input e i grandi dettaglianti), da regole sulla proprietà intellettuale che favoriscono il pieno controllo del ciclo produttivo da parte di pochi attori, da reti commerciali e di assistenza che riducono moltissimo la libertà di scelta da parte del produttore o del consumatore.



**Figura 1.** Schema di sistema socio-tecnico.



Per capire in modo adeguato l'impatto socio-economico dovremo dunque chiederci in che modo l'impatto dell'introduzione di una nuova tecnologia sarà influenzato dalle regole esistenti. Quali attori saranno i beneficiari e quali le vittime? In che modo le infrastrutture e le tecnologie esistenti influiranno sullo sviluppo di tali tecnologie? In che modo le risorse naturali verranno coinvolte in questi cambiamenti?

### **Forze motrici degli sviluppi futuri**

Per avere un'idea dell'impatto socio-economico degli OGM non possiamo ancorarci al presente, ma dovremo fare attenzione agli sviluppi futuri, tenendo conto del fatto che la diffusione di queste tecnologie genera effetti irreversibili. I principali aspetti da prendere in considerazione per analizzare gli sviluppi futuri sono: a) il numero e le caratteristiche dei prodotti già in fase avanzata di sperimentazione; b) i costi delle tecnologie GM e i tempi che intercorrono tra l'ideazione e la commercializzazione; c) le possibili alternative; d) l'evoluzione del dibattito scientifico; e) le politiche; f) i regimi di proprietà intellettuale; g) l'orientamento dell'opinione pubblica.

### *Prodotti per i quali la commercializzazione è imminente*

Se prendiamo in esame i recenti studi del Joint Research Centre della Commissione Europea (JRC, 2008), diversi nuovi tratti sono già in fase di avanzata sperimentazione e intorno al 2015 raggiungeranno la fase commerciale: si tratta di resistenza a virus, resistenza a insetti, tolleranza a stress abiotici (ad esempio la siccità), durezza. Questi tratti potranno essere applicati a piante diverse dalle prime quattro e in particolare riguarderanno gli ortaggi. Su queste previsioni, tuttavia, è bene essere prudenti, in quanto già in passato innovazioni imminenti non sono poi comparse sul mercato. Se consideriamo inoltre che il tempo necessario dalla concezione dell'idea alla commercializzazione è di dieci anni, dobbiamo mettere in conto che gli eventuali benefici delle nuove generazioni di OGM arriveranno in tempi non immediati, mentre i danni sono già accertati.

### *I costi delle tecnologie*

In totale, si calcola che lo sviluppo commerciale di una varietà con un nuovo tratto (ad esempio la resistenza alla siccità) costi circa un miliardo di dollari. I costi totali sono legati a due aspetti diversi: da una parte abbiamo il costo di ricerca e sviluppo, che tende a calare, dall'altra i costi relativi agli adempimenti legislativi, che tendono a crescere. Nel 1991 sequenziare una base di DNA costava circa 30 dollari, mentre nel 2006 il costo era caduto a un millesimo di dollaro, e tra il 2006 e il 2010 si presume (anche se non ci sono dati ufficiali) che il costo sia ulteriormente diminuito. Il sequenziamento di un intero genoma costa oggi un decimo di quello che costava dieci anni fa. Tuttavia, i costi di commercializzazione degli OGM sono anche legati agli adempimenti legislativi necessari prima del loro rilascio nell'ambiente. Per quel che riguarda i costi degli adempimenti, la stima più recente è di 425 milioni di dollari per ogni nuovo tratto commercializzato. Questo significa che se da una parte l'applicazione di queste tecnologie potrebbe diffondersi anche alle piccole e alle medie imprese, per coprire i costi degli adempimenti saranno comunque ancora necessarie le grandi.

### *Le alternative possibili*

L'avanzamento della biologia molecolare non beneficia unicamente le tecnologie legate agli OGM. Oggi è disponibile una grande varietà di applicazioni come i nuovi metodi di analisi dei fenotipi e la relativa modellistica. La possibilità di analizzare tutto quello che le cellule producono contemporaneamente e in poco tempo apre la strada a nuovi studi di fisiologia delle piante. Queste applicazioni possono aiutare enormemente il miglioramento genetico convenzionale, dando luogo a quella che viene chiamata Marker Assisted Selection (MAS), che consente di identificare in una pianta la presenza di tratti genetici rilevanti e accelerare fortemente i tempi di ricerca, di sviluppo e degli adempimenti legislativi. Un'alternativa più radicale, che potrebbe essere in uno stato di sviluppo



molto più avanzato di quello attuale, se avesse beneficiato di sostegno alla ricerca, è quella legata all'applicazione dell'ecologia alle pratiche agricole, basata su un'approfondita conoscenza delle specifiche condizioni ambientali di coltivazione e in grado di sfruttare la cosiddetta biodiversità funzionale attraverso la combinazione di piante e micro e macrofauna.

### *La regolamentazione*

Se, come si è visto, i costi derivanti dalla regolamentazione sono considerati uno dei principali ostacoli all'ulteriore sviluppo degli OGM, l'ingresso sul mercato di nuovi paesi (in particolare la Cina) fa pensare a una competizione basata sulla deregolamentazione (su questo punto la Cina è oggetto di pesanti critiche (Qiu, 2008)). Al contrario, negli Stati Uniti recenti sentenze hanno mostrato una tendenza a regolare in maniera più stretta l'immissione di OGM nell'ambiente. In Europa le regole sulla coesistenza hanno generato nuovi scenari relativi alle possibilità e ai costi di applicazione, e forti dubbi sulle effettive possibilità di controllo e di sanzione per le amministrazioni pubbliche.

### *I regimi di proprietà intellettuale*

Le regole vigenti della proprietà intellettuale sono il fattore che probabilmente influenzerà maggiormente i futuri sviluppi degli OGM. Da una parte, esiste un crescente consenso sul fatto che il quadro regolatorio attuale crei monopoli naturali e prevenga l'innovazione in settori alternativi<sup>6</sup>. Sono già adesso in atto tentativi di sottrarre la ricerca e la brevettazione al monopolio delle corporations, come quelli che sviluppano contratti di tipo Open Source. Il supporto pubblico a tali iniziative potrebbe cambiare fortemente gli scenari, inserendo le tecnologie legate agli OGM in sistemi socio-tecnici molto diversi da quelli attuali.

6. «Gene Giants typically claim any plant that has been engineered to express what the companies claim as a proprietary gene or genes – that's the standard approach that biotech companies have been using for the past two decades. With the patent grab on climate genes we're seeing far more expansive claims – which are likely to result in conflicting/overlapping claims», ETC group (2008) Communiqué - Patenting the "Climate Genes"... and Capturing the Climate Agenda.

### ***Orientamento dell'opinione pubblica***

In Europa gli OGM sono ancora largamente disapprovati dall'opinione pubblica. Che questo sia un problema è chiarissimo alle grandi corporations, che investono ingenti somme in pubbliche relazioni e in comunicazione, spesso attraverso la voce di esperti. D'altronde, un numero crescente di catene di supermercati e di industrie alimentari si ergono a interpreti delle esigenze dei consumatori escludendo i prodotti GM dalla propria offerta.

### **L'impatto socio-economico: scenari futuri**

Dall'analisi tratteggiata sopra dovrebbero essere presi in considerazione i seguenti aspetti.

- Gli OGM non sono il solo settore di ricerca che merita di essere sviluppato all'interno delle scienze agrarie, anzi esiste un ampio gruppo di settori finora trascurati il cui sostegno è molto più urgente di quello agli OGM.
- Gli OGM non rispondono a molti dei requisiti di un'agricoltura basata su un concetto forte di sostenibilità quale quello necessario in tempi di crisi ambientale. Anche se fosse accertato che le varietà GM sono più efficienti ecologicamente dell'agricoltura convenzionale, non è affatto scontato che queste siano in grado di affrontare i problemi della scarsità e delle vulnerabilità dei sistemi agricoli. Anzi, in alcuni casi essi potrebbero aggravarli.
- C'è urgente bisogno di ricerca indipendente e di adeguati canali di comunicazione sugli impatti attuali e futuri degli OGM sull'ambiente, sulla sicurezza alimentare e sulla società.

Le politiche saranno cruciali sui futuri sviluppi e impatti degli OGM, in particolare si possono identificare tre tra gli aspetti più importanti:

- il regime di autorizzazione e soprattutto le procedure di analisi del rischio;
- le norme sulla coesistenza, la capacità degli stati membri di implementarle in modo efficace, la distribuzione dei costi di implementazione e della responsabilità per eventuali danni;
- le norme sulla proprietà intellettuale.

Considerando queste tre variabili potremmo ipotizzare tre scenari alternativi, su cui sarà opportuno concentrare l'analisi (Tabella 2).

