

OGM

l'opzione biotech in agricoltura

**di Luca Lazzerini
Massimo Montalbani
Antonella Pizzagalli
e Gabriella Zipoli**

Master Interuniversitario
in Comunicazione della Scienza
Università degli Studi di Milano
Anno Accademico 2001-2002

Editoriale

Si parla di continuo di «ogm», nonostante anni di dibattiti e polemiche tra fautori e oppositori, azioni legali e politiche, mobilitazione dei media e dell'opinione pubblica. Tutto questo a significare che la posta in palio deve essere elevata, ma anche che ai più non è tuttora chiaro di che cosa si stia parlando. È indubbio che per molti la stessa sigla ogm sia priva di significato, oltre che essere inaccessibile nei contenuti; vero è invece che dietro queste tre semplici lettere si cela un intero universo: quello formato dalla ricerca scientifica, con le sue scoperte e le applicazioni che ne conseguono. Genetisti e biotecnologi hanno oggi gli strumenti per comprendere come, nella sfera del vivente, lo stesso DNA di partenza sia diversamente combinato ed espresso dalle dinamiche cellulari di organismi differenti; molte di loro sono quindi comprese e riprodotte, ed ecco che oggi si può intervenire sui genomi (la totalità del patrimonio genetico di un singolo individuo) per un'infinità di scopi.

Assodato che il DNA è la base universale di ogni essere vivente, e che esso rimane invariato a esprimere le caratteristiche di organismi anche molto diversi, pare sensato accettare – dal punto di vista della comprensione scientifica – virus, batteri, piante e animali modificati artificialmente, e innesti del patrimonio genetico dell'uno nell'altro. Questi sono gli ogm, organismi geneticamente modificati: ogm può essere un batterio «costruito» per la depurazione di acque inquinate, un virus in grado di trasportare determinati geni in un altro ospite, un animale transgenico con organi per trapianti umani o clonato per esigenze di allevamento, un fiore “programmato” per assecondare certi gusti estetici e così via. La lista potrebbe essere molto lunga.

Questo dossier si occuperà di ogm in campo agroalimentare, cioè di tutto quello che, in seguito a un processo di coltivazione, finisce col far parte dell'alimentazione umana ma anche animale. Attenzione puntata quindi su frutta, verdura e cereali oggetto delle “cure” degli scienziati e che (ricerche recenti lo confermano) più o meno consapevolmente sono già entrati anche nei supermercati italiani.

Nella prima parte del documento ci si occuperà proprio delle metodologie utilizzate dai bio-

tecnologi e dei risultati già ottenuti e in via di conseguimento. Questi risultati verranno poi discussi, analizzati, «sezionati» a vantaggio delle mille domande che un lettore più o meno attento può legittimamente porsi: c'è trasparenza e obiettività nella comunicazione della «questione ogm»? In base a ciò che sappiamo è legittimo attendersi vantaggi o nuove problematiche? Come l'economia e la politica influenzano il percorso scientifico in questo campo?

Non è possibile affrontare un argomento tanto complesso proponendosi – e proponendo al lettore – di focalizzarsi sui singoli aspetti: in molti hanno scelto questa politica, col risultato di confondere invece di chiarire. L'impostazione qui adottata è diversa, e può sembrare pretenziosa, ma è persa l'unica possibile nel contesto: l'enorme accelerazione dei progressi in campo genetico sta aprendo scenari inimmaginabili, e porterà presumibilmente a una modificazione profonda del modo di pensare e dell'etica stessa delle società industrializzate.

In questo senso quella degli ogm può essere indicata, in ogni caso, come una tappa importante dell'evoluzione umana, oggi più che mai influenzata da scienza, tecnologia e psicologia collettiva, intimamente connesse tra loro. Non si può parlare compiutamente di innovazione scientifica senza un'analisi profonda delle possibili conseguenze ai vari livelli, così come sarebbe colpevolmente riduttivo fare finta che questi discorsi appartengano all'umanità intera: sappiamo benissimo che la maggior parte di essa non è depositaria della «nostra» scienza ma potrebbe presto venirci investita; ecco che i cibi ogm, in uno scenario di libera circolazione delle merci, rappresenterebbero l'esempio della globalizzazione del progresso di pochi.

Consapevoli che i vantaggi e gli svantaggi potenziali non sono facilmente pronosticabili da subito, all'ottenimento di una qualsivoglia scoperta scientifica, proviamo ugualmente a riempire i due piatti della bilancia, cerchiamo di capire se tale globalizzazione avverrà e con quali conseguenze, riflettiamo seriamente sull'intimo significato della parola «progresso». Se poi falliremo nel tentativo di dare le giuste risposte, speriamo rimangano almeno gli strumenti per formulare le giuste domande.

Ogm a tavola: che cosa sono, come si fanno

Le tecniche per ottenere organismi geneticamente modificati sono numerose e complesse, allo scopo di ottenere varietà vegetali più resistenti o più produttive, o addirittura per far esprimere vaccini alle piante

Giorno dopo giorno i laboratori di ricerca di enti pubblici e privati, e le grandi multinazionali, compiono sperimentazioni genetiche per consolidare e migliorare le tecniche alla base della costruzione degli ogm. Anche se la constatazione di varie problematiche ancora aperte (e di cui si discuterà più avanti) costringe a guardare a nuovi traguardi, l'adozione di certe procedure è – per gli addetti ai lavori – ormai considerata routine. Alcuni dei passaggi che costituiscono la via per la trasformazione di un vegetale in ogm poggiano addirittura su scoperte vecchie di vari decenni.

Come si costruisce un ogm

Costituzione del transgene

Alla base di tutto, c'è il DNA e la sua organizzazione in geni; per cominciare quindi bisogna localizzare il tratto genetico portatore della caratteristica voluta e isolarlo dal genoma di appartenenza, utilizzando delle speciali «forbici molecolari» (endonucleasi di restrizione) che riconoscono e tagliano il DNA in modo molto preciso. Sono noti centinaia di enzimi di restrizione differenti, la maggior parte dei quali di origine batterica.

Una volta isolato il gene in questione – destinato a diventare il transgene nella pianta ricevente – si provvede affinché questo possa raggiungere in sicurezza il nucleo bersaglio, dove dovrà potersi integrare correttamente per esprimere le caratteristiche volute. È questa la sfida più grande dell'ingegneria genetica in questo campo: creare nuovi ibridi genetici rispondenti a esigenze umane, qualunque esse siano.

Ma procediamo con ordine. Bisogna innanzi

tutto trovare un vettore adeguato in grado di portare il transgene a destinazione; nel corso degli anni si sono approntati vari metodi, il primo dei quali sfrutta le peculiari caratteristiche di un batterio patogeno del terreno, l'*Agrobacterium tumefaciens*.

Altri problemi da risolvere sono la riluttanza dei genomi ad accogliere ed esprimere geni esogeni (per questo si utilizzano promotori costitutivi realizzati *ad hoc*), e la difficoltà nel riconoscere le cellule effettivamente «ingegnerizzate» al termine del processo (motivo questo dell'utilizzo di marker di selezione che conferiscono resistenza agli antibiotici).

Vettori genetici

Agrobacterium tumefaciens, così come *A. rhizogenes*, è il batterio responsabile della formazione, in natura, di molti tumori che affliggono piante dicotiledoni, agendo a partire da lesioni superficiali. Questo microrganismo utilizza il proprio plasmide per trasferire nella porzione lesa della pianta un particolare segmento di DNA



Un'immagine al microscopio della manipolazione diretta di nuclei cellulari.

chiamato T-DNA, proprio perché in grado di indurre il tumore nei nuclei bersaglio, esso contiene infatti i geni alla base della neoplasia e le sequenze accessorie per il corretto trasporto e l'integrazione nel cromosoma ospite. È proprio questo comportamento che gli ingegneri genetici hanno reso innocuo e quindi utilizzabile come tecnica di trasporto per ottenere ogm: dopo aver soppresso la virulenza del batterio (con particolari accorgimenti) è possibile inserire tra le estremità del T-DNA un gene estraneo, di qualsiasi provenienza, che verrà tranquillamente veicolato da *A. tumefaciens*. Un grande passo avanti è stato fatto quando si è riusciti ad ottenere da questo batterio anche la trasformazione delle monocotiledoni, fenomeno non riscontrabile in natura nonostante l'utilizzo degli stessi meccanismi molecolari; l'importanza del risultato risiede proprio nel fatto che tra le monocotiledoni figurano molte delle piante più importanti dal punto di vista alimentare e commerciale.

In passato per ovviare all'«immunità» delle monocotiledoni si sono messe a punto altre procedure di inserimento diretto di geni: esse includono trattamenti chimici e/o elettrici delle membrane cellulari, microiniezioni e l'uso di «cannoni genetici». Nel primo caso, quello meno invasivo, si agisce sulle membrane cellulari (particolarmente resistenti nel mondo vegetale) affinché queste diventino più permeabili al DNA presente nel mezzo circostante; per via enzimatica si è anche tentato di eliminare queste pareti, ma la successiva crescita delle piante risultava

problematica. Altra possibilità è data da microiniezioni in grado di portare direttamente a destinazione il DNA usando piccoli aghi. Il «cannone a particelle di DNA» invece fu approntato alla fine degli anni ottanta e sfrutta piccolissime particelle ricoperte di materiale genetico che vengono «sparate» all'interno del nucleo: queste sfere di uno o due micrometri (una volta di tungsteno e oggi formate da oro o argento) erano veicolate nel nucleo bersaglio da piccole cariche di polvere da sparo, mentre oggi lo si fa con elio compresso. L'integrità della parete cellulare attraversata è comunque solo temporaneamente compromessa, grazie a rapidi ed efficienti sistemi di autoriparazione.

Anche i virus possono comportarsi come vettori in ingegneria genetica: essi possono essere considerati come «sacchetti di DNA» in grado di infettare una cellula, moltiplicandosi ripetutamente e rilasciando il contenuto al suo interno. È facile allora pensare di poter immettere materiale genetico a partire da DNA virale modificato, a patto di disabilitarne i meccanismi replicativi.

Promotori

Finora si è ragionato come se le strutture vegetali da ingegnerizzare non abbiano mezzi da opporre alle manipolazioni dei biotecnologi. Non è esattamente così, anzi molti sono i motivi del fallimento di una buona percentuale di tentativi, tutti giustificabili dalle contromisure biologiche delle piante. Il primo ostacolo che si incontra nel voler inserire DNA diverso da quello del riceven-

Per districarsi nel dizionario ogm

Biotecnologia: ogni tecnologia che usa organismi viventi (batteri, lieviti, cellule vegetali, cellule animali) o loro componenti sub-cellulari purificati (organelli ed enzimi) per ottenere alimenti, farmaci o altri prodotti, oppure per migliorare le caratteristiche di piante e animali o, ancora, per sviluppare microrganismi utili per specifici usi.

BT: abbreviazione di *Bacillus Thuringiensis*, un batterio ubiquitario del suolo in grado di produrre una proteina tossica per una varietà di insetti, ma privo di effetti tossici per l'uomo o per gli animali.

Cotiledone: nome di ciascuna delle foglie embrionali inserite sull'asse del germoglio maturo; esse possono avere aspetto e funzione di foglia oppure fungere da organi di riserva e di protezione dell'embrione; in tal caso sono carnose (per esempio il fagiolo).

Cromosoma: unità del genoma che si trova all'interno del nucleo cellulare; contiene un filamento di DNA che porta centinaia o migliaia di geni.

Dicotiledoni: classe delle piante angiosperme che possiedono due cotiledoni nell'embrione. Comprendono le leguminose, le solanacee (patate, pomodori, melanzane...) e gli alberi da frutto.

DNA (acido desossiribonucleico): molecola che contiene le informazioni genetiche degli organismi viventi. Consiste di quattro basi (adenina, citosina, guanina e timina) e forma due filamenti collegati fra loro a formare una struttura a doppia elica. È la molecola che costituisce i geni: la sua struttura a doppia elica racchiude e trasmette tutte le informazioni necessarie allo sviluppo e alle funzioni biologiche e riproduttive della singola cellula o dell'individuo pluricellulare.

DNA ricombinante: tecnica dell'ingegneria genetica che permette di estrarre il DNA dalla cellula di un organismo, isolare i geni che interessano e inserirli (eventualmente dopo averli modificati) in cellule di organismi diversi. In questo modo è possibile modificare il corredo genetico di un organismo e quindi trasferirgli delle caratteristiche di cui era privo.

Endonucleasi di restrizione: enzimi di origine batterica capaci di tagliare il DNA in punti specifici, in corrispondenza di particolari siti di riconoscimento; ogni enzima di restrizione ha un proprio sito di riconoscimento.

Gene: tratto di DNA che codifica una specifica proteina; è l'elemento del patrimonio genetico ereditato da una generazione all'altra.

Gene silencing: fenomeno di difesa contro l'intrusione di DNA estraneo, potenzialmente patogeno: si ha dopo l'ingresso del DNA nella cellula grazie a processi di inattivazione. Altri compiti del gene silencing sono la regolazione della normale espressione genica e la prevenzione di fenomeni di migrazione all'interno del genoma causata da trasposoni.

