

Dario Bressanini

# OGM TRA LEGGENDE E REALTÀ

Alla scoperta delle modifiche genetiche  
nel cibo che mangiamo

Seconda edizione

a cura  
di Stefano Dalla Casa

**ZANICHELLI**

Copyright © 2018 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [92070]  
www.zanichelli.it

I diritti di elaborazione in qualsiasi forma o opera, di memorizzazione anche digitale su supporti di qualsiasi tipo (inclusi magnetici e ottici), di riproduzione e di adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), i diritti di noleggio, di prestito e di traduzione sono riservati per tutti i paesi. L'acquisto della presente copia dell'opera non implica il trasferimento dei suddetti diritti né li esaurisce.

---

**Realizzazione editoriale:**

- Collana ideata da: Federico Tibone e Lisa Vozza
- Coordinamento editoriale: Elena Bacchilega, Stefano Dalla Casa
- Redazione: Sara Urbani, Lucia Sanna Bissani
- Collaborazione redazionale: Veronica Vannini
- Progetto grafico: Falcinelli & Co.
- Impaginazione: Francesca Ponti
- Disegni e grafici: Roberto Marchetti
- Ricerca iconografica: Stefano Dalla Casa

**Copertina:**

- Progetto grafico: Falcinelli & Co.
- Artwork: Falcinelli & Co.
- Immagine di copertina: Tooga/Getty Images

Prima edizione: 2009

Seconda edizione: ottobre 2019

**Ristampa:**

5 4 3 2 1                      2018 2019 2020 2021 2022

---

**Grazie a chi ci segnala gli errori**

Segnalate gli errori e le proposte di correzione su [www.zanichelli.it/correzioni](http://www.zanichelli.it/correzioni).

Controlleremo e inseriremo le eventuali correzioni nelle ristampe del libro.

Nello stesso sito troverete anche l'*errata corrige*, con l'elenco degli errori e delle correzioni.

Stampa: Grafica Ragno

Via Lombardia 25, 40064 Tolara di Sotto - Ozzano Emilia (Bologna)

per conto di Zanichelli editore S.p.A.

Via Irnerio 34, 40126 Bologna

## INDICE

Introduzione	5
1. Le leggi della natura e quelle dell'uomo	9
Che cosa vuol dire «naturale» quando parliamo di cibo? Una breve storia della domesticazione e la difficile definizione di OGM	
2. Come si producono le piante OGM	35
Oltre gli incroci tradizionali: la rivoluzione biotecnologica applicata all'agricoltura	
3. A che cosa servono le piante OGM	61
Facilitare la coltivazione o offrire un prodotto preferibile per i consumatori? Le diverse varietà OGM hanno scopi specifici.	
4. Altri OGM che usiamo senza saperlo	87
Dall'insulina al caglio sintetico, fino agli enzimi usati dall'industria birraria, siamo circondati da prodotti ricavati da OGM.	
5. L'agricoltura transgenica nel mondo	105
Una panoramica dello stato odierno dell'agricoltura basata sugli OGM nel mondo.	
6. La questione dei pesticidi	125
Gli OGM ci fanno risparmiare agrofarmaci o ce ne fanno consumare di più? Per rispondere occorre distinguere tra erbicidi e insetticidi, ed esaminare come sono impiegati.	
7. Chi ci ha guadagnato finora?	145
Un'analisi dei costi e dei benefici delle colture OGM per produttori, agricoltori e consumatori.	

8. Gli OGM nei Paesi in via di sviluppo	155
La coltivazione di OGM non è esclusiva dei Paesi industrializzati. Grandi e piccoli agricoltori nei Paesi in via di sviluppo hanno sperimentato o utilizzano le biotecnologie agrarie.	
9. La strana storia della melanzana Bt	179
India, Filippine e Bangladesh hanno collaborato allo sviluppo di una melanzana OGM, ma solo il Bangladesh ora la coltiva. Come mai?	
10. Il salvataggio dei prodotti tipici	189
Le biotecnologie hanno salvato la produzione hawaiana di papaya, e nell'arcipelago i frutti transgenici convivono accanto a quelli «bio». E in Italia?	
11. Il caso della patata: gli OGM sono fritti?	203
Il successo di qualsiasi prodotto dipende da molti fattori, e gli OGM non fanno eccezione. Le scelte dei consumatori sono determinanti, ma non è detto che siano le più razionali.	
12. Perché ancora tanta opposizione agli OGM?	215
Dopo decenni di utilizzo gli OGM fanno ancora paura, nonostante tutti i controlli a cui sono sottoposti. Anche i <i>media</i> sono responsabili di questa situazione.	
13. Uno sguardo al futuro	231
Lo sviluppo di nuove varietà OGM continua, ma le biotecnologie agrarie saranno presto rivoluzionate da CRISPR, una tecnologia di <i>genome editing</i> capace di introdurre modifiche indistinguibili da mutazioni casuali.	
Brevetti: i pro e i contro	251
Le fonti di questo libro	271
28 miti da sfatare	275
Indice analitico	285

## CAPITOLO QUARTO

# Altri OGM che usiamo senza saperlo

In questo libro ci concentriamo sugli OGM vegetali e sul loro uso in agricoltura; ma è importante ricordare che, oltre alle piante transgeniche, esistono molti altri prodotti biotecnologici che usiamo nella vita di tutti i giorni, magari senza neppure sapere che sono stati ottenuti con la tecnica del DNA ricombinante.

In questo capitolo vedremo esempi delle applicazioni degli OGM nel settore biomedico e in quello dei prodotti alimentari di origine animale.

### *Il diabete e le sue prime cure*

Il nostro pancreas in condizioni normali produce l'ormone chiamato *insulina*, una piccola proteina che permette al glucosio presente nel flusso sanguigno di entrare nelle cellule dove viene utilizzato come fonte di energia.

Tra le malattie in più rapida diffusione nel mondo oggi c'è il *diabete*, una grave sindrome cronica. Nella persona diabetica il pancreas non è in grado di produrre l'insulina (tipo 1) oppure essa diventa inefficace sulle cellule (tipo 2). La conseguenza è l'*iperglicemia*, ossia un accumulo del glucosio nel sangue che può essere fatale.

Fino al 1921 il malato di diabete di tipo 1 era praticamente spacciato. In quell'anno però gli scienziati canadesi Charles Best, Frederick Banting, John Macleod e James Collip isolarono per la prima volta l'insulina dal pancreas animale. La loro scoperta si basava su esperimenti effettuati nel 1908 da George Zülzer, il quale aveva dimostrato che era possibile tenere sotto controllo il livello di glucosio nel sangue di un cane a cui era stato tolto il pancreas, se si iniettavano nell'animale estratti di quell'organo.