**Tabella 2.** Scenari di impatto degli OGM in funzione di diverse combinazioni delle politiche.

	<b>Autorizzazione</b>	<b>Coesistenza</b>	<b>Proprietà intellettuale</b>	<b>Impatto</b>
<b>Liberalizzazione radicale</b>	Mantenimento delle attuali procedure	Sistemi di controllo gestiti dagli Stati membri	Mantenimento dell'attuale regime	Crescente diffusione degli OGM nell'ambiente e negli alimenti
<b>Liberalizzazione prudente</b>	Irrigidimento delle procedure di analisi del rischio	Rafforzamento dei sistemi di controllo e sanzionatori	Sostegno alle forme contrattuali open source	Contenimento della diffusione e sviluppo di tecnologie alternative
<b>Divieto di impiego e commercializzazione degli OGM</b>				Sviluppo di tecnologie alternative

Il primo scenario, “Liberalizzazione radicale”, potrebbe discendere da un progressivo indebolimento del fronte anti OGM e da una caduta delle barriere da parte dei consumatori. Potrebbe applicarsi inoltre anche agli Stati membri che, nell'ipotesi di delega a questi delle decisioni relative all'autorizzazione, decidessero di liberalizzare. In questo caso, è facile ipotizzare un'applicazione alquanto carente delle norme sulla coesistenza, con la conseguente facilità di inquinamento genetico attraverso le frontiere nazionali.

Il secondo scenario, “Liberalizzazione prudente”, potrebbe contenere ma non bloccare la diffusione di tecnologie legate agli OGM. In questo caso, tuttavia, il rafforzamento delle procedure di autorizzazione della coesistenza e dei regimi di proprietà intellettuale potrebbe fare progressivamente crescere l'evidenza dei costi del rilascio di tali tecnologie e sviluppare tecniche e modelli imprenditoriali alternativi.

Il terzo scenario, “Divieto di coltivazione”, potrebbe avverarsi nel caso maturasse nell'opinione pubblica e nelle istituzioni la convinzione – sostenu-



ta da dati scientifici – che l'introduzione degli OGM genererebbe costi di gran lunga superiori ai relativi benefici. Dal divieto potrebbe discendere un chiaro impegno a sviluppare in modo coerente modelli imprenditoriali e tecnologie alternativi.

## **Conclusioni**

Amnesso (e non concesso) che si dimostri un reale beneficio dagli OGM, bisogna constatare che al momento attuale la società non è pronta alla loro introduzione e questo sarà più chiaro man mano che l'analisi di impatto socio-economico sarà considerata tra i test necessari per l'approvazione. Gli effetti socio-economici già rilevati in molte aree in cui sono stati introdotti fanno emergere un quadro piuttosto chiaro della distribuzione ineguale di benefici e costi. La progressiva diminuzione dei costi delle tecniche biomolecolari fa prevedere una pressione sempre più forte per la loro introduzione, di fronte alla quale sarà necessario incoraggiare lo sviluppo di alternative e un'adeguata conoscenza dei danni che potranno colpire i nostri sistemi socioeconomici in caso di introduzione prematura o non controllata.

## **Bibliografia**

- Gurian-Sherman D. (2009), *Failure to yield. Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops*, Union of Concerned Scientists ([www.ucsusa.org/food\\_and\\_agriculture/science\\_and\\_impacts/science/failure-to-yield.html](http://www.ucsusa.org/food_and_agriculture/science_and_impacts/science/failure-to-yield.html))
- ISAAA (2009), *Brief 41: Global Status of Commercialised Biotech/GM Crops: The first fourteen years, 1996 to 2009. Executive Summary* ([www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/executivesummary/default.asp](http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/41/executivesummary/default.asp))
- JRC (2008), *Consequences, Opportunities and Challenges of Modern Biotechnology for Europe. The Analysis Report* (<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=1640>)
- Qiu J. (2008), *Agriculture: is China ready for GM rice?*, "Nature", 455, pp. 850-852
- Yanhui L., Kongming W., Yuying J., Bing X., Ping L., Hongqiang F., Kris A.G.W., Yuyuan G. (2010), *Mid Bug Outbreaks in Multiple Crops Correlated with Wide-Scale Adoption of Bt Cotton in China*, "Science", 328, pp. 1151-1154



# 13.

## Dalla coltivazione all'impiego: la nuova frontiera del problema OGM

**Simone Vieri**

*Università La Sapienza, Roma*

### **Riassunto**

*I nuovi orientamenti della Commissione UE in materia di organismi geneticamente modificati (OGM) aprono agli Stati membri la possibilità di vietarne la coltivazione sui loro territori. Ciò evidenzia che, nella UE, la rilevanza economica del problema OGM non è riferibile alla coltivazione, ma all'impiego dei prodotti transgenici di importazione. La probabile adozione di limitazioni o divieti alla coltivazione di OGM sposterà l'attenzione sull'utilizzo di tali prodotti, comunque diffuso nelle filiere zootecniche. Il problema si porrà soprattutto per i prodotti di qualità, tra i quali, i principali sono di origine animale. L'eventuale scelta di un'agricoltura libera da OGM dovrà, infatti, trovare riscontro in analoghe scelte, almeno per le modalità di ottenimento dei prodotti di qualità, a meno di non voler compromettere l'immagine dell'intero settore agroalimentare italiano che tradizionalmente lega i suoi prodotti al territorio e, quindi, all'origine e alla qualità della materia prima da cui si ottengono.*

### **Diffusione delle coltivazioni transgeniche**

La coltivazione di piante transgeniche è praticata a livello economicamente rilevante dal 1996 e, da allora al 2010, secondo dati ISAAA (Interna-

tional Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications), le superfici interessate sono aumentate, passando da 1,7 a 148 milioni di ettari, che equivale al 9,8% delle terre coltivate globalmente nel mondo. A tale rilevante crescita in termini di superfici investite, tuttavia, non ha fatto seguito un'eguale diffusione per quanto riguarda il numero di Paesi e di specie interessate.

Nel mondo i Paesi che hanno destinato alle coltivazioni transgeniche superfici superiori a un milione di ettari sono solo 10 e sui loro territori si concentra il 98% delle coltivazioni, che risultano così distribuite: gli USA contano 66,8 milioni di ettari (45,1%), il Brasile 25,4 milioni (17,2%), l'Argentina 22,9 milioni (15,5%), l'India 9,4 milioni (6,3%), il Canada 8,8 milioni (5,9%), la Cina 3,5 milioni (2,4%), il Paraguay 2,6 milioni (1,7%), il Pakistan 2,4 milioni (1,6%), il Sud Africa 2,2 milioni (1,5%) e l'Uruguay 1,1 milioni (0,7%). Dalla somma di questi dati risulta, quindi, che il 77,8% delle coltivazioni si concentra in tre soli Paesi (USA, Brasile, Argentina) e che l'86,2% delle aree interessate si trova nel continente americano.

La stessa tendenza alla concentrazione si osserva anche analizzando il tipo di piante transgeniche che hanno trovato concreta applicazione e che, di fatto, restano limitate alle quattro specie presenti fin dal 1996: soia, mais, cotone e colza, che rappresentano, rispettivamente, il 50%, il 31%, il 14% e il 5% delle coltivazioni attuali.

Quello che si osserva, quindi, è che non si rilevano particolari evoluzioni neanche per le caratteristiche introdotte attraverso la transgenesi che continuano a essere rappresentate, in primo luogo, dalla tolleranza agli erbicidi (89,3 milioni di ettari, 61%) e, in misura minore, dalla resistenza agli insetti (17%), o dai due caratteri combinati (22%).

Dall'analisi di questi dati risulta chiaro che l'impatto dell'introduzione degli OGM sulle realtà interessate è stato molto concentrato e, di conseguenza, molto forte. Si consideri, per esempio, che nel 2009 il 77% dei 90 milioni di ettari di soia coltivati nel mondo erano costituiti da coltivazioni transgeniche e allo stesso modo lo erano anche il 49% dei 33 milioni di ettari colti-



vati a cotone, il 26% dei 158 milioni di ettari a mais e il 21% dei 31 milioni di ettari a colza.

Tali dati appaiono ancora più rilevanti se considerati in relazione al ruolo che questi Paesi rivestono nella produzione e nel commercio mondiale dei prodotti ottenuti dalle coltivazioni transgeniche.

Riguardo alle due coltivazioni principali (soia e mais), non si può non rilevare che, in entrambi i casi, i Paesi interessati alle coltivazioni transgeniche rivestono un ruolo di assoluta importanza sul fronte della produzione e del commercio. A tale riguardo si può considerare che più dell'80% della produzione e circa l'88% delle esportazioni mondiali di soia si concentrano in USA, Brasile e Argentina e che la produzione mondiale di mais è effettuata per il 37,4% dagli USA, da cui dipende anche il 48,5% delle esportazioni.