Ingegneria genetica: produzione di nuove combinazioni di materiale ereditabile, ottenute mediante l'inserzione di molecole di acido nucleico (DNA), di qualunque provenienza, in un organismo ospite, nel quale tali molecole di DNA non sono presenti naturalmente ma nel quale, una volta acquisite, possono propagarsi indefinitamente.

Monocotiledoni: classe delle angiosperme che possiedono un solo cotiledone nell'embrione. Sono per lo più erbacee e comprendono specie di fondamentale importanza alimentare come riso, mais, orzo e frumento.

Mutagenesi: tecnica che utilizza metodi chimici o enzimatici per mutare la sequenza del DNA. Può portare a modificazioni specifiche di amminoacidi, in modo da creare proteine con proprietà più adatte alle applicazioni industriali, terapeutiche o di ricerca.

Plasmidi: Piccole forme circolari di materiale genetico contenute nei batteri e in grado di trasportare geni in cellule di specie diverse, dove si possono replicare autonomamente. Vengono rotti utilizzando le endonucleasi per l'inserimento di frammenti di DNA di provenienza esogena.

Trasformazione: il processo di inserzione di nuovo materiale genetico nel genoma della pianta ospite, deputato alla espressione di tale materiale per ottenere le caratteristiche volute.

Trasposone: segmento di DNA che può essere inserito in diverse posizioni del DNA batterico, alterando il DNA ospite. È naturalmente in grado di migrare da una porzione all'altra del genoma di appartenenza.

te è proprio la resistenza che quella pianta (o meglio quel nucleo che si cercherà di modificare e far crescere prima in coltura poi nel terreno come nuova piantina transgenica) oppone all'ingresso di materiale sconosciuto.

Ogni gene, infatti, non è esprimibile se non è accompagnato da tutta una serie di istruzioni accessorie, determinate da una corta sequenza genetica all'estremità iniziale; questa sequenza è il promotore: esso consente l'espressione delle proteine nelle quantità, nei tempi e nei luoghi corretti, e normalmente è diverso per ogni gene. È per questo che il transgene deve contenere anche l'interruttore genetico in grado di attivarlo propriamente.

Tutti gli ogm contengono quindi potenti promotori che, in fase di costruzione, sono serviti ad attivare i nuovi caratteri introdotti; i più utilizzati attualmente derivano da DNA virale, proprio per le sopracitate capacità dei virus di aggirare ogni meccanismo regolatore del genoma ospite e di esprimere fortemente il proprio. Il promotore più comune è il CaMV 35S, derivato dal virus che infetta il cavolfiore, seguito dall' FimV che spesso è usato come valida alternativa al primo, provvedendo a volte anche ad espressioni del transgene più significative.

Marker di selezione

Proprio in relazione alle difficoltà insite nel processo di trasformazione, è necessario poter riconoscere le cellule ingegnerizzate tra le tante utilizzate come bersaglio. Per fare questo si è pensato di fornire a tali cellule caratteristiche riconoscibili che le altre non possiedono. Il metodo più semplice e comodo è quello di inserire, insieme ai geni per le nuove proprietà volute, il tratto genetico che esprime la resistenza agli antibiotici: trattando la coltura cellulare con antibiotico si elimineranno infatti tutte le cellule non resistenti (e quindi non modificate geneticamente), con la certezza che le sopravvissute possono poi dare origine a piante transgeniche. Oltre ai marker di selezione che conferiscono resistenza ne sono utilizzati altri (seppur con incidenza ben minore) che esprimono altre caratteristiche evidenti, come diversa colorazione, fluorescenza e addirittura bioluminescenza. Per ovviare a potenziali problemi causati da questi marcatori, in special modo quelli per la resistenza agli antibiotici, si è sperimentato un meccanismo più complesso di doppia inserzione di DNA: viene modificata una porzione (*locus*) del cromosoma bersaglio con il transgene per la caratteristica voluta, e una porzione diversa dello stesso col gene marker. Dopo una serie di incroci controllati delle piante transgeniche ottenute si possono selezionare solo quelle non contenenti il marcatore genetico.

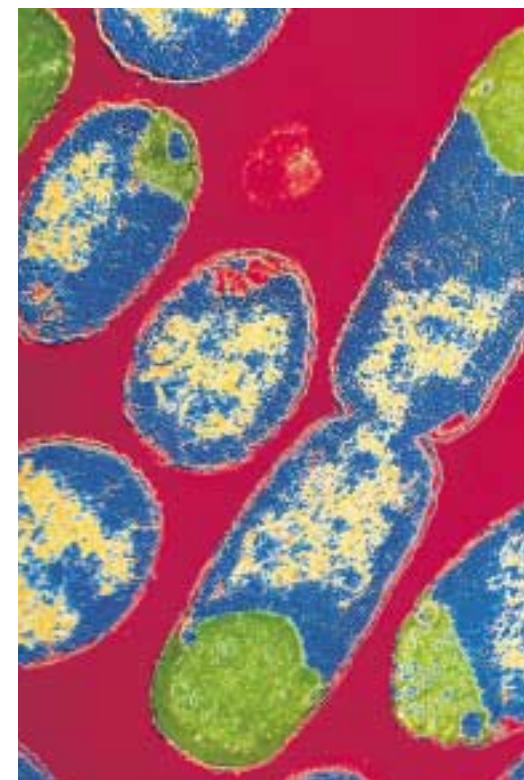
Ogm di 1^a e 2^a generazione e ogm non transgenici

Le più recenti sperimentazioni in campo biotecnologico hanno reso plausibile l'ipotesi di

una nuova generazione di ogm, che ben si differenzia da quelli per così dire «classici» o di prima generazione. Oggi la quasi totalità delle piante geneticamente modificate esprime i transgeni in tutti i tessuti in maniera indifferenziata: ciò significa che i caratteri indotti sono potenzialmente presenti in ogni parte della pianta, cioè nel nucleo di ogni singola cellula e ad ogni stadio della crescita.

I cosiddetti ogm di seconda generazione invece sarebbero geneticamente programmati affinché l'espressione del transgene venga regolata sia a livello temporale che spaziale (solo nel seme, nel germoglio, nella foglia e così via); queste proprietà permetterebbero di risolvere vari inconvenienti legati all'introduzione di DNA estraneo, come per esempio la minore crescita delle piante resistenti alla siccità, e di ottenere l'espressione del carattere acquisito solo laddove sia necessario. I fenomeni di resistenza potrebbero quindi essere indotti solo a crescita avvenuta, mentre si potrebbe ottenere l'espressione di vaccini o altri nutrienti solo nelle parti commestibili. Per ora si sta sperimentando questa strada solo sui banchi e nelle serre di laboratorio, sperando di poter procedere presto alla ricerca sul campo.

L'attenzione dei ricercatori è puntata proprio su quei promotori di cui si è poco sopra parlato:



Batteri di *Escherichia coli*, che insieme ad *Agrobacterium tumefaciens* è uno dei batteri preferiti dall'ingegneria genetica.

PRODOTTI TRANSGENICI AUTORIZZATI NELL'UE

PRODOTTO	CARATTERISTICA INSERITA	IMPIEGHI AUTORIZZATI	DATA DI AUTORIZZAZIONE
Tabacco	Tolleranza agli erbicidi	Immissione sul mercato	giugno 1994
Colza semi maschio sterili	Tolleranza agli erbicidi	Coltivazione per ottenere semi No in alimentazione umana o veterinaria	febbraio 1996
Soia semi	Tolleranza agli erbicidi	Manipolazione nell'ambiente durante l'importazione nonché prima e durante la trasformazione in frazioni non vitali	aprile 1996
Cicoria maschio sterile	Tolleranza agli erbicidi	Scopi riproduttivi	maggio 1996
Mais Bt-176	Tolleranza agli erbicidi e resistenza agli insetti	Immissione in commercio, in particolare per alimentazione umana ed animale	gennaio 1997
Colza semi maschio sterili	Tolleranza agli erbicidi	Coltivazione e manipolazione nell'ambiente prima e durante la trasformazione in frazioni non vitali	giugno 1997
Garofano	Introduzione dei geni <i>dfr</i> e <i>hfl</i> al fine di modificare la colorazione dei fiori	Immissione in commercio	dicembre 1997
Colza primaverile semi	Tolleranza agli erbicidi	Manipolazione nell'ambiente durante l'importazione nonché prima e durante lo stoccaggio e la trasformazione	aprile 1998
Mais T-25	Tolleranza agli erbicidi	Immissione in commercio	aprile 1998
Mais MON-810	Resistenza agli insetti	Immissione in commercio	aprile 1998
Mais Bt-11	Tolleranza agli erbicidi e resistenza agli insetti	Importazione e trasformazione con esclusione della coltivazione	aprile 1998
Garofano	Inserimento del gene <i>acc</i> al fine di aumentare la durata della fioritura nei vasi	Immissione in commercio	ottobre 1998
Garofano	Inserimento dei geni <i>dfr</i> e <i>bp40</i> al fine di modificare la colorazione dei fiori	Immissione in commercio	ottobre 1998

Vaccini da mangiare

Una delle frontiere più promettenti e affascinanti della biotecnologia vegetale è costituita dalla possibilità di far produrre alle piante vari tipi di vaccini. Così come si può intervenire per migliorare o far esprimere *ex novo* determinate caratteristiche, ora si possono inserire nel DNA di frutta e verdura (ma non solo) geni necessari all'espressione, nelle parti commestibili, dei fattori immunizzanti.

Procedendo come per gli altri ogm alimentari, la preparazione di un «vaccino da mangiare» parte dalla sintesi di un nuovo gene costituito da un promotore, sequenze regolatrici accessorie e, ovviamente, il tratto che codifica per l'antigene, cioè la proteina che suscita la risposta immunitaria stimolando la produzione di anticorpi. La ricerca punta ad ottenere la sintesi di quantità sufficienti di vaccino all'interno di ogni singola pianta, ma la sfida più grande nasce dal bisogno di sostanze in grado di rimanere intatte - una volta ingerite - fino al momento dell'auspicata reazione di difesa, e in più in grado di innescare altri importanti meccanismi quali l'immunità mucosale ed il blocco dell'autoimmunità. La prima è propria delle membrane di rivestimento delle vie respiratoria, digerente e riproduttiva, e produce una reazione generale dell'organismo in grado di conservare memoria degli «intrusi» da combattere (l'ingestione dei vaccini basterebbe per ottenere questo tipo di risposta); l'autoimmunità invece si manifesta quando proteine prodotte dal corpo umano vengono scambiate per elementi estranei (autoantigeni): una delle forme più comuni di questa aberrazione è il diabete di tipo I, nel quale sono le proteine secrete dal pancreas (e produttrici di insulina) ad essere distrutte. Il ruolo dei vaccini commestibili contro l'autoimmunità è strettamente legato al fenomeno della tolleranza orale, grazie al quale l'assunzione degli stessi autoantigeni tramite frutta o verdura porterebbe alla loro accettazione da parte del sistema immunitario.

Questi risultati, è importante sottolinearlo, sono ancora ben lontani dal poter essere ottenuti sistematicamente, basti pensare all'ancora scarsa quantità di vaccino ottenibile dalle piante ingegnerizzate e a tutte le incognite e i timori legati al mondo degli ogm. Eppure il progresso scientifico in questo campo potrebbe aprire scenari insperati specialmente nei Paesi sottosviluppati, per i quali i vaccini convenzionali sono costosi e di difficile accesso, mentre la distribuzione di piante immunizzanti come patate, tabacco, banane, pomodori, riso, mais ecc. costituirebbe l'accesso diretto, ed economico, a migliori condizioni sanitarie da parte di milioni di persone. A patto che si valutino attentamente le caratteristiche di ogni specie vegetale - meglio utilizzare in questo senso piante a crescita rapida e cibi crudi e poco deperibili - e che si intenda investire correttamente nella distribuzione, rinunciando a facili tentazioni monopolistiche.

quelli virali finora utilizzati si possono più propriamente indicare come «costitutivi» (esprimono il transgene sempre e ovunque nella pianta), mentre la ricerca di settore cerca di rendere utilizzabili promotori «non costitutivi»; in questo modo si potrebbe avvicinare il comportamento reale di queste sequenze genetiche, che in natura - come detto - hanno compiti e priorità differenti a seconda del gene che precedono. Una volta in possesso delle conoscenze necessarie si potrebbe cercare di inattivare i marker di selezione dopo aver individuato le cellule transgeniche, o addirittura forzare l'espressione del carattere voluto in qualsiasi momento tramite promotori inducibili, sensibili cioè a sostanze applicabili dall'esterno.

