

Possibili conseguenze per ambiente e salute associate a colture e cibi transgenici

di Alessandro Gimona

Cos'è l'ingegneria genetica. Il termine ingegneria genetica comprende una serie di procedure volte a modificare il patrimonio genetico di organismi viventi. Il patrimonio genetico è contenuto in gran parte nel DNA (acido desossiribonucleico). Questa molecola contiene le informazioni necessarie allo sviluppo e alla conduzione dei processi che permettono alla cellula e agli organismi di vivere e riprodursi. Alcune porzioni del DNA sono costituite da geni. I geni contengono l'informazione necessaria alla sintesi di proteine che hanno svariati effetti sul metabolismo degli organismi che le producono. L'espressione dei geni, comunque, non avviene in modo costante e immutabile, ma può essere modificata dall'ambiente cellulare, dall'interazione con altri geni e dallo stato fisiologico dell'organismo in cui si trovano. Inoltre i caratteri visibili (fenotipici) di un organismo possono spesso dipendere dall'azione di molti geni. Tutto ciò implica che l'ingegneria genetica si occupa di processi non ancora ben compresi, e ciò è legato ad alcuni dei rischi e difficoltà a cui questa tecnologia va incontro.

Come avviene la modificazione genetica. Il trasferimento di geni tra organismi è divenuto possibile grazie alla scoperta di enzimi particolari, chiamati enzimi di restrizione, in grado di 'tagliare' il DNA in modo ripetibile, a prescindere dall'organismo a cui il DNA appartiene. Questi enzimi consentono di 'tagliare' frammenti di DNA che provengono da una specie, e 'incollarli' (usando enzimi chiamati ligasi) in un'altra, anche se molto diversa. Ciò permette di combinare geni che provengono da specie molto distanti dal punto di vista dell'evoluzione (ad esempio un batterio o un pesce e una pianta) e quindi di ottenere combinazioni che non potrebbero essere ottenute in natura. La supposta analogia tra allevamento selettivo e ingegneria genetica è dunque sostanzialmente falsa, perché limitata al caso particolare dell'inserzione di geni in organismi appartenenti alla stessa specie. L'inserzione di geni estranei nelle piante avviene attraverso l'uso di vettori, come per esempio il batterio *Agrobacterium tumefaciens* che però infetta solo alcune piante. Per trasferire geni in piante che non possono essere infettate da questo batterio, una tecnica comunemente usata, messa a punto alla Cornell University, è chiamata biolistica (biologia-balistica). Essa consiste nel bombardare cellule vegetali bersaglio con microsfere metalliche rivestite del DNA estraneo - e quindi dei geni - che si vogliono inserire. Una volta nelle cellule questi geni vengono, in qualche modo, inseriti nel patrimonio genetico. Questa metodologia, come si può capire, è casuale (stocastica) e non consente dunque precisione. Il numero di copie di geni inserite e i siti di inserimento sono più o meno casuali, sicché molte copie dello stesso gene

possono venire inserite in uno o anche in diversi cromosomi della cellula vegetale bersaglio. Gli scienziati non comprendono ancora bene quali siano le conseguenze dell'inserzione casuale. Si sa che geni esistenti possono ad esempio venire interrotti o modificati. Se a questo si aggiunge che il processo di interazione tra i geni inseriti e di quelli esistenti e' mal compreso, si puo' comprendere perche' la modificazione genetica delle colture agricole possa dare luogo a sorprese e rischi che vanno dal malfunzionamento delle piante prodotte (danni agli agricoltori) alla produzione di sostanze tossiche e allergiche.

Rischi

Ambiente. I rischi principali sono la potenziale comparsa di geni estranei e di organismi con nuovi caratteri inaspettati, la potenziale interferenza con le catene alimentari, incluse quelle che comprendono organismi del suolo, e la ulteriore intensificazione dell' uso di erbicidi su colture a questi resistenti. Colture transgeniche pongono dunque rischi per le comunita' biologiche e rischiano di intensificare i problemi di inquinamento di falde ed acque superficiali in alcune aree.

