Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
118° (2000), Vol. XXIV, pp. 33-52

G.T. SCARASCIA MUGNOZZA * – O.A. TANZARELLA **

Biotecnologie: potenzialità, prospettive e compatibilità ambientale ***

Summary – First of all I would like to thank Professor Santi not only for organising this congress, but also for his great work in the field of advanced biotechnologies and the great attention he devotes to all issues related to the application of biotechnologies. I was very happy to hear some political representatives mention the need to combine the achievements and benefits related to biotechnologies on the one hand, with environmental protection and the respect for human rights and ethics on the other. I would like to highlight the importance of these aspects. We are the only intelligent beings on Earth and we have to work for our own development, but we also have to make sure we do not destroy environmental resources. Four of five years ago, the idea of creating an Earth Chart was put forward and a series of meetings was held, promoted by the United Nations. Italy had contributed, at the time, by organising a congress and I hope that it will manage to give its own contribution at the Budapest conference, also reproposing the idea of an Earth Chart.

I would particularly like to welcome the young people participating in this conference and to stress the importance of education and culture in general. Genetics and biochemistry are, together with physiology and other natural sciences, the basic elements of biotechnology. However, scientific education does not only include technological aspects, but is much wider. As regards biodiversity, today it is assumed that there are about 100 million species on earth. Of these, only 1/10 is known, and still quite superficially, from the genetic and molecular standpoint. For this reason we must make sure we do not destroy biodiversity, especially the part we still do not know.

I believe that biodiversity and biotechnologies, if properly combined, can guarantee mankind's future well being, by producing sufficient amounts of food, new medicines, bio-industrial products and by ensuring the recovery of polluted natural resources. However, in Italy and Europe, biodiversity and biotechnologies seem to be seen as juxtaposed. There is a growing ecological fear: the fear, for instance, that genic pollution may affect ecological balance and destroy biodiversity, or the fear of health risks related to transgenic produce and

* Presidente dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
** Dipartimento di Agrobiologia e Agrochimica, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.
*** Relazione presentata in occasione della I[a] Conferenza Internazionale UNESCO «Biotecnologie e Società del XXI secolo». Genova, 22-23 marzo 1999. In pubblicazione anche negli «Atti della Conferenza Internazionale sulle Biotecnologie».

products. I think strict regulations and controls must be implemented to prevent any risk and this is already done by various organisations, like FAO, the English Royal Society and the European Union, not to mention the US Food and Drug Administration.

Thorough and reliable information should be provided, especially to young people. Public opinion should be made aware that financial support for the preservation of biodiversity in the developing countries does not only help the economies of those countries but it also represents an investment for the well-being of future generations, all over the world.

The biodiversity-biotechnologies issue is also a political and economic issue. The world can be divided in two groups of countries: countries that are rich from a genetic point of view and countries rich in technologies. But the main juxtaposition between the countries is a commercial one and it exists among the rich countries themselves, not between them and the poorer ones, which need their resources to feed their own people. In the Convention on biodiversity of 1992, genetic resources have been declared heritage of the countries where they are found. Moreover, biotechnologies are more and more being commercialised, mainly because research is increasingly funded by private institutions, which obviously look for economic return.

Indeed, the question of economic support of research in general, and particularly in this field, involves Italy as well. In Italy, public funds for research have decreased in the last ten years, but financement from private funds is not jet enough sensible.

From a more scientific point of view, I would like to talk about how biotechnologies and biodiversity can benefit from one another. Biotechnologies can contribute to the preservation of biodiversity. An example is provided by the chemical synthesis of taxol, a substance used to treat cancer; the genetic transformation of *Taxus brevifolia*, the plant in which taxol is found in, has resulted in a faster growth and in the vitro-production of taxol. The use of molecular and genetic markers for the preservation of genetic resources is another good example of the benefits of using biotechnologies.

Biotechnologies can also be extremely useful for environmental decontamination. Many organisms can be found in nature, which are useful for the elimination of pollutants and biotechnologies can improve the way we use them. These are only some samples why I highlight the importance of combining biodiversity and biotechnologies.

As regards food availability for an ever-increasing population, I will only mention the need to develop research and biodiversity preservation plans directly in the affected countries.

As for bio-industry, many products can today be obtained by using natural resources in the best possible way, through a proper and controlled application of biotechnologies.

To sum up, biotechnologies improve the way we exploit natural resources and thus give an added value to biodiversity.

So, biotechnologies need biodiversity. Biodiversity should therefore be studied and preserved, not only for purely environmental purposes, but also for economic ones. This issue is also a political one and involves global policies. This is certainly recognised by many international organisations, including the UN and many UN agencies. In Italy, the International Institute for Plant Genetic Resources one of the 18 international institutes for international agronomic research belonging to the CGIAR system, was established in Rome in 1994. This institution, sponsored by FAO, World Bank and other international and national entities, is carrying on, thanks also to its regional offices, a basic activity especially in the field of collecting, maintaining, evaluation and exchange of plant genetic resources all over the world.

In conclusion, there are economic, political, but also commercial issues, which make agreements between the various countries extremely difficult to achieve. Existing needs and problems, however, need to be met and faced urgently. Among these, the protection of the environment and of biodiversity and their fair exploitation through biotechnologies are one of the greatest challenges towards greater harmony and equality among all human beings. Thank you.

1. Introduzione

Biodiversità e biotecnologie possono apparire, a prima vista, due realtà molto distanti, accomunate solo dall'oggetto di studio rappresentato dagli esseri viventi. La biodiversità, infatti, presuppone catalogazione, caratterizzazione e conservazione delle risorse naturali poiché riguarda lo studio delle diverse forme viventi nel loro habitat naturale, mentre la ricerca biotecnologica si svolge prevalentemente nell'ambito dei laboratori di biologia molecolare, di genetica, di biomedicina, ecc. In realtà esistono numerosissimi punti di contatto tra le due aree, relazioni che tendono a divenire sempre più strette, molteplici e complesse, di pari passo con l'approfondimento delle conoscenze nei due settori.

Biodiversità e biotecnologie sono, fortunatamente per l'uomo, due grandi risorse che, per eredità di patrimonio naturale e per prodotto dell'intelligenza, se sapremo combinare adeguatamente le loro potenzialità, rappresenteranno una garanzia per il futuro «benessere» del genere umano. Esse costituiranno una garanzia biologica e permetteranno di ottenere una maggiore sicurezza alimentare per la crescente umanità, ma anche di produrre nuovi farmaci e prodotti bioindustriali, di recuperare risorse naturali inquinate (suolo, acqua) e ambienti degradati, di ridurre la concentrazione di carbonio atmosferico, ecc.

Le risoluzioni finali del World Food Summit, convocato dalla FAO (l'Agenzia delle N.U. per l'agricoltura e l'alimentazione) nel novembre 1996 e svoltosi a Roma con la partecipazione di Capi di Stato e di Governo e di delegazioni politico-tecniche di 187 Nazioni, esprimono il deciso impegno dei Governi di affrontare con tutti i mezzi, con l'ausilio della scienza, delle tecnologie e della cooperazione internazionale e di portare a soluzione entro i primi decenni del XXI secolo, la questione di una sufficiente disponibilità alimentare e della sicurezza nutrizionale per tutti gli esseri umani. Nel corso del suddetto Summit, tra i numerosi richiami ai problemi delle risorse genetiche vegetali ed animali, spiccava l'appello rivolto da G.T. Scarascia Mugnozza e da M.S. Swaminathan, Presidente dell'Accademia Indiana delle Scienze Agrarie, e sottoscritto da circa mille scienziati, esperti e tecnici di un'ottantina di Paesi. Il tema dell'appello riguardava la conservazione e l'utilizzazione della biodiversità, essenziale per l'agricoltura e la produzione agroalimentare, e riconfermava e reclamava al più alto livello dei responsabili dei Governi della Terra la necessità, superando difficoltà e ritardi, di dare totale e rapida attuazione al dettato della «Convenzione per la Biodiversità (CBD)», presentata alla «Conferenza dell'ONU per l'Ambiente e lo Sviluppo» (Rio de Janeiro, Giugno '92) e sottoscritto da 172 Paesi.