Non tutti gli ogm però sono transgenici, e di conseguenza non sempre si manifestano quei problemi legati all'introduzione di DNA estraneo: a volte si possono ottenere risultati analoghi lavorando sul solo genoma dell'organismo che si vuole modificare. È possibile, per intenderci, individuare la sequenza genetica da alterare, estrarla, sottoporla

positivamente modificati e reimmessi nel genoma - non è possibile negli incroci convenzionali, dove viene mischiato DNA già di appartenenza dei due individui coinvolti, necessariamente della stessa specie o di specie molto simili. Anche le sequenze accessorie come i promotori virali ed i marker di selezione sono assenti nei processi naturali. Si prenda per esempio il caso dell' *Agrobacterium tumefaciens*: esso è utilizzato «impropriamente» anche per un'altra ragione: quando infetta le piante in condizioni normali esse incorporano i geni batterici solo nella parte lesa, e questi non vengono trasmessi alle generazioni future; nell'ingegneria genetica invece la modificazione è presente in ogni cellula, germinale compresa.

Naturalmente anche i caratteri derivati dai marker di selezione sono una prerogativa degli ogm, così come quelli del tutto inattesi causati dall'inserimento casuale del transgene nel genoma da modificare.

Questo è un punto cruciale e molto delicato dell'intera questione. Pur riuscendo a ingegnerizzare una pianta, a og-

ai necessari aggiustamenti e reintrodurla nella stessa originaria posizione; è tramite questa sorta di autotrapianto che si sono ottenuti, per esempio, pomodori GM che apparentemente non marciscono (pur non potendo evitare, tuttavia, la perdita delle proprietà nutritive).

Nuove caratteristiche

Dopo aver visto in dettaglio quali sono le tecniche con cui si costruisce un organismo geneticamente modificato, è giunto il momento di capire come questi ogm si differenziano dalle specie naturali di cui costituiscono una variante e quindi quali sono i vantaggi oggettivi che le loro caratteristiche possono apportare all'agricoltura, all'ambiente, all'alimentazione e così via. Alcune anticipazioni in questo senso sono state date proprio nell'ultimo paragrafo.

Le peculiarità ottenute dalle nuove varietà transgeniche sono veramente innumerevoli, così come le specie vegetali sulle quali è stata compiuta sperimentazione genetica. In questa pagina è riportata una lista con i tratti più comuni e una tabella del Ministero della Sanità sugli ogm presenti sul territorio europeo.

Navigando nel *mare magnum* della diatriba sugli ogm si sente spesso affermare che l'ingegneria genetica, applicata al settore agroalimentare, altro non sarebbe che un'estensione delle normali tecniche di incrocio, utilizzate dall'uomo da millenni per selezionare le migliori varietà vegetali. Questo non è vero per una lunga serie di motivazioni scientifiche. Senza voler scendere da qui in altri tipi di commento (non ne sarebbe la sede), si cercherà di elencare almeno le più significative differenze tra le due metodologie. Per farlo sarà sufficiente ricordare quanto scritto più sopra riguardo la costruzione di un organismo modificato, specialmente se transgenico.

In primis bisogna ammettere l'estraneità del DNA che viene inserito: l'utilizzo di geni appartenenti a gruppi vegetali anche molto diversi dal ricevente - così come di geni ap-



gi è pressoché impossibile localizzare con certezza il punto esatto del genoma dove questa modificazione prende atto. E poiché la posizione di un gene condiziona fortemente la sua espressione, è normale aspettarsi un certo grado di indeterminazione, specie con metodi di inserzione diretta come il «cannone a DNA», che inserisce copie multiple del costrutto genetico in varie porzioni del genoma ospite.

Immerso in tratti genetici che codificano per determinate caratteristiche naturali, il transgene potrebbe inattivarle o modificarle: un caso comune di questo fenomeno è quello citato dell'adattamento ai suoli aridi, che come effetto collaterale porta a piante più piccole; questo comportamento è noto in natura come «effetto pleiotropico», e si ha quando un gene sta alla base di più caratteristiche. All'opposto, singoli caratteri possono essere sviluppati dalla concomitante azione di più geni.

Di questo, come di altri fenomeni come il *gene*

I principali traguardi raggiunti

- Resistenza a patogeni e parassiti (mais e altri organismi BT)
- Tolleranza agli erbicidi (per esempio il mais Roundup, Monsanto)
- Resistenza alle malattie infettive (virali, batteriche, fungine)
- Aumentata velocità di crescita
- Mitigate caratteristiche allergologiche di alcuni alimenti
- Migliorato valore nutrizionale per maggior espressione di vitamine e sali minerali
- Rallentamento o inibizione del deterioramento di frutta e verdura
- Resistenza a stress ambientali e adattamento a terreni aridi o ipersalini
- Produzione di fitofarmaci e vaccini (*si veda il box a pagina 8*)

silencing o la diversa espressione del transgene a seconda delle condizioni ambientali e dell'età della pianta, bisognerà certamente tenere conto in molti procedimenti di trasformazione.

I semi della discordia

Il dibattito ecologico-scientifico sull'utilizzo di organismi transgenici
in ambito agroalimentare continua a produrre forti contrapposizioni



L'eccezionale sviluppo delle moderne biotecnologie, specie quello che ha riguardato negli ultimi trent'anni l'ingegneria genetica, ha aperto nuove strade e nuove possibilità di applicazione in vari campi spesso interconnessi tra loro: medico-farmacologico, industriale, zootecnico, agro-alimentare, energetico, ambientale. In seguito alla comprensione di un sempre maggior numero di geni all'interno di microrganismi, piante e animali (uomo compreso), si sono via via intensificate le pratiche concernenti il trasferimento di materiale genetico non solo nell'ambito di organismi appartenenti alla stessa specie, o a specie simili, ma anche fra specie molto dissimili e addirittura fra Regni diversi (da animali a vegetali e viceversa), instaurando una modalità di flusso genico del tutto nuova nella storia della vita su questo pianeta. Ciò ha comportato il «sorpasso» di molti dei vincoli che regolano la trasmissione genetica in natura e che sono tanto maggiori quanto maggiori sono le diversità biologiche tra «donatore» e «ricevente». Nell'ambito delle specie a riproduzione sessuale in estrema sintesi si può dire che i flussi genici coinvolgono, per ciascuno dei due individui implicati, una «stocastica» metà - il corredo aploide - del loro complesso genetico e non isolate porzioni del DNA che lo costituisce, né a maggior ragione di DNA estraneo: «stocastica» sta a indicare che è generata da ben precisi meccanismi di base che lasciano comunque ampio margine al caso.

Oggi il poter veicolare singoli geni in una cellula o in un organismo ha dato modo di immaginare la biosfera come un enorme serbatoio genico universale all'interno del quale sono possibili scambi attraverso canali finora inesistenti, anziché "accettarla" come un insieme di distinti patrimoni genetici in cui i flussi sono regolati secondo una gerarchia tempo-dipendente.

Gli interventi di trasferimento genico (si veda *ogm a tavola: che cosa sono, come si fanno* a pagina 4) come detto trovano applicazione in vari campi ma hanno assunto sempre maggiore rilevanza in quello agro-alimentare, anche per la risonanza che l'impiego di ogm in questo settore ha sull'opinione pubblica.

La lunga storia dell'agricoltura e dell'allevamento, iniziata circa 10.000 anni fa con la cosiddetta «rivoluzione neolitica» ha registrato, specie nel secolo appena trascorso, una forte accelerazione di tutte le pratiche (sempre più industrializzate) tendenti a soddisfare le esigenze dell'umanità - per lo meno quella insediata in Europa ed in America - sia in termini qualitativi che quantitativi: aumento delle aree coltivabili, ricerca di fertilizzanti sempre più efficienti, miglioramento delle caratteristiche di piante ed animali tramite ripetuti incroci e selezioni, uso di sostanze (pesticidi, erbicidi, antiparassitari eccetera) per limitare le perdite nelle produzioni agricole, utilizzo di nutrienti, apporti vitaminici e ormonali nel campo zootecnico e così via. In questo contesto le tecniche del DNA ricombinante sono viste da molti osservatori come lo strumento capace di sopperire alle molteplici richieste, e potrebbero sostituire in larga misura gli interventi di tipo tradizionale.

Prima del loro avvento, per ottenere un organismo con precise caratteristiche occorre tempo molto più lunghi e incroci ripetuti, dato che bisognava operare selezioni sui fenotipi, scegliendo cioè in base all'espressione genica complessiva di ogni individuo (che comporta anche il



trasferimento di caratteristiche indesiderate) o, in tempi più recenti, inducendo mutazioni con agenti chimici (sostanze mutagene) o fisici (radiazioni ultraviolette, raggi x o raggi gamma).

È del lontano 1982 l'immissione sul mercato di insulina umana prodotta nel batterio *Escherichia coli*. Anche in agricoltura l'impiego di ogm è in uso da tempo: nel 1986 l'EPA (Environmental Protection Agency) approva la distribuzione di semi transgenici di tabacco, mentre il primo



sperimentali di ogm e crescono di numero anche quelli che li coltivano a scopo commerciale: in Sudafrica proprio quest'estate è stato effettuato il primo raccolto di mais transgenico proveniente dagli USA in una quantità pari all'uno per cento del suo mercato di cereali.

Gli obiettivi

Gli interventi di bioingegneria in campo agro-alimentare mirano essenzialmente a migliorare il processo di coltivazione e la qualità del prodotto, conferendo resistenza ad erbicidi, parassiti ed altri agenti patogeni (funghi fitopatogeni e soprattutto larve di insetti e di vermi), aumentando la tolleranza a situazioni ambientali avverse (siccità, basse temperature, salinità dell'acqua e così via), diminuendone la tossicità alimentare, accrescendone le proprietà nutritive, variandone i tempi di maturazione e modificandone altre caratteristiche. È proprio la prospettiva di produrre piante molto resistenti, con garanzie di elevatissima produttività, che ha spinto grandi multinazionali come Monsanto e Novartis (ora Syngenta) a puntare sulle biotecnologie, con l'intento di ottenere i più grandi ritorni economici alla luce della brevettabilità degli ogm.

Parte della comunità scientifica ha comunque avallato l'uso delle biotecnologie in campo alimentare. In esse si intravedono grandi opportunità nella risoluzione di problemi umanitari e ambientali sempre più urgenti. Un successo di queste tecniche garantirebbe ad esempio un minor uso di agenti inquinanti (pesticidi, erbicidi, antiparassitari, insetticidi e così via), uno sfruttamento più efficace dei suoli adibiti a coltura, la possibilità di sfruttare anche zone colpite dalla siccità, venendo incontro alla sempre maggiore richiesta di cibo soprattutto nei Paesi del sottosviluppo.

Quello della fame e della sopravvivenza nei Paesi del terzo mondo è uno degli argomenti di punta nella propaganda pro-OGM in campo agricolo e alimentare: la popolazione mondiale è in continua crescita mentre diminuiscono le estensioni di terre coltivabili necessarie a soddisfare la crescente domanda di alimenti.

In sostanza l'intento primario della strategia che si affida ai mezzi biotecnologici è quello di una maggiore e più duratura resa per unità di superficie, con aree in questo modo meno sottoposte all'inquinamento da trattamenti di tipo chimico (il che dovrebbe consentire anche un abbassamento dei costi di produzione) e con un minore sacrificio di habitat di primaria importanza, come ad esempio quello forestale, oggi sfruttati per ricavare terreni coltivabili. Perseguono questo scopo anche sperimentazioni come quella che mira ad estendere a più famiglie di vegetali la caratteristica che consente alle leguminose di auto-fertilizzarsi grazie alla simbiosi con un batterio del genere *Rhizobium*, il quale trasforma l'azoto atmosferico in ammoniaca, così direttamente assimilabile. Oppure come quella che punta a potenziare gli effetti fertilizzanti e nutritivi - azoto e sali minerali - di alcuni mi-

L'uomo ha cominciato a modificare l'ambiente che lo circondava nel Neolitico, e nei millenni le varietà vegetali destinate alla coltivazione sono cambiate, tuttavia mai prima di oggi le tecniche a disposizione avevano permesso di agire così in profondità sugli organismi viventi. In alto, un insetto impollinatore, importante veicolo del flusso genico tra specie affini.

crorganismi in modo da favorire maggiormente la crescita delle piante una volta distribuiti nel terreno.

L'altro grande obiettivo è quello di ottenere cibi, sia di origine vegetale che animale, con maggiore valore nutrizionale (vitamine, proteine, ferro ecc.), come nel caso del golden rice, ed anche in grado di immunizzare dalle malattie (si veda il box *Vaccini da mangiare* a pagina 8). Ciò consentirebbe di porre un freno a fenomeni di carestie alimentari e di proteggere un gran numero di persone da molte delle malattie (difterite, pertosse, poliomielite, rosolia, tetano, tubercolosi, epatite B) che affliggono Paesi con un sistema sanitario inadeguato, utilizzando più che altro vaccini ottenuti tramite tecniche di ingegneria genetica, non solo sotto forma di farmaci ma soprattutto attraverso alimenti come patate, soia, pomodori, banane ed altri.

Va comunque detto che queste prospettive di grossi incrementi nella produzione sembrano per adesso essere più che altro utili alle economie dei Paesi industrializzati - nei quali le grandi coltivazioni estensive consentono di padroneggiare sui mercati internazionali - mentre per i Paesi del terzo mondo le possibilità di successo saranno, almeno per un certo tempo, legate a forti incentivi ed agevolazioni dall'esterno, data l'insostenibilità dei costi per l'uso di sementi brevettate.

