

1. LA BIOMEDICINA TRA CONFLITTI ETICI E AMBIVALENZE APPLICATIVE

1. La seconda metà del secolo trascorso sarà ricordata in particolare per il rapido sviluppo delle scienze biomediche. Le ricadute applicative delle nuove conoscenze hanno provocato in alcuni casi forti reazioni di ordine etico, tanto da coniare il termine *Bioetica* (termine introdotto da Van Rensselaer Potter, nel 1970, nell'ormai celebre libro dal titolo: *Bioethics: a bridge to the future*).

In verità, la nascita della Bioetica affonda le sue radici ideologiche nelle rovine della II Guerra Mondiale. La tragedia di proporzioni planetarie portò alla affermazione dei diritti inderogabili d'ogni uomo: "Ogni individuo ha il diritto alla vita, alla libertà e alla sicurezza della persona", così recita l'articolo 3 dello Statuto delle Nazioni Unite del 10 dicembre 1948. A quest'affermazione di tipo giuridico seguì una riflessione filosofica volta a giustificare la sua razionalità ed eticità.

Le scoperte scientifiche come quelle nel campo della fisica nucleare e della biomedicina, hanno dato all'uomo una potenziale capacità di modificare la vita del pianeta e provocare la distruzione del suo stesso genere. Tali situazioni hanno acuito l'esigenza di un'etica in campo biomedico, etica fondata sulla ragione e sul valore obiettivo della vita e della persona. Quest'esigenza era stata avvertita con grande anticipo da S.S. Pio XII che diede un impulso decisivo al rapido sviluppo di una morale medica. Le soluzioni morali proposte dal Pontefice benché rivolte ai fedeli, hanno spesso trovato eco al di là dei confini confessionali.

Sebbene l'etica abbia sempre rappresentato un momento irrinunciabile per la prassi medica, tuttavia da circa un cinquantennio si assiste ad un rinnovato impegno nella riflessione etico-filosofica nel campo biomedico. Si sviluppò quindi la Bioetica. Potter rileva che in passato l'etica, intesa come riflessione sui valori umani e sulle caratteristiche ideali dell'azione dell'uomo, era considerata un settore degli studi umanistici, destinata ad essere relegata, per lo più, all'interno di dispute filosofiche. Lo sviluppo raggiunto dalle scienze biomediche imponeva ora di far uscire l'etica dallo

splendido ma sterile isolamento teorico, per coniugarla con la realtà e la prassi del fatto biologico.

I rapporti tra scienza ed etica sono improvvisamente cambiati quando il rapido progresso delle scienze, nella seconda metà del secolo scorso, ha avuto una rapida ricaduta applicativa, in alcuni casi immediata. Purtroppo in molti casi si è assistito ad applicazioni di tali scoperte non sempre a soli scopi benefici. Emblematico è il caso delle scoperte nel campo della fisica nucleare che portò alla costruzione della bomba atomica esplosa tragicamente in Giappone nel 1945 tanto da far esclamare a uno dei padri della fisica nucleare, Robert Oppenheimer: “La scienza ha conosciuto il peccato”.

In verità la maggioranza degli scienziati continua a sostenere l'autonomia della ricerca scientifica che resta indipendente quanto al proprio fine, quello appunto di conoscere scientificamente. Al riguardo, i ricercatori in genere accolgono con poco entusiasmo eventuali obiezioni d'ordine etico opposte ai loro esperimenti. Tempo fa Arutiunov, neurochirurgo sovietico, dichiarava riguardo ai contestati esperimenti di trapianto di cervello: *“Non è possibile vietare nulla alla scienza. Ogni problema scientifico deve essere discusso dagli specialisti. Un parere negativo nel corso di tale discussione è l'unico divieto possibile nell'attività scientifica”*.

