

MARCELLO BUIATTI

INGEGNERIA GENETICA ED ETICA

1. Il termine Etica deriva come è noto dal greco *Ethikòs* e si può definire come una dottrina o indagine speculativa intorno al comportamento pratico dell'uomo di fronte ai due concetti del bene e del male. Questa definizione tuttavia è relativamente vaga perché si riferisce a tutti i comportamenti umani che sono molto diversi gli uni dagli altri sia perché la concezione stessa del bene e del male si va modificando con quelli che chiamo «gli spiriti dei tempi» e cioè i modi di vedere collettivi, sia in quanto dipendono dagli oggetti e dalle situazioni in cui gli esseri umani «si comportano». È utile qui chiarire cosa si intende per «comportamento» e quindi farò riferimento a una sua recente definizione che deriva da una mediazione delle risposte di un sondaggio di opinione condotto su un grande numero di etologi da Levitis *et al.* nel 2009: «Il comportamento è costituito dalle risposte internamente coordinate di individui o gruppi di esseri viventi agli stimoli interni o esterni che non siano semplicemente i normali cambiamenti dello sviluppo». Da questa definizione risulta chiaro che i comportamenti sono risposte «attive» ai cambiamenti interni ed esterni tese a facilitare l'adattamento.

Gli esseri viventi quindi non si adattano solo di generazione in generazione per selezione passiva da parte dell'ambiente ma anche mediante l'uso di «strumenti» e strategie che permettono di modificare sé stessi ed il contesto. I modi umani di alterare l'ambiente esterno si sono modificati durante la nostra storia e sono dipesi molto dalla nostra concezione della vita e dalle definizioni delle sue differenze dalla «non vita» naturale e artificiale e cioè dalle macchine. La discussione da questo punto di vista è sempre stata presente in due correnti di pensiero e cioè la visione meccanicista culminata nel pensiero e negli atti della «epoca moderna» e quella che chiamerei «complessista», della storia recente della Fisica e della Biologia. Le differenze fra le due linee di pensiero derivano dalla «multiversità» degli umani, capaci di vedere in modi diversi la realtà esterna e quindi, si potrebbe dire, di usare due «paia di occhiali», per osservarla nel corso della storia e delle sempre cangianti situazioni in cui sono vissuti, vivono e vivranno. Secondo il grande filosofo e storico della Biologia Hans Jonas, i quattro «Ominini» (*Sapiens*, *Neanderthalensis*, *Denisovianus*, *Floresensis*) sono diversi dagli

altri animali per le seguenti tre caratteristiche: a) L'immagine: La capacità solo e unicamente nostra di «inventare» nel nostro cervello immagini di oggetti inesistenti e cioè di costruire progetti completamente nuovi; b) Lo strumento: La capacità di «proiettare» le immagini sulla materia esterna costruendo oggetti mai visti sul Pianeta ed utili per la nostra sopravvivenza; c) La tomba e cioè la capacità di pensare in modo trascendente che ci dà le religioni ma anche le filosofie, le poesie ecc. che influenzano in modo molto rilevante i nostri pensieri individuali e collettivi e i nostri atti. Tutto questo deriva dalla acquisizione, durante la nostra evoluzione, di quattro «metodi per cambiare» noi stessi e l'ambiente esterno e cioè quattro fonti di variabilità e plasticità che sono quella genetica, e cioè la variabilità del DNA, la epigenetica, e cioè la plasticità di espressione dei geni, i comportamenti e la invenzione di simboli scambiati con le parole e i toni con cui ci esprimiamo.

È l'uso di questa enorme plasticità di pensiero e dei diversi strumenti a nostra disposizione che ci permette di usare una strategia adattativa diversa da quelle degli altri esseri viventi. Loro infatti si evolvono essenzialmente per processi di selezione passiva dei migliori genotipi da parte dell'ambiente mentre noi siamo capaci di comportarci e cioè di modificare noi stessi e il mondo esterno. È per questo che la nostra variabilità genetica è molto minore di quella ad esempio degli altri Primati che pure sono poche migliaia mentre noi siamo più di sette miliardi. *Homo sapiens* in realtà utilizza gli stessi strumenti di variabilità, sia genetici che epigenetici degli altri esseri viventi ma è anche in grado di usare uno strumento infinitamente più plastico di quelli genetici, epigenetici e comportamentali degli altri organismi, il cervello, fonte di una immensa variabilità comportamentale e simbolica. Sappiamo infatti da tempo che il nostro cervello si differenzia da quelli di altri animali per alcune caratteristiche specifiche e in particolare la crescita dell'encefalo, la maggiore capacità di scambiare messaggi fra neuroni, una maggiore efficienza nel riconoscimento dei messaggi provenienti dall'esterno, la presenza di una particolare area cerebrale nota come area di Broca sede primaria della parola, tutti fattori che hanno favorito la nascita di un numero elevatissimo di linguaggi e la incredibile capacità di scambio di informazioni ora discussa. Tutto ciò è avvenuto anche per la rapidissima evoluzione, solo nella nostra specie ma non negli altri Primati, di geni specifici quali ad esempio il gene per la encefalina, il gene FoxP ed altri che hanno a che fare con l'area di Broca, altri geni che hanno velocizzato la comunicazione fra neuroni e soprattutto una serie di geni per i recettori che riconoscono i diversi segnali esterni e li trasmettono. Abbiamo ora un cervello dotato da circa cento miliardi di neuroni capaci di formare

un milione di miliardi di connessioni, un organo di enorme complessità che ovviamente produce, archivia ed elabora infinitamente più informazione del nostro DNA, in cui sono presenti solo circa 20 000 geni che, anche con i meccanismi di ambiguità precedentemente descritti ci possono permettere di formare da uno a pochi milioni di proteine.