Un altro argomento proposto a supporto della causa ogm è quello della salvaguardia di alcune specie in via di estinzione. In questo caso l'inserimento di geni estranei mira ad apportare quelle caratteristiche che consentono alle specie vegetali di resistere a quegli agenti inquinanti, climatici e patologici che ne mettono in pericolo la sopravvivenza. In campo agro-alimentare ciò consentirebbe a molti Paesi di preservare alcuni prodotti grazie al mantenimento delle caratteristiche da cui dipende il loro valore biologico ma anche di mercato (si ricordi il clamore suscitato in Italia del pomodoro San Marzano e del riso Carnaroli).

Rischi e timori

In base a quanto fin qui esposto un modello di sviluppo basato sull'uso di ogm sembra quindi prospettare luminosi orizzonti e vantaggi per l'intera umanità (sebbene di portata molto diversa a seconda dei casi) e pure per l'ambiente, dal quale dipende inevitabilmente anche la vita della nostra specie.

La «questione biotecnologica» in verità è parte di una realtà terribilmente complessa, dove si fondono tra loro interessi, motivazioni e necessità di vario genere, impossibili da scindere in maniera netta gli uni dalle altre. Una realtà su cui insistono pressanti interessi economici e sorgono angoscianti domande di tipo etico e religioso, e i cui sviluppi comportano grandi risvolti sociali. Parlare di un'unica economia, di una sola etica e di una sola scienza in un contesto così complicato è certamente riduttivo. La scienza è chiamata ad intraprendere strade e a trovare soluzioni in base a richieste anche molto contra-

stanti fra loro, così come molti e diversi sono i modi di intendere e fare la scienza.

Anche all'interno dei temi legati all'ecologia il dibattito sugli ogm ha assunto toni forti e aspri, seppur con le dovute differenze a seconda del settore d'impiego.

Le ragioni di coloro che si oppongono all'uso di specie geneticamente modificate in ambito agro-alimentare sono dettate da alcune principali considerazioni. In primo luogo non è condiviso il tipo di approccio che i sostenitori del transgenico hanno con quelle che sono le strutture biologiche alla base della vita: un approccio figlio di una mentalità meccanicista e riduzionista che assimila a macchine gli esseri viventi e non li valuta nella loro complessità. Un gene inserito in un sistema complesso non va semplicemente a sommarsi agli altri presenti, ma entra a far parte ed interagisce con quella complessità, tanto da non rendere possibile prevederne gli effetti. E più l'organismo che si vuole modificare è evoluto, maggiore è l'imprevedibilità della sua reazione.

Un unico gene può codificare per più proteine, più geni per una sola, ed il loro comportamento può variare in ragione di fattori fisici (come la temperatura) e chimici; molti tratti di DNA apparentemente inerti potrebbero avere in realtà funzioni sconosciute ed anch'esse variabili; per qualsiasi sistema vivente la storia evolutiva ed individuale, così come il tempo, sono elementi di fondamentale importanza. Oggettivamente viene meno quel «dogma centrale della biologia» che, pur avendo fatto il suo tempo, è considerato un caposaldo da molti fautori del biotech: esso assumeva infatti che ogni gene codificasse per una proteina e questa poi portasse all'espressione di un determinato carattere.

Alla luce di queste osservazioni la preparazione di ogm potrebbe innescare processi che poi vanno avanti autonomamente e in modo incontrollabile, rivelando le conseguenze su una scala di tempi molto ampia. Questo già di per sé implica delle difficoltà dal punto di vista della sperimentazione, la quale per garantire una certa dose di affidabilità nei risultati, tale da poter scegliere di affrontare i rischi ecologici e sanitari legati alla diffusione degli ogm in natura e nei cibi, richiederebbe tempi lunghissimi. L'irreversibilità degli esiti, buoni o cattivi che siano, fa sì che venga meno la possibilità sia di controllare le situazioni che di porvi rimedio.

Più concretamente uno degli aspetti indesiderati è quello dell'«inquinamento genico»: come impedire la diffusione di un gene modificato? Quanto è accaduto in Messico è emblematico.

Geni di *Bacillus thuringiensis* responsabili della sintesi di endotossine insetticide e trapiantati nel mais di estese coltivazioni statunitensi - per proteggerne i raccolti dall'attacco della piralide, loro principale parassita - sono stati rinvenuti anche in piante dello stesso tipo cresciute oltre il confine messicano con sistemi più tradizionali. Qui infatti la legge, pur ammettendo il consumo di mais GM, ne vieta la coltivazione. In questo caso sembra che alcune partite dei sei milioni di tonnellate di mais importate annualmente dagli



Un campo di girasoli. Tra le maggiori preoccupazioni degli oppositori degli ogm c'è la possibilità che i geni introdotti in specie transgeniche si propaghino a quelle vicine.

Prodotti in pericolo

Il pomodoro San Marzano e il riso Carnaroli

Nell'agricoltura italiana il settore delle biotecnologie sta rivolgendosi a particolari attenzioni a tutti quei prodotti tipici ritenuti a rischio di estinzione. Fra essi possiamo citare il broccolo romanesco, l'albicocco Val Santerno di Imola, le mele della Val d'Aosta, il pesco di Venezia e Verona, il carciofo catanese, la patata di Montello, il peperone di Cuneo, nonché alcuni tipi di viti ed oli - e conseguentemente di vini ed oli - oltre ai due su cui si è maggiormente concentrato l'interesse dei media: il pomodoro San Marzano ed il riso Carnaroli.

Endemico della Campania, dove si è originato spontaneamente da varietà già presenti (direttamente dal lampadina o per ibridazione fra fiascone e fiaschella) presumibilmente in contrada Fiano, fra Nocera inferiore e Sarno, per poi diffondersi a San Marzano, questo pomodoro è conosciuto e apprezzato in tutto il mondo per le sue pregevoli caratteristiche organolettiche. Ricco anche di vitamine e sali minerali, esso costituisce un punto di riferimento nella dieta mediterranea, nonché una risorsa economica italiana in particolare al Sud. Per difenderne

le colture dall'attacco da parte del virus del mosaico del cetriolo (CMV) la Metapontum Agrobios (una società consorzio lucana impegnata in progetti di ricerca biotecnologica, oggi supportata dalla Bioren s.p.a. di San Francisco) ha messo a punto una varietà GM capace di contrastare gli effetti del virus. Le piante transgeniche resistenti a CMV sono state ottenute mediante 3 diverse strategie ed hanno già superato le prove sperimentali sul campo. Per adesso però non ne è stato ancora autorizzato il commercio. Lo stesso ministro dell'agricoltura Alemanno ha dichiarato recentemente di non ritenere necessario l'impiego delle tecniche del DNA ricombinante per salvaguardare il San Marzano e più in generale i prodotti del settore agroalimentare, suggerendo piuttosto di investire su quelli medico e chimico, rinnovando così lo scontro fra promotori e contrari a certi usi del biotech.

Se i primi sostengono che solo l'intervento dell'ingegneria genetica possa salvare le suddette varietà a rischio, le motivazioni dei contrari si basano sul fatto che i nostri mercati possono essere competitivi solo se viene valorizzato l'aspetto qualitativo più che quello quantitativo delle produzioni, in ragione soprattutto sia di fattori relativi alla geografia del territorio che per la tutela di tutta quella parte di imprenditoria agricola di dimensioni medio-piccole che qui riveste un'importanza fondamentale anche per la conservazione ed il mantenimento dei nostri paesaggi rurali. Inoltre ritengono, in linea con il principio di precauzione, che ancora non ci siano sufficienti garanzie che le qualità essenziali del prodotto restino intatte: non solo sotto il profilo sanitario, ma anche dal punto di vista della conservazione di quelle caratteristiche che lo rendono unico a livello mondiale e grazie alle quali ha il suo valore di mercato.

Anche per il riso Carnaroli, una varietà proveniente dalle risaie della bassa pavese e vercellese (ottenuto nel 1945 da un incrocio fra il vialone ed il lencino), è stata introdotta, grazie ad un finanziamento della Comunità Europea, una modifica con un gene del mais per renderlo resistente all'attacco del fungo (*Pyricularia oryzae*) responsabile del «brusone», una malattia che ne blocca la crescita. Ma c'è chi pensa a qualcosa di ben più lucroso della sola salvaguardia del prodotto: la notizia dello scorso aprile del completamento della mappatura del genoma di due tipi di riso, l'«indica» e la «japonica» (cui il Carnaroli appartiene), annunciato dalla multinazionale Syngenta, ha incentivato la ricerca di soluzioni per accrescere la produzione ed aumentare il contenuto vitaminico nel tentativo di trasformarlo in un Golden rice da immettere sul mercato mondiale.

Il pomodoro San Marzano, endemico della Campania, è al centro di un aspro dibattito tra sostenitori e oppositori delle tecniche biotech per la sua preservazione.

USA siano state seminate dagli agricoltori, forse ignari che contenessero elementi geneticamente modificati. La contaminazione dei siti analizzati era in media del 15 per cento, con punte del 35 per cento: il fatto preoccupa per le possibili conseguenze sul piano ambientale e culturale. Infatti in Messico, Paese di origine del mais, sono più di 300 le specie di questo vegetale che nei millenni si sono adattate alle condizioni più varie (tipi di suolo, altitudine, salinità del terreno e così via) grazie alle diverse conoscenze degli indigeni, tanto da costituire una «banca di geni» preziosa per l'intero pianeta: questa ora rischierebbe così di depauperarsi.

Ma non è necessario l'errore umano per provocare contaminazioni. I flussi genici che avvengono naturalmente potrebbero essere sufficienti per inquinare anche varietà o altre specie selvatiche affini a quella GM.

Specie coltivate su larga scala determinano flussi praticamente unidirezionali verso le popolazioni selvatiche. Un gene che conferisce un vantaggio selettivo (resistenza a insetti, malattie, stress ambientali ecc.) alla lunga può comportare persino l'estinzione del genotipo selvatico. Così come d'altro canto può rendere resistenti ad erbicidi piante infestanti.

Timori sono suscitati anche dai flussi «oriz-

zontali» di geni - quelli che avvengono tra specie diverse (in natura sono stati riscontrati fra la barbabietola ed un batterio) - soprattutto se dovessero verificarsi trasferimenti di marcatori di resistenza agli antibiotici verso cellule batteriche del terreno, o in organi animali come il rumine e l'intestino. Ma l'inquinamento dovuto ai flussi verticali (mediante riproduzione sessuale), accusato di poter causare un impoverimento genico e una diminuzione del numero delle varietà e delle specie, può incidere sensibilmente a livello globale sull'abbassamento della biodiversità, prezioso patrimonio di cui sono in possesso i Paesi del terzo mondo, più di quanto non facciano direttamente o indirettamente i vari agenti chimici protagonisti della cosiddetta prima «rivoluzione verde».

Il tema della biodiversità ha un ruolo chiave nel dibattito scientifico sugli ogm. L'alta competitività che possono sviluppare le piante transgeniche può andare a scapito di altre specie o varietà della stessa. La perdita di una specie ha ripercussioni su tutto l'ecosistema in cui vive, nel quale si crea un'alterazione dei flussi di energia che caratterizzano la catena trofica, determinando uno «spostamento» verso un nuovo stato di equilibrio. I vertebrati, situati ai vertici della catena, sono quelli che risentono di più di queste perturbazioni. Molte sono le

logici), percorrendo una propria strada. Le tecniche del DNA ricombinante, collegando strade evolutive anche molto distanti, spingono già in prima istanza verso una omogeneizzazione del vivente e non verso quella diversificazione che rappresenta uno dei tratti caratteristici dei processi evolutivi.

Nella complessità dei biosistemi, inoltre, non solo la diretta scomparsa di una specie, ma anche l'alterazione di delicati equilibri può avere come ultima conseguenza l'impoverimento della biodiversità. Ad esempio alcune piante GM potrebbero risultare letali anche nei confronti di insetti utili, minando così alcuni anelli della catena trofica. A questo proposito il caso più eclatante è stato quello della farfalla monarca (*Danaus plexippus*), che con i suoi 10 centimetri di apertura alare è uno dei lepidotteri più ammirati al mondo: alcuni esperimenti condotti fra il 1999 ed il 2000 mostravano che le larve che si erano nutrite di piante cosparse - tramite il vento - di polline Bt proveniente da campi di mais GM presentavano tassi di mortalità significativamente più elevati rispetto agli insetti di controllo (quelli cui è stata evitata l'ingestione del polline). Ciò ha indotto l'Unione Europea a fermare la coltivazione di 10 specie di mais transgenico e a prolungare gli studi sulla loro tossicità.



Un esemplare di farfalla monarca, la specie che è divenuta una bandiera delle contestazioni anti-ogm.

specie ancora sconosciute, molte sono ancora da studiare (si pensi alle piante che potrebbero avere proprietà terapeutiche); una loro estinzione equivarrebbe a uno spreco di biodiversità, alla rinuncia di possibili soluzioni dettate dalla natura e che possono rivelarsi utili per consentire alle generazioni future della nostra specie di sopravvivere in maggiore armonia con essa.