In Europa è autorizzato alla coltivazione solo il mais transgenico MON810 e la patata Amflora (450 ettari tra Repubblica Ceca, Svezia e Germania nel 2010). Il mais transgenico, coltivato fin dal 1998, inizialmente solo in Spagna (all'epoca 22 000 ettari) e adesso anche in altri cinque Paesi (Portogallo, Repubblica Ceca, Polonia, Slovacchia, Romania), nel 2010 a fronte dei circa 9 milioni di ettari coltivati a mais nella UE ha raggiunto 91 193 ettari, di cui 80 000 nella sola Spagna. Nel complesso, le coltivazioni europee di piante transgeniche sono risultate in calo del 3,75% rispetto al 2009 che, a sua volta, aveva registrato una flessione dell'11,2% sull'anno precedente.

In via generale, si ritiene rilevante evidenziare che nel 2009, per quanto riguarda la coltivazione del mais, il rapporto tra gli ettari coltivati nella UE e nel resto del mondo è di 1:12,7 per il mais convenzionale e di 1:423 per quello transgenico. Appare, quindi, necessario prendere atto che, a quindici anni dalla loro introduzione, le colture GM hanno mostrato di essere espressione di un modello di sviluppo agricolo sostanzialmente diverso da quello prevalente nella UE e che, al di là di ogni altra considerazione, questo sembra essere il principale motivo per cui il mais transgenico ha avuto una diffusione ridotta in Europa.

## **I nuovi orientamenti comunitari in materia di coltivazione di OGM**

Nella UE, la produzione e l'impiego di OGM sono regolamentati sotto tutti gli aspetti: protezione giuridica (brevettabilità) delle invenzioni biotecnologiche, rilascio ambientale e applicazioni nei campi della ricerca e della sperimentazione, immissione sul mercato, consumo umano e animale, coltivazione.

Questo insieme articolato di norme si fonda sul cosiddetto principio di precauzione, in ragione al quale sono subordinate le singole possibilità di rilascio delle autorizzazioni. Sulla base di ciò, la Commissione Europea ha sempre rigettato le richieste degli Stati membri finalizzate ad adottare limitazioni o proibizioni all'impiego di un dato OGM dopo che era già stato autorizzato, a meno che gli Stati non fossero in grado di mostrare nuove evidenze scientifiche in grado di provare l'esistenza di rischi non analizzati durante il processo di autorizzazione. Tuttavia, tale approccio ha evidenziato diverse criticità, soprattutto per quanto riguarda la coltivazione, rispetto alla quale più di uno Stato membro ha rivendicato il diritto di poter limitare o vietare anche quegli OGM già autorizzati.

Questa situazione ha creato numerosi motivi di contrasto che la Commissione UE ha inizialmente cercato di dirimere introducendo il cosiddetto principio di coesistenza, in base al quale la coltivazione di OGM autorizzati, pur non potendo essere vietata, doveva comunque essere svolta in modo tale da poter coesistere con le coltivazioni convenzionali e biologiche circostanti. La soluzione della coesistenza è stata, tuttavia, ritenuta un compromesso non accettabile da diversi Stati membri, tanto è vero che nel corso degli anni la coltivazione di piante transgeniche è stata di fatto bloccata in otto Paesi.

In questo quadro è da ritenere decisivo quanto accaduto nel marzo 2009, quando il Consiglio europeo, creando un vero e proprio precedente storico, ha respinto le proposte della Commissione la quale, in linea con quanto fatto in passato in casi analoghi, chiedeva all'Austria e all'Ungheria di abrogare le misure nazionali di salvaguardia adottate da tali Paesi contro l'impiego di alcuni OGM, misure che, di fatto, ne proibivano la coltivazione.



A seguito di ciò un gruppo di 13 Stati membri ha formalmente invitato la Commissione a elaborare proposte di modifica dell'ordinamento comunitario in materia di OGM, allo scopo di concedere ai singoli Stati la facoltà di decidere in merito alla possibilità o meno di consentire la coltivazione sul proprio territorio nazionale.

Al fine di superare tale difficile situazione, la Commissione UE ha iniziato a elaborare nuovi orientamenti in materia di coltivazione di OGM, resi noti il 13 luglio 2010 con una proposta di modifica dell'attuale direttiva e una nuova raccomandazione in tema di coesistenza.

In particolare, le nuove norme proposte specificano che le autorizzazioni rilasciate dalla Commissione non pregiudicano la possibilità per gli Stati membri di adottare misure specifiche volte a limitare o vietare la coltivazione di tutte o di una sola varietà di OGM su tutto o parte del loro territorio, compreso anche il materiale di moltiplicazione di semi e piante. Giova, tuttavia, evidenziare che le norme proposte, sebbene significativamente innovative in linea di principio, presentano comunque precise limitazioni applicative, in quanto gli eventuali divieti o restrizioni posti dagli Stati dovranno fondarsi su motivazioni che non riguardano né la valutazione di effetti negativi sulla salute e sull'ambiente, né la necessità di impedire una presenza involontaria di OGM in altri prodotti, secondo quanto già stabilito dalle norme in materia di coesistenza (che rimangono valide, anche se regolate da una nuova raccomandazione coerente con la possibilità per gli Stati di operare restrizioni o proibizioni alla coltivazione).

### **I nuovi orientamenti comunitari: problema superato o nuovo problema?**

La possibilità per gli Stati membri di operare limitazioni o prevedere divieti alla messa in coltura di piante transgeniche sui loro territori se, da un lato, sembra risolvere uno degli aspetti più controversi del problema OGM, dall'altro sposta i termini del problema dal fronte della coltivazione a quello dell'impiego dei prodotti transgenici.

Sempre secondo dati ISAAA, risulta che il mercato dei prodotti delle coltivazioni geneticamente modificate sia in costante crescita e che, nel 2010, abbia raggiunto un valore complessivo di circa 150 miliardi di dollari (+10% sul 2009). Ancora dalla stessa fonte si evince che, nello stesso anno, il valore del mercato delle sementi geneticamente modificate è stato di 11,2 miliardi di dollari, di cui il 50% imputabile alle sementi di mais, seguite da quelle di soia (37%), cotone (10%) e colza (3%).

Questi ultimi dati, unitamente a quelli precedentemente illustrati sulla concentrazione delle coltivazioni e delle esportazioni, mostrano che nella UE la rilevanza economica del problema OGM non è da riferire alla coltivazione di piante transgeniche, ma all'importazione dei relativi prodotti. A quindici anni dall'introduzione delle piante transgeniche, la UE registra una sola specie di mais GM autorizzata alla coltivazione e poco più di 90 000 ettari investiti, a fronte dei 148 milioni di ettari (di cui 46,8 milioni a mais) coltivati nei principali Paesi produttori: se ne può, pertanto, desumere che la UE non può essere considerata un mercato di particolare interesse per i produttori di sementi geneticamente modificate.

Ben diverso appare, invece, il quadro relativo alle importazioni di materie prime agricole provenienti da Paesi produttori di OGM, soprattutto per quanto riguarda la soia, le cui esportazioni mondiali sono assorbite per circa il 23% dalla UE senza che vi sia alcuna possibilità di ridurre tale dipendenza: in Europa, infatti, nel 2009 si sono coltivati appena 303 000 ettari di soia, a fronte dei circa 90 milioni di ettari destinati nel mondo a tale coltura.

Quanto appena riferito per la UE vale anche per l'Italia, dove gli OGM non hanno, né sembrano avere, alcuna possibilità di assumere una qualche rilevanza economica per ciò che riguarda la coltivazione. Tuttavia, già da alcuni anni rivestono un ruolo primario nell'importazione di prodotti da destinare alla mangimistica e, quindi, all'alimentazione degli animali.

In Italia, nel corso degli ultimi anni, il tasso di autoapprovvigionamento di mais è peggiorato in maniera significativa, passando da quasi il 98% del



2001 a meno dell'80% nel 2010. Questo passaggio, dovuto principalmente allo scarso dinamismo dell'offerta interna, è legato anche alla sostanziale stabilità registrata nel medesimo periodo sia per quanto riguarda gli ettari investiti (in media il - 0,05% annuo), sia per i livelli di produzione (in media il - 0,02% annuo).

Per migliorare il quadro dell'offerta, appare poco probabile che possa contribuire l'eventuale introduzione delle coltivazioni GM che, inserendosi nell'ambito della suddetta staticità, sarebbe destinata a venire attuata sostituendo e non aggiungendosi agli ettari già coltivati. Da considerare, inoltre, che le importazioni italiane di mais provengono per la gran parte (circa l'80%) da Paesi della UE e, pertanto, non decisamente interessate dal mercato di prodotti GM.