Quest'atteggiamento di diffidenza o di rifiuto verso ogni interferenza o addirittura controllo sociale della ricerca scientifica è in parte giustificato dal pericolo della possibile burocratizzazione o peggio di una possibile repressione del pensiero scientifico, come molti eventi storici, dal processo a Galileo, all'imposizione più recente dell'egemonia di Lysenko, insegnano. In proposito, afferma Lucio Rosaia: *“L'atteggiamento di opposizione dei ricercatori ai tentativi di introdurre sistemi di controllo sociale non può essere accettato. Lo scienziato che rifiuta il controllo sociale della ricerca perché ne intravede soltanto i lati negativi, o che l'accetta di malavoglia come una onerosa interferenza nel suo lavoro, si mette al di fuori della realtà storica della scienza”*. Infatti l'opera scientifica anche quando non dia origine direttamente ad applicazioni pratiche, s'inserisce nel quadro culturale della società influenzandone il pensiero e l'azione. L'esempio più spettacolare, di questa influenza delle dottrine scientifiche sulla cultura e sulla società, è offerto dalla teoria dell'evoluzione sulla cultura moderna, con forti riflessi anche in campo sociale. D'altra parte la ricerca scientifica, in particolare quella biomedica, è di per se stessa un imperativo etico, come si potrebbe migliorare la qualità della vita se non ci fosse il progresso scientifico? Il nodo compare quando la scienza “provoca” l'etica costringendola a rivedere i propri giudizi

in funzione delle nuove possibilità e applicabilità che, man mano, sono offerte dai risultati della ricerca cosiddetta di base.

2. Questa in breve la storia della Bioetica, diventata un campo di battaglia tra opposte visioni del mondo soprattutto nella ricerca di sciogliere i dilemmi introdotti dalle biotecnologie, termine onnicomprensivo per indicare quelle procedure utilizzate per intervenire su ogni essere vivente modificandone la specificità biologica e l'identità individuale.

Mi soffermerò sui problemi sollevati dalle biotecnologie che utilizzano la tecnica del DNA ricombinante per la creazione di organismi geneticamente modificati, chiamati anche *transgenici* o più brevemente OGM. Si tratta di tecnologie che pongono non solo agli scienziati, ma a tutta la società, problemi di ordine etico e politico che è molto importante discutere. Lo sviluppo delle biotecnologie ha determinato nella genetica dei cambiamenti profondi nei metodi d'analisi e nelle capacità d'intervento sul materiale ereditario.

Dopo la scoperta della struttura del DNA, ne seguì un'altra anch'essa fondamentale, cioè quella degli enzimi di restrizione, cioè di quegli enzimi che tagliano le lunghe catene del DNA in piccoli tratti. È stato così possibile isolare il gene in alcune sue parti essenziali per la sua identificazione, per il riconoscimento delle sue funzioni e per il trasferimento dell'informazione, in esso contenuta, da un organismo all'altro. Inoltre con la moderna analisi genetica si è andata affermando la cosiddetta genetica inversa, cioè il passaggio dal genotipo al fenotipo, grazie allo sviluppo di tecniche che permettono di identificare ed isolare il gene, cui si può giungere con il clonaggio, cosiddetto per posizione, che associa il carattere ad una determinata regione cromosomica, e nell'ambito di questa individua il gene d'interesse, o con il clonaggio funzionale che risale al gene attraverso i suoi prodotti, cioè la proteina e l'RNA messaggero. Le tecniche di sequenziamento del DNA hanno consentito la ricostruzione del genoma, oltre che per organismi a complessità genetica relativamente bassa, come i batteri, anche per organismi superiori, come l'uomo. Val la pena a questo punto aggiungere quanto importante sia stata la decifrazione del codice genetico per aver creato le premesse della trascrittomica, cioè della conoscenza di tutti gli RNA messaggeri prodotti da una cellula, e della proteomica, cioè della conoscenza di tutte le proteine sintetizzate dalla cellula grazie alle istruzioni contenute negli RNA messaggeri, con la speranza che da queste informazioni possano derivare farmaci specifici che abbiano come bersaglio quelle proteine prodotte dai geni difettosi, con sicuri benefici per esempio nella terapia dei tumori, potendo sostituirsi alla chemioterapia per

i suoi ben noti effetti collaterali. Perciò è prevedibile che quando sarà catalogato l'intero proteoma umano, come è stato fatto per il genoma, saranno le proteine e non più i geni a essere di gran moda.

I risultati di queste ricerche costituiscono una fonte sempre più ricca d'informazioni e di materiale per l'identificazione di nuovi geni coinvolti nella normale fisiologia e nella patologia. I geni possono essere analizzati non solo nelle loro componenti elementari, ma possono essere isolati e riprodotti in un numero praticamente illimitato di copie, modificati e trasferiti in diversi organismi. Nasce così quello che è stato definito un "bricolage" genetico, che può essere utilizzato in piante ed animali per indurre nuovi caratteri economicamente vantaggiosi e nell'uomo per la terapia delle malattie genetiche; ma che si può trasformare in una pratica suscettibile di abusi ed attentati all'integrità del patrimonio genetico umano e agli equilibri biologici.