Le specie sono frutto di una lunga storia evolutiva nella quale l'uomo rappresenta solo un capitolo recente. Quando una specie scompare se ne va anche quel particolare assortimento di geni che la contraddistingue e che si è lentamente costituito, secondo tempi biologici (e non tecno-

All'opposto potrebbe risultare accelerato lo sviluppo di insetti nocivi resistenti, vanificando le ragioni per cui tali piante sono state modificate e obbligando anzi all'uso di insetticidi ancora più tossici di quelli finora usati.

La scelta transgenica, in particolare nel settore agro-alimentare, solleva dunque questioni ben più ampie di quelle puramente tecniche, che coinvolgono il sapere ed il sentire umano in modo profondo. Se essa rappresenta effettivamente uno strumento per la risoluzione di gravi problemi che affliggono l'umanità occorre adottare tutte le precauzioni e le verifiche possibili, anche di compatibilità con modelli di sviluppo sostenibile.

Fame e ogm

Uno degli argomenti portati a favore dei prodotti GM è la loro possibilità di alleviare la fame nei Paesi in via di sviluppo, ma sono soprattutto i grossi interessi delle multinazionali a destare perplessità

Estate 2002: Zimbabwe, Mozambico e Zambia hanno respinto gli aiuti alimentari USA: 500mila tonnellate di cereali, con varietà geneticamente modificate. Malawi, Swaziland e Namibia li hanno invece accettati. Mais e grano sono ora in attesa nei silos del porto di Durban, e l'OMS per questo ha indetto una riunione regionale ad Harare.

Può l'Africa affamata permettersi il lusso di rifiutare cereali GM? Il timore nei confronti degli ogm non è per i danni alla salute ma è dato dal fatto che nessuno può prevedere gli effetti che varietà GM hanno sull'ecosistema. Si è visto che semplici trasferimenti geografici di specie hanno innescato retroazioni a catena che hanno profondamente alterato gli equilibri degli ecosistemi ospiti, quindi al momento nessuno può dire quali possano essere gli effetti indotti dall'immissione di specie con alterazioni artificiali del codice genetico.

Le ragioni di chi si oppone all'uso di cereali GM in Africa sono diverse e circostanziate, anche alla luce di trascorsi poco limpidi. Eccone un breve elenco.

Africa pattumiera dei Paesi ricchi? Dopo latte in polvere avariato, farmaci scaduti, farine marce e pomodori al Temik ora dovrebbe arrivare nel continente nero anche l'enorme surplus di cereali GM coltivati grazie agli ingentissimi aiuti pubblici (350 miliardi di dollari all'anno negli Stati Uniti): la produzione dei *farmer* americani è

destinata per il 60 per cento all'esportazione. Vandana Shiva - celebre attivista indiana in questo campo - afferma che tra il 1999 e il 2000 i surplus di derrate GM hanno costituito il 30 per cento delle 500.000 tonnellate di mais «donate» dalla US Agency for International Development alle agenzie umanitarie, tra cui il World Food Programme, grazie a contratti con le corporazioni dell'agrobusiness.

Potrebbe scomparire una nicchia di mercato essenziale per i contadini africani: il bestiame

africano nutrito con cereali GM non potrà più essere esportato nei Paesi che rifiutano cibo GM.

Poi, gli aiuti umanitari creano dipendenza: ogni tonnellata di cereali ricevuta è una tonnellata di cereali che non sarà coltivata. Ricordiamo che quando l'Unione Europea ha smaltito le proprie eccedenze di latte in Giamaica ha provocato il fallimento degli allevatori locali, e che le eccedenze di riso USA smaltite ad Haiti hanno determinato la rovina dei coltivatori dell'isola.

Infine, le sementi GM provocano una doppia

dipendenza: i due terzi della soia GM sono manipolati per la resistenza all'erbicida Roundup della Monsanto, quindi i coltivatori diventano dipendenti non solo dalla semente ma anche da quell'unico pesticida efficace (prodotto e distribuito proprio come le sementi - dalla stessa Monsanto).

Si sente spesso affermare che la biotecnologia può aumentare la produzione e quindi sconfinare la fame.

I magazzini europei e americani traboccano di



I contadini di Bijapur

Bijapur è una piccola città dell'India meridionale, nello Stato di Karnataka. In tutta la zona l'attività economica prevalente è l'agricoltura, condotta nella stretta osservanza di un calendario rituale che ha come oggetto la terra. Della terra i contadini fanno uso in base a particolari combinazioni di fattori naturali che riescono a garantire il benessere alimentare della popolazione. La qualità del suolo e la serie di operazioni ad esso connesse (la scelta del periodo dell'anno, la disponibilità d'acqua, la varietà delle sementi, ecc.) che devono essere eseguite in maniera appropriata, consentono di raggiungere la *hulige*, cioè l'"abbondanza concessa" (i raccolti) dalla terra. La *hulige* è connessa con i riti propiziatori di cui la terra è oggetto, ma ha anche una forte valenza morale e sociale perché è garantita dalla condivisione della fatica della coltivazione ed implica la ripartizione del raccolto tra i membri della comunità. Nella zona esistono tre qualità di suolo: due sono coltivate in modo tradizionale con sorgo e miglio di varietà autoctona, mentre una terza viene oggi coltivata con riso ibrido, di importazione dall'Occidente. La coltivazione di questo riso (ibrido) ha richiesto lo scavo di pozzi e l'uso di pompe a motore; la produttività viene considerata in termini puramente quantitativi: il riso è destinato al mercato, e chi lo coltiva lo fa per guadagno. Per il riso non si parla più di *hulige*, ma di *utpati* (probabilmente dall'inglese *output*): i contadini sanno di non essere più legati tra loro da processi produttivi fondati sulla reciprocità, in un contesto sociale forte, ma sono ognuno per sé, nella logica competitiva della produzione quantitativa.

Parlano di sé come di *hibred mandis*, cioè di uomini ibridi come il riso che coltivano. Denunciano una perdita di identità. Sono consapevoli che l'introduzione delle nuove sementi ibride, legate ad un nuovo modo di produrre, ha imposto la perdita di quei legami sociali connessi alla produttività come fatto legato alla "forza" della terra. Per un pugno di riso. Ne valeva la pena?



grano, latte, burro, olio ma ogni giorno muoiono di fame 24.000 persone (1.000 ogni ora), di cui 18.000 non hanno compiuto i cinque anni di età; poco meno di un quinto dell'umanità è affetta da denutrizione cronica e si stima che due miliardi di persone soffrano di malattie dovute a deficienze alimentari.

Perfino negli Stati Uniti che hanno l'agricoltura più ricca ed efficiente del mondo e che esportano il 60 per cento della produzione agricola, 26 milioni di persone sono costrette a utilizzare i buoni alimentari distribuiti dalla mutua per riuscire a nutrirsi...

John Kamu, editorialista del «Daily Nation» (Zimbabwe) cita da un recente rapporto Oxfam: «128 milioni di persone potrebbero uscire dalla povertà se le regole del commercio permettessero ad Africa, America Latina, e Sud-Est asiatico di aumentare la propria parte del commercio mondiale di appena l'uno per cento. In Africa questo aumento genererebbe un introito di 100 miliardi di dollari, cinque volte tanto di quanto il continente riceve in termini di aiuti e di ripianamento del debito. Con questo uno per cento ci potremmo ricomprare il nostro cibo».

Ma l'Africa ha già in casa gli organismi geneticamente modificati: uno dei maggiori produttori al mondo di cibi GM è il Sudafrica, e la dispersione delle sementi fatta dal vento e dagli uccelli non rispetta le frontiere politiche.

Il business degli ogm

È corretto parlare di monopolio industriale sulle risorse genetiche di origine agricola?

Se chi distribuisce i prodotti dell'ingegneria genetica fornisce anche mezzi tecnici per l'agricoltura, la possibilità di controllare l'intero ciclo di produzione agricola diventa molto concreta.

Qualche indicazione si può ricavare seguendo alcuni dei processi di concentrazione industriale che negli ultimi anni hanno fatto parlare di «agrobusiness». Diamo un'occhiata allora ai movimenti finanziari e societari che negli ultimi tempi hanno interessato alcune corporation cita-

VARIETÀ TRANSGENICHE DISPONIBILI IN AGRICOLTURA

CORPORATION	VARIETÀ TRANSGENICA
AgrEvo	Mais tollerante a Basta (erbicida) Mais tollerante a glifosate (erbicida) Colza tollerante a Basta (erbicida) Soia tollerante a Basta (erbicida) Bietola tollerante a Basta (erbicida) Mais tollerante a Basta (erbicida) e resistente agli insetti
Agritope, Inc.	Pomodoro a maturazione dilazionata
Asgrow Seed Co. (Monsanto)	Zucchino resistente al virus WMVZ Zucchino resistente al virus ZYMW Zucchino resistente al virus CMV
Bejo-Zaden	Radicchio maschio sterile
Calgene Inc.	Pomodoro a maturazione dilazionata Cotone tollerante a Bromoxynil (erbicida) Colza ricca di acido laurilico
Ciba Geigy	Mais BT resistente alla Piralide
Cornel U./U. of Hawaii	Papaia resistente a virus
Dekalb Genetics Corp. (Monsanto)	Mais tollerante a Basta (erbicida) Mais resistente agli insetti
Dna Plant Technology	Pomodoro a maturazione dilazionata
DuPont	Cotone tollerante a sulfuniluree (erbicidi) Soia con elevato contenuto di acido oleico
Florigene	Garofani recisi con elevata resistenza all'essiccamento Garofani con colore modificato
Monsanto Co.	Soia resistente a glifosate (erbicida) Pomodoro a maturazione dilazionata Cotone resistente a insetti Mais BT (Mon 809) Mais BT (Mon 810)
Novartis Seeds	Mais resistente agli insetti e a Basta (erbicida) Mais resistente agli insetti Mais BT (Bt11)
Pioneer Hi-Bred Intl.	Mais resistente agli insetti e a Basta (erbicida) Mais maschio sterile
Plant Genetic Systems	Mais resistente a Basta (erbicida) e maschio sterile Mais resistente a Basta (erbicida) e ristoratore della fertilità Colza resistente a Basta (erbicida) e maschio sterile Colza resistente a Basta (erbicida) e ristoratrice della fertilità
Rhone-Poulenc	Colza resistente a Bromoxynil (erbicida)
Seita	Tabacco resistente a Bromoxynil (erbicida)
Zeneca/Petosees	Pomodoro a maturazione dilazionata

te nella tabella qui sopra.

Agrevo nasce dall'unione tra Hoechst e Schering, importanti multinazionali della chimica-farmaceutica.

Aventis, società tedesca, sorge dalla fusione di Hoechst e Rhone Poulenc; nell'aprile 2002, la Bayer ha avviato una serie di trattative per acquistare la Divisione Crop Science di Aventis, che dopo la crisi del mais StarLink non naviga in buone acque.

Novartis nasce dalla fusione di Ciba Geigy e Sandoz; nel 1999 raggiunge i 21,3 miliardi di dollari di fatturato e all'inizio del 2000 si fonde con la britannica Astra Zeneca (18,3 miliardi di dollari di fatturato nel 1999); e dallo scorporo delle rispettive attività agricole nasce Syngenta, che diventa il principale gruppo agro-biotecnologico del mondo.

DuPont vende la controllata Conoco (petroli-

fera) e incorpora Pioneer Hi Bread (leader mondiale delle sementi di mais e soia).

Monsanto si fonde con Pharmacia&UpJohn per dare vita al colosso Pharmacia Corporation (con un fatturato di 17 miliardi di dollari). Infine, nel giugno 2002, il gruppo Pfizer dà la scallata alla Pharmacia, che tuttavia mantiene il suo marchio.

Nell'aprile del 2002 DuPont e Pharmacia hanno annunciato un accordo sinergico che consentirà l'accesso vicendevole ai processi e ai prodotti brevettati attinenti all'agrobiotech. Questo accordo non è una fusione vera e propria (l'antitrust l'avrebbe probabilmente osteggiata, considerato che Dupont aveva da poco incorporato Pioneer), ma una vantaggiosa alleanza che permetterà a DuPont e Pharmacia (e quindi Monsanto) di sfruttare reciprocamente i diritti brevettuali su mais, colza e soia, liberandosi dell'ormai troppo

È qui illustrata una sintesi delle principali industrie impegnate nel campo del biotech agroalimentare e dei prodotti già realizzati e immessi sul mercato. A fronte, una famiglia somala. La Somalia è uno dei Paesi più colpiti dalla carenza alimentare.

A proposito di controlli...

Negli ultimi mesi del 2001 il National Research Council degli Stati Uniti ha condotto un'analisi delle normative che regolano la diffusione di piante geneticamente modificate negli Stati Uniti.

Le aziende statunitensi del settore biotecnologico che vogliono intraprendere una sperimentazione in pieno campo delle piante transgeniche devono rivolgersi al Dipartimento dell'Agricoltura, ed avviare con il Servizio di ispezione sanitaria di piante e animali (Animal and Plant Health Inspection Service: Aphis) una cosiddetta «procedura di notifica».