Ben diverso è, invece, il caso della soia, per la quale l'Italia, nonostante sia il primo produttore europeo con circa 169 000 ettari nel 2010, presenta una produzione largamente inferiore rispetto ai fabbisogni. Le importazioni italiane di soia rappresentano, infatti, circa il 9% sul totale della UE e circa il 2% di quelle mondiali. È evidente che, anche nell'ipotesi di una futura autorizzazione delle coltivazioni di soia GM nella UE, non sarebbe pensabile seguire tale via per affrancarsi dall'attuale dipendenza dalle importazioni provenienti dai Paesi esteri, in cui prevalgono, comunque, le coltivazioni transgeniche.

In Italia, le importazioni di semi di soia (37%) e di panelli e farine (63%) per la mangimistica rappresentano una delle principali voci negative della bilancia agroalimentare, con circa 1,7 miliardi di euro di acquisti esteri all'anno. Le importazioni italiane di tali prodotti provengono in larga parte da Paesi che praticano coltivazioni transgeniche: i semi di soia sono importati per oltre i tre quarti da Brasile, Stati Uniti e Argentina, mentre più del 50% di panelli e farine proviene da Argentina e Brasile. Aspetti che rendono evidente come la presenza tra le nostre importazioni di prodotti transgenici sia, allo stato attuale, pressoché inevitabile.



## Considerazioni conclusive

Si ritiene che i dati esposti possano consentire alcune riflessioni riguardo all'effettivo significato dei nuovi orientamenti comunitari che, limitandosi a intervenire sul tema della coltivazione di OGM, sembrano più finalizzati a risolvere controversie di natura politica tra la Commissione e gli Stati membri che non a incidere significativamente sul problema dell'impiego dei prodotti GM (la cui rilevanza economica, in ogni caso, è quasi unicamente riferibile all'importazione e all'impiego di soia transgenica per l'alimentazione animale).

In particolare, si ritiene di poter affermare che, in prospettiva, i nuovi orientamenti comunitari appaiono più funzionali agli interessi di produttori ed esportatori di prodotti transgenici, che non a quelli di agricoltori e consumatori europei. Per i prodotti transgenici, infatti, la massima convenienza si ricava praticando le coltivazioni nei Paesi maggiormente competitivi sul fronte dei costi di produzione e vendendo i prodotti sui mercati più ricchi. Questo è quanto sta avvenendo, ad esempio, per la soia, di fatto non coltivata in Europa, ma che trova proprio qui uno dei principali mercati di sbocco, soprattutto da quando nel 2001 è stato messo al bando l'impiego di farine animali e la soia è diventata la principale fonte di approvvigionamento proteico nell'allevamento.

È invece più difficile che dai nuovi orientamenti possa derivare una qualche convenienza per agricoltori e consumatori. I primi, che siano favorevoli o contrari alle coltivazioni transgeniche, saranno, in ogni caso, costretti a confrontarsi con un mercato fortemente caratterizzato dalla presenza di tali prodotti; i secondi, sebbene in larga parte contrari all'utilizzo di OGM negli alimenti, continueranno a vedere di fatto eluso il loro diritto di scelta, dal momento che i prodotti transgenici continueranno a essere impiegati nella preparazione dei mangimi.

In Italia, 12 regioni e una Provincia autonoma hanno adottato provvedimenti per dichiarare i loro territori "liberi da OGM" e altre quattro regioni hanno analoghe iniziative in via di definizione. A riguardo giova evidenziare che la regione Friuli Venezia Giulia con legge 136-43 del 29 marzo



2011, ha precorso i tempi dell'iter legislativo delle nuove norme comunitarie, ponendo il divieto alla coltivazione di piante transgeniche sul proprio territorio. In questo quadro, è pertanto assai probabile che, una volta approvati, i nuovi orientamenti comunitari, in più di un caso, siano tradotti, a livello regionale, con proibizioni o forti limitazioni alla coltivazione di piante transgeniche. Tuttavia, tale probabile evoluzione non potrà essere realizzata sulla spinta di motivazioni ideologiche, tese a compiacere il prevalente dissenso che si registra in Italia in merito all'impiego di OGM, ma dovrà essere sostenuta nell'ambito di un chiaro e serio progetto di sviluppo dell'agroalimentare italiano. Occorre infatti mettere in conto che la probabile scelta di non praticare le coltivazioni transgeniche sposterà l'attenzione sull'impiego degli OGM e risulterà difficile giustificare la proibizione di coltivarli, mantenendo al tempo stesso inalterati gli attuali livelli di utilizzo di prodotti transgenici nell'alimentazione degli animali.

A risentirne maggiormente saranno i prodotti di qualità con marchio riconosciuto dalla UE. L'Italia, per quanto risulta dalla banca dati DOOR (Database of Origin and Registration) della Commissione UE conta, al 15 aprile 2011, 225 prodotti di qualità registrati, di cui: 140 Dop, 83 Igp e 2 Stg. Tra questi, formaggi e prodotti a base di carne rappresentano circa il 92% del valore dell'intero comparto. Tra i primi dieci prodotti Dop e Igp per fatturato, nove sono di origine animale e i primi quattro (parmigiano reggiano, grana padano, prosciutto di Parma e di San Daniele) rappresentano da soli circa il 60% del fatturato complessivo.

In questo contesto, è evidente che l'eventuale scelta di mantenere l'Italia libera dalle coltivazioni transgeniche dovrà trovare riscontro in analoghe scelte riguardo alle modalità di ottenimento dei principali prodotti dell'agroalimentare italiano. Se ciò non accadesse, sarebbe definitivamente compromessa la credibilità di un sistema che ha il suo tradizionale punto di forza nel rapporto con il territorio e, quindi, nell'immediata identificazione tra la fase produttiva agricola e il prodotto alimentare che da essa discende e che a essa si ricollega.

Per questi motivi, i nuovi orientamenti comunitari, non superando il problema degli OGM ma ponendo in primo piano la vera natura di tale problema, potranno costituire una straordinaria occasione per costruire il futuro del sistema agroalimentare italiano in riferimento a un modello di sviluppo fondato sulla certificazione dell'origine delle materie prime, quale rilevante elemento di qualificazione del prodotto italiano.

## **Bibliografia**

Commissione Europea, COM (2010) 375 def., Bruxelles, 13 luglio 2010

Commissione Europea, Raccomandazione COM (2010/C 200/01), Bruxelles, 13 luglio 2010

INEA (annate varie), *Rapporto sul commercio con l'estero dei prodotti agroalimentari*

ISAAA (dal 1995 al 2010), *Global status of commercialized biotech/GM crops*

ISMEA (2010), *I prodotti agroalimentari di qualità DOP, IGP e STG*, Roma, 10 settembre

Vieri, S. (2006), *Prospettive di introduzione delle coltivazioni transgeniche nel sistema produttivo agricolo italiano*, "Rivista di Economia Agraria", anno LXI, n. 1



# 14.

## Organismi transgenici e economia agricola italiana: opportunità o rischi?

**Claudio Malagoli**

*Docente di Economia dell'azienda agroalimentare, Università di Scienze Gastronomiche, Pollenzo (Bra, Cuneo)*

### **Riassunto**

*Nel presente lavoro sono discussi gli scenari socioeconomici che si prospettano per l'agricoltura del nostro Paese con l'introduzione degli attuali organismi geneticamente modificati (OGM) o organismi transgenici (OT). Particolare attenzione è rivolta alle ripercussioni che essi potrebbero avere sul reddito dell'agricoltore, con effetti a cascata sulla multifunzionalità dell'agricoltura. Gli OT sono un mezzo per attuare uno "sviluppo economico sostenibile"? Riusciranno a salvaguardare il reddito agricolo delle aree marginali?*

### **Premessa**

A distanza di 15-20 anni dalla loro introduzione si discute ancora sull'adozione degli organismi transgenici (OT) per l'agricoltura italiana. Assodato che ci troviamo in un momento in cui ancora non sono chiari i loro effetti sulla salute umana e sull'ambiente (la comunità scientifica è ancora divisa su questo argomento), occorre fare chiarezza anche sugli impatti socio-economici di questa innovazione tecnologica, al fine di verificare se questi nuovi alimenti siano in sintonia con gli obiettivi di politica agraria nazionale e se siano in grado di rispondere alle esigenze del consumato-

re. Operando in questo modo ogni nostra attività potrà essere adeguatamente valutata e sperimentata prima di essere applicata, al fine di attuare uno sviluppo che sia realmente sostenibile, per la nostra società e per quello delle generazioni future. Solo in questo modo i Paesi, che ancora sono indenni da inquinamento genetico, potranno valutare attentamente gli impatti socio-economici che possono essere provocati da questa tecnologia, che sotto molti punti di vista è pervasiva e che una volta introdotta difficilmente potrà essere sostituita o eliminata.