Nel gennaio del 1922 per la prima volta un essere umano fu trattato con successo mediante iniezioni di insulina estratta dal pancreas di un bovino.

Gli scopritori, due dei quali avrebbero vinto il premio Nobel l'anno successivo, rinunciarono al brevetto cedendolo all'università di Toronto, che concesse gratuitamente alle aziende la possibilità di produrre l'ormone per il trattamento del diabete. La Eli Lilly divenne l'azienda farmaceutica leader del settore.

I primi estratti di insulina animale lasciavano però molto a desiderare quanto a purezza della sostanza estratta, e i primi pazienti trattati soffrivano spesso di effetti collaterali.

Oltre ai problemi di purificazione della sostanza esisteva anche un problema di ordine pratico: il pancreas da cui estrarre l'ormone era ottenuto dai macelli, perciò la sua disponibilità per una produzione su larga scala dipendeva dagli alti e bassi del mercato globale della carne. In più nei pazienti diabetici trattati con insulina bovina o estratta dal maiale a volte si scatenavano reazioni allergiche.

All'epoca non lo si sapeva ancora, ma l'insulina del maiale non è identica a quella umana: le due catene proteiche differiscono per un aminoacido. L'insulina bovina invece rispetto a quella umana ha tre aminoacidi diversi. Il nostro corpo si accorge che l'insulina introdotta non è esattamente uguale a quella umana, rispondendo a volte con reazioni allergiche anche molto violente.

Nel 1955 Frederick Sanger scoprì finalmente la struttura dell'insulina umana, che risulta composta da 51 aminoacidi disposti in due catene legate tra loro. Sanger vinse il premio Nobel nel 1959 e la sua scoperta aprì la strada per la sintesi in laboratorio di questa proteina. Una volta nota la sequenza di aminoacidi di una proteina infatti diventa possibile – almeno in linea teorica – assemblarla in laboratorio per via chimica. A questo risultato si giunse nel 1963, ma soltanto nel 1975 il metodo di sintesi permise di creare una quantità di insulina umana sufficiente per l'uso in un test clinico.

Il test, effettuato dalla Ciba-Geigy di Basilea, ebbe esito positivo e dimostrò l'efficacia dell'insulina umana sintetica sui malati di diabete. Questo metodo di produzione mediante sintesi chimica

però non risultò conveniente dal punto di vista economico.

### *Entrano in scena le biotecnologie*

Verso la metà degli anni Settanta gli scienziati cominciarono a intravedere le possibili applicazioni di una «rivoluzione biotecnologica» iniziata nel 1953 con l'identificazione della struttura a doppia elica del DNA da parte di James Watson, Francis Crick e Rosalind Franklin, e proseguita dieci anni dopo con la decifrazione del codice genetico a opera di Marshall Nirenberg e Har Godind Khorana.

Ora che avevano acquisito le basi del «linguaggio» della vita, gli scienziati immaginavano di poter «istruire» semplici organismi, per esempio i batteri, a fare cose per cui non erano stati programmati dalla natura. Il 1976 è l'anno della fondazione negli USA della Genentech, un'azienda privata che si prefiggeva di modificare il DNA di un batterio per insegnargli a produrre insulina umana e somatostatina<sup>12</sup>.

La Genentech strinse accordi commerciali con la Eli Lilly, da sempre interessata alla produzione di insulina. L'idea di base era semplice: anche il batterio più elementare per vivere deve produrre certe proteine indispensabili per il suo metaboli-

<sup>12</sup> La somatostatina è un ormone che regola il sistema endocrino, influisce sulla trasmissione degli impulsi nervosi e regola vari altri processi biologici.



smo; e per produrle il microrganismo utilizza le informazioni registrate nel proprio DNA.

Con le tecniche del DNA ricombinante, come abbiamo già visto, si può introdurre nel batterio una sequenza di istruzioni che gli insegnano a costruire una proteina che normalmente non sarebbe in grado di produrre: per esempio l'insulina umana. A tutti gli effetti il batterio geneticamente modificato è poi sfruttato come una microscopica fabbrica: fornendogli il materiale di base, gli aminoacidi, il batterio funge da piccolo robot che userà le istruzioni della sequenza di DNA introdotta per assemblare la proteina di cui abbiamo bisogno.

Per certi versi questo processo è simile a ciò che avviene durante la fermentazione del mosto d'uva o della birra, sfruttiamo microrganismi che producono nuove sostanze a partire dagli zuccheri presenti nelle sostanze vegetali di partenza.

### *L'insulina da batteri geneticamente modificati*

Nel 1978 gli scienziati della Genentech riuscirono a «istruire» il batterio *Escherichia coli* a produrre insulina umana, inserendo nel suo DNA il gene che codifica quella proteina. Furono autorizzati a usare i grandi fermentatori necessari dopo una serie di audizioni pubbliche destinate a assicurare un comitato di controllo sulla sicurezza degli esperimenti.

Ci fu però anche chi trovava inquietanti gli esperimenti della Genentech. Una rivista scientifica per esempio pubblicò un articolo secondo cui, siccome

alcuni tipi di *E. coli* vivono normalmente nell'intestino umano, il batterio geneticamente modificato, sfuggendo al controllo dei ricercatori, avrebbe potuto infettare i bambini che vivevano vicino all'azienda e farli morire di ipoglicemia per overdose da insulina. *A posteriori* possiamo sicuramente dire che questi rischi erano stati sovrastimati.

Nel 1980 la Genentech aveva accumulato abbastanza insulina umana prodotta da batteri geneticamente modificati per iniziare le prove cliniche sulla sua efficacia. L'insulina prodotta era a tutti gli effetti identica a quella prodotta dal pancreas umano. Vennero condotte analisi per misurarne il grado di purezza e verificare che non fosse contaminata con residui dei batteri che l'avevano prodotta. La tecnologia fu brevettata e nel 1981 lo stabilimento della Eli Lilly produsse e mise in commercio la prima insulina umana ottenuta da batteri geneticamente modificati.

Non mancavano neanche allora le preoccupazioni di tipo etico di chi riteneva inopportuno inserire un gene proveniente da un uomo in un batterio; un fatto che in realtà, come abbiamo già discusso, non è così innaturale come può apparire a prima vista: abbiamo già per natura molti geni in comune con i batteri (e da questo punto di vista si potrebbe dire che noi stessi siamo OGM naturali).

Grazie all'insulina OGM i malati di diabete (almeno quelli dei Paesi ricchi, che se la possono permettere) non devono più ricorrere all'insulina di origine suina o bovina, riducendo così anche i rischi di reazioni collaterali. Oggi milioni di diabe-

tici in tutto il mondo usano ogni giorno l'insulina ricombinante e toccano così con mano i benefici delle biotecnologie<sup>13</sup>.