L'azienda cioè dichiara che la nuova pianta transgenica rispetta certe linee guida generali e dunque non provocherà effetti ambientali indesiderabili.

L'azienda dichiara e il Ministero autorizza: non c'è alcuna valutazione scientifica indipendente, né altra verifica pubblica, e non c'è alcun limite alla superficie che può essere coltivata a scopo sperimentale.

Questa «procedura di notifica» era stata introdotta per un numero limitato di piante, ma ormai «quasi tutte le sperimentazioni in campo aperto sono condotte attraverso questo *notification process*, che richiede all'Aphis di comunicare la sua decisione entro 30 giorni dalla domanda». L'ufficio riceve circa un migliaio di domande ogni anno da parte di aziende biotecnologiche che chiedono di sperimentare in campo aperto nuove varietà modificate: il risultato è che, all'atto pratico, i singoli funzionari si trovano ad autorizzare quasi d'ufficio la diffusione di nuove piante transgeniche.

«Sperimentare» in campo aperto dovrebbe voler dire coltivare su superfici di terreno limitate e isolate, quantomeno a «distanza di sicurezza» da campi coltivati con varietà normali della stessa pianta. Il fatto che non ci siano limiti all'estensione dei campi sperimentali significa che «alcuni prodotti di piante geneticamente modificate sono stati commercializzati usando il processo di notifica», precisa il comitato - e questo aumenta il rischio di avere effetti su larga scala prima ancora di aver finito di sperimentare una certa pianta. Il rapporto cita

l'esempio di una varietà di mais transgenico che produce una tossina nociva agli insetti, chiamata avidina; questo mais è stato coltivato a scopi commerciali durante il periodo in cui la procedura di notifica avrebbe autorizzato soltanto la finalità sperimentale.

Non sappiamo se quella tossina sia risultata dannosa anche a insetti utili, oltre che ai parassiti che intende debellare, o se - diffusa su larga scala - produca altri effetti «collaterali», come è ormai provato nel caso della tossina del Bt (*Bacillus thuringiensis*) che, introdotta tra le caratteristiche genetiche del mais, risulta pericolosa anche per la delicata farfalla monarca. Il punto è che, se anche lo scopriremo, quel mais con la avidina è già in circolazione.

Il caso delle piante modificate per produrre tossine contro i loro vari parassiti è proprio quello che preoccupa di più i ricercatori del National Research Council, e proprio perché possono danneggiare insetti utili o addirittura spingere i parassiti a mutare in ceppi resistenti alla tossina (di nuovo, è il caso del mais Bt).

C'è inoltre la questione della «informazione confidenziale d'affari» (*confidential business information*): le aziende chiedono all'Aphis riservatezza sulle informazioni date a corredo delle loro domande, ma questo limita sia la trasparenza che la possibilità che organismi pubblici esprimano pareri sulle innovazioni genetiche.

Il rapporto, pubblicato nel febbraio 2002, è stato commissionato dal Ministero dell'Agricoltura statunitense, ed esprime preoccupazione per alcune procedure di approvazione e di controllo sull'agricoltura transgenica. Non solo: lo studio critica proprio il Dipartimento dell'Agricoltura, che dovrebbe condurre indagini più rigorose sull'impatto potenziale delle piante transgeniche prima di approvarne la diffusione, e valutarne meglio gli effetti una volta coltivate.

Il National Research Council è, negli Stati Uniti, l'organismo incaricato di dare pareri al Governo federale su questioni di rilevanza scientifica.

pesante contenzioso su brevetti, ma soprattutto di conquistare una posizione di completa supremazia, praticamente un monopolio fuori da qualunque regolamentazione antitrust.

Infatti DuPont e Pharmacia insieme controllano il 15 per cento del mercato mondiale delle sementi (in termini di vendite complessive), ma più in dettaglio controllano: il 73 per cento del ricco mercato statunitense del mais, il 41 per cento dei brevetti agrobiotech, il 22 per cento del settore agrochimico (dove Monsanto è il produttore numero 2 e DuPont è al quinto posto), il 93 per cento del mercato dei semi GM.

È di luglio la notizia che il Consiglio di Amministrazione della società farmaceutica Pfizer ha dato il via libera all'acquisizione della concorrente Pharmacia. Dall'operazione, il cui valore è stato stimato intorno ai 60 miliardi di dollari, nascerà un colosso assoluto su scala mondiale della farmaceutica (Pharmacia era già la più grande compagnia del settore) con un fatturato complessivo di 48 miliardi di dollari e un budget destinato alla ricerca e sviluppo pari a sette miliardi di dollari.

In alcuni casi le attività agrobiotecnologiche vengono scorporate da quelle biofarmaceutiche:

GLI OGM COLTIVATI NEL MONDO

Coltivazione	Superficie tot. coltivata nel mondo (milioni di ettari)	Superficie coltivata a ogm nel mondo (milioni di ettari)	Superficie coltivata con specie GM sul totale (%)
Soia	72	33,3	46
Mais	140	9,8	7
Cotone	20	6,8	34
Colza	11	2,7	25

Golden Rice, ovvero: non è tutto oro quel che luccica

È un tipo di riso il cui genoma è stato modificato per produrre beta-carotene, che poi il corpo umano trasforma in vitamina A. Se ne parla come del primo vero prodotto di «terza generazione» dell'ingegneria genetica nell'agricoltura: sarebbe la prima invenzione transgenica con una vera utilità (le modificazioni genetiche introdotte finora puntano piuttosto a rendere la pianta resistente a certi erbicidi o parassiti). È il Gol-

dell'Unione europea) e della Fondazione Rockefeller, l'istituzione che trent'anni fa aveva contribuito alla ricerca sulle sementi ibride ad alto rendimento alla base della «rivoluzione verde», (e negli ultimi 15 anni ha investito molto nella ricerca biotecnologica).

Nel maggio 2000 i ricercatori svizzeri autori e coordinatori del progetto, I. Potrykus e P. Beyer, hanno formulato un sensazionale accordo con una delle più potenti multinazionali dell'agro-biotech, l'anglo-svedese Astra-Zeneca: i ricercatori rinunciano al brevetto, e Astra-Zeneca distribuirà gratuitamente il riso arricchito ai contadini dei Paesi poveri, mentre manterrà i diritti commerciali nel Nord del pianeta. Nei confronti dei Paesi poveri questo è indubbiamente un atteggiamento filantropico, ma le *royalties* che provengono dalla commercializzazione del Golden rice nei Paesi industrializzati faranno fruttare alla multinazionale il risultato di anni di ricerca finanziata con fondi pubblici.

La ditta assicura che il riso arricchito sarà pronto per la distribuzione già nel 2003; ma ci sono alcune questioni da prendere seriamente in considerazione. La prima è di tipo scientifico: il Golden rice è forzato a produrre una vitamina utile, certo, ma quali altre conseguenze sono indotte dalla modifica nelle proprietà nutritive della pianta? Quali nutrienti o quali tossine possono essere stimolate dalla modifica del patrimonio genetico di quel riso? Ancora una volta, sembra che il tempo tra la scoperta e l'applicazione sia troppo breve per consentire di trovare le risposte. Gordon Conway, presidente della Fondazione Rockefeller, ha scritto a Greenpeace: «La promozione del Golden Rice è andata oltre il limite. Gli annunci pubblicitari e i media in generale sembrano aver dimenticato che questo è un prodotto di laboratorio, che ha ancora bisogno di un considerevole lavoro di ricerca prima di essere reso disponibile ai contadini e ai consumatori.»

Poi c'è un altro ordine di problemi. Il riso arricchito è presentato come la soluzione rapida a un diffuso e grave deficit di vitamina A. Per soddisfare il fabbisogno quotidiano di beta-carotene, ad un adulto occorrerebbero però circa tre chilogrammi di riso (peso crudo) al giorno, e attualmente la razione media giornaliera normalmente disponibile (ma non sempre) nei Paesi poveri è di 300 grammi.

La soluzione-scorciatoia inoltre può indurre a trascurare altre azioni necessarie, come riaffermare che anche per i poveri la dieta deve essere variata. Non si deve dimenticare la diversità di piante, spontanee e coltivate, che contengono la vitamina: una volta tradizionalmente utilizzate nelle diete popolari, oggi eliminate a favore del riso brillato. Può essere sbagliato o addirittura dannoso far credere che si cura la malnutrizione incoraggiando una nuova monocoltura: dunque l'uniformità genetica, invece della diversità.

Il Golden Rice è davvero un progresso per l'umanità - o piuttosto una gigantesca operazione di pubbliche relazioni? In realtà, rischia di essere «d'oro» solo per Astra Zeneca (che oggi si chiama Syngenta)...



den rice, il «riso d'oro», così chiamato per il colore giallo dorato del beta-carotene, aiuterà a sconfiggere la malnutrizione nei Paesi poveri perché colmerà la cronica deficienza di vitamina A che provoca la cecità nei bambini.

Il riso «arricchito» esce dai laboratori dell'Istituto di scienza delle piante dell'Istituto federale di tecnologia svizzero, a Zurigo. È il risultato di un programma di ricerca durato una decina d'anni e finanziata con fondi pubblici (del Governo svizzero e

La tabella evidenzia come più di un quinto della superficie coltivata con quattro dei principali prodotti agricoli ospiti piante geneticamente modificate. I principali Paesi produttori sono USA, Canada, Argentina, Cina e Sudafrica.

è soltanto una questione di immagine, che analisti finanziari e commentatori economici interpretano come segnale di difficoltà associato alla crescente ostilità espressa dai consumatori nei confronti degli alimenti transgenici.

Nel frattempo, il trust dell'industria agrobiotecnologica continua la battaglia per il controllo planetario dell'agricoltura e dell'approvvigionamento alimentare: nel 2002 i giganti del settore sementiero sono diventati quattro (Agrevo, Bayer, Syngenta e DuPont-Pharmacia). E sono giganti davvero.

Una manciata di Golden Rice, il cui genoma è stato modificato perché produca beta-carotene.

Come si parla di OGM?

L'informazione sugli organismi geneticamente modificati risente spesso di pregiudizi di parte che non aiutano il cittadino a capire la reale portata della questione

Il 94,6 per cento dei cittadini europei pensa che sia un suo diritto scegliere in materia di cibi ogm. Almeno l'85 per cento vuole essere più informato circa il cibo che mangia e una simile percentuale ritiene che i cibi ogm possano essere introdotti solo quando la loro innocuità sia scientificamente provata. Alla domanda «gli ogm sono pericolosi?», il 56 per cento degli europei risponde affermativamente, mentre il 26 per cento non ha un'opinione al riguardo. Questi, in sintesi, sono i risultati di un sondaggio effettuato nel corso del 2001 su iniziativa di una specifica Commissione europea e pubblicati nella relazione Eurobarometro del dicembre 2001.



Perché i cittadini europei hanno una posizione così contraria ai cibi ogm? Com'è stata condotta la comunicazione delle nuove tecnologie ai cittadini-consumatori e da chi? Chi ha scelto il silenzio?

Le multinazionali agroalimentari-sementiere-chimiche, colpevoli di una spregiudicata corsa al monopolio, hanno fallito nella loro campagna di public relation. I gruppi ambientalisti si sono opposti all'arroganza delle multinazionali con argomentazioni non sempre scientificamente valide. I politici hanno preso sul serio i timori diffusi dell'opinione pubblica, mentre la comunità scientifica non è stata capace di gestire la situazione in modo lucido e trasparente: si è rivelata incapace di lanciare segnali chiari e autorevoli, dimostrandosi spesso imbarazzata e passiva.

Un'indagine su «biotecnologie e opinione pubblica» è stata effettuata dall'Osservatorio di Pavia durante il 2001, con la finalità d'individuare gli elementi che caratterizzano la comunicazione degli ogm in Italia, sulla stampa e in televisione. I risultati della ricerca sono alquanto significativi: in generale gli ogm vengono connotati negativamente, ma in maniera generica, mancando quasi sempre il supporto di motivazioni reali. Spesso vengono accostati in maniera impropria ad altri argomenti ambientali e alimentari di grande potere evocativo come BSE, afta epizootica, effetto serra.

Il dibattito si concentra attorno ai soli fatti di cronaca accaduti e tra pochissimi soggetti: politici e giornalisti. Il contenuto scientifico viene posto sistematicamente in secondo piano e i ruoli di scienziati ed esperti, necessari per una corretta comunicazione del tema, raggiungono una presenza del 16 per cento nei momenti di massima concentrazione dell'informazione. Il settore agricolo è quasi assente. La qualità dell'informazione risulta perciò insoddisfacente a un'obiettivo presentazione della notizia che ha una base essenzialmente scientifica, in cui mancano quasi sempre i riferimenti a dati quantitativi e alle fonti delle notizie, il giornalista sostituisce le opinioni. Inoltre, gli interventi a favore e quelli contrari sono sbilanciati, al pubblicamente arrivano informazioni dirette su quali piante ogm si producano in Italia, sul rapporto qualità/piante ogm e sulle ragioni dei ricercatori e quelle degli agricoltori. Il risultato è che il telespettatore non riesce a farsi un'opinione personale basata su un'informazione scientificamente corretta.