2. Questo incredibile vantaggio della nostra specie ci ha «inorgoglito» fino a farci credere che tutto il Pianeta sia una gigantesca macchina tutta costruibile secondo progetto da noi umani, senza che ci possano essere cambiamenti negativi imprevisi derivanti dalla «macchinizzazione». Abbiamo quindi creduto che anche i sistemi viventi siano costituiti da componenti indipendenti e quindi progettabili, al punto di pervenire in modo apodittico ad affermare che la materia viva sia «sostanzialmente equivalente alla non viva». Questo concetto viene ancora sbandierato come vedremo da chi ancora crede nella crescita infinita senza problemi della nostra costruzione di un Mondo totalmente progettato, nonostante che si sappia ormai purtroppo molto bene che sarebbe magari bello per i costruttori ma, ahimè, morto come morte sono appunto le macchine. Sul piano teorico questo modo di vedere confonde la complicazione delle macchine (tanti componenti indipendenti assemblati ma non connessi l'uno agli altri) con la complessità. In realtà invece un sistema è *complicato* se è composto di molte parti indipendenti come avviene con le macchine dove ogni componente è uguale quando è presente in una macchina o fuori di essa ed è per questo che i componenti possono così essere assemblati secondo progetto senza che la operazione abbia conseguenze impreviste. Il livello di complicazione di un sistema è quindi misurabile e dipende dal numero delle combinazioni che possono formare la parti indipendenti. Un sistema è invece *complesso* quando: a) È composto di elementi collegati fra di loro in modo interattivo e non additivo per cui $A+B$ non dà mai AB ma qualcos'altro. In altre parole la interazione determina il cambiamento della parti e la comparsa di una «proprietà emergente», nuova e in parte almeno imprevedibile dalla semplice conoscenza dei componenti. Se ci pensiamo questo concetto appare evidente se ragioniamo su noi stessi, esseri umani viventi. Infatti, per fare un esempio banale, se ci tagliano un dito ne deriverà un cambiamento. Il dito infatti muore ma noi perdiamo sangue, ci spaventiamo e sentiamo dolore, usiamo male il resto della mano ecc. In altre parole possiamo dire che il nostro organismo intero è diverso dalla somma dei suoi componenti. Quanto detto vale per il semplice esempio che ho fatto ma anche per tutti gli esseri viventi fino dall'inizio della vita sul nostro Pianeta. Per quanto

ne sappiamo la prima molecola «vivente» dovrebbe essere stata lo RNA che si è poi stabilizzato diventando DNA e permettendo così processi di replicazione «cooperativa» di ambedue. In seguito si sarebbero aggiunte al sistema le proteine e le interazioni sono diventate più facili con la chiusura delle molecole nelle membrane di «proto-cellule». Poi, come è noto, si sarebbe avuta la fusione di proto-cellule provviste di nucleo con altre senza di questo che ha permesso la nascita degli eucarioti monocellulari e poi pluri-cellulari. Questi all'inizio devono essere stati costituiti da cellule più o meno uguali ma poi si è avuto il differenziamento in tipi cellulari diversi e cooperanti a costruire animali e piante. Questi hanno interagito fra di loro formando ecosistemi locali che insieme hanno costituito la Biosfera.

Si può quindi dire che i sistemi complessi sono organizzati su diversi livelli che ubbidiscono tutti alle stesse regole generali (sono «invarianti di scala») e derivano da un processo universale di moltiplicazione, differenziazione, cooperazione in cui ogni livello è costituito da elementi del livello inferiore ed è un componente del livello superiore. Tutto questo comporta che, per la struttura a «rete dinamica» che ha assunto la Biosfera, il cambiamento di uno qualsiasi degli elementi provoca modificazioni in quelli ad esso collegati che a loro volta sono connessi con altri e così via, con quello che è stato chiamato «effetto farfalla», intendendo con questo che piccole modificazioni anche di un solo componente ne possono indurre altre sempre più ampie e significative nei componenti collegati nello stesso livello di organizzazione e poi in quelli via via connessi con il primo. Come aveva predetto nel diciannovesimo secolo il fisico Poincarè e ha confermato e matematizzato il meteorologo Lorenz nel ventesimo, basta che pochissimi elementi (nel modello di Poincarè sono solo tre) siano interattivi perché sia impossibile la predizione esatta dello stato del sistema immediatamente dopo il suo inizio. Questo è quanto sappiamo con assoluta certezza adesso, ma durante l'epoca moderna i concetti dominanti erano del tutto diversi fino dalla pubblicazione del cosiddetto «Manifesto dei medici materialisti», fatto proprio anche da Gregorio Mendel, pubblicato nel 1847, che dichiara la equivalenza dei sistemi viventi a quelli non viventi per cui le parti di un organismo possono essere cambiate senza che il resto del sistema ne venga modificato e, se spostate da un organismo ad uno di specie diversa, continuano ad esercitare le stesse funzioni che avevano nel primo. È stato proprio Gregorio Mendel, forse inconsapevole della base epistemologica meccanica della sua impostazione, che non a caso nei suoi studi sulla ereditarietà condotti sulla pianta di pisello, ha scelto di analizzare di generazione in generazione il comportamento di singoli caratteri (il colore del fiore, la forma del baccello) considerati indipendenti uno dall'altro e

con varianti alternative (bianco/rosso, liscio/rugoso), tali da permettere di *contare* ad ogni generazione le piante che li mostravano, e quindi di permettere la elaborazione di eventuali leggi matematiche della ereditarietà. Mendel fece una prima serie di esperimenti analizzando un solo carattere e poi studiandone due insieme. I concetti che ne derivarono furono formulati e discussi quasi quaranta anni dopo, all'inizio del Novecento, quando gli esperimenti di Mendel, rimasti a lungo nel dimenticatoio, sono stati ripresi contemporaneamente da tre ricercatori H. De Vries, C. Correns, H. Tschermack von Seissenegg, che erano perfettamente adeguati alla concezione meccanica della vita che intanto si andava affermando. Infatti le varianti (gli «alleli»), scelte ben distinte l'una dall'altra, si conservavano come tali nelle progenie successive e i «fattori» che le determinavano si comportavano come indipendenti e si assortivano a caso di generazione in generazione.