Negli ultimi trent'anni i batteri ricombinanti sono stati poi usati per produrre decine di farmaci, dall'ormone umano della crescita alla somatostatina, dai vaccini contro l'epatite alla vitamina B2. Dopo più di trent'anni le paure iniziali causate dai primi esperimenti di modificazione genetica di organismi viventi paiono sopite, almeno per quel che riguarda le applicazioni in campo biomedico.

### *Il caglio sintetico: fare formaggi con gli OGM*

Da sempre il formaggio si ottiene per coagulazione delle caseine (una classe di proteine del latte) utilizzando *caglio* animale, con l'eccezione di quei formaggi, come quelli in fiocchi, dove il latte è coagulato principalmente dall'acido lattico.

Il caglio è un prodotto enzimatico grezzo ottenuto dall'*abomaso* o «quarto stomaco» dei ruminanti lattanti (per lo più vitelli, ma anche agnelli e capretti). Contiene varie sostanze e in particolare un enzima, la *chimosina* o *rennina*, che induce la coagulazione del latte e lo trasforma nei deliziosi

<sup>13</sup> Va ricordato che, sebbene l'insulina biotech sia identica a quella prodotta dal nostro organismo, si possono avere effetti collaterali in caso di sovradosaggio, o dovuti al fatto che gli attuali farmaci rilasciano l'insulina con continuità, anziché in modo variabile nel tempo come fa il pancreas.

formaggi di cui nazioni come Italia e Francia vanno giustamente fiere.

L'utilizzo alimentare di caglio animale può tuttavia far sorgere remore di carattere etico o religioso. Da un lato ci sono vegetariani che rifiutano di consumare formaggio, sapendo che per produrre il caglio si sono uccisi animali. D'altro canto i musulmani e gli ebrei osservanti vogliono essere sicuri che durante la macellazione di vitelli, agnelli o capretti per ottenere il caglio, siano state seguite le procedure prescritte dalle loro religioni.

Esiste anche un «caglio vegetale» che si ottiene da alcune muffe o da alcune piante, ma presenta alcuni svantaggi: porta a un formaggio con proprietà organolettiche – le caratteristiche del cibo che percepiamo con i sensi, come odore, sapore, aspetto – che sono diverse e non sempre apprezzate, e inoltre è più instabile al calore. Come nel caso dell'insulina, il motivo principale per cercare una via alternativa alla produzione della chimosina è stato però l'esigenza di disporre delle grandi quantità di caglio richieste dal mercato.

Per dare un'idea delle dimensioni del problema, nel 1980 la produzione mondiale di formaggio era pari a 8,9 milioni di tonnellate. Nel 2004 era salita a 18 milioni di tonnellate e si stima che nel 2020 raggiungerà i 25 milioni di tonnellate. Ciò richiede circa 90 000 kg di enzima purificato, e per ricavarlo dallo stomaco di vitellini occorrerebbe sacrificare ogni anno 125 milioni di animali, un numero semplicemente impraticabile. Ecco perché la ricerca di un sostituto del caglio animale è partita molti

decenni fa, ben prima dell'avvento delle moderne biotecnologie, quando la FAO mise in guardia sulla probabile futura scarsità di caglio animale. In seguito, dopo il successo dell'insulina OGM, gli scienziati sono riusciti a creare microrganismi ricombinanti capaci di sintetizzare la chimosina.

Il DNA che codifica la produzione di questo enzima è stato inserito in un lievito (*Kluyveromyces lactis*), in un batterio (*Escherichia coli*) e in una muffa (*Aspergillus niger* var. *awamori*).

Così grazie alle biotecnologie si è iniziato a produrre la chimosina in laboratorio, invece di doverla estrarre dallo stomaco di un vitellino. Nel 1990 la *Food and Drug Administration* (FDA) degli Stati Uniti ha autorizzato l'uso della chimosina ottenuta da OGM per la produzione del formaggio e nel 1991 il Ministero della Sanità italiano ha dato analoga autorizzazione per la produzione dei derivati del latte nel nostro Paese. Tutto questo è accaduto prima che iniziasse il «furore anti-OGM»; in anni più recenti una simile iniziativa avrebbe probabilmente suscitato reazioni vivaci.

La chimosina OGM è chiamata «caglio vegetale» o «caglio sintetico» o ancora «caglio batterico»; in commercio ne esistono almeno tre versioni (Chymogen, Maxiren e Chymax o Chymox) che sono utilizzate in molti Paesi del mondo oltre all'Italia.

I formaggi italiani a denominazione di origine protetta DOP (una tutela giuridica per gli alimenti con caratteristiche qualitative che dipendono dal territorio in cui sono prodotti) impongono l'uso di caglio animale tradizionale, ma per gli altri non vi

sono restrizioni all'uso di chimosina da OGM. Ed è un bene che sia così, perché semplicemente non c'è abbastanza chimosina animale disponibile per soddisfare le richieste per tutto il formaggio che si produce. D'altra parte la chimosina sintetica è identica a quella contenuta nel caglio; anzi è persino più pura. Non vi sono dunque motivazioni sanitarie o di sicurezza che ne impediscano l'uso.

Moltissimi formaggi di produzione industriale utilizzano il caglio sintetico ma non è difficile, navigando un po' su Internet, trovare anche esempi di formaggi «tipici» che possono essere prodotti con chimosina da OGM; per esempio la *Muzzarella* *co' a Mortedda* del parco nazionale del Cilento.

Nel 1994 l'Unione Nazionale Consumatori ha denunciato all'Autorità garante per la concorrenza una pubblicità ritenuta ingannevole del Maxiren. Questo caglio sintetico era pubblicizzato su riviste rivolte all'industria lattiero-casearia come «Il nuovo standard di coagulazione – chimosina pura».

Secondo il denunciante il messaggio avrebbe dovuto riportare il nome del microrganismo da cui è stata ottenuta la chimosina e la dicitura «geneticamente modificato». Il Garante ha stabilito invece che non vi è stata informazione fuorviante, perché è dimostrato che la chimosina purificata ottenuta da OGM è strutturalmente identica alla chimosina del vitello.

Idee poco chiare a questo riguardo circolano a volte anche nelle associazioni per la difesa dei consumatori, che pure dovrebbero fornire informazioni il più possibile accurate per metterci in grado di

fare le nostre scelte. Nel 2009 per esempio sul sito web dell'associazione Consumocritico si leggeva:

Formaggio di malga svizzero, aromatizzato alla caseina transgenica «Maxiren». Nel territorio svizzero fin dal 1988 è legalmente in circolazione una caseina ottenuta con manipolazione genetica e distribuita con il marchio commerciale Maxiren. Secondo i suoi produttori la caseina da laboratorio genetico fa coagulare più velocemente il latte e costa anche meno di quella naturale. Nessuno però ha spiegato quale tipo di formaggio si ottiene con la caseina transgenica.