«Per l'opinione pubblica fare distinzione è difficile» afferma Anna Meldolesi nel suo libro *Organismi Geneticamente Modificati* (Einaudi) riferendosi all'accostamento di temi così distanti come il morbo della «mucca pazza» e gli ogm. È vero, soprattutto se l'informazione attraverso i media avviene con le modalità descritte. Ma è anche vero che le distinzioni possono essere chiarite, spiegate e sviluppate se le parti in causa con responsabilità sociale e civile intervengono nel dibattito, smascherano gli errori, approfondiscono le tematiche e i punti deboli che bisogna superare.

Il principio di precauzione

Nel gennaio 2000 è stato annunciato a Montreal l'accordo per il Protocollo sulla biosicurezza, poi ribattezzato Protocollo di Cartagena. Esso sviluppa ulteriormente l'approccio precauzionale già presente nella Convenzione sulla biodiversità di Rio del 1992, intendendo regolamentare il commercio degli organismi geneticamente modificati per la salvaguardia della biodiversità. I provvedimenti sono piuttosto restrittivi, il commercio internazionale di ogm destinati al rilascio ambientale (semi, piante e pesci) richiede rigide e lunghe procedure di notifica, documentazione e analisi del rischio. Ogni Stato potrà decidere l'importazione delle merci biotecnologiche o negarla se ritiene che comporti dei rischi.

Il Protocollo di Cartagena porta all'affermazione del «principio di precauzione», sostenuto dall'Unione Europea e dai Paesi poveri in contrapposizione al blocco americano, che è invece nettamente schierato contro una sovraregolazione commerciale dei prodotti biotecnologici. La Comunità Europea ufficializza subito dopo l'adozione del «principio di precauzione»: l'obiettivo è quello di garantire un elevato livello di protezione ambientale e della salute umana, animale o vegetale nei casi in cui i dati scientifici disponibili non consentano una valutazione completa del rischio. Si può ricorrere al principio qualora gli effetti potenzialmente pericolosi di un fenomeno, prodotto o processo siano stati identificati tramite una valutazione scientifica e obiettiva, oppure quando questa valutazione non consenta di determinare il rischio con sufficiente certezza, come nel caso degli ogm. Il ricorso al principio s'iscrive pertanto nel quadro generale dell'analisi del rischio (valutazione e comunicazione) e della sua gestione.

La posizione della Comunità Europea si è mantenuta fino ad oggi su queste posizioni. In una comunicazione della Commissione del 23 gennaio 2002 si afferma che «Quando è in gioco la sicurezza, la legislazione comunitaria si basa su elementi scientifici e la sua applicazione per quanto riguarda decisioni specifiche sarà conforme al principio di precauzione. Con la creazione dell'Agenzia europea per la sicurezza degli alimenti (AESAs), saranno ulteriormente incrementati gli elevati standard di eccellenza, indipendenza e trasparenza dei pareri scientifici in questo settore e inoltre sarà migliorato l'aspetto comunicazione dei rischi. L'AESA sarà responsabile della valutazione scientifica delle conseguenze ambientali, umane e animali degli ogm e degli alimenti e dei mangimi gm, assumendo inoltre un ruolo di responsabilità per l'identificazione di rischi emergenti, ivi compresi quelli potenziali risultanti dall'applicazione delle biotecnologie alla produzione agro-alimentare».

La posizione europea è stata oggetto di diverse critiche da parte di coloro che appoggiano una libera circolazione degli ogm: in particolare, dietro al principio di precauzione e alle ragioni della biosicurezza, sono state percepite possibili ragioni protezionistiche (l'agricoltura europea vive grazie a ingenti sussidi) e di tutela di precisi interessi

economici. Inoltre il principio di precauzione non offrirebbe standard chiari di sicurezza, né criteri procedurali per ottenere le autorizzazioni regolatorie: il regolatore ha quindi più libertà decisionale, fino all'arbitrarietà più assoluta. Nel campo della ricerca biotecnologica, l'Europa sta riguadagnando posizioni e sta investendo in alcuni ambiziosi progetti pubblici-privati di genomica vegetale. Quando le biotecnologie agricole risponderanno in modo più diretto alle necessità dei coltivatori europei, vedremo cosa succederà.

Ogm, etica e sicurezza alimentare

«Per ogni persona sensata, una fragola che contiene un gene di un pesce dei mari freddi che la rende resistente al gelo, un gene batterico che le conferisce una resistenza agli antibiotici... è fondamentalmente diversa da una fragola ordinaria. Infatti una pianta di fragola scambia geni solo con un'altra pianta di fragola, con piante della stessa specie. L'ingegneria genetica che permette di trasferire a qualsiasi organismo vivente geni presenti in batteri, pesci, piante, animali e nella specie umana, è dunque radicalmente nuovo...». Questo brano, tratto da *La guerra al vivente* di Jean-Pierre Berlan (Bollati Boringhieri), descrive la sensazione di un cittadino - consumatore di fronte alle nuove biotecnologie.

L'accettazione degli alimenti transgenici è un problema culturale. La possibilità di dirigere il trasferimento di geni nell'organismo d'interesse è un'innovazione recente della società umana e come tale deve essere «metabolizzata» prima di inserirsi eventualmente nel bagaglio culturale dell'umanità. È una tecnologia che «tocca» la parte più intima e inviolabile dei viventi. Questa nuova realtà può scuotere le parti profonde ed inconscie dell'uomo generando un senso di insicurezza, di diffidenza e di timore che alimenta, almeno in parte, la non-accettazione degli ogm.

Le biotecnologie, studiando i problemi riguardanti la vita e la morte degli organismi viventi, sollevano interrogativi fondamentali per l'esistenza umana e la vita sulla Terra, temi che hanno profondamente plasmato il patrimonio culturale, etico e religioso della civiltà umana. Con la manipolazione genetica si arrivano a creare nuove combinazioni geniche, che altrimenti non potrebbero avvenire in natura: queste azioni devono essere giustificate con fondate motivazioni -scientifiche, sociali, economiche, ambientali - e contemporaneamente i benefici derivanti dal loro utilizzo devono essere superiori ai rischi che tale impiego comporta. I moderni metodi di produzione alimentare hanno creato una serie di problemi d'interesse pubblico che vanno al di là delle questioni di sicurezza e di salute dell'uomo in quanto riguardano anche gli aspetti ambientali ed etici della produzione agroalimentare, ivi compreso lo sviluppo sostenibile e la salute e il benessere degli animali.

Nei Paesi industrializzati i consumatori chiedono una migliore qualità degli alimenti ed un livello di sicurezza sempre più elevato nell'ambito dell'intera catena alimentare. La sicurezza alimentare

è, infatti, uno dei temi più importanti con cui oggi si confrontano i governi di tutto il mondo: il cibo non è soltanto alimento, ma attiene anche alla sfera emotiva, del piacere, della socializzazione e riguarda ogni singolo individuo.

In Europa, le recenti crisi alimentari (la mucca pazza e i polli alla diossina) in aggiunta a una valutazione scientifica ritenuta ancora insufficiente e incerta sui possibili rischi a lungo termine sulla salute umana, animale o vegetale e per l'ambiente delle nuove biotecnologie, hanno accelerato il processo di riorientamento delle politiche pubbliche determinando, tra l'altro, un ulteriore rafforzamento dei regolamenti e dei criteri di sicurezza nel settore alimentare e dei mangimi.

La Commissione europea, al fine di garantire la fiducia dei consumatori nei prodotti alimentari, ha definito gli obiettivi generali della sua legislazione in questo campo stabilendo una serie di principi, come il principio di precauzione e quello di rintracciabilità. Nella nuova regolamentazione si richiede la tracciabilità degli ogm dalla produzione alla tavola; inoltre l'etichettatura di tutti i cibi e i mangimi contenenti ogm o prodotti a partire da ogm fornirà informazioni al consumatore. Un problema spesso sollevato è la possibilità che nei cibi e nei mangimi siano riscontrabili piccole tracce, tecnicamente inevitabili, di ogm non autorizzati. La legislazione europea permette la presenza, ritenuta accidentale, nei cibi e nei mangimi di una quantità massima pari all'uno per cento di ogm: entro questa soglia non vige l'obbligo di etichettarne la presenza.

Molteplici sospetti e accuse nei confronti dei cibi geneticamente modificati riguardano la sicurezza e la salute umana. Sospettate sono le sequenze geniche (promotori o altri elementi) non presenti di norma nei genomi vegetali: ad esempio i geni per la resistenza ad antibiotici e quelli che esprimono alcune tossine batteriche, oppure le sequenze di promotori d'origine virale, in particolare di un virus che vive normalmente nei broccoli e nei cavolfiori, ma non vive nei cereali. L'accusa mossa dal fronte anti-transgenico è che questi elementi genici possano essere trasferiti dai cibi ogm ai batteri della flora intestinale umana con conseguente sviluppo di resistenze agli antibiotici. Inoltre, le sequenze virali potrebbero promuovere una non-appropriata espressione di geni che a lungo termine potrebbe causare il cancro. Numerosi dati scientifici provano che la possibilità di un trasferimento genico dal cibo all'uomo o ai batteri intestinali è decisamente remota (trasferimento orizzontale). Inoltre, quotidianamente ingeriamo virus e batteri mangiando i cibi convenzionali e da millenni gli uomini hanno consumato animali e piante infettate da batteri e virus, anche a livelli notevolmente superiori rispetto a quelli presenti nei cibi ogm. Normalmente mangiamo cavolfiori infettati col loro virus a mosaico, tuttavia quel virus rimane un'entità biologica specifica di alcune specie vegetali: non si è mai trasferito alle specie animali che si cibano di quei vegetali.

Fonte d'insicurezza è anche l'idea che i cibi ogm siano stati immessi sul mercato senza aver superato controlli severi e rigorosi riguardo a un

Dall'anno prossimo nei Paesi dell'Unione Europea entrerà in vigore l'obbligo di etichettare chiaramente i prodotti contenenti ingredienti ogm.

possibile pericolo per la salute umana, soprattutto per ciò che riguarda il medio e lungo termine. Un esempio: la commercializzazione di un nuovo pesticida avviene dopo almeno un decennio di studi sui possibili effetti sanitari e ambientali, i test per gli ogm si svolgono al massimo in un arco quinquennale, nei migliori casi, e sono ristretti ad indagini di tossicità acuta e non su quella a lungo termine. Alcuni esperti, membri anche di commissioni governative del settore, reputano che le prove dell'assenza di danni all'ambiente o alla salute umana di una nuova pianta ingegnerizzata, portate dalle multinazionali per ottenere le autorizzazioni, siano spesso insufficienti: in mancanza dell'elenco dei rischi potenziali non si conosce nemmeno quali studi siano stati condotti.

Sull'altro fronte ci sono i sostenitori del princi-

mente più valide per una maggior sicurezza umana e ambientale?

Ricerca e brevetti

«Chi cerca trova, dice un detto popolare. Ma se non si cerca non si trova. Se non si fa ricerca sui rischi possibili (e non solo sugli effetti immediati e diretti) delle biotecnologie non si potrà mai sapere se la precauzione diventa ossessione maniacale o è invece saggia prudenza. Ma questa ricerca non si fa... Attenersi a ciò che rende è dunque la parola d'ordine che, nonostante le buone intenzioni degli scienziati più disinteressati, fa girare il mondo delle tecnoscienze, cioè il mondo della ricerca. Rivendicare l'autonomia della ricerca dalla politica è perciò un obiettivo illusorio, perché la ricerca



Un'immagine di un laboratorio biotech. Quanto è legittima, si chiedono gli oppositori, la brevettazione del vivente?

pio di «sostanziale equivalenza». Negli Stati Uniti, per ottenere la commercializzazione di prodotti gm, i produttori devono presentare i risultati di una serie di test: si confronta la varietà transgenica con quella convenzionale appartenente alla stessa specie per verificare che l'intervento biotecnologico non abbia alterato il metabolismo della pianta né il valore nutrizionale del prodotto. Se l'unica differenza è costituita dalle proteine prodotte dal transgene si studiano la loro allergenicità e tossicità. Sulla base dei risultati di queste analisi, i prodotti biotecnologici possono venire considerati sostanzialmente equivalenti ai rispettivi cibi o mangini non-gm. Tuttavia, i Paesi europei non ricavano dal principio di sostanziale equivalenza le garanzie necessarie: per alcuni ricercatori il principio di sostanziale equivalenza ha una dubbia validità scientifica. In questo clima, il cittadino, in mancanza di assicurazioni in tema di ogm, preferisce cautelarsi chiedendo chiarezza nell'etichettatura degli alimenti.