Trasferimento di geni estranei ad altre piante.

I geni inseriti nelle colture agricole possono diffondersi nell' ambiente. Il trasferimento di geni da piante transgeniche ad altre piante puo' avvenire per ibridazione tramite impollinazione. La probabilita' di ibridazione dipende essenzialmente dalla presenza di parenti selvatici nell'ambiente circostante e dalla capacita' di ibridazione sia delle piante donatrici che di quelle riceventi. Il rischio dipende dunque anche dal tipo di piante selvatiche che crescono nel paesaggio in cui le colture transgeniche vengono rilasciate. Il successo dell'impollinazione, comunque, e' una condizione necessaria, ma non sufficiente. Gli ibridi, infatti, possono essere sterili. Inoltre, anche quando questi siano fertili, e' probabile che, se i nuovi geni non conferiscono vantaggi selettivi, questi vengano enormemente diluiti nella popolazione selvatica. Test in campo hanno comunque gia' fatto registrare ibridazioni, per esempio tra la colza resistente ad erbicidi, una delle piante modificate piu' diffuse, e i suoi parenti *Brassica campestris*, *Raphanus raphanistrum* e *Hirschfeldia incana*, presenti nella flora selvatica. Nonostante la diluizione dei geni transgenici, esiste il rischio di diffusione di nuovi geni nel caso che questi conferiscano vantaggio selettivo agli individui che li ricevono. Valutare quando questo sia il caso e' difficile perche' le interazioni dei geni estranei con quelli esistenti puo' far insorgere nuovi e inaspettati caratteri. Per esempio, semi di ibridi transgenici potrebbero essere in grado di sopravvivere durante l'inverno, al contrario di semi non modificati. La selezione naturale, in questo caso puo' fungere da amplificatore e far si che i nuovi geni vengano trasmessi in modo preferenziale. Anziche' venir diluiti, i nuovi geni apparirebbero piu' di frequente nella popolazione. Tutto cio' pone problemi per i test effettuati prima del rilascio nell'ambiente. A causa della dipendenza dal contesto, e' difficile stabilire

a priori quali geni possano essere vantaggiosi in quali ambienti, e quale sia la loro probabilita' di diffusione. I test in campo non sono necessariamente in grado di stimare il rischio in ogni tipo di ambiente, ma solo in quello in cui le piante sono state messe a coltura. Test negativi in un certo tipo di ambiente, potrebbero dunque risultare positivi in altri contesti (e viceversa). Inoltre i test si occupano di un numero limitato di conseguenze negative prevedibili. Pertanto benché il rischio esista, i test, specialmente se condotti in pochi ambienti, non possono stabilire esattamente cosa possa accadere e con quale probabilita'.