Il brano confonde la chimosina con la caseina (la proteina del latte che la chimosina «digerisce» per farlo cagliare); inoltre nel 1988 la chimosina sintetica non era neanche in commercio. In più si getta un'ombra di dubbio, senza alcuna giustificazione, sulla qualità del formaggio prodotto con chimosina sintetica; in realtà come abbiamo visto questa è addirittura più pura della chimosina estratta dal vitello, perciò dà garanzie di sicurezza sanitaria anche maggiori.

### *I prodotti di altri simpatici microrganismi*

Ormai l'industria biotecnologica ha prodotto centinaia di enzimi transgenici utilizzati in moltissimi campi. Nel 1988 l'azienda danese Novozymes ha prodotto il primo enzima transgenico da utilizzare nell'industria dei detersivi come «mangia-grasso». Da allora sono stati prodotti molti altri enzimi da OGM simili, che oggi si trovano come un nor-

male ingrediente dei detersivi che compriamo al supermercato. Un'altra azienda specializzata nella produzione di enzimi da OGM è la Genencor, famosa per avere isolato un enzima che riproduce nel tessuto jeans l'effetto *stone-washed*, consentendo così di eliminare la fase di lavaggio dei jeans insieme alle pietre vulcaniche.

La Sigma-Aldrich Fine Chemicals insieme alla ProdiGene fabbrica e distribuisce il TrypZean, ossia l'enzima *tripsina* prodotto utilizzando la tecnica del DNA ricombinante. La tripsina nel corpo umano è prodotta dal pancreas e appartiene alla famiglia delle *proteasi*, che contribuisce alla digestione spezzando le proteine degli alimenti in singoli aminoacidi che il nostro organismo poi ricicla. Questo prodotto da OGM è utilizzato in molte applicazioni nell'industria alimentare, in particolare nella preparazione del latte artificiale: la tripsina «pre-digerisce» le proteine del latte, spezzandole in catene peptidiche più corte, riducendo così il rischio di reazioni allergiche nei neonati.

In Europa sono in commercio moltissimi prodotti costituiti da proteasi, e alcuni di questi sono prodotti da organismi transgenici ottenuti con batteri, muffe o lieviti. Questi enzimi trovano ampio utilizzo nella produzione della birra (tranne che in Germania, dove la «legge della purezza della birra» proibisce l'uso di qualsiasi enzima, transgenico o meno) così come le *amilasi* da OGM, enzimi che aiutano la degradazione degli amidi. Sono stati anche sviluppati lieviti transgenici, utilizzati per ora soltanto in produzioni vinicole sperimentali.



## CAPITOLO TREDICESIMO

# Uno sguardo al futuro

Prevedere il futuro è sempre difficile, e ciò vale a maggior ragione per il settore degli OGM, dove il progresso scientifico deve fare i conti con l'economia, la politica e l'opinione pubblica.

Proviamo comunque a vedere cosa ci potrebbe riservare il prossimo futuro e quali piante transgeniche potrebbero entrare in commercio da qui al 2020. Non occorre una sfera di cristallo: basta esaminare gli OGM che oggi sono nelle ultime fasi dello sviluppo o sono vicini all'approvazione.

Esistono database affidabili, curati da istituzioni internazionali e accessibili liberamente sulla rete, che «tengono d'occhio» la *pipeline* degli OGM, ossia la sequenza di fasi che va dall'ideazione alla commercializzazione. Qui useremo la banca dati e uno

studio<sup>22</sup> pubblicato sulla rivista *Nature Biotechnology* del già citato IPTS, istituto che fa parte del *Joint Research Center* della Commissione europea.

Una nota sulla terminologia: si parla di un evento quando materiale genetico estraneo è inserito con successo nel genoma di una pianta, che poi si comporta come sperato. In seguito si possono trasferire i tratti acquisiti, con incroci successivi, da quella pianta ad altre varietà; l'evento però rimane quello originario. Tutte le varietà di soia Roundup Ready sul mercato, per esempio, sono derivate da un unico evento.

### *Il quadro generale*

L'IPTS prevede per i prossimi anni un aumento significativo nel numero di OGM in commercio, con una proiezione di 96 eventi sul mercato nel 2020 (ognuno dei quali potrà dare luogo a più varietà OGM, mediante incroci) e 123 già autorizzati e nella fase precommerciale.

Finora la grande maggioranza degli OGM sul mercato è stata sviluppata dalle multinazionali nordamericane o europee ma è in aumento il numero di OGM provenienti dalle istituzioni pubbliche, principalmente in India e Cina, e delle piccole e medie aziende biotecnologiche, specialmente in USA e in

<sup>22</sup> Parisi, C., Tillie, P., & Rodríguez-Cerezo, E. (2016). "The global pipeline of GM crops out to 2020". *Nature Biotechnology*, 34, 31.

India. Nei Paesi in via di sviluppo i prodotti che forse verranno alla luce, dagli sforzi delle istituzioni pubbliche, saranno piante transgeniche adattate alle esigenze dell'agricoltura locale, è quindi probabile che non vengano chieste autorizzazioni per la loro commercializzazione in Europa.

Il panorama delle piante OGM continuerà a essere dominato da mais, cotone, soia e colza, ma riso e patate sono in buona posizione, entrambi con 18 eventi in fase avanzata di sviluppo o nella fase regolatoria.

Per quel che riguarda i tratti inseriti negli OGM, le caratteristiche predominanti rimarranno quelle attuali: la resistenza agli erbicidi e agli insetti. Verranno però introdotti anche nuovi tratti come l'aumento delle rese, la tolleranza alla scarsità d'acqua, la resistenza a un numero maggiore di insetti, a funghi e a virus vegetali.

È probabile anche un aumento degli OGM in commercio con un profilo nutrizionale modificato e, analogamente, delle piante di uso industriale con una composizione chimica modificata per migliorarne le prestazioni. Per esempio, una nuova varietà di mais esplicitamente pensato per produrre bioetanolo, o soia e colza modificate per la produzione di biodiesel.

La fase finale dello sviluppo di un OGM è l'approvazione alla coltivazione e alla commercializzazione. Negli USA si deve richiedere il permesso a tre diverse autorità (USDA, FDA ed EPA). In Europa il parere tecnico spetta all'EFSA, ma è la Commissione europea ad avere l'ultima parola.