Tuttavia, nonostante le manifestazioni di solidarietà verso i più poveri e malnutriti, ricorrendo a tutti gli strumenti scientifici e tecnici disponibili, l'opinione pubblica è — in generale — perplessa e dubbiosa, perché oggi in Italia e nell'Unione Europea, aree culturalmente e scientificamente avanzate, ha spazio una visione riduzionistica, non olistica né globale, che contrappone la biodiversità dono (buono) di

madre natura alle agrobiotecnologie (frutto pericoloso della scienza). In vari gruppi di pensiero e nell'opinione pubblica è diffusa una «paura ecologica», il timore, ad esempio, che l'introduzione di geni di origine non vegetale nelle piante transgeniche possa determinare un'alterazione degli equilibri ecologici per «inquinamento genico» dell'ambiente e conseguente distruzione di biodiversità, o che il cibarsi dei prodotti di piante ed animali transgenici rappresenti un rischio per la salute.

È indubbio, ed essenziale, che ai timori di possibili pericoli derivanti da innovazioni tecnologiche all'ecosistema Terra, come al singolo individuo, si debba rispondere con rigorose e ripetute sperimentazioni e controlli accurati. Tali rischi devono essere scientificamente fugati, entro i limiti probabilistici di ogni più ragionevole dubbio, così come è doverosa una responsabile valutazione delle implicazioni di ogni applicazione tecnologica del progresso scientifico sul piano etico e della compatibilità con i diritti ed i valori umani e con la salvaguardia dell'ambiente.

L'interesse crescente dell'opinione pubblica mondiale, e in particolare dei paesi industrializzati, per la difesa dell'ambiente ha determinato una sensibilizzazione verso i problemi della conservazione della biodiversità. La percezione e la consapevolezza dell'importanza della salvaguardia delle risorse naturali residue, tuttavia, spesso sono estremamente superficiali, con una notevole componente di ingenuità e sentimentalismo, e non tengono conto di una serie di implicazioni scientifiche, ma anche politiche, economiche, storiche, sociali e culturali. La mancanza di un'analisi approfondita di questi problemi spesso determina un atteggiamento di condanna nei confronti dei Paesi in via di sviluppo, scaricando interamente su di essi la responsabilità e l'onere della custodia e della conservazione della biodiversità residua. I Paesi in via di sviluppo, però, non dispongono delle risorse economiche necessarie e, anche per motivi socioculturali, tendono a considerare le aree protette come un ostacolo alla disponibilità di nuove superfici coltivabili, che contribuiscano a soddisfare le esigenze alimentari di una popolazione in rapida crescita. I Paesi sviluppati, invece, dovrebbero intervenire più attivamente sostenendo, con le loro incomparabilmente maggiori risorse economiche, organizzative e scientifiche, l'onere connesso alla salvaguardia della biodiversità nei Paesi in via di sviluppo. Solo negli ultimi anni si sta assistendo ad un impegno crescente dei Paesi del nord del mondo verso il sostegno delle iniziative di studio e conservazione delle risorse naturali che, per la loro dimensione economica e la complessità scientifica ed organizzativa, ma anche per le implicazioni politiche e diplomatiche, non possono che esplicarsi in un ambito sovranazionale. Sarebbe opportuno che, attraverso un'opera costante di divulgazione a tutti i livelli, l'opinione pubblica dei Paesi sviluppati divenisse consapevole del fatto che il sostegno finanziario finalizzato alla salvaguardia della biodiversità dei Paesi in via di sviluppo non rappresenta soltanto un aiuto per le economie di questi paesi, ma anche e soprattutto un investimento per il benessere delle generazioni future di tutta l'umanità. Le foreste, per esempio, svolgono un ruolo fondamentale e di importanza crescente nel contrastare l'effetto serra, attraverso l'assorbimento di CO_2 e l'emissione di 0_2; impediscono i processi

di erosione e desertificazione dei terreni, che rendono rapidamente inutilizzabili da parte dell'agricoltura i terreni disboscati; rappresentano un'enorme riserva potenziale di organismi e di geni utili nei settori agricolo e medico e forse anche utilizzabili a fini industriali ed energetici. La rapida estinzione, determinata dalla deforestazione, di un numero crescente di specie animali e vegetali, in molti casi prima ancora che vengano individuate e classificate, rischia di privare l'umanità, senza che ne sia consapevole, di fondamentali risorse alimentari e farmaceutiche. Non si può pretendere, però, che le molte centinaia di milioni di affamati, malnutriti, poveri in tutto il mondo rinuncino allo sfruttamento immediato, per i loro più fondamentali bisogni, delle risorse naturali attuali in considerazione delle potenzialità economiche ed ambientali e nell'interesse di tutti, poveri e ricchi. L'unica alternativa è di garantire a costoro gratificazioni immediate e tangibili attraverso aiuti economici immediati, che rendano conveniente la conservazione della biodiversità, piuttosto che lo sfruttamento indiscriminato e miope delle risorse naturali.

Sebbene oltre 170 Paesi abbiano sottoscritto gli impegni della Convenzione sulla Biodiversità (Rio de Janeiro, 1992), l'azione svolta a livello sopranazionale, ad esempio da Agenzie dell'ONU, come la FAO e l'UNEP, non sembra trovare ampia ed effettiva rispondenza nel contesto delle posizioni e dei progetti nazionali ed internazionali. Eppure, proprio nel settore della biodiversità, la FAO opera dal 1965 con un crescendo di iniziative, tra le quali: la commissione intergovernativa per le risorse fitogenetiche, le conferenze tecniche internazionali, il piano mondiale di azione avviato negli anni '90, la rete delle collezioni *ex situ* composta — soprattutto — dalle unità del germoplasma degli Istituti internazionali aderenti alla rete CGIAR, in cui — peraltro — sono già raccolte oltre 500.000 accessioni. Questi organismi hanno spesso stimolato la costituzione, specie nel terzo mondo, di programmi scientifici e servizi tecnici per la tutela dell'agrobiodiversità. Anche per le risorse zoogenetiche sono in atto programmi FAO, come: censimenti, basi di dati, progetti di ricerche sulla variabilità genetica tra le razze delle specie in produzione zootecnica, ecc.

Comunque, l'impegno più rilevante nella conservazione delle risorse genetiche di interesse agrario è quello dell'IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute), diretto continuatore dell'IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources), promosso ed istituito a Roma dalla FAO nel 1974. L'IPGRI, Istituto internazionale sponsorizzato e finanziato da FAO, Banca Mondiale, UNEP, Banche regionali e da numerosi Governi, tra i quali l'Italia (in virtù di una legge italiana del 1994 la sede centrale dell'IPGRI è in Roma), ha il compito statutario — attraverso programmi di ricerca e di formazione ed una serie di centri regionali — di monitorare, conservare e favorire l'uso sostenibile delle risorse genetiche per il benessere del genere umano.