3. Quali sono i problemi etici sollevati dagli interventi diagnostici e correttivi sul genoma umano cui ho accennato? I principi chiamati in causa sono quelli già consolidati dall'etica e dalla deontologia medica, che si riassumono nei tre criteri fondamentali: rispetto della dignità della persona, beneficiabilità ed equità. Ad essi si aggiungono quelli di più recente formulazione concernenti la responsabilità del ricercatore e l'etica dell'informazione scientifica. Mi soffermerò su alcune argomentazioni, quelle che considero eticamente le più rilevanti.

Le biotecnologie, che utilizzano la tecnica del DNA ricombinante, cioè quella comunemente conosciuta come ingegneria genetica, hanno suscitato sin dall'inizio discussioni di ordine biologico, filosofico, teologico e giuridico, con prese di posizioni diverse sulla base non solo di punti di vista diversi, laici o confessionali, ma anche di culture diverse. Val la pena ricordare l'iniziale entusiasmo suscitato, agli inizi degli anni Settanta dall'annuncio della possibilità di modificare il patrimonio genetico di un batterio, l'*Escherichia coli*. A tale iniziale entusiasmo seguirono riflessioni preoccupate, che provocarono una serie di iniziative per cautelare l'uomo e l'ambiente da eventuali usi distorti di tale importante successo sperimentale. Furono istituite Commissioni d'inchiesta, si ebbe la moratoria di tutte le ricerche di ingegneria genetica per un anno. Nel 1975 fu organizzato ad Asilomar in California un Convegno internazionale per discutere i rischi e predisporre le cautele. Da quel momento si è sviluppato un acceso dibattito con lo scopo di consentire lo sviluppo delle prevedibili applicazioni di tali scoperte, cioè quelle che utilizzano le tecniche basate sul DNA ricombinante, nel massimo rispetto della dignità umana e dell'ambiente.

Per quanto riguarda gli interventi di ingegneria genetica nell'uomo, ovviamente a scopo terapeutico nel caso delle numerose malattie ereditarie cioè legate a geni difettosi, questi interventi possono riguardare le cellule somatiche (cioè le cellule che compongono i vari tessuti dell'organismo, come le cellule del sangue, le cellule nervose, muscolari, etc.) oppure le cellule germinali (cioè quelle deputate alla procreazione: la cellula uovo e lo spermatozoo).

La terapia genica somatica, cioè quella che interessa le cellule somatiche di un singolo individuo, viene generalmente considerata, in assenza di terapie alternative, sullo stesso piano di un trapianto di organo o di tessuto. Dopo un'attenta analisi del rapporto rischio-benefici, ed un'adeguata informazione del paziente o del suo rappresentante, la terapia somatica non pone problemi etici.

Invece la terapia genica delle cellule germinali (naturalmente della cellula uovo fecondata in vitro e poi trasferita in utero; per ora non è stato neanche tentato un intervento sulla cellula germinale maschile per ovvie difficoltà tecniche), solleva interrogativi biologici e medici, non solo perché al momento presenta rischi elevati per i possibili danni di tipo fisiologico e di tipo genetico, ma anche perché si presterebbe a possibili tentazioni di natura eugenetica.

Mi spiego. È unanime il consenso sulla attuale improponibilità di una correzione genetica per trasferimento di geni esogeni normali, appartenenti a un altro individuo, in quanto non esiste a tutt'oggi la possibilità di inserire nel genoma di un organismo il gene giusto nel posto giusto. L'inserimento corretto di un gene esogeno è stato ottenuto finora solo in popolazioni cellulari coltivate in vitro sfruttando il meccanismo della ricombinazione omologa. Pertanto l'applicazione clinica di questi modelli di terapia genica potrebbe al momento causare danni genetici strutturali come mutazioni in altri geni che porterebbero ad una modificazione della struttura propria del genoma con conseguenze imprevedibili nello sviluppo non solo dello stesso individuo, ma anche della sua discendenza. Il problema quindi non tocca la singola persona, come nel caso della terapia genica somatica, ma si estenderebbe alla sua progenie e alla collettività. Comunque la terapia genica intesa ad eliminare difetti genetici nelle cellule germinali al momento avrebbe conseguenze imprevedibili e, pertanto, ripeto, unanime è il consenso sulla sua inaccettabilità.