Rischio causato da geni per la produzione di tossina. Bt Uno dei pesticidi più benigni che si conosca è la tossina prodotta da un batterio, il *Bacillus thuringiensis* (Bt). Questa tossina uccide in modo specifico gli insetti, risparmiando i vertebrati. Inoltre non si accumula facilmente nell'ambiente e pertanto non ha gli effetti tossici di altri pesticidi. L'uso di questo pesticida, dunque, avrebbe il vantaggio di non esporre le comunità animali, e specialmente i vertebrati alla tossicità diretta dei pesticidi convenzionali. La presenza di insetti sensibili alla tossina Bt ne consente l'uso mirato, ad esempio nell'agricoltura biologica. Tale sensibilità, comunque, potrebbe scomparire a causa della presenza massiccia di colture transgeniche in grado di produrre da sole tale tossina in certi organi come le foglie o le radici. Una conseguenza ovvia sarebbe il danno arrecato all'agricoltura biologica (che propone un modello di agricoltura opposto a quello dell'agribusiness). Una lezione che è stata appresa dall'uso di altri pesticidi, non ultimo il DDT, è che l'esposizione continua ad una sostanza tossica seleziona ceppi resistenti nelle popolazioni di insetti bersaglio. Il risultato è che in pochi mesi, o anni, la maggior parte della popolazione di insetti parassiti diventa resistente e quindi il pesticida risulta praticamente inutile nella maggioranza dei casi. Se la tossina Bt diventa inutile, il ricorso a pesticidi più tradizionali, molti dei quali sono prodotti dalle compagnie che vendono sementi transgeniche, sarà inevitabile. Per evitare l'insorgenza di resistenze nelle popolazioni naturali, in teoria, si potrebbero destinare alcune aree come rifugio, dove ceppi non resistenti potrebbero sopravvivere. In pratica, comunque, questo pone problemi come la dimensione di tali aree ed il fatto che queste dovrebbero non essere trattate con altri pesticidi, se si vuole che i ceppi in questione sopravvivano. È discutibile che ciò sia messo in pratica, con risultati soddisfacenti, dagli agricoltori, specialmente, ma non solo, nel terzo mondo. A breve e medio termine, la eliminazione di insetti parassiti da colture Bt, può avere conseguenze simili a quelle di pesticidi convenzionali: predatori naturali dei parassiti possono venire danneggiati sia direttamente dalle tossine sia dal fatto di non avere abbastanza prede per sopravvivere. Per paragonare gli effetti di tali tossine a quelli di pesticidi convenzionali sono necessari accurati studi. Alcune colture, ad esempio il Mais, sono già state modificate per produrre questa tossina. Essa viene prodotta in alte concentrazioni e poiché si trova all'interno delle piante, non può venire degradata, come nel caso dei trattamenti biologici, ma è presente in permanenza nell'ambiente. Esperimenti in laboratorio

indicano che queste piante possono essere tossiche anche per insetti non bersaglio e predatori. Inoltre in alcuni esperimenti e' stato dimostrato che la presenza dei residui di tali piante nel suolo, puo' alterare i normali processi di decomposizione. Alcuni effetti impreveduti e indesiderati comunque, sono gia' emersi, a dimostrazione che le conseguenze dell' inserimento di geni estranei sono mal comprese. Si e' scoperto che il polline di mais modificato in questo senso e' tossico per alcuni insetti, in particolare per i bruchi delle farfalle Monarca. La presenza di polline di mais su foglie di piante che crescano in prossimita' dei campi e' molto comune. I bruchi della Monarca si nutrono esclusivamente di una di queste piante, chiamata Milkweed. Foglie di Milkweed sperimentalmente cosparse col polline di piante di mais transgeniche (modificate per produrre la tossina Bt nelle foglie) sono in grado di uccidere i bruchi della Monarca, al contrario di foglie cosparse col polline di Mais non transgenico. La comparsa della tossina nel polline del Mais era inattesa. L'implicazione e' che piante modificate possono avere inaspettati effetti sulla biodiversita'. Tali risultati, ottenuti in laboratorio, attendono conferma in campo aperto. Incidentalmente, questi risultati riguardo al polline sono rilevanti per le api e per prodotti come il miele. Il polline di molte piante e' raccolto dalle api, e queste possono coprire un' area dal diametro di fino a dieci chilometri, centrata sulla loro arnia. La comparsa di sostanze indesiderate nel polline di piante modificate, in futuro, potrebbe sia causare danni alle api che contaminare il miele che queste producono. Un altro punto oscuro e' la possibilita' che i geni Bt compaiano in piante selvatiche, rendendone alcune resistenti ai propri parassiti. Se cio' accadesse, queste piante potrebbero acquisire un vantaggio competitivo sia su conspecifici che su piante di altre specie con effetti difficili da prevedere in teoria. Per tutti questi motivi, la British Royal Society raccomanda che vi siano restrizioni sulla commerciabilita' di piante transgeniche che producano la tossina Bt. Tali piante sono anche state oggetto di un rapporto della US National Academy of Sciences la quale, nelle sue raccomandazioni, ha riconosciuto la necessita' di ulteriore ricerca per quanto riguarda il loro potenziale impatto su ambiente e salute