### **Gli attuali OT servono agli agricoltori del nostro Paese?**

La gran parte degli agricoltori che opera sul territorio nazionale, purtroppo, non ha nulla da guadagnare dall'introduzione degli attuali OT. Coltivare OT significa mettersi in concorrenza con forme di agricoltura caratterizzate da aziende molto più ampie delle nostre (le aziende agricole statunitensi hanno una estensione media di 220 ettari, contro i 5-6 ettari di quelle italiane) e che hanno costi di produzione decisamente più bassi; agricolture che non hanno limitazioni nell'uso di concimi e di antiparassitari, che utilizzano tecnologie e composti chimici di sintesi che da noi sono vietati, che fanno ricorso a manodopera a basso costo, che non adottano le nostre tutele sociali, che non adottano i nostri sistemi di conservazione delle derrate alimentari...

Occorre inoltre considerare che nel nostro Paese l'agricoltura è di tipo multifunzionale e svolge importanti compiti che vanno al di là della semplice produzione di alimenti o di materie prime. Il suo ruolo è di fondamentale importanza per il presidio e la manutenzione del territorio, per la conservazione dell'assetto idrogeologico, per la conservazione e la tutela del paesaggio (siepi, muri a secco, terrazzamenti, oliveti, agrumeti...), per la tutela della flora e della fauna, per la conservazione della biodiversità, per la creazione di spazi a uso ricreazionale, per la conservazione degli aspetti culturali tradizionali del territorio rurale e per la mitigazione degli effetti ambientali negativi dovuti ad altre attività produttive o di consumo.



Pertanto, la nostra società ha bisogno della presenza dell'agricoltura e dell'agricoltore sul territorio e dovrà adottare politiche agrarie in grado di proteggere il suo reddito, al fine di consentirne la permanenza anche in aree marginali (di collina, di montagna), che non possono certo competere sulla base dei bassi costi di produzione, ma che possono essere competitive sulla base di presupposti di qualità dei prodotti che offrono sul mercato.

Secondo le opinioni dei promotori delle piante transgeniche, la loro introduzione dovrebbe consentire una diminuzione dei costi di produzione, in relazione all'aumento di produttività e alla diminuzione delle spese per le operazioni colturali (meno trattamenti diserbanti e insetticidi), lasciando intendere che vi potrebbe essere un conseguente aumento dei margini di profitto. Essi però dimenticano di considerare che la politica commerciale dei produttori di sementi transgeniche è prevalentemente di tipo monopolistica. Di conseguenza essi potrebbero spingere il prezzo di vendita del materiale di propagazione, nonché quello delle materie prime necessarie per produrlo (diserbante o quant'altro), a un livello prossimo all'incremento di produttività, con un annullamento dei vantaggi economici per il produttore agricolo. Essi, ancora, dimenticano che all'agricoltore non interessa "spendere di meno", ma "guadagnare di più". A questo proposito, occorre rilevare che, purtroppo, gli attuali OT non sono in grado di procurare un maggiore reddito al produttore agricolo. Infatti, l'agricoltore non controlla il prezzo dei prodotti che vende sul mercato, per cui, se è vero che gli OT determineranno una diminuzione dei costi, è altrettanto vero che nel lungo periodo si avrà una diminuzione dei prezzi dei prodotti, con annullamento dei profitti (dalla teoria economica si desume che nel lungo periodo costo unitario medio, costo marginale e prezzo di mercato tendono all'uguaglianza). Come fa notare Galizzi «da un lato l'agricoltura non ha alcuna facoltà di controllo del prezzo dei suoi prodotti, e dall'altro lato il progresso tecnico determina una riduzione dei costi unitari di produzione. A causa di

ciò i prezzi dei prodotti agricoli seguono i costi nella loro diminuzione cosicché viene meno il profitto che poteva essere atteso; talvolta anzi, per la lenta trasferibilità di taluni fattori produttivi impiegati dall'agricoltore, la discesa dei prezzi può continuare al di sotto del livello capace di assicurare la precedente remunerazione agli stessi fattori» (Galizzi, 1960). Che cosa ne sarà dell'agricoltura attuata in territori marginali che vedranno diminuire i prezzi dei prodotti agricoli, prezzi che già ora, in molti casi, non sono in grado di fornire un pieno reddito all'agricoltore? La risposta è semplice: con ogni probabilità questi territori saranno abbandonati, con amplificazione dei problemi connessi all'esodo rurale delle famiglie contadine e al dissesto idrogeologico del territorio.

L'inevitabile contrazione dei prezzi indotta dall'utilizzazione di OT potrebbe determinare anche una diminuzione del reddito reale dell'agricoltore, in quanto i prezzi dei prodotti non agricoli che egli acquista sul mercato rimarranno, nella migliore delle ipotesi, costanti. Addirittura, vi sarebbe la possibilità che, in relazione a un aumento del reddito reale del consumatore, favorito dalla diminuzione del prezzo dei prodotti agricolo-alimentari (se diminuisce il prezzo degli alimenti, a parità di reddito il consumatore può acquistare una maggiore quantità di altri beni), si verifichi un aumento della domanda di beni non agricoli, con conseguente aumento del loro prezzo e conseguente ulteriore diminuzione del reddito reale dell'agricoltore. Ecco, allora, che in questa situazione l'agricoltore si sentirà "più povero", in quanto sarà costretto a produrre di più (anche attraverso un maggiore sfruttamento delle risorse naturali) per poter mantenere il precedente livello di benessere, in pratica, per mantenere lo stesso livello di potere d'acquisto.

In definitiva, l'effetto complessivo delle innovazioni biotecnologiche in agricoltura, non è in grado di originare benefici durevoli al settore, anzi, sotto certi punti di vista, può anche determinare una diminuzione di importanza del settore agricolo nei confronti degli altri settori economici.

Qualcuno potrebbe affermare che lo scenario economico sopra descritto



è in contrasto con quanto verificatosi nei Paesi – USA, Canada, Argentina – in cui, a «testimonianza del gradimento degli agricoltori», si è registrato un forte incremento delle superfici destinate alla coltivazione di piante transgeniche. A tal riguardo occorre osservare che l'incremento delle superfici si è avuto solo nei Paesi in cui vi è la presenza di un'unica filiera di distribuzione per il medesimo prodotto, sia esso transgenico o non transgenico. In presenza di un'unica filiera e con i prezzi dei prodotti in calo, se l'agricoltore vuole conservare un certo margine di redditività dall'attività di coltivazione, sarà praticamente costretto, anche suo malgrado, a seminare le cultivar che presentano il costo di produzione minore (quelle transgeniche). Ecco allora che l'incremento delle superfici coltivate è dovuto, non tanto al gradimento dell'agricoltore nei confronti di queste piante, ma alla necessità di mantenere un certo margine di redditività dall'attività agricola (se il prezzo del mais transgenico è uguale a quello del mais convenzionale, egli coltiverà quello caratterizzato dal minore costo di produzione, ovvero quello transgenico).

In molti casi, poi, il minore reddito per il produttore agricolo può essere conseguenza del fatto che gli OT riducono l'utilizzazione dei fattori della produzione che egli apporta normalmente direttamente (come la manodopera) e richiedono, nello stesso tempo, un maggiore utilizzo di fattori esterni all'azienda agricola, come quelli di origine industriale (sementi che offrono vantaggi ma costano di più e fattori in grado di incentivare la produzione delle stesse sementi), che l'agricoltore è costretto ad acquistare sul mercato insieme alla semente transgenica. Questa situazione è particolarmente dannosa per le aziende agricole di modeste dimensioni come quelle italiane, in cui il lavoro manuale rappresenta una componente importante del reddito netto derivante dall'attività agricola. Una politica di questo tipo, nota come politica di appropriazionismo, è volta a perseguire «una strategia che mira ad aumentare il grado di industrializzazione del processo agricolo, tramite l'espropriazione di attività tradizionalmente svolte all'interno dell'azien-



da agricola e la loro sostituzione con input di origine industriale» (C. Salvioni, 1991). Anche nel caso degli OT si assisterebbe alla perdita di importanza del settore agricolo nazionale, che vedrebbe diminuire il fabbisogno di manodopera, necessario per portare a termine le coltivazioni, col conseguente aumento delle problematiche relative all'esodo rurale, al presidio e alla conservazione del territorio. A tal proposito bisogna anche notare che, soprattutto per le coltivazioni erbacee annuali, la semente biotecnologica potrebbe rappresentare il primo passo per avviare la completa automazione del processo produttivo agricolo (piante autosufficienti, resistenti a tutti i tipi di malattie e che crescono ovunque), un processo produttivo potenzialmente controllabile dai satelliti, che non avrà più bisogno dell'agricoltore o, comunque, in modo molto limitato. In questo contesto, in cui il reddito da capitale prevale sul reddito fornito dagli altri fattori produttivi (terra e lavoro che molto spesso sono di proprietà dello stesso imprenditore agricolo), si creano i presupposti per il passaggio del controllo del territorio rurale dall'agricoltore, che non riesce più a ricavare un reddito adeguato dall'attività agricola poiché i fattori della produzione di cui dispone non sono più necessari e quindi non sono più remunerati, a individui estranei all'attività agricola, che con capitali propri o di terzi (grandi finanziarie), sono in grado di subentrare non soltanto nella coltivazione, ma anche nella proprietà delle aziende. Questa situazione, inevitabilmente, darà origine a gravi problemi di sostenibilità del territorio rurale, in quanto le tecniche di produzione adottate da questi nuovi agricoltori saranno con ogni probabilità indirizzate alla massimizzazione del reddito da capitale da loro investito, con pochi riguardi per l'ambiente circostante.