Inoltre, nel 2000 è previsto, su proposta del «Forum dell'OCSE per la Megascienza», l'avvio del progetto di istituzione di un'infrastruttura globale per raccogliere, accumulare e integrare tutte le basi di dati sulla biodiversità e disseminare le

informazioni dalle sequenze geniche ai genomi, alle specie, agli ecosistemi. Questa struttura mondiale di bioinformatica, una realizzazione dei presupposti della CBD, sarà utile non solo al coordinamento delle ricerche finalizzate alla conoscenza ed alla tutela della biodiversità, ma anche per una sua ragionata valorizzazione — attraverso la ricerca scientifica e tecnologica — per la salute e l'alimentazione umana, per la gestione dell'ambiente e delle sue risorse, per la produttività agricola e industriale, per il recupero di terre degradate, ecc.

In realtà, il nocciolo duro del problema biodiversità-biotecnologie è, attualmente, forse più politico-economico che scientifico, ed è influenzato principalmente da tre fattori: diversità di posizione e interessi contrastanti tra Paesi «geneticamente ricchi» e Paesi «tecnologicamente ricchi»; processi di «nazionalizzazione» della biodiversità; e operazioni di «commercializzazione» delle innovazioni biotecnologiche. Il mondo infatti, grosso modo, può essere diviso in: Paesi ricchi geneticamente e Paesi ricchi tecnologicamente; i primi, nei cui territori, nel corso dei millenni e per favorevoli condizioni ambientali, la biodiversità si è evoluta ed accresciuta: sono i paesi della fascia tropicale e subtropicale, spesso poveri o poverissimi, appesantiti dalla sovrappopolazione nel loro sforzo di sviluppo economico e tecnico-scientifico. I Paesi ricchi di tecnologie sono i paesi economicamente avanzati, anche se, in relazione al progresso biotecnologico, possono essere divisi in due gruppi. Un primo gruppo, in cui la ricerca e le applicazioni nelle biotecnologie godono di ampio consenso, è costituito soprattutto dagli USA, grazie anche alla brevettabilità ampiamente consentita ed al consenso sociale verso le decisioni della FDA (Food and Drug Administration), dell'EPA (Environmental Protection Agency) e delle Commissioni di esperti dello USDA (United States Department of Agriculture), e dal Giappone ed altri Paesi dell'Asia orientale (Corea, Singapore); il secondo gruppo è costituito dall'Unione Europea, con differenze di atteggiamento più o meno marcate tra i Paesi membri, ad esempio nei confronti della direttiva sulla protezione giuridica delle invenzioni biotecnologiche, approvata in maggio '98 dal Parlamento europeo e poi dal Consiglio dei Ministri, con l'opposizione dell'Olanda e l'astensione del Belgio e dell'Italia, e che è attualmente all'esame dei Governi per il suo recepimento, con eventuali modifiche, nelle legislazioni nazionali.

In conseguenza dell'applicazione della «Convenzione sulla biodiversità» del 1992, le risorse genetiche appartengono al Paese in cui si trovano, e perciò non sono più eredità, patrimonio dell'intera umanità; pertanto, è in corso un processo di progressiva «nazionalizzazione» della biodiversità. Parallelamente, lo sviluppo tumultuoso delle ricerche e delle innovazioni in biologia molecolare ed in ingegneria genetica e le moltiplicazioni e diffusioni delle innovazioni biotecnologiche, molte anche sostenute da investimenti di capitali privati, e riconosciute dalla sopracitata protezione brevettuale, hanno portato ad un colossale sfruttamento delle invenzioni biotecnologiche (costrutti genici modificati, farmaci e alimenti da piante e animali transgenici, ecc.). Gli interessi contrastanti hanno determinato una contrapposizione conclamata durante il Congresso di Cartagena (Colombia) del feb-

braio 1999, che ha visto schierati da una parte USA, Giappone e altri cinque Paesi grandi produttori agricoli e sull'altro versante il «Gruppo dei 77», al quale appartengono Paesi in via di sviluppo, mentre l'Unione Europea ha assunto una posizione intermedia, ma con qualche ambiguità nel suo interno.

2. Considerazioni basate su conoscenze e fatti di scienza e di tecnologia

Di seguito sono riportati alcuni esempi che, in genere, rientrano nei settori di nostra competenza, cioè l'agrobiodiversità e le agrobiotecnologie, anche per l'alto valore economico, per la dimensione etica (sicurezza alimentare e cibo per tutti) e per le implicazioni, di grande attualità, di politica commerciale di queste applicazioni.

È difficile giustificare razionalmente perché le biotecnologie vengano considerate una minaccia per la biodiversità, visto che questa rappresenta la materia prima alla quale attingere per il reperimento di geni utili da trasferire. Le maggiori potenzialità offerte dalle biotecnologie all'utilizzazione della biodiversità, infatti, dovrebbero contribuire a valorizzare ulteriormente le risorse genetiche, determinando un maggiore interesse, anche economico, per la loro conservazione. Quello del taxolo, una sostanza inibitrice della mitosi, attiva contro alcune forme tumorali, è forse uno degli esempi più eclatanti di come le biotecnologie possano contribuire alla salvaguardia della biodiversità. Il taxolo è una sostanza presente in concentrazioni molto basse negli aghi e nella corteccia di *Taxus brevifolia*, una conifera che cresce in un areale molto ristretto della costa nord-occidentale degli USA e si sviluppa molto lentamente; quindi, l'estrazione del taxolo da queste piante, per soddisfare le crescenti esigenze terapeutiche, potrebbe mettere seriamente a rischio la sopravvivenza di questa specie. Attualmente è in corso la sintesi chimica del taxolo (o la modificazione chimica del taxotere, estratto dal più diffuso *Taxus baccata*); tuttavia la trasformazione genetica di *T. brevifolia* con i geni *rol* di *Agrobacterium rhizogenes* ha permesso di ottenere una crescita molto rapida di radici, che presentano una concentrazione più elevata di taxolo, permettendo la sua produzione efficiente in vitro. Un esempio analogo è quello del *Catharanthus roseus* (precedentemente classificato come *Vinca rosea*), dalle cui foglie si estraggono gli antitumorali vincristina e vinblastina, presenti in concentrazioni bassissime; anche le cellule coltivate in vitro di *Catharanthus roseus*, però, sono in grado di produrre le sostanze antitumorali.

Si tenga presenta che l'estrazione minima garantita di un composto può richiedere la distruzione di tonnellate di materia prima. Ciò può comportare, se si tratta, ad esempio, di alberi della foresta tropicale, grave danno all'ecosistema, alla biodiversità e al germoplasma di determinate specie. Attraverso la conoscenza, per via biochimica e molecolare, dei processi di sintesi e l'isolamento e manipolazione dei geni-chiave, si può modificare geneticamente l'organismo, la pianta, per ricavarne produzione di massa dei composti di interesse terapeutico e, perciò, commerciale.

3. Caratterizzazione e utilizzazione della biodiversità tramite la biologia molecolare e le biotecnologie

3.1. *Valutazione*

Il progresso biotecnologico ha reso disponibili una serie di marcatori molecolari sempre più efficienti, prima gli RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) e successivamente quelli che si basano sull'amplificazione mediante PCR (Polymerase Chain Reaction), quali STS (Sequence Tagged Sites), SSR (Simple Sequence Repeats), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), CAPS (Cleaved Amplified Polymorphic Sequences), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), ecc.

Utilizzando tali marcatori è possibile ottenere una valutazione più accurata delle relazioni tassonomiche e filogenetiche esistenti tra le specie e della distribuzione della variabilità genetica al loro interno. Queste informazioni possono essere di grande importanza nella predisposizione dei programmi di campionamento del germoplasma.