Inoltre vi sono alcuni che considerano la terapia genica delle cellule germinali un ostacolo al processo evolutivo. Infatti, i geni difettivi, anche allo stato recessivo, potrebbero avere un significato preadattativo. Alcuni di questi hanno avuto un ruolo importante nell'assicurare la sopravvivenza

di gruppi razziali (classico esempio il gene dell'anemia falciforme che allo stato omozigote è letale, mentre allo stato eterozigote, compatibile con la vita, protegge dalla malaria). A queste considerazioni, che mettono in guardia contro un intervento modificatore delle cellule germinali, si aggiungono altre importanti riflessioni etiche.

Dagli Stati Uniti giungono notizie sulla proliferazione di associazioni che predicano il *liberismo genetico*, prevedendo un futuro in cui su internet sorgeranno mercati di geni dove i genitori potranno acquistare i caratteri ereditari da attribuire ai figli: altezza e colore degli occhi, prontezza di riflessi e quoziente intellettivo, bernoccolo della matematica e temperamento artistico. Un vero "shopping al supermercato genetico". Deliri di onnipotenza? Non direi, perché il problema esiste in quanto il potere della tecnologia da alcuni definita "*il motore che muove il mondo*", procede inesorabile sviluppando le aree di progresso che producono profitto economico senza pensare alle possibili conseguenze. La morale laica spesso è impotente di fronte a queste nuove forme di libertà, come afferma Jürgen Habermas, grande filosofo e sociologo tedesco nella sua recente pubblicazione dal titolo *Il futuro della natura umana. I rischi di una eugenetica liberale*. A proposito della demarcazione tra gli interventi genetici a fini terapeutici, che lui chiama "eugenetica negativa", e gli interventi finalizzati a produrre, per esempio, bambini più belli e intelligenti, che definisce "eugenetica positiva", cito: "*Certo i genitori desiderano il meglio per i propri figli, ma neppure loro possono sapere quale dote genetica sarà la migliore, perché questo dipenderà dal contesto, assolutamente imprevedibile, del percorso biografico di un altro individuo. Inoltre un intervento genetico deve poter presupporre il potenziale assenso del nascituro, il che sarebbe immaginabile soltanto nel caso della sicura prognosi di una malattia ereditaria che comporti infallibilmente gravi sofferenze*".

Si tratta comunque, in questo ultimo caso, di interventi, come ho detto, per ora solo ipotizzabili, per gli attuali rischi in cui si incorrerebbe, ma non improbabili, in futuro.

La genetica molecolare ha permesso, inoltre, lo sviluppo di *test* genetici per la identificazione di geni responsabili di malattie o predisponenti ad esse. I *test* genetici, molto semplici da richiedere (sono infatti disponibili anche nell'immenso mercato di internet) rappresentano una conquista importante. Ma quali sono i pericoli di una loro utilizzazione indiscriminata? Chi può valutarne l'effettiva necessità e il significato dei risultati? Di tali *test* si lamenta un impiego indiscriminato in particolare per le diagnosi prenatali, che sono solo in parte giustificate dall'età sempre più avanzata alla quale le donne decidono di avere il primo figlio. Inoltre, l'analisi mole-

colare permette attualmente di diagnosticare meno di un decimo delle oltre 6.000 malattie genetiche note.

La diagnosi prenatale viene eseguita non solo mediante amniocentesi, prelievo dei villi coriali o su cellule di desquamazione del corion della placenta circolanti nel sangue materno, ma anche su uno dei blastomeri, cioè su una delle prime cellule embrionali sviluppatesi in vitro, quando si pratica la fecondazione in vitro mediante FIVET (acronimo inglese che sta per fecondazione in vitro e trasferimento dell'embrione in utero). A seguito di stimolazione ovarica, per un più sicuro successo, si prelevano più ovuli che vengono fecondati in vitro, poi fatti sviluppare fino allo stadio di 4-8 cellule, chiamate blastomeri. Prima di trasferire gli embrioni nell'utero è così possibile selezionare, mediante biopsia blastomerica, cioè prelievo di un blastomero, solo gli embrioni che risultano sani (il termine embrione viene qui usato correttamente per indicare gli stadi di sviluppo che vanno dallo zigote, cioè l'uovo fecondato, all'ottava settimana di gravidanza).