Rischio causato da geni per la tolleranza agli erbicidi. Alcune compagnie, come la Monsanto, hanno messo a punto colture transgeniche in grado di resistere a erbicidi da loro prodotte (Glufosinato e Glifosato, quest' ultimo noto col nome commerciale di Roundup). Quali sono i rischi e le conseguenze della diffusione di tali geni nell' ambiente? Per essere rigorosi, il problema dello scambio di geni che rendano le colture tolleranti, e' presente anche per colture resistenti ma non transgeniche. Test in campo effettuati in UK indicano che la probabilita' di trasferimento e' simile per i due tipi di piante. Il rischio teorico e' che piante selvatiche o rinselvatichite, divengano esse stesse invasive e difficili da controllare. Questo comunque non ha finora costituito un problema importante per piante erbicida-resistenti ma non transgeniche ed e' possibile che le piante transgeniche si comporteranno in maniera simile. Sono necessarie ulteriori ricerche per chiarire se questa ipotesi e' vera. D'altra parte la posta e' alta. Una volta che un evento poco probabile si sia realizzato

e che un organismo invasivo sia comparso, la sua eradicazione e' estremamente problematica, con potenziali danni a comunita' naturali. Le invasioni ecologiche da parte di organismi non modificati, introdotti in ambienti a loro nuovi dimostra due cose: che il carattere infestante dipende dal contesto ecologico circostante (il che deve far riflettere coloro che progettano e conducono i test in pochi ambienti, visto che tali organismi sono molto spesso non infestanti nel loro ambiente di origine) e che la eradicazione di tali organismi e' spesso molto difficile. Un esempio che dovrebbe servire da monito e' quello di Australia e Nuova Zelanda, dove i dipartimenti per la conservazione della natura spendono ingenti risorse per il controllo di piante e animali introdotti dagli europei, i quali, divenuti invasivi, hanno arrecato gravi danni, fino all'estinzione, a specie native.

Il rischio maggiore posto da piante resistenti ad erbicidi e' indiretto. La coltura di tali piante comporta l'utilizzo massiccio di erbicidi (brevettati) su vaste aree, con conseguenze sulla biodiversita' e la qualita' delle acque. La ulteriore eliminazione di piante selvatiche dall' ambiente agricolo puo' comportare un ulteriore danno alle catene alimentari degli agro-ecosistemi. Specie di invertebrati e di uccelli che si nutrono delle piante in questione o dei loro commensali rischiano di scomparire dalle zone trattate intensivamente con erbicidi. E' molto probabile che, entro qualche anno, il trattamento intensivo fara' insorgere, un ulteriore problema per gli agricoltori e cioe' la evoluzione di resistenze tra alcune delle piante infestanti che mira ad eradicare. Questo processo puo' avvenire prescindendo dal trasferimento di geni per la resistenza provenienti da piante modificate. Si puo' nuovamente citare l' esempio tipico della comparsa di ceppi di zanzare resistenti al DDT, in seguito all' uso massiccio di questo composto, che mirava a sterminarle del tutto. Per motivi analoghi, e' molto probabile che, col tempo, gli erbicidi in questione non saranno piu' efficaci contro nuovi ceppi di infestanti che diverranno sempre piu' diffusi. La perdita di efficacia, comunque, non e' un problema dal punto di vista delle compagnie biotecnologiche. Al contrario, puo' rappresentare un guadagno. Poiche' i brevetti sugli erbicidi scadono dopo un certo numero di anni, e' vantaggioso per le compagnie che vecchi erbicidi diventino inefficaci in modo da commercializzare con successo nuovi kit pianta-erbicida sviluppati piu' di recente. Cio' permette di mantenere alti i profitti, ma perpetua un modello di agricoltura che ha anche notevoli costi ambientali.