3.2. *Conservazione*

I marcatori molecolari possono svolgere una funzione fondamentale anche nei programmi di conservazione delle risorse genetiche, sia *in situ* che *ex situ*. Uno dei problemi principali da affrontare nella conservazione *ex situ* è quello dell'erosione della variabilità genetica determinata dalla coltivazione del materiale in un ambiente diverso da quello originario. Il monitoraggio, mediante i marcatori molecolari, del livello di variabilità genetica esistente nelle collezioni di germoplasma permette di ridurre, almeno in parte, questo inconveniente. La possibilità di caratterizzare i singoli genotipi mediante «fingerprinting», inoltre, permette di eliminare le duplicazioni di accessioni genotipicamente uguali, riducendo le dimensioni delle collezioni. Ciò consente anche di costituire «core collections», cioè di condensare il massimo di variabilità genetica in un numero ridotto e più facilmente gestibile di accessioni.

Nelle strategie di conservazione *in situ* della biodiversità i marcatori molecolari possono essere altrettanto utili nell'individuazione e nella predisposizione di aree protette, parchi, ecc. in cui si concentra il massimo di variabilità e nel monitoraggio della variabilità genetica al loro interno.

Le tecniche, dunque, fornite dalla biologia molecolare sono di estremo vantaggio per la conservazione e la valutazione delle risorse genetiche presenti nell'ambito della biodiversità, ancora tanto ignota, ma anche per la loro utilizzazione.

3.3. *Utilizzazione*

L'utilizzazione delle risorse genetiche rappresenta sicuramente l'area in cui le biotecnologie, nell'accezione più avanzata del termine, possono svolgere un ruolo

fondamentale, come nel caso del miglioramento genetico delle specie vegetali ed animali di interesse agrario.

La disponibilità di mappe genetiche sature basate su marcatori molecolari aumenta enormemente l'efficienza di trasferimento di geni utili dal germoplasma ai materiali coltivati, accelerando i programmi di selezione e migliorandone la precisione. L'uso di marcatori strettamente associati al gene da trasferire, sempre possibile quando è disponibile una mappa satura, permette di effettuare la selezione già nei primi stadi di sviluppo della pianta, senza dover attendere la manifestazione fenotipica del carattere. Ciò può essere particolarmente utile nelle specie che hanno un ciclo di sviluppo o una fase giovanile molto lunghi, ad esempio nelle specie arboree o forestali. Negli animali l'uso dei marcatori può essere molto importante per effettuare la selezione anche nel sesso che non manifesta il carattere, ad esempio per la produzione di latte nei tori. Usando le mappe genetiche è possibile anche impostare strategie completamente nuove di miglioramento genetico, quale quella denominata «genotipo grafico» che, selezionando per il ripristino del genotipo ricorrente e non per il carattere da trasferire, grazie al monitoraggio con marcatori distribuiti sull'intero genoma, dimezza il tempo necessario per i programmi di reincrocio. L'identificazione di marcatori associati a QTL (Quantitative Trait Loci) consentirà, inoltre, di estendere i programmi di trasferimento genico dal germoplasma, finora limitato ai caratteri qualitativi, anche a una serie di caratteri agronomicamente importanti. Lo sviluppo delle conoscenze di biologia cellulare e delle tecniche di coltura *in vitro* ha reso possibile, superando le barriere di incompatibilità tra alcune specie, un ampliamento del pool genico al quale attingere per i programmi di *miglioramento genetico* delle piante coltivate.

Molto maggiori sono le possibili applicazioni degli strumenti biotecnologici più avanzati, in particolare dell'isolamento e trasferimento di geni specifici, nell'utilizzazione delle risorse genetiche. In questo caso, infatti, il pool genico disponibile per il miglioramento delle singole specie può essere ampliato enormemente, fino a comprendere anche specie tassonomicamente lontanissime; uno dei primi esempi di trasferimento ed espressione di un gene esogeno nelle piante, d'altronde, ha riguardano l'introduzione in tabacco del gene *AroA*, derivante dal procariote *Salmonella typhimurium*, che conferisce resistenza all'erbicida glifosato. Il trasferimento con tecniche di ingegneria genetica di geni come il «*barnase*», codificante per una ribonucleasi, che, posto sotto il controllo di un promotore specifico che si esprime solo nell'antera può determinare la maschiosterilità, consentirà la produzione efficiente di ibridi F_1, e lo sfruttamento dell'eterosi, in piante autogame come il frumento, con sensibili aumenti di produzione.

Le biotecnologie potranno contribuire anche all'attuazione di un'*agricoltura meno inquinante*, basata sull'uso di quantità ridotte di pesticidi ed erbicidi, attraverso l'ottenimento di piante transgeniche resistenti agli insetti, ai patogeni e ad erbicidi a largo spettro più facilmente degradabili e meno tossici per l'uomo. L'utilizzazione delle piante transgeniche, tuttavia, non è scevra da rischi, che vanno

valutati con estrema attenzione, anche se tali pericoli sono di natura diversa rispetto a quelli che colpiscono maggiormente l'immaginario collettivo dei non addetti ai lavori. Un esempio dei rischi che si corrono è quello dell'uso dei geni *Cry*, codificanti per le tossine Bt che determinano la resistenza agli insetti. Le tossine Bt di *Bacillus thuringiensis* rappresentano da alcuni decenni un eccezionale insetticida biologico, molto selettivo ed innocuo per gli animali superiori e per molti insetti utili. Tali tossine, inoltre, vengono degradate molto rapidamente, evitando l'inquinamento ambientale. L'introduzione, con tecniche di ingegneria genetica, dei geni *Cry* di *B. thuringiensis* in piante di cotone, mais e patata ha prodotto piante resistenti ad alcuni insetti parassiti, permettendo — tra l'altro — di ridurre i costi dovuti allo spargimento dell'insetticida Bt. Già nel 1997 negli USA sono stati coltivati 3,6 milioni di ettari di piante transgeniche che esprimono geni codificanti per le tossine Bt (2,8 milioni di ettari di mais, 0,7 di cotone e 0,1 di patata). La coltivazione di piante Bt su superfici molto estese, però, potrebbe determinare una pressione selettiva eccessiva, superiore a quella derivante dall'uso dell'insetticida, favorendo l'insorgenza di resistenze alla tossina negli insetti parassiti. Ciò sarebbe estremamente grave perché priverebbe l'agricoltura di un efficacissimo strumento non inquinante per il controllo degli insetti nocivi che, attualmente, non ha alternative, se non il ritorno all'uso di insetticidi chimici. L'insorgenza di ceppi resistenti può essere contrastata con la coltivazione di aree rifugio di adeguate dimensioni con piante non resistenti e non trattate con insetticidi, che alleggerirebbero la pressione selettiva; ma purtroppo non è certo facile convincere gli agricoltori della necessità di adottare queste pratiche, accettando piccole perdite attuali in funzione di enormi vantaggi futuri. Un'alternativa potrebbe essere quella del «pyramiding», cioè dell'introduzione di più geni di resistenza per lo stesso insetto o patogeno, che ridurrebbe moltissimo la probabilità di sviluppo di fonti di resistenza. Questa soluzione non è attualmente disponibile per le resistenze agli insetti perché non sono disponibili geni analoghi ai *Cry*, anche se, recentemente, sono stati identificati geni che codificano per tossine insetticide ad ampio spettro nel batterio *Photorhabdus luminescens*. L'eventuale utilizzazione di questi geni, però, richiederà un lungo lavoro di caratterizzazione, ma è prevedibile, visti i progressi nello studio dei geni di resistenza e nella comprensione dei meccanismi molecolari alla base dell'interazione ospite-parassita, che ben presto saranno disponibili nuovi geni di resistenza, sia agli insetti che ai patogeni. Anche per le resistenze ai patogeni, naturalmente, occorrerà evitare che una pressione selettiva eccessiva e la resistenza basata su un unico gene determinino lo sviluppo di ceppi resistenti.