La diagnosi prenatale è da alcuni ritenuta potenzialmente pericolosa per l'eventuale *deriva eugenetica* in quanto offre teoricamente la possibilità di selezionare embrioni sulla base di caratteristiche che nulla hanno a che fare con la salute (vedi per es. la preselezione del sesso). Inoltre, nel caso della biopsia blastomerica, questa viene effettuata allo stadio in cui le cellule embrionali sono ancora totipotenti per cui di fatto essa consisterebbe nel sacrificio di una cellula in grado di dare origine a un organismo completo. In proposito si sono accese discussioni etiche che si rifanno alla *vessata quaestio* dello *status* e della tutela dell'embrione, cioè di quando inizia la vita individuale. A parte il fatto che alcune malattie genetiche possono manifestarsi anche in tarda età, esistono altre patologie dette multifattoriali, la cui manifestazione dipende da un insieme di fattori genetici e ambientali, che nessun test potrà mai predire, date le innumerevoli combinazioni interattive che si possono immaginare tra i geni e quindi le proteine, e tra queste e l'ambiente. Pertanto molto frequentemente le persone, anche se a rischio di patologie familiari, rinunciano a effettuare un test predittivo per una scelta ponderata tra rischi e benefici clinici e psicologici, non solo, ma anche per paura che la stessa informazione possa arrivare a conoscenza del loro assicuratore o del loro datore da lavoro, così ledendo il diritto alla privacy. Di qui la necessità di valutare caso per caso l'utilizzazione dei *test* genetici da parte di genetisti esperti, in particolare per evitare diagnosi prenatali ingiustificate, che invece di servire a assicurare i genitori, rischiano di creare inutili ansie alla coppia. Infatti non tutte le anomalie che si riscontrano in una diagnosi genetica sono necessariamente indice di patologie gravi. Ol-

tre a ciò bisogna tener conto anche del rischio di abortire un feto sano per errore nel caso dell'amniocentesi, come avviene in circa un caso su 200.

Tra i tanti interrogativi etici posti dalla ingegneria genetica in campo umano, non vanno sottaciuti gli interventi terapeutici che si servono degli xenotrapianti, cioè dei trapianti di organi di animali nel cui genoma vengono inseriti geni umani per evitarne il rigetto. Gli xenotrapianti, una volta superati i problemi di compatibilità e di rigetto e quelli di possibile trasmissione di zoonosi con conseguente sviluppo di nuove epidemie virali, consentirebbero di sopperire alla penuria di organi disponibili, superando tutti i problemi concernenti i trapianti tra umani come l'accertamento della morte del donatore, il consenso informato al trapianto, oltre al gravissimo problema del commercio clandestino di organi. Nonostante la forza di questi argomenti, gli xenotrapianti, secondo alcuni, urtano contro qualsiasi principio di giustizia interspecifica e di riconoscimento agli animali di diritti soggettivi, riproponendo il tradizionale pregiudizio antropocentrico dell'uomo *dominus*.

4. Potter in un altro importante scritto dal titolo *Global Bioethics* del 1988, afferma la necessità di unificare la bioetica medica e la bioetica ambientale, la prima tesa a risolvere problemi a breve termine, la seconda impegnata a porre in discussione la sopravvivenza della specie umana e dell'intero ecosistema. Infatti non bisogna dimenticare che l'uomo, nonostante la sua supremazia, non può liberarsi dallo stato di interdipendenza con l'ecosistema globale. In particolare, sono proprio le applicazioni della ricerca biotecnologica in campo ambientale quelle che recano in sé frequentemente una certa ambivalenza, in grado cioè di generare contemporaneamente sentimenti di speranza e di inquietudine. Infatti accanto agli indubitabili benefici per la salute dell'uomo, persistono nell'opinione pubblica profonde preoccupazioni per i pericoli legati all'impiego delle biotecnologie in campo alimentare.

Le straordinarie conoscenze acquisite nel campo della genetica e delle loro applicazioni hanno suscitato una sensazione di stupore, quasi di vertigine, costringendo cioè a permanere in una condizione di sospensione e di incertezza tra opportunità straordinarie ed enormi catastrofi "dove nessuno", dice Antony Giddes, "può essere ottimista su quale di queste due possibilità prevarrà". Si forma, in tal modo, all'interno dell'opinione pubblica la consapevolezza che, accanto ai possibili benefici, possa coesistere – come un Giano bifronte – una diversa realtà. E così, a fronte degli entusiasmi suscitati dall'impiego delle tecniche ingegneristiche in grado di prevenire o correggere i difetti del DNA, permane una profonda inquietudine per i possibili rischi che ne potrebbero derivare per le generazioni future, oltre che nei casi di interventi direttamente sull'uomo di cui ho parlato, anche per le biotecnologie

applicate nel settore alimentare. Queste, se per un verso, sono in grado di favorire una migliore produttività e resa dei campi agricoli a costi certamente più bassi, così da soddisfare i bisogni nutrizionali dell'umanità in costante crescita e gli stessi livelli occupazionali, dall'altro non sembrano fugare le preoccupazioni sulle conseguenze che, a distanza di anni, potrebbero rivelarsi dannose per la salute umana e per gli equilibri ecologici.