Secondo alcuni sostenitori degli OT l'aumento del reddito dell'agricoltore potrebbe derivare da una differenziazione dell'offerta verso produzioni diverse da quelle attuali e caratterizzate da un maggiore valore aggiunto (alimenti con più proteine, più vitamine, meno calorie, partenocarpia, piante che producono principi attivi farmaceutici...). Tuttavia,



queste opportunità di guadagno si potranno verificare solo se il mercato del prodotto sarà libero, poiché nel caso molto più realistico in cui la coltivazione fosse attuata su contratto, i maggiori guadagni sarebbero quasi esclusivamente a favore di colui che detiene il brevetto della pianta transgenica e che quindi potrà appaltare la coltivazione, pagando l'agricoltore solo sulla base delle operazioni colturali necessarie per portare a termine il ciclo produttivo.

Infine, l'introduzione di individui geneticamente modificati potrebbe anche comportare un'ulteriore diminuzione dell'importanza economica del settore agricolo a seguito di strategie di sostituzionismo messe in atto da quella parte di settore industriale operante nella trasformazione di prodotti agricoli. In particolare, la «possibilità recentemente offerta dalle biotecnologie avanzate di intervenire sulla base organica del processo produttivo agricolo, manipolandola e controllandola, consente per la prima volta di rimuovere l'ostacolo che ha finora impedito la completa industrializzazione del processo produttivo agricolo e la produzione industriale di materia organica» (C. Salvioni, 1991). Quest'opportunità viene però resa possibile dallo sviluppo di organismi fortemente specializzati nella produzione di materie prime di base (vitamine, carboidrati, grassi...), che potranno poi essere utilizzate dall'industria per produrre beni alimentari e non.

Per lo sviluppo sostenibile della nostra agricoltura occorre rivedere le norme relative alla brevettabilità dei prodotti transgenici: non è possibile accettare che colui che ha inserito un gene in una pianta ne acquisisca di fatto il monopolio, impedendone la libera coltivazione. Questa considerazione si somma al fatto che, nel momento in cui la pianta transgenica sarà considerata uguale a quella non transgenica e si unirà in un'unica filiera distributiva, anche gli agricoltori che in un primo momento non erano intenzionati a coltivarla saranno obbligati a farlo, poiché saranno costretti a operare su un mercato in cui il prezzo pagato

per quel prodotto sarà commisurato al costo di produzione (più basso) della pianta transgenica. Di conseguenza, per mantenere un certo margine di redditività, dovranno riconvertire le produzioni convenzionali verso quelle transgeniche, creando di fatto un monopolio per il mercato della semente di quella pianta.

A proposito di brevetto occorre considerare anche la diminuzione di potere contrattuale dell'agricoltore, in relazione alle possibili strategie economiche attuate da colui che è proprietario del brevetto della semente transgenica. In particolare, il detentore del brevetto:

- potrebbe limitarsi a richiedere il pagamento di una *royalty* per ogni chilogrammo di semente venduta, lasciando libertà di scelta all'agricoltore in merito alle diverse opportunità di vendita sul mercato del prodotto ottenuto (quello che avviene oggi per gran parte delle sementi);
- potrebbe andare oltre e richiedere il pagamento di una *royalty*, oltre che per ogni chilogrammo di semente, anche per ogni chilogrammo di prodotto ottenuto da quella semente e immesso sul mercato (cosa che avviene già per alcune coltivazioni);
- potrebbe non accontentarsi e riservarsi la proprietà della produzione finale, attuando la produzione per conto proprio, sulla base di un rapporto contrattuale con l'agricoltore (come avviene già per talune coltivazioni). In una situazione come questa l'agricoltore diverrebbe esclusivamente un prestatore di manodopera, con la conseguente perdita delle prerogative imprenditoriali, mentre il monopolista otterrebbe due grandi vantaggi. In primo luogo metterebbe in concorrenza tra loro gli agricoltori per accaparrarsi la commessa di coltivazione, col conseguente abbassamento del costo delle lavorazioni meccaniche, e in secondo luogo diverrebbe monopolista di quell'alimento, con tutte le conseguenze del caso. Ma il grande salto di qualità per le ditte che

detengono il brevetto potrà essere ottenuto quando la manipolazione genetica sulle piante consentirà di sfruttare l'apomissia, ovvero la possibilità di originare piante identiche alla madre anche attraverso riproduzione sessuata. In particolare, lo sfruttamento dell'apomissia consentirà alle ditte sementiere di evitare la produzione e la successiva commercializzazione del seme, mantenendo comunque la possibilità di ricavare le *royalties* da esso: il seme, una volta distribuito, potrà essere prodotto autonomamente di anno in anno dall'azienda agricola, la quale, mediante un apposito contratto di utilizzo, sarà tenuta a pagare le *royalties* ogni qual volta lo utilizzerà. L'apomissia semplificherà la vita al proprietario del brevetto, che dovrà solo incassare le *royalties* ogni volta che il cibo viene prodotto.

Il brevetto su una pianta potrebbe poi consentire ai Paesi che ne detengono la proprietà di attuare le coltivazioni in località prossime ai mercati di collocamento, rendendo così competitive produzioni che attualmente sono penalizzate dagli elevati costi di trasporto e di commercializzazione, ed evitando al contempo le problematiche ambientali che queste coltivazioni comporterebbero se fossero attuate sul loro territorio. Per alcune produzioni agricole questo avviene già. Cos'è accaduto? Alcuni Paesi, o per condizioni pedoclimatiche favorevoli o perché non sarebbero concorrenziali sul nostro mercato a causa dei costi di trasporto elevati, stanno producendo sul nostro territorio, su base contrattuale, alcuni prodotti dei quali detengono il brevetto, prodotti che al momento della raccolta diverranno di loro proprietà. In questo modo qualsiasi Paese, anche senza capacità produttive e disponibilità di territorio agricolo, di strutture o di competenze specifiche, potrebbe divenire protagonista nel mercato del cibo; la produzione sarebbe attuata nel nostro Paese dai nostri agricoltori su base contrattuale per conto di colui che ha il brevetto sul materiale di propagazione e che si approprierà del valore aggiunto della coltivazione. I precedenti scenari costituiscono per l'agricoltura del nostro Paese un

vantaggio o uno svantaggio? Si adattano a tutte le coltivazioni o solo a quelle brevettate? E il consumatore otterrà dei vantaggi o degli svantaggi? Occorre rispondere a queste domande prima di effettuare scelte che potrebbero rivelarsi irreversibilmente controproducenti per l'agricoltura del nostro Paese.

Il nostro Paese con il 7% circa della Superficie Agricola Utilizzata (12,7 milioni di ettari), produce il 13% circa del fatturato agricolo dell'UE (50 000 milioni di euro), segno di una produzione ad alto valore aggiunto apprezzata dal consumatore. Da un punto di vista economico e sociale si tratta di un patrimonio da tutelare, in quanto la produzione agricola per il mercato rappresenta solo una parte dei reali benefici che il settore agricolo apporta alla collettività (presidio del territorio, conservazione del paesaggio...). In questo contesto, in cui l'agricoltura italiana risulta importante anche per le esternalità che produce, si inseriscono le problematiche relative agli OT. Secondo i sostenitori degli OT uno dei principali obiettivi è quello di produrre cibo a basso costo da esportare per ricavarne un profitto. Tuttavia è fuorviante pensare che l'Italia possa essere competitiva sul mercato internazionale con gli stessi prodotti transgenici prodotti in altre parti del mondo: l'Italia caratterizzata da aziende agricole della superficie media di 5-6 ettari (contro i 220 ettari degli USA), da costi burocratici significativi, da limitazioni nell'uso di antiparassitari e di concimi, da un sistema sociale particolare, come potrà competere con gli stessi prodotti con gli USA, la Cina o l'Argentina che presentano un sistema interno completamente diverso e, per certi versi, concorrenziale?