Rischi per la Salute. Non si sa se esistano in commercio cibi che siano nocivi per la salute. Per ora, non ci sono stati effetti immediati sui consumatori, e non si conoscono gli effetti a lungo termine. Alcuni futuri prodotti, comunque, potrebbero presentare problemi. I rischi per i consumatori derivano da quattro potenziali fonti: produzione di tossine, produzione di sostanze che causano allergia (allergeni) diminuito valore nutrizionale. Vi e' un quarto rischio, che riguarda tutti, ed e' la perdita dell' efficacia di antibiotici dovuta alla trasmissione a batteri patogeni di geni per la resistenza a queste sostanze.

I rischi che derivano dalla modificazione genetica di piante destinate al consumo alimentare possono dipendere sia da caratteristiche note che da nuove e caratteristiche non previste. Un esempio delle prime è l'introduzione di geni che derivano da organismi a cui una parte della popolazione è allergica o che producono tossine note. Un aumento di allergenicità è stato dimostrato per la soia in cui siano stati inseriti geni della Noce Brasiliana. La maggior parte dei test è concentrata su questi aspetti. Tuttavia, ciò non garantisce protezione ai consumatori. Il rischio posto dall'ingegneria genetica deriva dallo stesso processo di introduzione dei geni estranei poiché gli scienziati non sono in grado di controllare dove e come questi geni vengano inseriti e con quali conseguenze. L'inserzione a caso può causare danni al normale funzionamento delle piante modificate e avere come conseguenza la aumentata produzione o l'accumulo di sostanze tossiche o di allergeni, e/o anche interferire con il normale metabolismo delle piante. Ciò può indurle a produrre meno vitamine o altre sostanze che hanno valore nutrizionale e sono contenute nelle piante non modificate. Per riassumere, non vi è alcuna garanzia che le piante modificate non producano accidentalmente quantità potenzialmente pericolose di sostanze tossiche, allergeni o anche di sostanze che causano mutazioni del DNA umano o che possano danneggiare il feto durante la gravidanza. Gli attuali test in questo senso sono carenti e le potenziali modifiche presentano problemi etici perché implicano sperimentazione su persone. Manca, per il momento una attenta valutazione caso per caso. Scorciatoie come il Principio di Equivalenza Sostanziale sono rischiose.

Test e il principio di equivalenza sostanziale. Il principio di equivalenza sostanziale (PES) stabilisce che se un organismo modificato presenta un certo numero di caratteristiche uguali a quelle del suo specie corrispondente non modificata, i due sono sostanzialmente equivalenti e dunque la commerciabilità di tali prodotti è ritenuta possibile e sicura senza ulteriori test. Tale principio, come formulato oggi, è molto carente dal punto di vista della tutela della salute. Esso si basa sull'assunzione che i geni inseriti non possano causare perturbazioni generali, come l'aumento della produzione di sostanze normalmente prodotte in piccola quantità o con la sintesi di nuove sostanze a causa della ri-attivazione di geni dormienti. Queste assunzioni come discusso nella sezione precedente, non solo sono teoricamente discutibili, ma sono anche state provate errate in casi sperimentali. Esiste dunque evidenza che l'equivalenza sostanziale, al momento, viene decretata in modo semplicistico e rischioso per i consumatori. Tossine ed allergeni, potrebbero quindi comparire nella catena alimentare con conseguenze che vanno da disturbi minori alla morte. Alcune carenze considerevoli, nei test che stabiliscono l'equivalenza di colture modificate, si registrano in particolare nei seguenti settori: effetti di tossine presenti a livelli inferiori, all'1 per mille, considerazione degli effetti cumulativi di diverse sostanze, effetti dello stress fisiologico e delle applicazioni di erbicidi sulla produzione di tossine e allergeni, produzione di allergeni inattesi, effetti a lungo termine, ad esempio mutagenicità, sia su adulti che su embrioni e feti indipendenza dei test dalle