L'ereditarietà appariva quindi da un lato deterministica (un fattore = un carattere) e dall'altro probabilistica (distribuzione casuale degli alleli e dei geni). L'organismo, secondo quei dati, era determinato interamente dalla somma degli effetti degli alleli trasmessi dai genitori in una combinazione del tutto dovuta al caso. Implicito in questa concezione era già il concetto di «programma», dato appunto dalla somma delle «informazioni» contenute nei geni ed alleli trasmessi. Ho usato non a caso i termini programma e informazione perché sono le parole chiave della «metafora informazionale» di cui un altro fisico, Erwin Schrödinger, gettò le basi negli anni '40 del Novecento traendo dai dati della giovane disciplina Genetica la convinzione che ci doveva essere nei sistemi viventi una macromolecola capace di contenere l'informazione necessaria alla «costruzione» degli organismi. Concludeva Schrödinger con perfetta consequenzialità, che se si fosse riusciti a «leggere» la macromolecola in questione si sarebbe potuto predire esattamente l'organismo e la sua storia (E. Schrodinger, 1942). Nei decenni successivi questa previsione sembrò essere confermata dalla scoperta della macromolecola in questione (il DNA) e del processo che permette di tradurre le informazioni per il progetto contenute nel DNA negli strumenti per eseguirlo (le proteine). Nel 1958, quindi, Francis Crick, anche lui fisico come Mendel e Schrodinger, che, insieme a Watson, biologo ma anche lui influenzato dal volume *Cos'è la vita* dello stesso Schrodinger, aveva scoperto la struttura cristallizzata del DNA, completa la «metafora informazionale» enunciando il Dogma centrale della genetica molecolare, così da lui chiamato un po' seriamente, un po' per scherzo. Il termine Dogma venne usato per sottolineare il carattere di universalità della «legge» che, secondo Crick, definisce e regola la vita. Si compie così il processo di reificazione della metafora informazionale e si passa dalla affermazione «gli

esseri viventi sono *come* computer» a stabilire di fatto che *sono* dei computer e che la informazione in essi contenuta è utilizzabile per uno e un solo programma. Il primo esempio di operazioni umane su esseri viventi che non hanno portato ai risultati sperati, perché basati sulla concezione meccanica della vita, è la cosiddetta «rivoluzione verde» in agricoltura degli anni '60 lanciata dalla F.A.O. nel tentativo lodevole di ridurre la fame nel Mondo selezionando varietà di piante e razze animali altamente produttive. A quell'epoca si insegnava ai miglioratori genetici di studiare a tavolino le caratteristiche da dare alla «varietà migliore», considerate indipendenti una dall'altra e poi di «sommarmele» introducendole una ad una con i metodi tradizionali di incrocio e selezione. Si parlava allora di «ideotipo di Donald», dal nome di un «breeder» scozzese che aveva proposto questa pratica come obiettivo da raggiungere riducendo al minimo la variabilità delle varietà così da produrne poche altamente produttive da coltivare in tutto il Mondo.

Appare ovvio qui che la ottimizzazione comportava l'assemblaggio dei diversi caratteri come se fossero pezzi indipendenti di una macchina e quindi la omogeneizzazione e la distruzione voluta della variabilità. Non ci si preoccupava invece dei possibili effetti negativi determinati dalla interazione fra la pianta coltivata e i diversi ambienti perché si riteneva di poterli contrastare con l'aggiunta di chimica, di macchine, di energia al sistema. Il grande programma della rivoluzione verde, fortemente finanziato dalla Comunità internazionale, portò alla istituzione di una rete di Centri di ricerca di eccellenza situati nei luoghi di origine delle specie vegetali coltivate, nel Sud del Mondo, in cui fu raccolta una parte consistente della diversità delle piante coltivate ancora esistente. Questa fu la base per sviluppare nuove varietà altamente produttive, secondo il modello dominante di ottimizzazione. La produzione di cibo pro capite mondiale subì una impennata e portò a notevoli effetti positivi sulle condizioni di vita in particolare in Asia e in America Latina, anche se non in Africa dove le debolissime economie locali non permettevano l'acquisto delle macchine e dei prodotti chimici indispensabili. Gli affamati del Mondo scesero quindi dai 918 milioni del 1970 ai 780 del 1995 ma, ahimè, dopo questi anni sono risaliti e ora superano il miliardo e 100 milioni. Questo per una serie di fattori su cui ritornerò in seguito, i più rilevanti dei quali sono la bassa capacità di adattamento ad ambienti diversi di varietà troppo omogenee, il costo della chimica ed energia necessari per ottenere un buon prodotto nonostante questo, lo strapotere delle Multinazionali agricole e, molto recentemente, la «virtualizzazione» e finanziarizzazione delle economie. È secondo me utile ed importante dire a questo punto che la rivoluzione verde, con i suoi lati negativi ma anche positivi, purtroppo non ha quasi mai tenuto conto delle esigenze dei pic-