Occorre poi considerare che sul mercato internazionale vige ancora il baratto e le bilance dei pagamenti dei Paesi che partecipano a questo mercato non devono essere troppo sbilanciate, pena ripercussioni sull'inflazione o sul tasso di cambio, per cui se l'Italia esporta un certo



prodotto, deve poi importarne un altro come contropartita. In questo modo le cose cambiano, perché l'invasione di pomodori dalla Cina o di carni dai Paesi dell'Est può non essere legata allo sviluppo tecnologico, ma il risultato di accordi commerciali mediante i quali un certo Paese esporta prodotti industriali/tecnologici e gli altri Paesi pagano con quello che hanno, ovvero prodotti agricoli. Il rischio è che così facendo si potrebbe mettere in discussione la sovranità alimentare delle singole nazioni: la forte crisi del settore agricolo di questi anni, con i prezzi di cereali e prodotti zootecnici talmente bassi da non coprire spesso nemmeno il costo di produzione, ha inciso su molte aziende agricole di aree marginali (di collina e di montagna) che hanno progressivamente abbandonato l'attività produttiva (secondo i dati Istat nel 2000 in Italia erano presenti 2,5 milioni di aziende agricole, mentre oggi ammontano a circa 1,7 milioni) o si sono convertite sostituendo le coltivazioni con impianti fotovoltaici e/o eolici. Infine, la concorrenza del mercato globalizzato, basata sull'importazione di alimenti di qualità discutibile a bassi prezzi, potrebbe essere anche causa indiretta di comportamenti illeciti sul mercato del lavoro: imprenditori senza scrupoli, per mantenere un certo livello di redditività delle coltivazioni, potrebbero ricorrere a manodopera illegale o non applicare le tutele sindacali richieste.

In definitiva, le problematiche relative all'introduzione degli OT sono molte e di portata tale da non giustificare decisioni affrettate. Come per altre innovazioni tecnologiche, se da un lato il tipo di sviluppo attuato in agricoltura in questi ultimi anni, improntato soprattutto all'esperta ricerca del profitto, ha consentito di massimizzare la produttività, dall'altro non è sempre stato in grado di garantire un'equa ripartizione delle produzioni tra le diverse aree del pianeta e una modalità di produzione compatibile con la salvaguardia dell'ambiente e con lo sviluppo sostenibile del territorio rurale. A questo proposito si auspica che gli OT, così come gran parte delle innovazioni tecnologiche introdotte

in agricoltura in questo secolo (diserbanti, insetticidi, anticrittogamici, regolatori di crescita...), non siano viste come un ulteriore strumento “necessario” a incrementare la produttività del lavoro, a scapito, ancora una volta, dell’ambiente.

Un discorso a parte merita il tema della ricerca sugli OT, che, se fatta con le dovute cautele, deve andare avanti. Occorre, però, considerare che lo sviluppo tecnologico, che non attiene al campo della ricerca scientifica, non è un processo neutro e deve sottostare a giudizi economici, politici ed etici. In particolare, prima di una loro introduzione è necessario rispondere ad alcune domande.

- Per quale motivo l’Italia, che vanta produzioni alimentari imitate in tutto il mondo, dovrebbe aprire al transgenico se il consumatore non lo vuole?
- Perché un’impresa dovrebbe volere produrre un bene che il 75% degli acquirenti ha detto di non volere comprare?
- Perché la nostra agricoltura dovrebbe abbandonare una strategia sicura, basata sulla qualità, sulla tracciabilità e sulla sicurezza alimentare, per fare posto a una produzione omologante sempre meno richiesta dal mercato?
- L’Italia potrà competere sul mercato globale sulla base dei bassi costi di produzione e dei bassi prezzi di vendita o, più realisticamente, potrà competere sulla base di produzioni di eccellenza ad alto valore aggiunto?
- C’è il rischio che si possa creare un mercato di alimenti di serie A (biologico, Dop, Igp...) e un altro di serie B (OT), col pericolo di creare una sorta di proletariato alimentare?



Sono domande cui occorre fornire una risposta, per verificare se nel lungo periodo gli OT e il conseguente processo di globalizzazione dei mercati rappresenti per l'agricoltura del nostro Paese un'opportunità o, al contrario, una strada pericolosa, che potrebbe determinare effetti dannosi per il benessere della società e delle generazioni future.

Occorrerà valutare attentamente se gli alimenti transgenici rispondono a una reale esigenza del consumatore, che a oggi tende a privilegiare la tipicità, la salubrità e la "naturalità" dei prodotti alimentari, come conferma il forte aumento del consumo di produzioni biologiche. Da questo punto di vista, quindi, lo sviluppo degli OT rappresenta sicuramente una contro-tendenza che andrà valutata attentamente, al fine di non impiegare risorse e capacità umane nello sviluppo di produzioni di cui, per il momento, non si ha una reale necessità.

## Bibliografia

- Aa.Vv. (2004), *Biotechnologie e zootecnia. Scenari, potenzialità e ambiti di scelta per le produzioni italiane di qualità*, Nomisma, Bologna
- Aa.Vv. (2004), *Coesistenza tra colture tradizionali biologiche e geneticamente modificate (Consensus Document)*, Società Italiana di Tossicologia, Milano
- Aa.Vv. (2004), *Organismi geneticamente modificati: tracciabilità ed etichettatura. Linee guida per l'industria alimentare*, Federalimentari, Roma
- Aa.Vv. (2006), *La coesistenza tra OGM, colture biologiche, convenzionali e di qualità nell'ambito regionale*, Workshop Internazionale, Firenze, 6-7 novembre
- Altieri M.A. (2005), *The Myth of Coexistence: why transgenic crops are not compatible with agroecologically based systems of production*, "Bulletin of Science, Technology & Society", 25, 4, August 2005, pp. 361-371
- Angevin F., Roturier C., Meynard J.M., Klein E.K. (2003), *Co-existence of GM, non-GM and organic maize crops in European agricultural landscapes: using MAPOD model to design necessary adjustments of farming practices*, Boeld B ED, Helsingor (DK), pp. 166-168
- Angevin F. (2004) *Gene flow in maize* ([http://europea.eu.int/comm/research/biosociety/pdf/rt\\_angevin\\_abstract.pdf](http://europea.eu.int/comm/research/biosociety/pdf/rt_angevin_abstract.pdf))
- Barling D. et al. (1999), *The social aspects of food biotechnology: a European view*, "Environmental Toxicology and Pharmacology", 7, pp. 85-93





- Benbrook C.M. (2003), *Impacts of genetically crops on pesticide use in the United States: the first eight years*, "Biotechnology InfoNet", Technical Paper Number 6, November
- Bredahl L. (2001), *Determinants of Consumer Attitudes and Purchase Intentions with Regard to Genetically Modified Foods. Results of a Cross-National Survey*, "Journal of Consumer Policy", 24, pp. 23-61
- Bredahl L., Grunert K., Frewer L. (1998), *Consumer Attitudes and Decision-Making with Regard to Genetically Engineered Food Products. A Review of the Literature and a Presentation of Models for Future Research*, "Journal of Consumer Policy", 21, pp. 251-277
- Brunori G., Balducci E. (2006), *I costi della coesistenza tra colture. Speciale OGM e coesistenza*, "Terra e Vita", supplemento n. 2 al n. 44
- Burton M., Rigby D., Young T., James S. (2001), *Consumer attitudes to Genetically Modified Organisms in food in the UK*, "European Review of Agricultural Economics", 28 (4), pp. 479-498
- Clive J. (2006), *Global status of commercialized biotech/GM crops*, ISAAA (www.isaaa.org)
- Demont M., Wesseler J., Tollens E. (2004), *Irreversible costs and benefits of transgenic crops: what are they? Environment costs and benefits of transgenic crops*, Kluwer Academic Publishers
- Frewer L., Lassen J., Kettlitz B., Scholderer, Beekman V., Berdal K.G. (2004), *Social aspects of genetically modified foods*, "Food and chemical Toxicology", 42, pp. 1181-1193
- Hoban T.J. (1999), *Consumer Acceptance of Biotechnology in the United States and Japan*, "Food Technology", 53 (5), pp. 50-53 (<http://www4.ncsu.edu/~hobantj/Jap-US.htm>)
- James S., Burton M. (2002), *Consumer Attitudes to GM Foods: Some Preliminary Results from Western Australia*, in Fraser R., Taylor J., *Research Profile: Agricultural and Resource Economics at the University of Western Australia in 2001*, Perth, University of Western Australia
- Lanzoni A., Burgio G., Accinelli G., Ramilli F., Dinelli G., Bonetti A., Marotti I., Depalo L. (2005), *Studi di laboratorio sugli effetti di piante Bt nei confronti di insetti non-target*, in *Studio dell'impatto derivante dal rilascio deliberato nell'ambiente di piante geneticamente modificate (PGM) sulle popolazioni di artropodi e altri invertebrati negli ecosistemi agricoli interessati*, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio Direzione Generale per la Salvaguardia Ambientale, pp. 31-46
- Malagoli C. (2002), *Agrobiotecnologie e OGM: una valutazione di ordine economico*, In *Ecologia e etica: uno studio da approfondire*, Edizioni Tellus, Roma
- Malagoli C. (2003), *Impatto degli Organismi Transgenici sull'agricoltura italiana: il punto di vista economico*, *Atti del Senato della Repubblica*, Roma, marzo 2003
- Malagoli C. (2000), *Le colture transgeniche sono davvero vantaggiose?*, "Agricoltura", Assessorato Agricoltura Regione Emilia-Romagna