Nel recente *Rapporto sulle biotecnologie vegetali e le varietà di organismi geneticamente modificati* della Commissione congiunta delle Accademie Nazionali dei Lincei e delle Scienze, di cui ho fatto parte, si ricorda che l'organizzazione delle società moderne ha modificato radicalmente il modo con cui il cittadino si procura i prodotti alimentari. Negli ultimi 50 anni la quantità nutritiva e lo stato igienico di questi prodotti sono migliorati, così come la pluralità della loro presenza nell'alimentazione. Per esempio, malattie nutrizionali come scorbuto, beri beri e pellagra sono ormai scomparse. I vantaggi del cambiamento sono evidenti: prezzi in diminuzione e più accessibili a larghi strati della popolazione, controllo igienico e di qualità, presenza generalizzata di prodotti anche deperibili durante l'intero anno. Tali cambiamenti, indotti da ondate tecnologiche successive, sono irreversibili per cui si rende necessario valutare accuratamente gli effetti di ogni nuova innovazione tecnologica.

Per quanto riguarda le varietà vegetali geneticamente modificate, esse sono il risultato della evoluzione qualitativa naturale della tecnologia nota come miglioramento delle piante agrarie che, d'altra parte, è stata largamente praticata negli ultimi 200 anni con la selezione artificiale, processo che richiede numerose generazioni, dell'ordine di centinaia e forse migliaia di anni, per ottenere l'isolamento dei ceppi con le caratteristiche desiderate.

Oggi i processi biotecnologici aumentano enormemente la velocità di selezione. È certo possibile selezionare, con metodi tradizionali, per esempio pomodori resistenti alla rapida maturazione, ma ci vogliono decine e decine di anni; con l'inserimento di determinati geni, bastano invece poche stagioni, così che lo stesso ricercatore (e non solo i suoi discendenti) potrà vedere il risultato dei suoi sforzi in tempi brevi. Infatti l'affinamento delle tecniche di manipolazione del DNA e di riproduzione in laboratorio dei geni rende possibile accertare rapidamente quale sia l'effetto dell'introduzione di un gene nuovo sulle caratteristiche della pianta.

Tra le tecnologie usate per la produzione e trasformazione di derrate alimentari di origine vegetale, quella del DNA ricombinante è in grado di sviluppare organismi transgenici con caratteristiche molto diversificate: dall'aumento della produttività, dal miglioramento della qualità dei prodotti, alla produzione di molecole di interesse biomedico/farmaceutico, come

i vaccini, alla riduzione di allergeni naturali, come nel caso del maggior allergene del riso che viene ridotto sopprimendo l'espressione del gene che lo codifica. Mi limito a questi esempi, in quanto vi sono state e sono prevedibili numerose altre utilizzazioni anche sofisticate nella produzione di OGM vegetali, come la possibilità, recentemente dimostrata, di introdurre una nuova via metabolica in una pianta agraria per aumentare, nel prodotto, una componente nutritiva in difetto.

Le potenzialità delle nuove tecnologie sono quindi più che evidenti; esse si aggiungono alle metodologie convenzionali la cui efficacia, soprattutto nella seconda metà del secolo scorso, è riconoscibile per i rilevanti risultati ottenuti nei Paesi avanzati e, con la cosiddetta "rivoluzione verde", anche in quelli in via di sviluppo.

Le biotecnologie utilizzabili in agricoltura evocano importanti questioni etiche, soprattutto in riferimento ai fondamentali diritti dell'uomo alla sicurezza alimentare, all'equilibrio dei sistemi naturali, alla proprietà intellettuale e dei brevetti, alle ripercussioni sullo sviluppo sociale ed economico. In proposito il "Consiglio dei diritti genetici", associazione ONLUS, in un documento sottoscritto da numerosi scienziati, esprime preoccupazione per il crescente impiego di organismi geneticamente modificati in agricoltura sulla base di alcuni dati scientifici ai quali dovrebbe essere riservata maggiore attenzione. Ne cito alcuni: i geni che codificano proteine insetticide, inseriti in una vasta gamma di piante transgeniche già rilasciate nell'ambiente, hanno evidenziato effetti di bioaccumulo nella catena alimentare degli insetti e di elevata persistenza nel terreno, con evidenti rischi per la stabilità dell'*ecosistema suolo*; una controversa, ma ancora non invalidata ricerca, ha dimostrato che patate geneticamente modificate con lectina, hanno causato gravi patologie nei topi, come consistenti riduzioni di peso di molti organi, impoverimento della risposta immunitaria e preoccupanti sintomi di infezioni virali.