coli coltivatori ed ha ridotto in modo impressionante la variabilità genetica delle piante coltivate. Ad esempio poche decadi fa in India si coltivavano 50000 varietà di riso e ora sono poche dozzine, nelle Filippine una volta c'erano 4000 varietà di riso e ora il 98% della produzione viene da solo due varietà derivate dalla rivoluzione verde, il secolo scorso in USA si coltivavano più di 7000 varietà di mele di cui 6000 sono estinte e ora il 50% delle mele è di sole due varietà, in Indonesia si sono estinte circa 1500 varietà locali di riso nelle ultime due decadi, in Messico c'erano centinaia di varietà di mais e ora solo il 20% di queste è coltivato, in Cina le 10000 varietà di grano del 1949 in soli venti anni si sono ridotte a mille. Infine, in sintesi secondo la FAO si è perso il 75% della diversità genetica in agricoltura rispetto alla epoca precedente alla rivoluzione verde. Questo è probabilmente il lato peggiore di questa importante iniziativa come dimostra un significativo studio condotto, da personale della stessa FAO, nel 1998 nella zona di Oaxaca in Messico. In quell'anno la FAO inviò nella zona un gruppo di tecnici per chiedere agli agricoltori come avrebbero voluto che fossero le nuove varietà di mais da selezionare. È interessante notare che gli inviati della FAO, con una mossa risultata molto intelligente, parlarono sia con gli uomini che con le donne per vedere se per caso ci fossero differenze dei due gruppi. Con sorpresa dei tecnici gli uomini chiesero innanzitutto che i prodotti delle varietà fossero facilmente vendibili a buon prezzo e quindi consigliarono colori scelti per le cariossidi, altezza del culmo, omogeneità del prodotto, ecc. Le donne invece non entrarono nei dettagli ma chiesero molto semplicemente che le varietà dessero una buona produzione in tutte le condizioni ambientali esterne di anno in anno. Queste due risposte, come ben si comprenderà, comportano necessariamente processi di selezione nettamente diversi. Mentre infatti i prodotti scelti dagli uomini puntavano su varietà tutte omogenee, quelli chiesti dalle donne ne chiedevano di altamente variabili in modo da avere comunque nel loro campo buone produzioni almeno da una parte delle piante anche in ambienti che cambiano ogni anno.

Purtroppo, come sappiamo, le donne non sono state ascoltate e la variabilità genetica delle piante e degli animali si è pesantemente ridotta con effetti sempre peggiori con l'andare del tempo e in particolare in presenza di una rapidamente crescente turbolenza delle condizioni ambientali derivata dal continuamente accelerato cambiamento climatico.

Le politiche iniziate della rivoluzione verde nonostante tutto questo avevano avuto effetti anche positivi pur fallendo nell'obiettivo finale, e cioè la eliminazione della fame nel Mondo, e hanno costruito una rete di grandi istituzioni scientifiche per la selezione di piante ed animali, come

avviene in Siria nel centro che si occupa di cereali condotto da Salvatore Ceccarelli che sta migliorando diverse specie vegetali con il concorso e la partecipazione degli agricoltori del luogo e mantenendo ed aumentando la variabilità genetica. Questo è solo un esempio ma potrebbe veramente dare frutti positivi anche in altre zone nel prossimo futuro solo se però la ideologia meccanica facesse passi indietro. Purtroppo non è così e anzi, nel mondo è proprio questa ideologia che comanda sempre di più grazie alla struttura economica globale e alla virtualizzazione delle economie sempre meno interessate alla produzione di beni utili e quindi sempre più virtuale.

L'Ingegneria genetica è la logica conseguenza della visione meccanica di Donald che parte dal presupposto della indipendenza dei singoli geni e della univocità dei loro prodotti giungendo alle estreme conseguenze. È dagli anni '70 del Novecento che si possono trasformare i batteri, mentre la trasformazione della prima pianta è del 1981 contemporaneamente a quella di un animale. Il primo tentativo della Terapia genica in Homo è quello di S. Rogers che trattò con il *virus* del papilloma di Shope pazienti con deficit dell'arginasi purtroppo senza successo. Questo tentativo è stato seguito nel 1989 da Rosenberg che trattò con il gene per la resistenza alla neomicina linfociti tumorali poi immessi in un malato terminale di cancro, nel 1990 da Blaise e Anderson per curare la deficienza di ADA, e poi da diversi altri, tutti con effetto negativo fino ad ora, con un caso di morte verificatosi nel 1999 letale e la induzione di tumore in un altro paziente nel 2002.

3. Vediamo allora di aggiornare la situazione degli effetti della ingegneria genetica ai giorni nostri.

A) I batteri: I batteri sono facilmente trasformabili data la loro struttura semplice e almeno apparentemente meccanica. Si può dire infatti che i batteri geneticamente modificati con successo sono numerosi e facilmente controllabili. I prodotti batterici più noti sono: produzione di proteine specifiche come l'insulina, il primo risultato della ingegneria genetica in assoluto, e molte altre proteine ad uso farmaceutico; produzione di enzimi ad uso industriale; produzioni di armi biologiche ottenute inserendo in batteri ubiquitari proteine da geni di batteri patogeni come ad esempio il vibrione del colera. Va notato che in tutti questi casi eccetto l'ultimo, il prodotto non sono i batteri geneticamente modificati ma proteine usate in purezza.