Le biotecnologie offrono la possibilità di sviluppare piante resistenti ai virus, mentre finora l'unica alternativa per la lotta a questi temibili patogeni vegetali era basata sulla prevenzione e sulla lotta ai vettori. Attualmente sono disponibili diverse strategie per ottenere piante resistenti attraverso le biotecnologie: la trasformazione con geni codificanti per proteine del capside virale, con sequenze antisenso o con ribozimi.

Il recente completamento della determinazione della sequenza nucleotidica dell'intero genoma (97 milioni bp) del nematode *Caenorhabditis elegans*, una specie modello per gli studi di genetica molecolare e dello sviluppo, potrebbe avere importanti ricadute nello sviluppo di nuove forme di lotta e di resistenze genetiche ai nematodi parassiti di materiale di interesse agrario.

Nell'accettazione delle biotecnologie da parte dell'opinione pubblica mondiale sicuramente avrà un peso notevole il ruolo che esse giocheranno nei Paesi in via di sviluppo. La disponibilità a basso costo di materiali resistenti ottenuti mediante approcci biotecnologici, infatti, potrebbe essere estremamente benefica per i Paesi in via di sviluppo, i quali, non disponendo di mezzi economici adeguati per l'acquisto di pesticidi, subiscono pesanti perdite produttive determinate da attacchi di insetti e patogeni.

L'introduzione di geni per la resistenza ad erbicidi ad ampio spettro, ma rapidamente biodegradabili, come il glifosato o il glufosinato, permette di ridurre l'impatto ambientale determinato dal controllo delle infestanti.

In *zootecnia* potranno essere estremamente utili i vaccini a DNA, che presentano numerosi vantaggi rispetto ai vaccini tradizionali. La loro introduzione potrà contribuire a ridurre l'uso di antibiotici nel settore zootecnico, con tutte le conseguenze negative di sviluppo di ceppi microbici resistenti, e permetterà, grazie alla stabilità a temperatura ambiente, la loro utilizzazione anche nei Paesi in via di sviluppo, nei quali spesso non esiste una catena del freddo adeguata ed efficiente.

Le biotecnologie possono dare un contributo fondamentale alla *decontaminazione ambientale* («bioremediation») da idrocarburi e da altre sostanze organiche e da metalli pesanti. È stato ottenuto, ad esempio, un ceppo ingegnerizzato di *Escherichia coli* che esprime un sistema di trasporto del mercurio e sovraesprime la metallotionina, che lega il mercurio. Sono stati ottenuti bioreattori contenenti queste cellule modificate di *E. coli*, che permettono una rimozione molto efficiente del mercurio dalle acque e dai terreni inquinati. È stata ottenuta una riduzione della concentrazione di mercurio nei terreni trattati da 2 mg/l a 5 μg/l ed un accumulo di mercurio nelle cellule di *E. coli* di 18 mg/g di cellule secche. Ma sono numerosi gli esempi di impiego di microrganismi, funghi o piante per la rimozione di sostanze inquinanti quali: trinitrotoluene, bifenoli policlorurati, toluene, etilbenzene, xilene, ecc. Il risanamento, il recupero ambientale può essere un esempio tipico di come l'integrazione fra biodiversità e biotecnologie possa essere estremamente proficua. Nell'ambito della biodiversità, infatti, sarà possibile rintracciare gli organismi più adeguati per la rimozione di una determinata sostanza inquinante, mentre l'applicazione delle biotecnologie permetterà di esaltare tali caratteristiche e di elaborare metodi, adottare processi e realizzare impianti «bioindustriali» (ovvero industrie biologiche).

In alcuni casi le biotecnologie possono contribuire ad eliminare caratteristiche indesiderate, come sostanze tossiche, da alcune specie o ad esaltare *i valori nutrizionali*, ad esempio migliorando la composizione aminoacidica delle proteine. Un

esempio del primo caso è quello, in corso, della trasformazione della cassava con sequenze antisenso, che bloccano la sintesi di glucosidi cianogenici tossici nelle foglie e nelle radici eduli della pianta. Per quanto riguarda il miglioramento delle caratteristiche nutrizionali attraverso le biotecnologie è abbastanza emblematico il caso della vitamina E. La normale dieta alimentare è piuttosto carente in vitamina E, una sostanza che ha una potente azione antiossidante e detossificante nell'organismo. L'α-tocoferolo ha un'attività vitaminica molto maggiore rispetto al suo precursore γ-tocoferolo, ma è molto meno abbondante. Nell'olio di soia, ad esempio, l'α-tocoferolo rappresenta il 7% del tocoferolo totale. La conversione del γ-tocoferolo in α-tocoferolo viene effettuata dall'enzima γ-tocoferolo metiltransferasi (γ-TMT). La trasformazione di *Arabidopsis* con il gene codificante per la γ-TMT, posto sotto il controllo di un promotore specifico per i semi, ha permesso di alterare completamente le proporzioni tra i due tipi di tocoferolo, ottenendo il 95% di α-tocoferolo nei semi delle piante.

Ma i progressi più eclatanti delle biotecnologie nel prossimo futuro deriveranno, verosimilmente, dall'integrazione e dalle sinergie tra tre settori: 1) quello delle conoscenze acquisite nei programmi di determinazione delle sequenze nucleotidiche dell'intero genoma di alcune specie animali e vegetali, molte delle quali in uno stadio ormai avanzato; 2) gli studi di regolazione genica e genetica dello sviluppo; 3) la tecnica dei «gene chips» o «DNA chips».

Nelle piante è in uno stadio molto avanzato la determinazione della sequenza dell'intero genoma di *Arabidopsis thaliana* e, contemporaneamente, crescono continuamente le conoscenze sulla funzione e sulla regolazione spaziale e temporale di determinate sequenze geniche. Stanno aumentando vertiginosamente, ad esempio, le informazioni sulle complesse interazioni tra i numerosi geni, alcuni di tipo omeotico, che sono alla base dell'induzione fiorale e della formazione delle strutture del fiore. L'insieme di queste conoscenze, e in particolare quelle derivanti dai progetti di determinazione delle sequenze genomiche, dovrebbero rappresentare le munizioni per il «caricamento» dei «DNA chips», che probabilmente costituiscono una tecnica assolutamente rivoluzionaria, paragonabile all'innovazione rappresentata dalla PCR durante l'ultimo decennio. I «DNA chips» consistono in decine di migliaia di oligonucleotidi di sintesi a sequenza specifica ancorati su una piastrina di silicio di piccole dimensioni con un procedimento fotochimico analogo a quello utilizzato per l'ottenimento dei chip semiconduttori elettronici. Essi permettono di sondare e confrontare contemporaneamente, velocemente ed automaticamente migliaia di sequenze nucleotidiche. Essi sono particolarmente utili negli studi funzionali, di espressione genica differenziale, tessuto-specifica e temporale. Questa tecnica sta già dando importanti risultati nella diagnostica medica, ad esempio nella caratterizzazione delle mutazioni del gene codificante per la fosfoproteina p53, la cui assenza o alterazione è implicata nella predisposizione al carcinoma mammario. Il fattore limitante principale verso un'applicazione più efficace ed estensiva di questa tecnica agli studi di espressione genica anche nelle piante è costituito dal numero