Questo documento però tiene a precisare che tali incertezze, riguardo alla possibilità di impiego degli organismi geneticamente modificati, non devono essere un freno, ma piuttosto uno stimolo alla ricerca scientifica, che sempre più deve essere finalizzata alla verifica dei costi e dei benefici in campo agroalimentare.

Un particolare momento di riflessione richiede il richiamo degli ambientalisti, e non solo, sui possibili danni che l'*inquinamento genetico* potrebbe provocare alla conservazione della *biodiversità* (inquinamento genetico viene così definita in particolare la eterotransgenesi, cioè la trasformazione di specie con l'introduzione di geni di altre specie). Infatti tra le varie ricchezze di un Paese (materiale, culturale, biologica) quella biologica è

stata finora sottovalutata. Tale ricchezza consiste nell'enorme numero di informazioni genetiche posseduto da ciascuna specie, anche la più piccola, frutto di processi evolutivi durati milioni e milioni di anni.

Ogni microrganismo, ogni organismo animale o vegetale possiede da un milione a 10 miliardi di informazioni nel proprio genoma. L'intervento dell'uomo solo raramente favorisce la conservazione di tale ricchezza in particolare in agricoltura, come quando procede alla sostituzione di molte migliaia di specie con monoculture. Sarebbe lungo descrivere le numerose cause antropiche di estinzione di specie animali e vegetali che sopravanzano di molto quelle naturali. A queste si è aggiunta recentemente la transgenesi, con la immissione nell'ambiente di organismi geneticamente modificati, che potrebbero competere con specie indigene provocandone in alcuni casi la scomparsa. Le conseguenze del declino della biodiversità sarebbero certamente gravissime in quanto la fauna e la flora, in gran parte ancora poco studiate, sono una fonte di potenziale immensa ricchezza non sfruttata sotto forma di sostanze medicamentose, di alimenti e di altri prodotti di importanza commerciale.

Quanto ho detto per le specie vegetali, vale anche per gli animali da laboratorio e domestici. La selezione artificiale negli animali ha avuto come obiettivi la rapidità di crescita e l'aumento quantitativo dei prodotti tipici dell'industria alimentare: carne, latte e loro derivati. Anche in questo caso, la selezione artificiale è condizionata dai tempi di generazione. Oggi la possibilità di introdurre geni omologhi ed eterologhi in un ceppo animale, ha accelerato i tempi in modo drammatico: è possibile non solo vedere in breve tempo gli effetti desiderati, ma anche quelli che si presentano come indesiderati. L'esempio più noto è probabilmente quello della somatotropina, l'ormone della crescita. Con l'autotransgenesi, cioè la integrazione di numerose sequenze di DNA della stessa specie che codificano per la crescita di questo ormone nei bovini (che viene ottenuta mediante microiniezione di questi geni nelle uova fecondate), aumenta la produzione di latte del 20%. Tuttavia, queste vaccine transgeniche hanno un maggior rischio di infezione e presentano altri problemi di salute. Per di più, almeno in Europa, v'è già una superproduzione di latte, per cui è dubbio se tale trattamento sia desiderabile.

Un secondo esempio è la trasformazione genetica dei maiali Beltsville con il gene per l'ormone di crescita umano. Questi animali transgenici crescono più rapidamente, ma sono affetti da cecità, da artrite, ed i maschi sono spesso sterili. In generale, l'introduzione di geni per resistenza a malattie infettive e parassitarie negli animali domestici (bovini, suini e ovini)

ha dato finora risultati contrastanti; si spera che, in futuro, affinando le metodologie si possano superare tali inconvenienti.

Molto incoraggiante al riguardo è la recente dimostrazione che nel topo è possibile, mediante la tecnica del knockout genetico, inattivare il gene del prione responsabile della encefalopatia spongiforme.

Al momento i pesci sono gli unici animali oggetto di autotransgenesi a scopo alimentare. Infatti l'acquacoltura rappresenta il più avanzato settore di produzione alimentare animale e il più diversificato per numero di specie. Pesci transgenici sono stati ottenuti oltre che per l'alimentazione, anche per la produzione di proteine di interesse farmacologico e per monitorare la presenza di sostanze genotossiche in acque inquinate.