B) Gli animali: gli animali sono ovviamente più complessi dei batteri per cui l'inserimento di geni derivati da altre specie possono provocare interazioni negative. Questo è, ad esempio, quello che è successo con la inserzione del gene per l'ormone somatotropo, prima in topo e poi nel ma-

iale. Il primo esperimento sul topo è sembrato riuscire perché i transgenici erano veramente nettamente più grandi delle topoline madri ma purtroppo hanno dimostrato tutta una serie di problemi fra i quali la bassa durata di vita, artrosi, problemi respiratori ecc.

Nel caso dei maiali il risultato è stato ancora peggiore nel senso che i suini geneticamente modificati crescevano rapidamente ma, oltre ad avere una vita molto corta, soffrivano di artrosi ed erano ciechi.

Meglio sta andando, almeno per ora, la trasformazione di salmoni che, se transgenici per l'ormone somatotropo hanno una crescita più veloce del controllo ma, nonostante che siano stati prodotti ormai molto tempo fa non sono entrati nel mercato per la modificazione del loro metabolismo complessivo e la mancata accettazione da parte degli organi di controllo per i pericoli che possono derivare a livello ecosistemi.

Di un certo interesse sono invece le trasformazioni con geni modificati che producono sterilità di insetti dannosi, in particolare zanzare, che sembrano utili per la riduzione del numero delle popolazioni alcune delle quali si stanno spostando verso l'Europa a causa essenzialmente del cambiamento climatico. Anche in questo caso tuttavia il controllo delle dinamiche degli insetti geneticamente modificati deve essere particolarmente rigido proprio per il loro possibile effetto sulle popolazioni preesistenti.

C) Le piante: Il primo metodo di inserimento di sequenze di DNA nelle piante è stato messo a punto nel 1981 da *Mary Dell Chilton* utilizzando il plasmide del batterio *Agrobacterium tumefaciens* dopo aver scoperto un anno prima che era in grado di recombinaire il suo DNA con quello delle piante infettate. Nel 1987, utilizzando questo metodo, sono state prodotte piante resistenti a diserbanti e a insetti, inserendo nei loro genomi geni che codificano per enzimi detossificanti nel primo caso e insetticidi naturali contenuti in un batterio, il *Bacillus thuringensis*, nell'altro.

La prima pianta geneticamente modificata immessa nel mercato è stata un pomodoro resistente alla marcescenza e quindi di lunga durata ma è stato rapidamente ritirato in quanto era particolarmente duro e con un sapore sgradevole. Si è dovuto aspettare il 1996 per commercializzare quattro piante geneticamente modificate (mais, soia, colza e cotone) modificate per la resistenza a singoli diserbanti e a singoli insetti particolarmente dannosi alle piante trattate.

Dopo questi successi, nonostante molti tentativi per produrre altre piante geneticamente modificate e introdurle con successo sul mercato, questo non è avvenuto per varie ragioni. L'ultimo prodotto che sembrava essere veramente interessante per la salute umana è stato un mais geneticamente modificato con un gene che codifica per un precursore della vitamina

A, teoricamente utile soprattutto alle popolazioni carenti di cibi, che la contengano in concentrazioni sufficienti per una vita sana. Purtroppo questo prodotto è stato ritirato dal mercato perché sarebbero serviti secondo precisi calcoli delle concentrazioni necessarie della provitamina, otto chili al giorno di mais per persona per arrivare al fabbisogno necessario. In questo momento la impresa produttrice (Syngenta) sta cercando di selezionare mais a concentrazioni maggiori di provitamina da poter rilanciare sul mercato ma non ha ancora raggiunto l'obiettivo.

Possiamo quindi dire in sintesi che dal 1987 ad ora anche nel caso delle piante i successi sono stati molto minori delle speranze iniziali sull'uso degli OGM per l'aumento di cibo nel Mondo e il miglioramento delle sue caratteristiche alimentari. Da dati del Dipartimento della Agricoltura degli Stati Uniti, lo Stato che sta utilizzando di più gli OGM, sia la produzione di mais che di soia sono adesso maggiori che nel 1996 ma la velocità dell'aumento di produttività per anno non è più rapida di quella che si aveva prima della utilizzazione della piante geneticamente modificate. Qualcosa di simile avviene anche per cotone e colza, ed è anche per questo che la sempre sperata e mai raggiunta diminuzione del numero di persone affamate nel Mondo non si è mai raggiunta ma anzi, dopo il 1995, la situazione è peggiorata e adesso sono un miliardo e cento milioni gli esseri umani che non hanno cibo sufficiente. Nonostante questo, per ragioni che discuteremo in seguito e che poco o niente hanno a che fare con la qualità degli OGM, nel 2012 questi erano coltivati in 170 milioni di ettari, 156 dei quali erano soltanto in sei Stati. Più precisamente negli Stati Uniti le piante geneticamente modificate coprivano 69,5 milioni di ettari, nel Brasile 36,6, in Argentina 23,9, in Canada 11,6, in India 10,8, in Cina 4,0.

Per quanto riguarda l'impatto dei due tipi di geni utilizzati, le piante resistenti al diserbante «Round up ready» erano le più usate e coprivano da sole oltre 100 dei 170 milioni di ettari, mentre fra le piante OGM la soia primeggiava con oltre 80 milioni di ettari, seguita dal mais con circa cinquanta, dal cotone con più di venti, mentre il fanalino di coda era il colza coltivato solo in pochi Paesi.