piuttosto limitato di sequenze attualmente conosciute; tale inconveniente dovrebbe essere superato rapidamente con il completamento dei programmi di determinazione delle sequenze genomiche. L'elevato livello di conservazione interspecifica delle sequenze geniche codificanti per determinare funzioni, ormai ampiamente dimostrato, dovrebbe permettere di estendere rapidamente le conoscenze acquisite nelle specie modello anche alle specie di interesse agrario. Il caso del riso è particolarmente favorevole per diversi motivi: 1) grazie alle dimensioni ridotte del suo genoma è stato inserito tra le specie modello di cui è in corso il sequenziamento genomico; 2) è una delle specie più importanti per l'alimentazione umana; 3) la sua stretta affinità genetica con gli altri cereali importanti (frumento, mais, orzo) consentirà un trasferimento immediato e diretto delle informazioni acquisite anche a queste specie, più difficili da studiare per le dimensioni molto maggiori dei loro genomi.

4. Biodiversità e biotecnologie: sinergia o antagonismo?

È facile prevedere che l'incremento tumultuoso delle conoscenze determinerà anche un aumento parallelo delle possibilità di intervento con strumenti biotecnologici, che permetteranno di modificare estesamente il metabolismo delle piante, alterandone una serie di caratteristiche fisiologiche, morfologiche, produttive ed adattative. Tra gli argomenti che vengono utilizzati contro l'applicazione delle biotecnologie in agricoltura vi è quello di un presunto pericolo per la conservazione della biodiversità. Eppure, se utilizzate adeguatamente e con prudenza, le biotecnologie, come già visto, potrebbero contribuire in maniera sostanziale alla salvaguardia della biodiversità. L'umanità, nei prossimi decenni, dovrà affrontare una sfida cruciale, quella di dover fare fronte alle esigenze alimentari crescenti determinate dalla continua crescita demografica che, secondo proiezioni prudenziali, porterà la popolazione mondiale a 8 miliardi nei prossimi venti anni. Per sfamare questa sconfinata moltitudine occorreranno incrementi sostanziali delle produzioni agricole. È difficile ipotizzare che si possano ottenere sostanziali progressi produttivi, così come avvenne con la «rivoluzione verde», intervenendo sulle tecniche agronomiche e con il miglioramento genetico tradizionale, visto che nelle specie più importanti i livelli produttivi raggiunti dovrebbero essere ormai molto vicini al limite massimo consentito dalle caratteristiche metaboliche della specie. L'unica via per aumentare la produzione alimentare, in assenza di elementi nuovi, sarebbe l'ampliamento delle superfici coltivate, che determinerebbe una deforestazione ancora più intesa di quella attualmente in atto, con conseguente riduzione della biodiversità. Non va dimenticato, inoltre, che la maggior parte delle superfici attualmente ricoperte da foreste, e potenzialmente disponibili per la coltivazione, sono costituite da ecosistemi estremamente delicati, che riescono a determinare una crescita vegetale così rigogliosa solo grazie ad un equilibrio raggiunto nel corso di millenni. Come è ormai ampiamente dimostrato, questi terreni sono estremamente

poveri, salvo per un sottile strato superficiale, che garantisce produzioni elevate solo per pochi anni. La coltivazione distrugge rapidamente la fertilità di questi terreni che, in breve tempo, vanno incontro a processi inarrestabili ed irreversibili di erosione e desertificazione, che ne fanno lande desolate ed inutilizzabili.

Un intervento radicale sulle caratteristiche delle specie alimentari, determinando ulteriori e sostanziali incrementi produttivi direttamente, modificando il loro metabolismo, ad esempio l'efficienza fotosintetica, o indirettamente, riducendo le perdite dovute a stress biotici o abiotici, rappresenta l'unica speranza di poter fare fronte alle crescenti esigenze alimentari dell'umanità. È evidente che solo le biotecnologie hanno la capacità di modificare completamente le caratteristiche delle piante e degli animali. È oltremodo opportuno che vengano effettuati adeguati e severi controlli sull'applicazione di tecniche che, proprio per le loro enormi potenzialità, non sono esenti da rischi. Ma non sono ammissibili rifiuti e condanne aprioristiche, basate su atteggiamenti irrazionali e sul coinvolgimento strumentale di un'opinione pubblica disinformata, fortemente condizionata e fuorviata dalle implicazioni etiche derivanti da perverse applicazioni delle biotecnologie in campo umano. Un atteggiamento di opposizione radicale alle biotecnologie e, contemporaneamente, a favore di un'agricoltura «biologica», che elimini drasticamente i pesticidi, d'altronde, rischia di essere elitario. Un'agricoltura di questo tipo, molto più costosa e meno produttiva, infatti, è ipotizzabile solo nei Paesi sviluppati, in presenza di surplus alimentari. Essa, però, non tiene conto della situazione dei Paesi in via di sviluppo, che già oggi devono affrontare situazioni drammatiche di carenza alimentare.

In conclusione, solo un uso oculato e controllato, regolarmente monitorato, delle biotecnologie, integrate con una corretta utilizzazione delle risorse genetiche naturali, potrà determinare contemporaneamente:

1) incrementi produttivi sostanziali;
2) maggiore sostenibilità ambientale delle attività agricole, grazie all'uso ridotto di fitofarmaci e antiparassitari;
3) migliore conoscenza e conservazione della biodiversità, evitando un'ulteriore deforestazione.

Ma la riflessione sul fatto che il progresso scientifico segnalerà per il benessere della nostra specie sempre nuovi obiettivi, e prospetterà nuove strategie di utilizzazione della biodiversità, ci porta ad una ulteriore conferma dell'inderogabilità di contrastare ogni attentato alla biodiversità complessivamente intesa. Infatti, secondo recenti valutazioni, fra qualche anno circa un terzo dei prodotti industriali potrebbe derivare dall'impiego di materiali di origine vegetale ed animale. Lo sviluppo della *bioindustria*, la moltiplicazione e diffusione dei suoi prodotti arrecheranno notevoli benefici sociali ed ambientali. In un parziale e disordinato elenco di materie prime, di sostanze di origine biologica, si possono includere: saccarosio, etanolo, polisaccaridi, amido e derivati, lattice, pectine, acidi organici, oli e grassi, glicerina, oli per

usi industriali, biocombustibili, lubrificanti, vernici, coloranti, cosmetici, farmaci, prodotti di sintesi da microrganismi, ecc.

Tra l'altro, sono all'inizio le ricerche per esplorare le proprietà terapeutiche di metaboliti che si accumulano nelle cellule delle tante e tanto poco conosciute specie di piante, di animali e di microrganismi, soprattutto delle foreste equatoriali. Alcune di queste specie vengono usate da tempo immemorabile nella medicina tradizionale, di altre invece le proprietà terapeutiche sono state accertate di recente ed elevate appaiono le possibilità di ulteriori scoperte.

Anche la scoperta, grazie alle tecnologie molecolari, di *prodotti terapeutici* in specie vegetali, in particolare delle foreste tropicali, si tradurrà in iniziative per la tutela della biodiversità in tali ecosistemi, inclusa ad esempio la biodiversità delle specie componenti le associazioni fungine della rizosfera, quali le micorrize, determinanti per la sopravvivenza e lo sviluppo delle piante forestali. Inoltre la capacità delle micorrize di assorbire e trasferire nelle piante elementi minerali del suolo (P, N, S, Cu, Zn) ed anche di accrescere la tolleranza a patogeni, agli stress idrici, all'inquinamento da metalli pesanti nel terreno, renderà necessario conoscere e difendere il germoplasma di tali specie fungine.