Perché la comunità scientifica, che dovrebbe avere un'obiettività maggiore al riguardo, non si esprime su ciò che è più corretto fare? Perché non s'interroga al fine di proporre le regole scientifica-

è immersa fino al collo nel tessuto sociale e dipende sempre più dalle forze che lo plasmano e dalle tensioni che lo attraversano. C'è piuttosto un'altra via per rendere più libera la ricerca: renderla pubblica tagliando il cordone ombelicale che la lega al processo di accumulazione del capitale globale. Perché, per esempio, il mondo della ricerca non dà l'esempio battendosi per vietare la brevettabilità degli organismi viventi e delle loro modificazioni? Non è la ricerca in sé che impone di «attenersi a ciò che rende e di trascurare ciò che non dà guadagni» ma il brevetto... Ammettere la brevettabilità dei risultati delle manipolazioni genetiche significa essere d'accordo con il responsabile del trasferimento delle tecnologie presso il Dna Plant Technology di Oakland, in California, che dice: «il fatto che una cosa abbia natura biologica e si autoriproduca non basta a renderla diversa da un pezzo di macchina costruita con dadi, bulloni e viti». Quanti scienziati sono disposti ad ammettere di non essere niente di più che un pezzo di macchina costruita con dadi, bulloni e viti?». In questo articolo, scritto da Marcello Cini su «Il manifesto» del 13 febbraio 2001, si evidenziano alcuni temi messi in luce dal dibattito sugli ogm.

Quanti e quali progetti di ricerca vengono finanziati per valutare i possibili rischi ambientali e di salute pubblica derivati dall'uso e consumo di piante/cibi ogm? Chi deve condurre la ricerca? Se la ricerca pubblica viene finanziata dalle stesse multinazionali che vendono i prodotti biotecnologici, non si instaura un conflitto d'interessi che può solo nuocere all'indipendenza della ricerca scientifica stessa?

«Oggi c'è una grande confusione su ciò che s'intende con ricerca e con applicazione tecnologica della ricerca» afferma Gianni Tamino, docente di biologia dell'Università di Padova. «La cultura dell'ingegneria applicata alla biologia ha creato come unico criterio quello di una ricerca ingegneristica, cioè applicativa, tecnologica e finalizzata ai prodotti biotecnologici. Questo atteggiamento ha vanificato gran parte delle ricerche biologiche fondamentali e di base e ha limitato le ricerche relative alla valutazione dei risultati, sulla base dei quali decidere se vale la pena fare qualcosa o me-



no. Se, da un lato, le compagnie biotech finanziano ricerche da cui devono ricevere un immediato ritorno economico, dall'altro è necessario che ci sia una struttura pubblica non solo in grado di approfondire le conoscenze di base, ma che permetta di avere dei criteri di valutazione dei rischi. E' necessario che ci sia una distinzione tra controllare e controllato, affinché la ricerca pubblica si conservi indipendente e libera: oggi, invece, succede che l'industria privata sfrutta strutture e personale pubblico per ottenere risultati finalizzati ai suoi interessi privati.»

L'applicazione del diritto brevettuale al patrimonio genetico dei viventi, consentendo la privatizzazione di tale risorsa, non costituisce un atto d'espropriazione di diritti che appartengono all'intera umanità? Non è un non-riconoscere che le caratteristiche genetiche siano il prodotto, piuttosto che l'invenzione, di una millenaria evoluzione che l'umanità stessa ha custodito e migliorato? Si può accettare che qualcuno diventi proprietario del patrimonio genetico, non solo umano ma anche di quello vegetale e animale e dei microrganismi?

Se alcuni vedono l'oggettivazione del «delirio di

onnipotenza» nella possibilità di far diventare la vita un manufatto di compra-vendita, altri percepiscono una motivazione esclusivamente etica: il patrimonio genetico è universale, ma il brevetto lo rende merce e quindi di fatto costituisce un atto di «biopirateria». In aggiunta a queste considerazioni, l'introduzione del brevetto di prodotti biotecnologici pone nuovi problemi: con un finanziamento limitato, l'industria privata controlla ed è proprietaria di brevetti in società con il ricercatore pubblico. Oggi anche il ricercatore pubblico è entrato in questa logica e il suo obiettivo è «fare brevetti». Inoltre, come fa notare un gruppo indipendente di esperti di bioetica del Regno Unito (dal «New Scientist» del 24 luglio 2002), brevettare sequenze di DNA inibisce l'innovazione, perché, per non aumentare i costi di ricerca, si evita di sviluppare studi relativi alle sequenze geniche vincolate al pagamento delle royalties, i cui diritti d'autore hanno una durata ventennale. Pare giunto il momento perché istituzioni scientifiche e governi intervengano in proposito, per non lasciare queste scoperte soggette a regime di monopolio.

Un organismo vivente, pianta o animale, può essere considerato il semplice risultato della somma algebrica delle sue parti? La sua natura biologica non basta a renderlo diverso da un pezzo di macchina costruita con dadi, bulloni e viti?

Sembra che i biotecnologi siano fermi sostenitori del determinismo genetico, teoria superata da tempo. Craig Venter, il leader della Celera Genomics che ha contribuito alla determinazione della sequenza del genoma umano, sostiene che i due errori da evitare, se si vuole progredire, sono proprio quelli del riduzionismo e determinismo genetico. Il solo studio del numero di neuroni, tipi cellulari o geni, delle dimensioni del genoma, non è sufficiente per rendere conto delle differenze in complessità che osserviamo. Sono piuttosto le interazioni entro e fra questi insiemi che permettono una varietà così grande.

Emerge l'idea di un uomo estremamente plastico, non incatenato ai suoi geni, ma che va oltre: è più dei suoi geni. E lo stesso vale per ogni organismo vivente. Tamino sostiene che «la sola conoscenza meccanicistica è un errore culturale, ma anche un errore metodologico: parte dal presupposto che individuato un percorso semplice e ridotto all'osso, si impone un'espressione continua, una completa forzatura. S'ignora la complessità del problema: la conoscenza delle regole per cui si stabiliscono rapporti tra geni. Spesso i biologi conoscono il flusso di materia e di energia, ma ignorano il flusso d'informazioni: i geni in realtà agiscono in rapporto a stimoli e segnali, informazioni che sono di dialogo tra i geni; c'è un'interazione spazio-temporale fondamentale che determina l'attivazione o la repressione dei geni in un organismo.» Il compito primo della ricerca pubblica, in aggiunta a quello di valutazione dei possibili rischi dell'uso degli ogm, deve innanzitutto essere finalizzato alla conoscenza di questa complessità, deve essere una ricerca di base, conoscitiva, in grado di proporre e anche finanziare ricerche differenti da quelle «dominanti» e più redditizie.

Spaventapasseri in Valsugana. Può l'agricoltura biologica rappresentare una validità alternativa agli ogm nella lotta alla fame?

Non-Conclusioni

Abbiamo cercato di guardare, senza il paraocchi del pregiudizio, all'interno di un argomento complesso e delicato. Complesso perché sposta continuamente in avanti le frontiere della biologia applicata; delicato perché impone scelte di tipo etico nei confronti dell'ambiente e dell'umanità.

Non ci interessa uno scontro inutile tra chi, rispetto al «nuovo», rivela due facce opposte dello stesso atteggiamento irrazionale e prepotente: non riusciamo a stare né dalla parte di chi impone a tutti i costi le leggi di mercato ed a queste ha la pretesa di asservire le conoscenze scientifiche, né da chi a questi si oppone adducendo però motivazioni superficiali ed a volte scorrette sul piano dell'informazione.

I problemi aperti sono di assoluta rilevanza: la Terra ospiterà nove miliardi di persone nel 2030 e tutti dovranno essere liberati dalla fame e dalla sete. Si imporrà una distribuzione delle risorse diversa dall'attuale: perché tutti possano avere l'indispensabile, la parte attualmente ricca del mondo dovrà rinunciare al superfluo e ripensare a standard accettabili di consumo; servirà un'agricoltura più leggera: meno chimica, lotta biologica integrata, rotazione delle colture.

Non c'è una ricetta unica. Ci sembra evidente che davanti alla complessità del XXI secolo il mondo abbia bisogno di ricette flessibili, adattabili, che abbiano come ingredienti fondamentali giustizia, intelligenza ed informazione.

Servono fin d'ora tecniche sostenibili, e agenzie internazionali no profit per gestire anche nei Paesi poveri la consulenza

agraria indipendente e articolata sulle risorse e sulle esigenze locali (attualmente non c'è molto, al di là degli agronomi delle corporation biotecnologiche).

Contemporaneamente ci sembra che nei Paesi attualmente avanzati si debba rivitalizzare il mondo scientifico: la ricerca deve essere maggiormente indipendente, occorre porre limiti ai brevetti se non si vuole che questi limitino drasticamente la circolazione delle conoscenze; si devono trovare soluzioni scientifiche ai problemi scientifici.

Prospettare che gli ogm in agricoltura siano la panacea per togliere la fame dal mondo ci sembra oltremodo scorretto.

Le soluzioni vere stanno sempre nella scomoda terra di nessuno. E sono quelle più semplici per i problemi più complessi.

Medicina:

Innestati nelle fragole alcuni frammenti di Dna delle lucciole

*Sarà il barbaglio fra le siepi notturne
la nostra risposta biogenetica
al rovelo ardente.*

*Non più specie o famiglie,
solo la solitudine di chi, ibrido,
scivola via da un corpo all'altro,
fiamma senza contorno
che già divora il bosco delle forme.*

Valerio Magrelli, *Didascalie per la lettura
di un giornale*, Einaudi, Torino 1999

PER SAPERNE DI PIÙ

LIBRI

Ogm: conoscerli per affrontarli di Enrico Garrou, Elena Pisani, Claudio Malagoli, Ass. VAS-ONLUS, giugno 2001.

Campi di battaglia. Biodiversità e agricoltura industriale di Vandana Shiva, Edizioni Ambiente, Milano, 2001.

Quel gene di troppo di Mariano Bizzarri, Frontiera Editore, Milano, 2001.

La guerra al vivente di Jean-Pierre Berlan, Bollati Boringhieri, Torino, 2001.

Organismi Geneticamente Modificati di Anna Meldolesi, Einaudi, Torino, 2001.

I semi della discordia di G. Celli, Edizioni Ambiente, 2001.

RIVISTE

Le biotecnologie e la terra dell'uomo in «Oikos. Rivista quadrimestrale per una ecologia delle idee», direttore E. Tiezzi, agosto 2000.

Ogm: una risorsa per il futuro, «Le scienze dossier», direttore E. Bellone, inverno 2001.

Dibattito sugli organismi geneticamente modificati: alcuni grandi assenti di E. Randi, in «Biologi italiani», gennaio 2000, pp. 2-3.

Gli OGM ed il principio di precauzione di E. Randi, in «Biologi italiani», aprile 2001, pagg. 3-4.

Coltivazione di piante geneticamente modificate: necessità di studi specifici per la valutazione del rischio ambientale di B. Pietrangeli, in «Biologi italiani», luglio 2001, pagg. 20-24.

Una questione di principio di Marcello Cini in «Il Manifesto», 13 febbraio 2001.

I brevetti sui geni frenano le innovazioni, in «New Scientist», 24 luglio 2002.

US to analyse Eu Biotech Rules, Plans WTO Submission di Chris Rugaber, Bureau of National Affairs, in «International Environment Reporter», Washington, vol. 24, n1/4 25, 5 dicembre 2001.

SITI WEB

<http://www.aiab.it> dossier OGM.

<http://www.vita.it> medicina e salute, biotecnologie

Agrobacterium tumefaciens: a natural tool for plant transformation in «Electronic Journal of Biotechnology», <http://www.ejb.org/content/vol1/issue3/full/1>

MICHAEL K. HANSEN, *How Genetic engineering differs from conventional breeding, hybridization, wide crosses and horizontal gene transfer*, <http://www.consumersunion.org/food/widecpi200.htm>

FABRIZIO OLEARI E GIUSEPPE BATTAGLINO, *Biotecnologie, conoscere per capire*, Ministero della Salute, <http://www.sanita.it/biotec/news/file/OGM-Informazioni.pdf>

PETER MONTAGUE, *Trouble in the Garden*, in «Rachel's Environment & Health News» n. 685, febbraio 2000, http://www.rachel.org/bulletin/bulletin.cfm?Issue_ID=1688

RACHEL MASSEY, *Biotech Basics: a Four Part Article*, in «Rachel's Environment & Health News» n. 716, http://www.rachel.org/bulletin/bulletin.cfm?Issue_ID=1931

Scienza e società, sondaggio della Comunità Europea pubblicato nella relazione EUROBAROMETRO, dicembre 2001, <http://europa.eu.int/comm/press/2001/pro612en.html>

Le agrobiotecnologie nei media italiani, sondaggio dell'Osservatorio di Pavia, Media Research-Cares, aprile 2002 <http://www.osservatorio.it>

Testo del Protocollo sulla biosicurezza, <http://www.biodiv.org/biosafety/protocol.asp>

Comunicazione sul principio di precauzione, Commissione della Comunità Europea, Bruxelles, 2 febbraio 2000, http://europa.eu.int/com/health_consumer/precaution_en.pdf

www.nap.edu
Environmental Effects of Transgenic Plants: The Scope and Adequacy of Regulation, <http://www.nap.edu>