Alcuni OGM già approvati in vari Paesi non sono ancora nei campi (per esempio perché l'azienda produttrice non ha ancora uno stock sufficiente di semi per la vendita) ma vi arriveranno nei prossimi anni. Tra i nuovi eventi, già sul mercato, che riguardano la soia vi è una varietà resistente a due erbicidi diversi. Questa proprietà dovrebbe ridurre molto gli eventuali fenomeni di resistenza: è assai improbabile infatti che appaiano casualmente erbacce capaci di tollerare simultaneamente due erbicidi diversi.

Negli USA è stata già approvata anche una pianta OGM che si spera di non dover usare mai. Si tratta di un susino geneticamente modificato per resistere a un virus molto distruttivo (il PPV, *plum pox virus*, detto anche Sharka) scoperto in Bulgaria nel 1915 e oggi diffuso in Europa, nel Medio Oriente, in India e in Cile. Nel 1999 questo virus è stato segnalato per la prima volta anche negli Stati Uniti e l'USDA, memore del successo ottenuto con la papaya transgenica alle Hawaii, ha deciso di sviluppare per tempo una varietà di prugna resistente. Nella malaugurata eventualità di una epidemia del virus, il susino OGM (chiamato *HoneySweet C5*) sarà incrociato con le varietà commerciali e verrà distribuito ai frutticoltori interessati.

### *Gli animali OGM*

In questo libro abbiamo parlato moltissimo di piante geneticamente modificate e di batteri, ma

non abbiamo praticamente mai nominato gli animali. Questo perché sebbene i primi animali geneticamente modificati siano stati prodotti in laboratorio negli stessi anni in cui si sviluppavano le prime piante transgeniche, la loro diffusione commerciale finora è stata praticamente nulla. È possibile, anche se per nulla certo, che nei prossimi anni le cose cambino. Vediamo perché.

Chiariamo subito che nei laboratori di tutto il mondo si usano già animali geneticamente modificati a scopo di ricerca. Nel 1984 all'università di Harvard è stato sviluppato *OncoMouse*, un topo geneticamente modificato per essere più suscettibile allo sviluppo del cancro. Da allora è stato utilizzato in migliaia di laboratori per la ricerca sul cancro. Altri topi geneticamente modificati molto utilizzati sono del tipo *knockout*: viene disattivato un gene specifico per indagarne la sua funzione o per usare l'animale risultante come modello sperimentale per studiare, per esempio, una malattia. È lunghissima ormai la lista di specie animali che sono state geneticamente modificate a scopo di ricerca e include cani, ratti, scimmie, maiali, capre e molte altre.

Invece l'unico animale transgenico a scopo alimentare oggi sul mercato, almeno per ora, è un salmone chiamato *AquaAdvantage* e prodotto da *AquaBounty Technologies*. Nel suo DNA è stato inserito un gene proveniente da un pesce gatto per velocizzarne lo sviluppo mantenendo sempre attiva la produzione dell'ormone della crescita, a differenza di quanto accade nel salmone selvaggio

dell'Atlantico. Secondo l'azienda il salmone arriva a maturazione in 18 mesi, a differenza dei 24-30 mesi necessari per un salmone convenzionale. La storia di questo pesce OGM è molto travagliata: la richiesta di autorizzazione all'allevamento e al commercio risale agli anni Novanta ma in Canada ne è stata autorizzata la riproduzione commerciale solo nel 2013 mentre l'FDA negli Stati Uniti l'ha autorizzato solo nel 2015. La battaglia legale da parte degli oppositori agli OGM per impedire che questo salmone raggiungesse il mercato è stata lunga. Una delle preoccupazioni principali era che, in caso questo salmone fuggisse dagli allevamenti, potesse poi competere con il salmone selvatico per l'approvvigionamento del cibo e la riproduzione causando, in via del tutto teorica, una riduzione della popolazione di quest'ultimo. L'azienda produttrice sostiene che i suoi salmoni sono triploidi e di conseguenza, come abbiamo visto per le piante, sono sterili e non si possono riprodurre. In realtà esiste una piccola probabilità che la fecondazione possa avvenire comunque. Alla fine la valutazione dell'impatto ambientale da parte della autorità statunitense è stata completata nel 2012, concludendo che questo salmone non poneva rischi di tipo ambientale. Nel 2015 l'FDA ha stabilito che è nutrizionalmente equivalente a un salmone non OGM ma il primo Paese a vederlo sui banconi delle pescherie è stato il Canada, dove i primi esemplari sono arrivati nei supermercati nell'agosto 2017. La reazione dei consumatori verso il salmone OGM, un vero e proprio apripista, sarà determinante per lo

sviluppo in futuro di nuovi animali geneticamente modificati per uso alimentare.

Il primo pesce geneticamente modificato immesso sul mercato non è stato però il salmone, ma un pesce zebra reso fluorescente dall'introduzione di un gene proveniente da una medusa. La tecnica per donare la luminescenza ai pesci è stata originariamente messa a punto per poter usare i pesci come sensori per la presenza di particolari sostanze inquinanti nelle acque. Questo pesce, dal nome commerciale di GloFish, è usato a scopo decorativo negli acquari. Se illuminato da una luce ultravioletta si colora di rosso, verde o arancione, creando un effetto molto scenografico in un acquario non illuminato da luce visibile. Dalla prima comparsa in commercio, nel 2003, la linea GloFish si è arricchita di altri pesci luminescenti, ma a oggi la vendita è consentita solo negli USA.

### *Zanzare antimalaria*

Esiste almeno un'altra categoria di animali geneticamente modificati che vale la pena di menzionare: gli insetti resi sterili per combattere la trasmissione di malattie diffuse da zanzare come la malaria, la febbre *dengue* o il virus *zika*.

L'idea è semplice: si libera nell'ambiente che si vuole bonificare un gran numero di individui maschi sterili della specie di insetto che si vuole ridurre o eliminare. I maschi sterili cercheranno di fecondare le femmine selvatiche portatrici della

malattia, non riuscendo però a produrre figli. Se il numero di maschi sterili è superiore al numero di maschi fecondi selvatici si assisterà a una graduale riduzione della popolazione totale. Ripetute applicazioni di questa strategia possono portare all'eliminazione in una certa zona di un determinato insetto, senza l'uso di insetticidi che possono avere effetti collaterali e non sempre sono efficaci.

La tecnica degli insetti sterili (SIT, *Sterile Insect Technique*) è stata usata per la prima volta nel 1959 in Florida per combattere un insetto (*Cochliomyia hominivorax*) che colpiva gli allevamenti di bestiame e la fauna selvatica producendo enormi danni. Questa specie depone le uova sulla pelle degli animali, preferibilmente vicino a una ferita o una apertura del corpo. Quando le uova si schiudono le larve cominciano a nutrirsi della carne, infestando l'animale che, se non curato, può morire. Negli anni successivi la SIT fu usata in tutti gli USA e dal 1972 in Messico e in altri Stati americani. Ci sono voluti quarant'anni per eliminare completamente l'insetto indesiderato dal Nord e dal Centro America, sino a Panama.