Attualmente sono in corso intensi programmi di prospezione della biodiversità alla ricerca di sostanze di interesse farmacologico. Il solo International Cooperative Biodiversity Group (ICGB), istituito nel 1992 e finanziato da alcune agenzie governative USA, in collaborazione con numerosi Paesi in via di sviluppo in Africa, Asia ed America, analizza ogni anno migliaia di campioni prelevati da altrettante specie. Questa attività, verosimilmente, porterà in breve tempo all'identificazione di molti farmaci e, quindi, si moltiplicheranno anche gli esempi di produzione biotecnologica di tali sostanze, visto che non sempre è possibile la loro sintesi chimica. Non è fantascienza prevedere che con lo studio della biodiversità, e delle sue enormi e sconosciute riserve, saranno scoperte molte altre materie prime utili per l'umanità, ottenibili con sistemi biologici animali e vegetali, e saranno messi a punto nuovi processi, nuovi metodi ed impianti di produzione, di selezione e di raffinazione.

Riteniamo che negli ultimi anni sia diventato sempre più evidente che l'uso delle «biotecnologie» valorizza le risorse genetiche, procurando cioè una sorta di «valore aggiunto» alla biodiversità. C'è, insomma, un'urgente necessità di ricerca per individuare le linee più efficienti che permettano di conciliare la conservazione della biodiversità con la sua utilizzazione economica.

5. Conclusioni

In conclusione, l'antinomia, se non la discrasia, tra biodiversità e biotecnologie rappresenterebbe un pericolo per il benessere futuro dell'umanità. Alla domanda perché le biotecnologie vengono percepite come un artificio, una forzatura inaccettabile degli equilibri naturali, e temute come estremamente pericolose e deleterie per

la conservazione della biodiversità, abbiamo cercato di dare una risposta, di dimostrare che, in realtà, un uso oculato e responsabile degli strumenti biotecnologici può essere estremamente utile nelle diverse fasi di valutazione, conservazione ed utilizzazione della biodiversità e delle risorse genetiche animali, vegetali e microbiche.

Lo sviluppo delle biotecnologie per risolvere situazioni oggi imprevedibili ha bisogno della biodiversità, che pertanto va tutelata e studiata, non solo per nobili principi di conservazione della natura, ma anche per interessi economici. Se si agisce secondo questa filosofia si fa il bene di tutti i popoli, in caso contrario, il danno, e sarà danno grave e molto pericoloso, colpirà tutti. Se il problema viene posto in questi termini, ne risulta evidente la valenza politica, che, per la sua entità e complessità e per il coinvolgimento di tutti i Paesi, non può che essere di politica globale. Questa impostazione è esplicitamente condivisa nell'ambito degli organismi internazionali, cioè delle Nazioni Unite e relative Agenzie, che agiscono di conseguenza; tuttavia — come accennato — vi sono forti contrasti e resistenze tra Paesi o tra gruppi di Paesi.

Le iniziative con crescente frequenza adottate da parte di numerose Agenzie delle Nazioni Unite dimostrano che tende ad affermarsi sempre più l'urgenza e la perentorietà dei problemi connessi alla conservazione della biodiversità. Le pietre miliari nella definizione degli obiettivi e delle priorità da seguire sono state delineate dapprima durante la «United Nations Conference on Human Environment» (Stoccolma, 1972) e, successivamente, nell'ambito della Conferenza di Rio del 1992 e della Convenzione sulla Diversità Biologica (CDB), ratificata da 172 Paesi (esclusi gli USA), cui hanno fatto seguito numerose «Conferences of the Parties» (Nassau, Bahamas, 1994; Jakarta, Indonesia, 1995; Buenos Aires, Argentina, 1996; Bratislava, Slovacchia, maggio 1998; Montreal, Canada, agosto 1998; Cartagena, Colombia, febbraio 1999). Inoltre, si sono svolte altre Conferenze Internazionali molto importanti, come quelle sulle risorse genetiche vegetali organizzate dalla FAO (International Technical Conferences on Plant Genetic Resources: Roma, 1967 e 1981; Lipsia, 1996). Tra le iniziative, sul versante della produzione agroalimentare, più interessanti nell'attuazione del principio di coinvolgimento diretto dei Paesi in via di sviluppo nella conservazione delle risorse naturali, vi sono quelle che hanno portato alla costituzione della rete di centri di ricerca del CGIAR, ai quali appartiene l'IPGRI, che — come già detto — ne coordina i programmi di valutazione, conservazione ed utilizzazione delle risorse genetiche di interesse agrario, ed alla realizzazione del programma denominato «International Cooperative Biodiversity Group» (ICBG), che ha come obiettivo principale la prospezione della biodiversità per il reperimento di sostanze biologiche farmacologicamente attive. I vantaggi derivanti dal coinvolgimento diretto dei Paesi in via di sviluppo nelle attività di valutazione, conservazione ed utilizzazione delle risorse biologiche, sia di interesse agrario che farmaceutico, sono molteplici:

1) l'istituzione di centri di ricerca finanziati dai Paesi sviluppati può svolgere un ruolo molto importante nella promozione culturale, sociale ed economica dei

Paesi in via di sviluppo, determinando anche un atteggiamento più responsabile e consapevole da parte dell'opinione pubblica di questi Paesi nei confronti della conservazione della biodiversità;

2) la conservazione *in situ* delle risorse genetiche offre enormi vantaggi rispetto a quella *ex situ*; infatti la coltivazione nell'ambiente di origine dei materiali evita il rischio di erosione genetica determinata dalla selezione in un ambiente diverso;

3) lo studio e la raccolta di germoplasma vegetale da parte di istituzioni dei Paesi sviluppati è stata percepita, spesso, come l'ennesima sottrazione di risorse naturali e di ricchezza dai Paesi emergenti; il coinvolgimento diretto dei Paesi in via di sviluppo nelle attività di valutazione, conservazione e sfruttamento delle biodiversità e la certezza di un ritorno economico adeguato potrebbero rendere politicamente accettabili questi programmi di enorme interesse, anche da parte dei Paesi emergenti più sensibili alla salvaguardia della sovranità nazionale.

Forse uno dei problemi più delicati da affrontare in questo ambito è quello della definizione di un quadro normativo sovranazionale che tenga conto contemporaneamente della necessità di garantire la remunerazione degli ingenti capitali investiti, ma anche di un indennizzo adeguato per i Paesi che forniscono il materiale biologico. La legislazione brevettuale costituisce lo strumento più efficace per proteggere i diritti derivanti dall'innovazione tecnologica e per stimolare questo processo. Tale legislazione, tuttavia, appare — allo stato — inadeguata a proteggere i diritti alla condivisione dei benefici derivanti dall'uso delle risorse naturali da parte dei Paesi fornitori. La predisposizione e la stipulazione di accordi bilaterali *ad hoc* tra Paesi in via di sviluppo e aziende private, ad esempio multinazionali farmaceutiche, o enti pubblici dei Paesi sviluppati che effettuano la prospezione biologica o che utilizzano le risorse genetiche, dovrebbe offrire maggiori garanzie di un indennizzo adeguato, sotto forma di royalties o di anticipazioni finanziarie. Ma ancora più importanti possono essere gli interventi mirati di «capacity building» nei Paesi in via di sviluppo, attraverso la formazione di tecnici e la fornitura di infrastrutture quali: laboratori di ricerca, sistemi informativi, strumentazioni avanzate, ecc. L'accettazione dei programmi bilaterali di studio, conservazione ed utilizzazione della biodiversità da parte dei Paesi in via di sviluppo richiede, oltre ad adeguati benefici economici e sociali, anche la costruzione del consenso da parte dei governi e dell'opinione pubblica di quei Paesi. Una componente essenziale per raggiungere questo risultato è il cosiddetto consenso informato, espressione mutuata della ricerca medica. Nella sua applicazione alla proprietà intellettuale ed alle risorse genetiche esso comporta la necessità di chiarire appieno le potenzialità e i vantaggi che potrebbero derivare dallo sfruttamento di determinate risorse naturali.