A questo punto ci si può chiedere perché dal 1996, l'anno in cui sono state immesse sul mercato le prime PGM (Piante Geneticamente Modificate) nessun altro prodotto della ingegneria genetica delle piante ha avuto successo commerciale. L'ultima sconfitta è stato il fallimento di un riso in cui era stato inserito un gene che codifica per un precursore della vitamina A, teoricamente utile per le popolazioni che ne hanno bisogno. In questo caso il fallimento è stato dovuto al fatto che la quantità di provitamina A prodotta dalle piante modificate era molto bassa, per cui il fabbisogno gior-

naliero di riso modificato era di diversi chili. Il perché di tutto questo sta nell'aver considerato i viventi uguali a macchine fatte di geni indipendenti e nella incapacità che ne è conseguita di prevedere i cosiddetti «effetti inattesi» delle interazioni fra i geni inseriti e il «sistema complessivo» in cui vengono inseriti, intendendo con questo termine non soltanto l'organismo ricevente ma anche il contesto biologico, economico, umano in cui le piante geneticamente modificate dovranno vivere e produrre.

Una valutazione seria degli OGM può quindi essere condotta solo partendo dallo studio degli effetti della inserzione nella pianta, della interazione fra questa e l'agro-ecosistema, degli effetti per la agricoltura e la vita degli esseri umani che ne sono parte e che utilizzeranno le piante modificate come cibo. Lo studio dei diversi livelli di interazione d'altra parte è coerente con il «principio di responsabilità» che ha condotto Hans Jonas a ritenere che: «L'uomo è l'unico essere a noi noto che può avere responsabilità. Nella misura in cui la può avere egli la ha. La capacità di avere responsabilità si basa sulla abilità ontologica dell'uomo di scegliere tra le alternative dell'agire per mezzo del sapere e del volere. La responsabilità è quindi complementare alla libertà...Con tale potere sono cresciuti anche i metodi, il rigore e la portata della conoscenza previa. Ma non con lo stesso passo dell'ampiezza degli effetti del potere medesimo: quando si tratta di proiezioni nel futuro, e tanto più quanto più esse sono in anticipo, rimane sempre una eccedenza di conseguenze rispetto a quanto è conoscibile e prevedibile...Dio è un matematico?...supponiamo che lo sguardo del matematico divino sia posato su di un corpo vivente: cosa vedrebbe il Dio dei fisici? In quanto corpo fisico l'organismo presenterebbe gli stessi tratti di altri aggregati...ma al proprio interno sarebbero riscontrabili particolari processi che fanno apparire la sua unità fenomenica ancor più discutibile di quella dei corpi comuni e nel corso del tempo eliminano quasi completamente la sua identità materiale. In questo singolare processo le parti di materia di cui l'organismo consiste sono, per l'osservatore, contenuti solo temporanei e transitori, la cui identità materiale non coincide con l'identità del tutto. Esso non è mai materialmente lo stesso e persiste grazie al fatto di non continuare a essere la medesima materia». L'imperativo di responsabilità entra in azione, secondo Jonas, quando si tratta di sistemi dotati di imprevedibilità intrinseca dovuta essenzialmente alle dinamiche interattive dei loro componenti connessi. È in queste situazioni che l'imperativo di responsabilità deve agire per evitare che anche piccole modificazioni in uno o pochi componenti si propaghino all'intero sistema danneggiandolo in modo anche non sanabile. L'unico modo per evitarlo è di conoscere al massimo quello che è conoscibile in sistemi del genere e contemporanea-

mente di vedere non solo gli effetti primari di un cambiamento ma anche tutti gli effetti «secondari» nelle parti del sistema che vi afferiscono.

Nella realtà delle prassi di ingegneria genetica il primo problema è la scarsa conoscenza di quello che può succedere alla pianta quando si inserisce una sequenza di DNA. Non sappiamo a priori infatti se: a) quante copie e dove si inseriscono le innumerevoli copie del gene prescelto. Questo è un dato molto importante perché l'inserimento in un gene rilevante per la vita della pianta potrebbe comportare la sua inattivazione e la formazione nella trascrizione di RNA cosiddetti di fusione e cioè trascritti per una parte dalle sequenze originarie; b) se, come avviene frequentemente, le sequenze del costrutto e quelle del genoma della pianta si sono riarrangiate; c) se vi sono interazioni non previste fra i prodotti genici del costrutto e il metabolismo della pianta ospite; d) se vi sono interazioni negative fra la pianta modificata e l'agro-ecosistema in cui viene coltivata; e) se ci sono effetti non previsti per la salute umana, degli animali domestici e degli ecosistemi in genere e in particolare del suolo. Tutti questi effetti inattesi si sono verificati in molti casi e senza dubbio sono la causa della assenza sul mercato di PGM geneticamente modificate diverse dalle quattro che sono in commercio. Ad esempio in un mais molto noto con sigla MON 810 sono state trovate nel nostro laboratorio di Firenze almeno quattro sequenze di fusione completamente innovative che derivano dalla inserzione del costrutto in un gene importante della pianta (la ubiquitin-ligasi). Sullo stesso MON 810, inoltre, il Prof. Motto ha trovato modificazioni significative che potrebbero cambiare il valore nutritivo del prodotto e un laboratorio spagnolo ha dimostrato la perdita di due frammenti del costrutto Bt.