L'applicazione pratica di questa idea richiede il superamento di vari problemi. È di fondamentale importanza che i maschi sterili, una volta rilasciati nell'ambiente, siano altamente competitivi rispetto agli individui selvatici. Se la loro capacità di fecondare le femmine risultasse inferiore, questa strategia rischia di fallire. Gli insetti possono essere sterilizzati mediante esposizione delle pupe (lo stadio dello sviluppo successivo alle larve, prima della fase adulta) a una dose appropriata di radiazioni. È poi



necessario separare gli individui maschi, che verranno liberati, dalle femmine. Uno dei problemi riscontrati nei primi progetti era che l'esposizione alle radiazioni danneggiava anche il loro organismo riducendone la capacità di competere con i maschi selvatici per la fecondazione delle femmine. Un tentativo di controllare la zanzara *Aedes aegypti* in Florida negli anni 1960-1961 effettuato dai CDC (*Centers for Disease Control*), con la liberazione di più di dieci milioni di esemplari, fallì perché i maschi non erano sufficientemente competitivi nella fecondazione.

Nonostante i primi successi, questa tecnica non è mai stata utilizzata su larga scala a scopi di sanità pubblica, cioè per eliminare (o almeno ridurre) degli insetti portatori di malattie. Negli ultimi anni l'interesse per la SIT e la speranza di usarla contro alcune malattie si sono riaccessi grazie allo sviluppo di nuove tecniche biotecnologiche per introdurre la sterilità e selezionare solo gli esemplari maschi. È importante che solo questi vengano rilasciati poiché sono solo le femmine a pungere e quindi, benché sterili, potrebbero comunque pungere gli esseri umani e trasmettere la malattia.

La *dengue* è una malattia virale per la quale non esistono trattamenti o vaccini efficaci. Ha sintomi simili a una forte influenza e in alcuni casi può portare a complicazioni letali come la febbre emorragica. Gli insetticidi attualmente utilizzati e i metodi tradizionali di controllo dell'infezione sono poco efficaci. Per contrastarla è necessario combattere il vettore che la trasmette: la zanzara

*Aedes aegypti*. Purtroppo questa ha la brutta abitudine di pungere anche durante il giorno e quindi accorgimenti notturni come l'uso di tende intorno al letto non sono sufficienti. Dagli anni Settanta vi è stato un aumento notevole di casi di *dengue* nel mondo. L'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che 2,5 miliardi di persone vivano in zone a rischio di infezione. È endemica in almeno 100 Paesi e ogni anno ci sono dai 50 ai 100 milioni di contagiati con 500 000 casi di febbre emorragica e 22 000 morti, specialmente bambini. Le uova possono sopravvivere a lungo prima di schiudersi e uno dei meccanismi responsabili della diffusione su larga scala di questa zanzara è il commercio internazionale di pneumatici, all'interno dei quali le uova di zanzara possono viaggiare tra i continenti.

Nel 2009 l'azienda britannica Oxitec ha annunciato di aver effettuato nelle isole Cayman un primo test rilasciando delle zanzare rese sterili dall'introduzione di un gene apposito. Gli scienziati di Oxitec hanno liberato su Gran Cayman un piccolo contingente di zanzare modificate per capire se potevano competere con i maschi naturali nell'accoppiamento con le femmine. Uno studio su scala maggiore è stato effettuato tra maggio e ottobre 2010 per misurare la riduzione della popolazione di zanzare portatrici di *dengue*. In una zona di 16 ettari sono state liberate 3 milioni di zanzare, in rapporto di 10 a 1 per ogni individuo maschile presente nell'ambiente. Ad agosto la popolazione di zanzare si era ridotta dell'80%. L'esperimento è stato eseguito ovviamente con l'autorizzazione del governo

locale. Un esperimento analogo è stato effettuato in Brasile nel 2015 con una riduzione del 90%.

L'uso di queste zanzare ha suscitato preoccupazioni nelle popolazioni locali. Dal punto di vista legale sono OGM a causa dell'introduzione del gene responsabile della sterilità, quindi agli occhi dell'opinione pubblica questa zanzara viene associata al dibattito sulle piante geneticamente modificate e ne subisce i riflessi negativi, anche se non vi è alcuna correlazione diretta. L'uso di radiazioni per la sterilizzazione, benché meno efficace, è comunque causa di modifiche genetiche, ma non evocando gli organismi transgenici non desta solitamente proteste. Anche in Italia ci sono stati dei rilasci di insetti resi sterili da radiazioni senza alcun tipo di opposizione. Per evitare che queste tecnologie vengano viste con sospetto o paura, come accade oggi per le applicazioni agricole delle biotecnologie, è necessario che i ricercatori coinvolti in questi progetti si guadagnino un sostegno pubblico attraverso l'assoluta trasparenza delle ricerche e coinvolgendo direttamente le comunità locali dove gli insetti verranno rilasciati, spiegando i benefici che queste tecniche possono portare nel combattere la *dengue* e altre malattie, senza però nascondere i possibili problemi o la possibilità di un insuccesso. Solo con una accettazione sociale diffusa, anche se non unanime, di queste tecniche si può sperare che le zanzare antidengue, antimalaria o antizika possano, è il caso di dirlo, decollare, colpire il bersaglio e raggiungere gli obiettivi di sanità pubblica che gli scienziati sperano di ottenere.

*Il futuro è già qui*

La rivoluzione agrobiotecnologica è iniziata soltanto pochi decenni fa, ma le nuove conoscenze scientifiche accumulate sui genomi vegetali, sulla regolazione e sull'espressione dei geni sono talmente impressionanti che oggi si guarda alla prima pianta di tabacco OGM come se appartenesse alla preistoria.

Ogni mese le riviste scientifiche annunciano il sequenziamento del genoma di qualche nuova specie. Conosciamo già nei dettagli il genoma del riso, della vite, del melo, del cacao, del pomodoro, della patata e di moltissime altre specie vegetali coltivate. Queste informazioni, spesso accessibili a tutti i ricercatori tramite il web, sono destinate a rivoluzionare l'agricoltura transgenica.

Per analizzare, ordinare, comprendere e sfruttare la nuova gigantesca massa di dati è nata anche una nuova scienza, la *bioinformatica*. E di pari passo con l'accumularsi delle conoscenze sui genomi vegetali progrediscono anche le tecniche di costruzione degli OGM; per esempio sono al vaglio metodi per inserire i geni non più in posizioni casuali, come accade ora, ma esattamente dove i ricercatori desiderano, così da evitare interferenze con il funzionamento di altri geni.