Tuttavia, motivi economici e di prestigio politico e profondi contrasti commerciali, derivanti anche dall'esigenza di remunerazione degli ingenti investimenti di capitali privati nella ricerca e nello sfruttamento delle biotecnologie, di cui i

Governi e le parti politiche che li esprimono devono tener conto per gli effetti sul consenso democratico, rendono molto difficile e lenta l'evoluzione verso accordi tra Paesi o gruppi di Paesi. I consigli, gli avvertimenti, i moniti ehe le categorie scientifiche possono e devono, in onestà intellettuale, dare ai Governi, agli Organi politici deliberanti, al Potere, sembrano godere, generalmente, di un'attenzione e di un ascolto nettamente inferiori alle espressioni di interessi di categorie economiche e produttrici di beni materiali. Eppure, per un più efficace ed equilibrato rapporto biotecnologie-biodiversità, sarebbe determinante un'intensificazione dei progetti di ricerca, con grande libertà di indirizzo. Ecco alcune tracce. Ricerche sulle più diverse interazioni, a livello di sistema e di specie ed a livello macroscopico, microscopico, molecolare, tra modificazioni genetiche e biodiversità; sulle connessioni tra diffusione delle coltivazioni transgeniche ed impatti con altri sistemi biologici; sulla composizione e sulle variazioni genetiche e di patogenicità nelle popolazioni di parassiti animali e vegetali interagenti con organismi geneticamente manipolati; sugli effetti sulla flora, sulla fauna (uccelli, anfibi, pesci, ecc.) e sulla microflora e microfauna epigea ed ipogea; sul perfezionamento delle metodologie biomolecolari di trasferimento, marcatura, attivazione, soppressione di funzioni geniche, ecc. Ricerche sugli aspetti nutrizionali e di sicurezza alimentare delle derrate e dei prodotti trasformati; sulle positive modificazioni nell'agro-ecosistema per il ridotto uso di prodotti di sintesi o per la maggior adattabilità alle condizioni ambientali o per il recupero delle aree inquinate o improduttive; sull'impiego di indicatori agroambientali sintomatici per rilevare modificazioni nell'agrobiodiversità; sulle misure e norme di controllo e di sicurezza e sulla scelta dei parametri più indicativi sulla capacità di sequestrare CO_2 nei tessuti vegetali; nella fissazione di azoto di simbionti e non; sulle possibilità di aumentare biomassa per produrre energia. Ed ancora: programmi globali per l'immagazzinamento e distribuzione delle informazioni sulla biodiversità; programmi di monitoraggio ambientale a largo spettro ed a lungo termine; studi e previsioni bioeconomiche, ecc.

L'aumento della massa, della qualità, della pluralità delle informazioni scientifiche dovrebbero accrescere la capacità dei ricercatori di prevedere interazioni, positive o negative, nell'impiego delle biotecnologie e di impostare ulteriori studi e ricerche volti — entro ambiti sempre più ampi di accettabilità di rischio (*il rischio zero non esiste*) — ad offrire garanzie sull'idoneità e sui vantaggi dell'impiego controllato delle biotecnologie e di ottenere prodotti biotecnologici più accettabili.

Negli ultimi decenni si è formato nei riguardi della scienza, considerata neutrale, di scarso spessore etico, dimentica delle sue responsabilità verso la società ed invece più funzionale ad interessi di competizione economica e politica, un clima di diffidenza e di sospetto. Ma poiché la scienza (quella naturalistica come quella umanistica e speculativa) è indispensabile per l'avvenire dell'umanità nella difesa della natura e delle sue risorse, gli scienziati devono tenere aperto il dialogo con la società, con un'opinione pubblica più colta, o perlomeno più informata, ristabilendo un clima di fiducia e di confidenza. Gli scienziati e gli esperti devono sentire

la missione, l'impegno etico e morale di accrescere il patrimonio di conoscenza e di innovazioni tecnologiche nella compatibilità con i diritti ed i valori umani; devono dimostrare di contribuire ad un equilibrato sviluppo sostenibile, alla realizzazione di una biosfera sostenibile perché economicamente praticabile ed ecologicamente compatibile; devono dimostrare che la scienza può portare benefici effetti e che la ricerca biotecnologica, entro i limiti di ogni più ragionevole dubbio, tende a ridurre i rischi entro termini comparabili con i rischi di tanti altri processi e prodotti adottati dalla società.

Ecco perché la sinergia «biodiversità-biotecnologia» si avvantaggerà del continuo impegno fatto di studi, di osservazioni, di analisi, di prove, di ipotesi di lavoro, di fatti sperimentali, del dialogo degli scienziati ed esperti con l'opinione pubblica, con i mezzi di informazione, con i responsabili della politica e dell'amministrazione.

E poiché i problemi, le condizioni, i fatti, le esigenze, molteplici e diverse, dei popoli e degli individui, le novità tecnico-scientifiche, le situazioni socio-economiche, si moltiplicano incessantemente e spesso con caratteri di globalità, intelligenza e interesse vorrebbero che razionali interventi per governare tali eventi sopravvenissero con tempestività, lungimiranza, equità e solidarietà fra le Nazioni. Tra queste situazioni, la tutela della natura e dell'ambiente e delle sue risorse (tra le quali non è ultima la biodiversità), la corretta valorizzazione della biodiversità anche attraverso biotecnologie, buone ed efficienti, costituiscono una delle maggiori occasioni, una sfida planetaria per procedere verso un «benessere» e una «armonia» tra esseri umani, intelligenti difensori e protettori della natura.

È auspicabile la diffusione della consapevolezza delle globali dimensioni sociali, politiche, economiche e scientifiche del tema «biodiversità-biotecnologie» e che essa si instauri prima che iniziative inconsulte, nel mondo sia più che meno avanzato, portino a perdite insostituibili di biodiversità e/o ad applicazioni di biotecnologie, con uso di prodotti da esse derivanti, non rigorosamente selezionate e controllate.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (1995), «Plant-product and crop biotechnology». Special issue. *Trends in Biotechnology*, 13(9):311-409.

AA.VV. (1995), *Science*, 621:654-691.

BARLOW B.A. and TZOTZOS G.T. (1995), «Biotechnology». In: Heywood V.H. and Watson R.T. (Eds.), *Global Biodiversity Assessment*, pp. 671-710, UNEP, Cambridge Univ. Press.

European Commission (1998), *Cultural and social attitudes to biotechnology*, European Communities, Luxembourg.

European Commission (1998), *Looking at the biotechnology consumer*, European Communities, Luxembourg.

SCARASCIA MUGNOZZA G.T. (1995), *The protection of biodiversity and the conservation and use of genetic resources for food and agriculture: potential and perspectives*, 19th McDougall Memorial Lecture, FAO, Roma, 1995.