Questo, comunque, è solo uno dei tanti esempi di effetti inattesi derivanti dalla inserzione di geni provenienti da altri esseri viventi, ma in tutti i casi in cui si sono analizzate con tecniche aggiornate di Biologia molecolare le strutture delle sequenze di DNA inserite con tecniche di ingegneria genetica si è visto che queste subiscono inevitabilmente numerosi riarrangiamenti, fatto questo noto per essere comune nelle piante in condizioni di stress. Un esempio molto chiaro di effetto inatteso infine è stato osservato nel nostro laboratorio in piante di *Nicotiana glauca* in cui è stato inserito il gene per il recettore dei gluco-corticoidi di ratto. Questa operazione in realtà era stata programmata nella speranza che, essendo pianta e ratto organismi con una struttura ormonale completamente diversa, non ci fossero interazioni inattese fra il recettore animale ed eventuali ormoni vegetali. Il risultato invece è stato all'opposto che le piante modificate hanno avuto morfologia e fisiologia drasticamente cambiate e in uno stato metabolico permanentemente in condizioni di difesa, il che ha aumentato la capacità

di difesa da stress biotico ed abiotico. La probabile spiegazione di questo inatteso effetto potrebbe essere una interazione fra steroidi vegetali (brassinosteroidi) e il recettore animale derivata da una forte somiglianza dei siti di attacco. Come si è visto gli «effetti inattesi» («unintended effects»), sono molto numerosi e pongono qualche problema per la sicurezza in termini di imprevedibilità del risultato della trasformazione per quanto riguarda la salute umana e animale e gli effetti degli OGM sugli ecosistemi in particolare del suolo.

Tutto questo non significa che necessariamente ci siano pericoli per la salute umana o degli animali, ma obbliga ad una analisi accurata al fine di evitare rischi imprevisi.

Purtroppo l'agenzia europea preposta al controllo ha delle linee guida che non danno garanzia sufficiente ai consumatori. Le ragioni sono: a) EFSA non possiede laboratori propri in grado di controllare i dati delle imprese né si rivolge per questo a laboratori indipendenti ma fa analizzare i *dossiers* forniti dalle imprese da commissioni scientifiche apposite. Queste quasi sempre chiedono chiarimenti ed EFSA fa una serie di richieste di approfondimento non a laboratori indipendenti o di EFSA stessa ma alla impresa basandosi su precise e stabilite linee guida che però sono antiquate, obsolete e non includono le tecniche che hanno permesso di scoprire gli effetti inattesi ora descritti e molti altri noti in letteratura. In questo EFSA contravviene alla regola contenuta in tutte le leggi di prevenzione di qualsiasi rischio, che impongono l'uso degli strumenti di analisi, con il maggiore potere possibile di risoluzione al momento dello studio, usati in laboratori indipendenti. Purtroppo molti di questi si sono offerti più volte (parlo ad esempio di quelli di ENSSER, una associazione di istituti di ricerca europei) senza avere nessuna risposta positiva dalla agenzia europea.

La situazione è quindi al momento veramente difficile perché invece effetti inattesi negativi degli OGM sono stati osservati e riguardano non tanto i pericoli per la salute umana, quanto la quantità di prodotto delle piante, gli effetti indiretti della prassi agricola sulla produzione, la struttura economica e sociale delle agricolture. Per fare un esempio degli effetti della prassi agricola va sottolineato che, essendo quasi tutte le piante geneticamente modificate, come si è visto, resistenti ai diserbanti perché questo conviene alle grandi e grandissime imprese agricole che evitano la spesa del diserbo, si usano aerei che irrorano i campi di OGM con il Round Up, un composto che ha come molecola attiva il glifosato ma contiene anche una serie di molecole che aiutano il suo assorbimento provocando danni alle membrane cellulari. In particolare, si è osservato che le molecole presenti nel Round Up sono distruttori endocrini e quindi altamente pericolose per gli esseri

umani ma anche per i topi, le larve di insetti ecc. Inoltre, il glifosato si accumula nelle cellule vegetali, è dannoso ai batteri e ai funghi fra i quali le micorrize, estremamente utili alle piante, e aiuta invece la proliferazione di altri funghi come il *Fusarium*, dannosissimi ai vegetali coltivati. Il pericolo quindi non è tanto dovuto ai danni che derivano direttamente da composti codificati dai geni inseriti, ma alla struttura complessiva delle agricolture e delle loro economie e prassi.

Quello che è successo in sintesi è che molto poco di quanto promesso e ancora propagandato dalle grandi multinazionali che controllano il mercato OGM è avvenuto. Le promesse erano un maggiore prodotto e invece, secondo il Dipartimento della agricoltura degli Stati Uniti, mais e soia non hanno accelerato il loro miglioramento con la entrata sul campo delle piante geneticamente modificate. A detta degli indiani anche il cotone non produce di più, il consumo di pesticidi non è diminuito in particolare per piante resistenti a insetti perchè come è successo nel caso del cotone il parassita principale è molto meno presente, ma almeno 150 altre specie di insetti si sono fatti avanti. Analogamente non è avvenuto un aumento della fissazione di azoto nè le piante resistono meglio al secco e al sale o hanno una fotosintesi più efficiente, ecc.

Gli scarsi o inesistenti vantaggi delle PGM nei confronti delle stesse varietà non trasformate e contemporaneamente il loro successo in termini di quantità di terra coltivata con i nuovi prodotti, e quindi di ritorno economico per le imprese produttrici, fanno dubitare fortemente della libertà del mercato. Il dubbio appare confermato dal processo di accumulazione documentato da molti e in particolare da Ph. H. Howard che già nel 2009 osservava che le prime quattro imprese del settore controllavano il 59% del mercato dei pesticidi e il 56% dei semi attraverso la aggregazione di produttori complementari che puntano al controllo della intera filiera produttiva agricola fortemente facilitato dalla concentrazione dei brevetti nelle mani di pochi. Lo strumento del brevetto industriale, infatti, è stato esteso, con la nascita della Ingegneria genetica, alle varietà delle piante e alle razze animali, sotto forma di brevetto di sbarramento sia di prodotto che di processo che si estende a tutti i «materiali» in cui è contenuto il gene brevettato o che sono stati prodotti con un processo anch'esso coperto. Per questo il coltivatore deve comprare ogni anno il seme dalla impresa produttrice invece di produrlo da solo, né può usarlo per ricerca e paga royalties anche se una sola pianta geneticamente modificata viene trovata in un campo «libero da OGM».