E la difesa della biodiversità? Secondo Chiara Tonelli, genetista dell'università di Milano:

Dallo sviluppo dell'agricoltura l'uomo ha cercato di addomesticare circa 7000 specie vegetali diverse. Attualmente ne sono coltivate circa 150. Di queste, 10 sono quelle che por-

tano a circa il 90% della produzione. Nell'ambito di queste dieci specie tre – riso, mais, frumento – portano al 70% della produzione mondiale. Gli OGM non possono che andare a favore della biodiversità: se infatti si isola un gene che protegge da un parassita, questo gene si può inserire in maniera semplice nella pianta A, B, C, D, mantenendo la biodiversità. La tecnica del DNA ricombinante è dunque un modo per recuperare coltivazioni magari non redditizie, per i parassiti o le pesti da cui sono afflitte, e riportarle in auge.

Con il sequenziamento dei parenti selvatici delle (poche) piante attualmente coltivate si potrà dunque aumentare la biodiversità agricola odierna, introducendo nelle varietà coltivate geni prelevati dai «cugini» selvatici. C'è chi ha già coniato l'espressione *organismi cisgenici* per indicare le piante in cui si inseriscono geni presi dalla stessa specie o da specie affini. E per molte persone una mela OGM sarà più accettabile se contiene un gene proveniente da una mela selvatica, piuttosto che da un batterio.

La rivoluzione biotecnologica in agricoltura è appena iniziata. Pensate per esempio a come si potrebbe ridurre l'utilizzo di fertilizzanti se riuscissimo a «insegnare» alle piante a fissare l'azoto atmosferico, ossia a prendere il nutrimento direttamente dall'aria, riducendo così le esigenze di concimazione.

Le piante stanno anche diventando «fabbriche vegetali» in sostituzione di alcune industrie chimiche e farmaceutiche. Già si parla di *pharming* (da *pharma*, industria farmaceutica, e *farming*, agricoltura) per indicare le coltivazioni di OGM capaci di produrre farmaci e principi attivi. Un vaccino prodotto da una pianta sarebbe molto vantaggioso per

esempio nei Paesi poveri, dove è difficile assicurare la «catena del freddo» indispensabile per conservare i vaccini tradizionali.

Cambierà l'atteggiamento dell'opinione pubblica, specialmente in Europa, nei confronti degli OGM? L'esperienza del passato, per esempio nel caso delle vaccinazioni o della pastorizzazione del latte, indica che quando i benefici superano i rischi – com'è il caso per gli OGM, a nostro avviso – la maggior parte delle persone finisce per accettare senza timore i benefici di una nuova tecnologia. Anche se spesso servono molti decenni.

I cambiamenti climatici in atto potrebbero velocizzare l'accettazione delle tecnologie transgeniche per l'agricoltura. Se il clima cambia troppo velocemente, infatti, i metodi tradizionali di *breeding* delle piante non possono tenere il passo nel produrre per esempio nuove varietà resistenti alla siccità. Le grandi aziende vinicole della Napa Valley, in California, temendo che il clima cambi hanno già acquistato terreni in Oregon, per poter piantare i futuri vigneti molto più a nord. Un'opzione che i viticoltori piemontesi o veneti purtroppo non hanno; se diventasse necessario, accetteranno di usare una vite OGM resistente alla siccità? Molti laboratori mondiali sono già impegnati nello sviluppo di vegetali OGM capaci di crescere anche in presenza di quantità ridotte di acqua. E non è affatto escluso che nei prossimi decenni queste nuove piante possano servire anche a noi, oltre che ai Paesi africani.

Questo libro è dedicato alle applicazioni di una tecnologia nata ormai vari decenni fa. Nel frattem-

po gli scienziati hanno cercato altri modi per modificare il genoma di un organismo vivente.

### *L'editing genomico*

*CRISPR*, *Cas9*, *editing*, conoscete queste nuove parole? Sicuramente nei prossimi anni le sentirete sempre più spesso perché le nuove tecniche di modifica del genoma di organismi viventi stanno rivoluzionando la ricerca scientifica in biologia e in medicina. La *CRISPR* è una biotecnologia inventata pochissimi anni fa: nel 2012 Jennifer Doudna ed Emmanuelle Charpentier hanno pubblicato un articolo fondamentale che ha iniziato una nuova rivoluzione biotecnologica. Nel giro di pochissimi anni, grazie anche al contributo di altri scienziati come George Church e Feng Zhang, si è diffusa a macchia d'olio nei laboratori di tutto il mondo.

È una tecnica potentissima, e proprio per questo genererà moltissime discussioni nella società, che fatica a stare dietro alla velocità delle innovazioni scientifiche, mentre la ricerca continua ad avanzare. Come ormai sapete, volendo produrre un OGM si deve prelevare un gene da qualche specie e inserirlo nell'organismo che si vuole modificare. Il gene può provenire da una specie più o meno distante geneticamente dalla specie che si desidera modificare, ma può anche provenire dalla specie stessa. Dal punto di vista della legislazione la provenienza del gene è irrilevante: si tratta comunque di un OGM. Questo trasferimento genetico lascia alcune trac-

ce oltre al gene inserito, e sono queste tracce che possono permettere l'identificazione della specie modificata e, se parliamo di alimenti, l'eventuale segnalazione in etichetta che si sta utilizzando un Organismo Geneticamente Modificato.

La CRISPR invece fa parte delle biotecnologie di *editing* perché, esattamente come un *word processor*, permette di andare direttamente sul gene che si vuole modificare ed «editarlo»: cancellarlo o cambiarlo a nostro piacimento. Vi propongo una semplice analogia: finora per produrre un «documento OGM» si doveva prelevare una parola da un testo e trasferirla in un altro. Immaginiamo di avere due documenti aperti, i due genomi, e supponiamo che nel primo documento ci sia scritto «La mia bella casa». Io però vorrei scrivere «La mia piccola casa». Nell'altro documento compare la parola «piccola». Posso allora andare nel secondo file, selezionare la parola «piccola», copiarla, poi andare nel primo file, selezionare la parola «bella», toglierla e inserire la parola «piccola». Questo è un OGM: io ho prelevato qualche cosa da un altro file – oppure dallo stesso documento ma in una posizione diversa – e l'ho inserito nel primo. Potrei anche voler scrivere «La mia piccola e bella casa» o altre varianti, ma avrei sempre costruito un documento OGM.