- Malagoli C. (1997), *Moderne biotecnologie in agricoltura: una problematica aperta*, "Economia Agro-Alimentare", 2
- Malagoli C. (1998), *Ruolo delle moderne biotecnologie per lo sviluppo sostenibile in agricoltura*, *Atti del Convegno Nazionale "Agrobiotecnologie: un'agricoltura senza terra, un progresso senza l'uomo"*, Università degli Studi di Parma, 17 ottobre
- Marris C., Wynne B., Simmons P., Weldon S. (2001), *Public Perceptions of Agricultural Biotechnologies in Europe*, Commission of European Committees, 113
- Mauro L., Prestamburgo M. (2002), *L'introduzione degli organismi geneticamente modificati (OGM) nella produzione agro-alimentare italiana: un'analisi dei possibili effetti economici*, *Pagri-Politica Agricola Internazionale*, 2, pp. 7-19
- Messéan A., Angevin F., Gómez-Barbero M., Rodríguez-Cerezo E. (2005), *An overview of past and on-going co-existence studies*, in *Second International Conference on Co-existence between GM and non-GM based agricultural supply chain, 14-15 November, Montpellier (France)*, *Proceedings*, pp. 31-35
- Oehmke J.F., Wolf C.A. (2002), *Technology Valuation Distributions with Heterogeneous Adopters*, Paper presented at *International Consortium on Agricultural Biotechnology Research (ICABR), 6<sup>th</sup> International Conference on Biotechnology: New Avenues for Production, Consumption and Technology Transfer*, Ravello (Italy), 11-14 July
- Oger P.M., Mansouri H., Nesme X., Dessaux Y. (2004), *Engineering root exudation of Lotus toward the production of two novel carbon compounds leads to the selection of distinct microbial populations in the rhizosphere*, "Microbial Ecology", 47, pp. 96-103
- Pham-Delègue M.H., Girard C., Le Métayer M., Picard-Nizou A.L., Hennequet C., Pons O., Jouanin L. (2000), *Long-term effects of soybean protease inhibitors on digestive enzymes, survival and learning abilities of honeybees*, "Entomologia Experimentalis et Applicata", 95, pp. 21-29
- Prestamburgo M. (2002), *Agricoltura e OGM. Quale convenienza per l'agroalimentare italiano?*, *Relazione al convegno "OGM, il tempo delle scelte"*, Roma, 3 giugno
- Rousu M., Huffman W.E., Shogren J.F., Tegene A. (2002), *The Value of Verifiable Information in a Controversial Market: Evidence from Lab Auctions of Genetically Modified Foods*, *Staff Working Paper Iowa State University, Department of Economics Series*, Paper 3
- Stanley-Horn D.E., Dively G.P., Hellmich R.L., Mattila H.R., Sears M.K., Rose R., Jesse L.C.H., Losey J.E., Obrycki J.J., Lewis L. (2001), *Assessing the impact of Cry IAb-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies*, "Proceedings of National Academy Sciences", 98, pp. 11931-11936
- Tolstrup K., Soresen et al. (2003), *Report from the working group on the co-existence of genetically*



*modified crops with conventional and organic crops, Conclusion and Summary*, Danish Institute of Agricultural Sciences (<http://www.fvm.dk/file/Summary.pdf>)

Veronesi F. et al. (2006), *Coesistenza tra colture geneticamente modificate, convenzionali e biologiche nel contesto dell'agricoltura umbra*, in *Il flusso genico e i suoi effetti potenziali sulle produzioni sementiere e sui piani di coesistenza coinvolgenti agricoltura biotecnologica, tradizionale e biologica*, Regione Umbria e Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Perugia

Weaver R.D., Kim T. (2002), *Incentives for R&D to Develop GMO Seeds: Restricted Monopoly, Nonmarket Effects, and Regulation*, Paper presented at *International Consortium on Agricultural Biotechnology Research (ICABR)*, 6<sup>th</sup> International Conference on Biotechnology: New Avenues for Production, Consumption and Technology Transfer, Ravello (Italy), 11-14 July

Wolfenbarger L.L., Phifer P.R. (2000), *The ecological risks and benefits of genetically engineered plants*, "Science", 290, pp. 2088-2093



# Appendice

## La Task Force per un'Italia libera da OGM

**Stefano Masini**

*Responsabile Area Ambiente, Coldiretti*

La Task Force *per un'Italia libera da OGM* è una coalizione composta da organizzazioni del mondo agricolo, ambientalista, cooperativo e consumeristico (Acli, Adoc, Adusbef, Aiab, Amab, Campagna Amica, Cia, Città del Vino, Cna alimentare, Codacons, Coldiretti, Crocevia, Fai, Federconsumatori, Federparchi, Focsiv, Fondazione Univerde, Greenaccord, Greenpeace, Lega Pesca, Legacoop Agroalimentare, Legambiente, Movimento difesa del cittadino, Slow Food, Unci, Vas e Wwf), sostenuta da un gruppo di parlamentari appartenenti ai vari schieramenti politici. La coalizione, cooperando con gli enti locali e le reti europee, promuove e sostiene da anni azioni per salvaguardare i caratteri identitari del prezioso patrimonio agroalimentare italiano dalla minaccia derivante dagli OGM.

Tali associazioni, spinte dall'obiettivo comune di contrastare l'agricoltura transgenica, rivendicano l'applicazione del principio di precauzione di fronte ai pericoli derivanti dalla coltivazione e dall'utilizzo alimentare di organismi geneticamente modificati, considerando gli aspetti critici per la salute umana e per l'ambiente, che trovano diffusi riscontri nella comunità scientifica.

Gli intenti della coalizione non vogliono essere di ostacolo all'innovazione e, quindi, alla ricerca scientifica, il cui contributo è ampiamente riconosciuto; si

vogliono contrastare interventi che, modificando il patrimonio genetico, possono compromettere con danni irreparabili quella biodiversità che nel nostro Paese garantisce una delle più straordinarie e ricche produzioni agroalimentari del pianeta.

La Task Force si propone di arrestare l'omologazione derivante dalle produzioni transgeniche, che andrebbe a colpire la competitività dell'Italia sul mercato alimentare globale, basata da sempre su tradizione, specificità e diversità delle produzioni. A tal fine, si ritiene utile un'azione di ostacolo a un gruppo conosciuto e ristretto di imprese multinazionali che, spinte dal business che permetterebbe loro di divenire "proprietari del cibo" attraverso la produzione di OGM, mirano a uniformare le condizioni di commercio ed eliminare i caratteri identitari dei prodotti agricoli.

La coalizione, oltre a condurre azioni a sostegno di una politica agricola responsabile che assuma una chiara posizione contro gli OGM, è concretamente attiva nel controllare e vigilare il rispetto delle leggi dello Stato in materia; tali controlli hanno condotto in più casi alla denuncia alle Autorità di campi coltivati illegalmente con semi GM, col rischio di contaminare altre realtà agricole.

Fa capo alla Task Force un folto gruppo di autorevoli scienziati, che la accompagnano nell'elaborazione di documenti e nella presa di posizione, come dimostra questa stessa pubblicazione. Anche il presente volume rappresenta, dunque, un contributo allo sviluppo della cultura e della partecipazione, all'evoluzione di un dibattito libero e trasparente in materia di società, alimentazione e consumo, che responsabilmente la Task Force vuole offrire.

A cura di **Elisa Bianco**

Redazione **Bianca Minerdo, Grazia Novellini**

Impaginazione **Francesco Perona**

© Slow Food Editore, 2011