In questo momento tre imprese dominano attualmente il mercato (Monsanto, *Dupont* e *Syngenta*, in ordine di grandezza). Si tratta di imprese chi-

miche in possesso di brevetti agrochimici che a partire dagli anni '90 ne hanno assorbito altre e hanno allargato il loro dominio alle farmaceutiche e soprattutto alle sementiere. Così Monsanto, produttrice di diserbanti negli anni '60, si è fusa con *Pharmacia* e *Upjohn* ha acquisito le grandi sementiere *Cargill*, *Dekalb Genetics Corporation*, *Delta* e *Pine Land*, *Seminis*, *Holden Foundation Seeds* e controlla oltre duecento sementiere in India, Cina, Brasile. La *Dupont* ha acquisito la *Pioneer High Bred* e combatte una difficile battaglia sui brevetti con la leader mondiale. Più debole è *Syngenta* che deriva dalla fusione fra *Novartis* agricoltura e *Zeneca* e ha acquistato la *Wilson Seed* allargando a ormoni vegetali e fungicidi la produzione.

Queste imprese, e in particolare Monsanto, trattano da pari a pari con gli Stati Nazionali e con la Unione Europea e dispongono di una rete potente di laboratori di ricerca che, pur riducendo progressivamente la intensità di ricerca, costituiscono il nucleo fondante di una rete di propaganda aggressiva sui vantaggi delle PGM, particolarmente pesante nei Paesi in via di sviluppo anche attraverso gli «editorial boards» di molte riviste internazionali.

In molti lavori anche pubblicati su buone riviste inoltre si nota una evidente parzialità. Ad esempio, in scritti sulla Cina non si conteggia come lavoro quello famigliare nelle piccole aziende, non si dice che il vantaggio delle PGM c'è solo in casi di attacco pesante, che l'uso dei pesticidi non si è abbassato, che nuovi insetti sono diventati pericolosi in seguito alla distruzione del «boll-worm» del cotone come si notava prima.

Analogamente in altri lavori, si dimentica che in India le aziende ricavano un vantaggio economico da aiuti tecnici e monetari da parte dello Stato, sono in partenza più ricche delle altre e usufruiscono di sistemi di irrigazione efficienti. Così in India è poco noto che, come si diceva prima, in alcune regioni come l'*Andhra Pradesh* e il *Maharashtra*, per la presenza di ben 150 specie di nuovi insetti parassiti si sono dovuti usare più pesticidi, fatto che, insieme alla riduzione del prezzo del cotone ed agli attacchi virali a cui le varietà locali erano resistenti a differenza dalle PGM, ha portato ad un aumento di suicidi nelle popolazioni locali. La situazione è ancora diversa in America latina e in particolare in Argentina, Brasile, Paraguay in cui la PGM più importante è di gran lunga la soia resistente a diserbanti.

In tutti i casi la diffusione della soia è stata accompagnata dalla distruzione della agricoltura di sussistenza, la riduzione pesante del numero delle imprese agricole e l'aumento della dimensione, lo spostamento della produzione dalle piante che provvedono la base alimentare alla coltivazione di soia da esportazione.

In Argentina infatti l'aumento della produzione di soia dell'11.8% dal 1996 al 2004 ha comportato la riduzione del grano del 2.3%, della patata del 3.3%, del miglio del 19.1%. Contemporaneamente il numero delle imprese agricole si è quasi dimezzato dal 1966 al 2002, e sono sparite le imprese famigliari e ingrandite quelle industriali in cui il rapporto capitale/lavoro è praticamente raddoppiato.

In sintesi il tessuto di aziende contadine è stato sostituito da imprese di dimensioni maggiori spesso unite in reti con un unico direttore che impiegano braccianti con una riduzione del lavoro che supera il 50% e una drastica contrazione della variabilità genetica di piante ed animali.

In Brasile la esplosione delle coltivazioni di soia ha provocato la cacciata spesso violenta dei contadini da parte dei *sojeros* e dei *grileiros* (speculatori) che, come quelli argentini, si sono spostati nelle favelas abbandonando le loro sementi, perdendo le loro culture, determinando un aumento rapido della deforestazione.

Infine, tutti questi fenomeni sono avvenuti in modo più cruento in Paraguay, Paese in cui gran parte della terra è gestita da stranieri tanto che dei 60000 produttori di soia il 40% è brasiliano, il 36% tedesco o giapponese e solo il 24% paraguaiano.

4. A conclusione di questo articolo penso risulti evidente che gli OGM sono ormai il simbolo di una agricoltura non mirata alla soluzione del problema della fame ma alla produzione di reddito ed al controllo dei mercati mondiali da parte di poche imprese multinazionali facilitate dalle regole del WTO. È per questo che la ricerca di OGM utili pare essersi fermata e tutto è accentrato sulla propaganda, sulla brevettazione, sulla speculazione finanziaria. Una inversione di rotta si potrebbe solo avere se si riprendesse la ricerca di base puntando però non all'aumento di profitto monetario e di controllo ma alla produzione alimentare sicura e ad una vera lotta contro la fame, inversione che probabilmente non avverrà fino a quando non ci saranno regole anti-trust a livello mondiale e non solo delle singole nazioni.