È questo trasferimento, questo «copia e incolla», questo «taglia e cuci» tra documenti diversi che viene regolamentato. Non la modifica genetica in sé ma il modo con cui viene effettuata. Quello che CRISPR permette di fare, invece, è aprire il documento e andare direttamente col cursore sulla pa-



rola che voglio modificare, cancellare le lettere che non interessano e se lo si desidera riscrivere altre parole. Ovviamente alla fine il risultato è lo stesso, ma dal punto di vista della legislazione è tutto un altro paio di maniche perché non è stato effettuato il «copia e incolla» tra i due documenti, cioè i due genomi. Non sono state usate le tecniche di ingegneria genetica e il genoma è stato modificato in modo indistinguibile da una mutazione spontanea.

Questa tecnica è stata adattata dagli scienziati da un meccanismo che già esisteva in natura perché è utilizzato da alcuni batteri per difendersi dall'attacco dei virus. CRISPR è l'acronimo per *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*, che significa «brevi ripetizioni palindrome raggruppate e separate a intervalli regolari». Sono piccoli segmenti di DNA proveniente da virus che in passato hanno infettato il batterio e che quest'ultimo salva in una specie di archivio. In caso di un nuovo attacco virale, il batterio riconosce il DNA dell'intruso e grazie ad alcuni enzimi chiamati *Cas* (*CRISPR associated protein*) lo taglia per distruggerlo.

Gli scienziati hanno modificato questo meccanismo di difesa per guidare la proteina che taglia il DNA (la proteina *Cas9* è per ora la più utilizzata) in una posizione specifica. Nel 2015 le due riviste scientifiche forse più importanti al mondo, *Nature* e *Science*, hanno dedicato a questa scoperta una copertina. *Science* l'ha chiamata «l'innovazione dell'anno», ma potrebbe anche rivelarsi l'innovazione del secolo.

Dal punto di vista della regolamentazione, la caratteristica dirompente di CRISPR è che può non

lasciare traccia della correzione del genoma e non utilizzare DNA estraneo. Se oggi in laboratorio produco un OGM, nel nuovo organismo lascio delle tracce, degli indizi del trasferimento genetico avvenuto. E questo perché normalmente oltre al gene che mi interessa trasferire (per esempio la resistenza a un insetto) si inseriscono anche altre sequenze geniche, quello che si chiama un «costrutto». Questo è costituito dal promotore, dal terminatore, dai geni marcatori per selezionare in laboratorio le cellule che sono state veramente trasformate, e così via. Sono queste tracce, oltre alla sequenza del gene inserito, che permettono di verificare in laboratorio se una pianta è un Organismo Geneticamente Modificato. Le tecnologie di *editing* invece – la CRISPR è solo l'ultima arrivata ma è quella ormai più utilizzata – non lasciano queste tracce. Alcune modifiche, per esempio la disattivazione di un gene, sono indistinguibili da una mutazione casuale come quelle che avvengono continuamente in natura.

L'*editing* può quindi sfuggire alla regolamentazione e al controllo politico a cui invece sono sottoposti gli OGM. A Bruxelles, a vari livelli nelle istituzioni UE, si parla da anni di queste «nuove biotecnologie» tra cui l'*editing*. Attualmente non sono normate dalla legge: la direttiva europea non ha nulla da dire al riguardo perché non erano previste quando nel 2001 è stata varata la regolamentazione. La battaglia politica in atto in Europa è questa: da un lato alcune nazioni e alcune associazioni dicono che «le nuove biotecnologie comunque permettono di fare delle modifiche genetiche

mirate e quindi è necessario considerarle degli OGM a tutti gli effetti. Vogliamo estendere anche a queste tecniche la legislazione esistente».

Un altro gruppo di Paesi, insieme ad altre associazioni, sostengono invece che «dal punto di vista scientifico queste modifiche sono indistinguibili dalle mutazioni che possono avvenire in natura. È ora di cambiare la legislazione e regolamentare, caso per caso, non più le tecniche utilizzate per ottenere i nuovi organismi, ma i prodotti ottenuti».

La questione in realtà non è scientifica ma politica, ed è per questo che la discussione a Bruxelles prosegue da anni senza venirne a capo. Tuttavia è interessante notare che recentemente c'è stato un piccolo capovolgimento di fronte e il blocco dei Paesi anti-OGM si è spaccato. Se prima tutti erano contrari agli OGM ora alcuni cominciano a fare dei distinguo in favore di una valutazione caso per caso, come sarebbe sempre sensato fare, andando a valutare i singoli prodotti indipendentemente dalle tecniche con cui sono stati ottenuti. Tuttavia la discussione in sede europea rischia di essere totalmente inutile. Anche se si volesse regolamentare in modo molto rigoroso queste nuove tecnologie, come si farebbe in pratica a bloccare un prodotto sviluppato all'estero e importato?

Non abbiamo modo di distinguere le mutazioni spontanee, che continuano ad avvenire, da quelle invece ottenute tramite queste nuove biotecnologie, come CRISPR. Se andate al supermercato e vedete dei cavolfiori di colore arancione, sappiate che sono frutto di una mutazione genetica avvenuta sponta-

neamente nel 1970 in Canada. Oppure ricordatevi del pompelmo rosa, nato molti anni fa grazie a modifiche genetiche ottenute sottoponendo dei semi di pompelmo a delle radiazioni. Non c'è alcun tipo di regolamentazione sul pompelmo rosa perché legalmente non è considerato un OGM.

Le modifiche ottenute con l'*editing* non sono solo impossibili da identificare, ma anche facili da ottenere e a un costo molto inferiore rispetto alle biotecnologie tradizionali. Questo inevitabilmente causerà qualche sconvolgimento, anche limitandoci al campo delle applicazioni in agricoltura. Negli Stati Uniti è già stato prodotto un fungo champignon che non annerisce una volta tagliato. La CRISPR è stata usata per spegnere il gene che produce la polifenolossidasi che causa l'annerimento del fungo. Era già stato fatto con la mela OGM Arctic ma, a differenza della mela, questi champignon sono a tutti gli effetti indistinguibili da un prodotto con una mutazione che sarebbe potuta avvenire spontaneamente. Gli USA hanno già dichiarato che questo tipo di prodotto non è considerato OGM: possono quindi essere immessi sul mercato e sottoposti alle normali regole di qualsiasi altro nuovo prodotto.

Finché si continuerà a regolamentare le tecniche e non i prodotti ottenuti non si uscirà dai paradossi che abbiamo illustrato. Non si deve avere paura dell'innovazione; bisogna invece comprenderla e capirne a fondo le implicazioni, così da poterla indirizzare verso il bene collettivo. Ma è necessario distinguere le leggende dalla realtà, i miti dai dati di fatto; con questo libro speriamo di avervi aiutato a farlo.