5. L'imprevedibilità degli effetti dei prodotti degli organismi geneticamente modificati sulla salute umana e sull'ambiente, che si potranno conoscere soltanto attraverso accurate indagini protratte nel tempo, ha portato all'applicazione del cosiddetto *principio di precauzione*. Questo principio trova origine in alcune analisi dell'impatto ambientale dello sviluppo industriale e tecnologico proposte dai movimenti ambientalisti del Nord-Europa negli anni Settanta e Ottanta dello scorso secolo. Per i suoi fautori, il principio si risolve nella seguente posizione: quando l'intensificazione tecnologica è in discussione, e non si hanno garanzie di completa assenza di impatto ambientale, meglio essere dalla parte della sicurezza che da quella del rischio. Per gli oppositori, questo principio subordinerebbe il ruolo e il contributo della scienza alla conoscenza dei fenomeni e all'accertamento del rischio effettivo, ed è visto come un limite al progresso tecnologico.

In verità tale principio lungi dall'indurre a una aprioristica demonizzazione dell'impiego degli organismi geneticamente modificati, spinge piuttosto ad un atteggiamento di estrema prudenza in modo da valutare attentamente i rischi e quindi la "probabilità" e la "gravità" di un effetto nocivo per la salute. In altri termini il principio precauzionale attribuisce la preferenza alla esigenza di prevenire anziché a quella, più gravosa, di procedere a un risarcimento, in presenza di un danno irreversibile.

Il principio di precauzione coinvolge un altro principio, il *principio della responsabilità* dello scienziato. Gli straordinari progressi della ricerca biologica pongono lo scienziato, anche involontariamente, dinanzi a degli accadimenti di cui si ignorano i possibili effetti. In tali circostanze sarebbe allora sensato, oltre che rappresentare un impegno morale, interrogarci su cosa sia "lecito" o "non lecito" fare, "quanto avanti si può andare" o "dove bisogna fermarsi". Il principio di responsabilità quindi esige un'adeguata ponderazione delle possibili ricadute di ogni azione umana sulla altrui esi-

stenza (comprese le generazioni future); induce perciò a un'attenta analisi sulle biotecnologie non solamente in funzione dei fini perseguiti, dei mezzi impiegati e delle circostanze in cui avviene l'applicazione, ma anche in riferimento alle esigenze prevedibili di un'attività scientifica e tecnica ancora non completamente consolidata dall'esperienza di lungo periodo.

Il sopraggiungere di nuove conoscenze, assunte in modo obiettivo e affidabile, potrà indurre a rivedere le politiche di salvaguardia dell'ambiente conformandosi progressivamente ai dati forniti dalla ricerca. In poche parole "bisogna navigare a vista".

6. Infine un cenno alla informazione sul rischio genetico e alla trasparenza della scelta scientifica. Alle perplessità mostrate dall'opinione pubblica verso i cibi transgenici, considerati una minaccia per l'ambiente e un pericolo per le stesse generazioni future, contribuisce pure una scarsa e cattiva informazione fornita dai mass media sugli aspetti tecnici della questione al punto di figurare una specie di "pornografia genetica". Nei mezzi di comunicazione prevarrebbe cioè un approccio sensazionalistico, mirato allo scoop piuttosto che all'approfondimento, che tende ad esaltare più i rischi che i benefici.

La scarsa comprensione della scienza da parte del pubblico, causa di diffidenza, malintesi, diffusione di una mentalità antiscientista, comune peraltro ad altre tecnologie (per esempio i danni causati dai cellulari), suscita una diffusa domanda di conoscenza scientifica e di trasparenza perché ciascun cittadino sia messo in grado di comprendere e quindi di valutare autonomamente benefici e rischi.

Solo così, attraverso un più intenso coinvolgimento dell'opinione pubblica nelle scelte in grado di incidere sui beni di fondo della persona, potrebbero essere rimosse le preoccupazioni, causa di frequenti manifestazioni di "tecnofobia" e di ostacolo per l'indispensabile avanzamento della ricerca scientifica.

È auspicabile che il dibattito sulle biotecnologie nelle varie sedi istituzionali e non, laiche e confessionali, possa coniugare l'irrinunciabile e prioritaria esigenza di tutelare la salute umana e l'ambiente con quella di sviluppare le potenzialità che la ricerca scientifica e l'innovazione tecnologica sono in grado di offrire.