compagnie biotecnologiche, Se cibi modificati diventeranno la norma, esiste la possibilità che, senza adeguate precauzioni, effetti indesiderati vengano scoperti solo tra molti anni, da studi epidemiologici. Un punto importante è che poiché è molto difficile prevedere quali sostanze allergeniche possano venir prodotte, non esiste al momento una metodologia accettata per condurre test preventivi che garantiscano una reale equivalenza sostanziale e dunque sicurezza a priori. Pertanto, anche in questo caso, gli effetti indesiderati di alcune sostanze potranno essere evidenziati solo monitorando la salute dei consumatori (a spese dei contribuenti), cioè a danno arrecato. In conclusione, al momento è impossibile stabilire equivalenza sostanziale tra piante modificate e la specie di origine, non modificata. I consumatori sono dunque esposti ad un certo rischio, anche se questo è difficile da quantificare. Una attenta valutazione di alimenti transgenici caso per caso è dunque da consigliare. Alla luce di queste considerazioni, privare il consumatore della facoltà di scegliere se ingerire sostanze che provengono da OGM ha indubbio vantaggio per l'industria, ma non tutela gli interessi dei cittadini. Affinché il diritto di scelta sia esercitabile sono indispensabili un' accurata etichettatura [1] e la disponibilità di linee di produzione completamente prive di derivati dagli OGM.

Trasferimento di geni che conferiscono resistenza agli antibiotici. La procedura di modificazione genetica non ha successo nel 100% dei casi. Per distinguere quali cellule abbiano incorporato i nuovi geni, questi geni vengono accoppiati con altri che conferiscono resistenza ad antibiotici quali, come la Kanamicina, Higromicina e Ampicillina. Le cellule che incorporano i nuovi geni, ad esempio per la resistenza ad un erbicida, sono quindi anche resistenti ad uno o più antibiotici. Queste vengono poi sottoposte a trattamento antibiotico, che uccide le cellule che non hanno incorporato i nuovi geni e seleziona positivamente quelle che sono transgeniche. Benché sia tecnicamente possibile rimuovere i geni per la resistenza agli antibiotici, questi vengono di solito lasciati in situ, poiché è la soluzione meno costosa in tempo e denaro. Esiste il rischio che tali geni, una volta ingeriti possano trasferire resistenza a batteri, anche patogeni, che si trovino nell'intestino umano e di animali e nell'ambiente. Questo potrebbe aggravare ulteriormente il problema della crescente resistenza agli antibiotici che si registra a livello globale. Esistono già ceppi batterici resistenti alla maggior parte degli antibiotici noti. Vi è oggi il concreto rischio che un numero crescente di batteri presenti nell'ambiente domestico, e specialmente ospedaliero, divenga resistente ad ogni antibiotico noto, creando seri problemi per la terapia e per le operazioni chirurgiche, poiché i pazienti sarebbero indifesi ed esposti ad infezioni, potenzialmente mortali. Ad esempio, vi sono stati casi, anche recenti (all'inizio del 2000 in Danimarca) di morti da semplice intossicazione alimentare dovuta a salmonella resistente ad ogni antibiotico. È importante notare che oggi gli organismi transgenici non sono affatto la fonte principale di questo rischio. Per esempio lo sono molto meno dell'uso sconsiderato che deriva dalla vendita di antibiotici senza prescrizione, o dall'uso massiccio in zootecnia. Tuttavia essi

potrebbero diventare una fonte considerevole in futuro se presenti in molti prodotti alimentari [2]. Sia la British Medical Association che la British Royal Society, ritengono inaccettabile ogni ulteriore rischio in questo senso, comunque ridotto, posto dalla tecnologia transgenica. Perfino l' organismo che consiglia al governo britannico se autorizzare la vendita di cibi transgenici ha espresso parere negativo riguardo al Mais prodotto dalla Novartis, a causa della presenza di tali geni. Ciononostante, e nonostante tali preoccupazioni fossero manifestate da tredici su quindici stati membri, la Commissione Europea ha consentito la sua immissione sul mercato.

[1] Non vi e' comunque evidenza scientifica che la soglia europea dell' 1% sia adeguata a proteggere dai rischi.

[2] Su questo tema segnaliamo il rapporto dell' OMS all' indirizzo <http://www.who.int/infectious-disease-report/> e il sommario <http://www.who.int/infectious-disease-report/pages/ch1text.html#Anchor5>