Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
119° (2001), Vol. XXV, pp. 269-285

ENRICO PORCEDDU *

Agricoltura, biodiversità, biotecnologie **

Introduzione

Agricoltura, biodiversità e biotecnologie: tre termini, presentati spesso come discordanti se non in contrapposizione, ma che invece costituiscono un insieme i cui componenti si alimentano e fortificano vicendevolmente, il paradigma dell'agricoltura del passato e quello del sistema agricolo del futuro. Prima di affrontare l'esame di alcuni aspetti di queste relazioni, sembra opportuno fornire una definizione dei termini.

«*Agri cultura …* – scrive Marco Terenzio Varrone nel suo *De re rustica* – *… est scientia quae sint in quoque agro serenda ac facienda quo terra maximos perpetuo reddat fructus*». Cioè, l'agricoltura è … la scienza che insegna quali colture piantare in un tipo di terreno e quali operazioni condurre in modo che la terra dia le più elevate produzioni possibili in perpetuo.

L'agricoltura è quindi scienza, non arte o tecnica, ma conoscenza che guida le decisioni. Quanto questo sia vero è messo in evidenza dalla costruzione di modelli colturali decisionali: un modello decisionale per la coltivazione delle patate prevede, ad esempio, oltre 7000 decisioni solo per le operazioni che precedono la semina. La definizione contiene anche la risposta al dibattito attuale sulla produzione e sostenibilità delle coltivazioni: ottenere le produzioni più elevate possibili in perpetuo. Le produzioni più elevate perché l'esercizio dell'agricoltura è attività economica, attività da cui cioè bisogna trarre un reddito, ma le produzioni massime debbono essere compatibili con la prosecuzione dell'attività in un futuro senza fine.

Il concetto anticipa quello espresso nel 1860 da J. von Liebig, il fondatore della chimica agraria e dei concimi chimici, che specifica: «L'interesse dell'agricol-

* Uno dei XL. Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.

** Relazione presentata al Primo Convegno Nazionale della U.N.A.S.A. su «Biotecnologie agroalimentari, industriali, ambientali: problemi e prospettive», Roma, 1-2 ottobre 2001.

tore non è quello di conseguire elevate produzioni delle colture a scapito del terreno che ne causerebbero il suo precoce impoverimento. Piuttosto dovrebbe essere nell'interesse dell'agricoltore, come in quello della Società, raggiungere produzioni elevate che crescano costantemente su base permanente».

La biodiversità – recita l'articolo 2 della Convenzione sulla diversità biologica, approvata a Rio de Janeiro nel 1992 dai rappresentanti di oltre 150 nazioni – è «ogni tipo di diversità tra gli organismi viventi, compresi, fra gli altri, gli ecosistemi terrestri, marini ed acquatici ed i complessi ecologici di cui essi sono parte; essa comprende la diversità entro specie, tra specie e tra ecosistemi». La diversità biologica abbraccia, quindi, un campo vastissimo, dalla differenza tra ecosistemi marini, acquatici e terrestri, a quella tra ecosistemi naturali ed agroecosistemi, fino a quella tra le piante della stessa popolazione, ossia tra individui che condividono un pool genico comune, secondo la definizione di Dobzhansky. Il legame tra biodiversità ed agricoltura non potrebbe quindi essere più stretto, come si vedrà meglio più avanti.

Le biotecnologie – recita ancora lo stesso articolo 2 della già citata Convenzione sulla diversità biologica – comprendono «qualsiasi applicazione tecnologica che utilizzi sistemi biologici, organismi viventi o loro derivati per produrre o modificare prodotti e processi per uso specifico». L'agricoltura è stata, quindi, la prima vera forma di biotecnologia nel suo significato più ampio, in quanto usa le piante, veri bio-reattori naturali, per ottenere prodotti, e altri organismi, per la trasformazione delle derrate: farina in pane, latte in formaggio, mosto in vino, ecc. Biotecnologie è, tuttavia, un termine abbastanza recente; coniato durante la prima guerra mondiale per indicare le tecniche di produzione di mangime per l'alimentazione dei suini a partire dagli scarti della lavorazione della barbabietola da zucchero, viene oggi riservato a quelle tecniche che fanno uso di metodi biologici avanzati, frutto di recenti messe a punto, sulla base dell'avanzamento delle conoscenze. I legami tra agricoltura, biodiversità e biotecnologie non vengono tuttavia meno, anche se si collocano ad un altro livello.

Per esaminare questi legami e le implicazioni connesse vengono svolte alcune considerazioni sul modo con cui essi hanno interagito in passato e su quali prospettive esistano per il futuro.

Agricoltura e Biodiversità

Gli antropologi ritengono che, circa 200.000 anni addietro, gli esseri umani abbiano iniziato a mettere a punto tecnologie e che circa 50.000 mila addietro, almeno in alcune zone del pianeta, facessero ormai uso di strumenti tecnologici, come ad esempio le selci per trasformare ossi e corna in strumenti da caccia e da offesa o per costruire ornamenti. Si trattava di popolazioni che traevano il proprio sostentamento dalla raccolta di semi, tuberi, rizomi e frutta e, quando la caccia aveva successo, carne fresca, come confermano le analisi della dieta di alcune società primitive attuali. Forse esse erano anche in grado di modificare in qualche modo l'am-

biente e favorire certe piante a scapito di altre. Gli scienziati ritengono, tuttavia, che queste popolazioni umane abbiano avuto ben poco impatto sulla vegetazione e sulle diverse specie di piante e animali, comprese quelle da cui traevano gli alimenti, anche se probabilmente avevano imparato, a loro spese, quali alimenti erano velenosi e quali diventavano eduli dopo la cottura o una qualche trasformazione.

Fu solo con l'avvento dei primi embrioni di economia agricola che le cose cambiarono. Il sostentamento veniva ancora dall'attività di raccolta, ma iniziarono le prime pratiche agricole elementari su piante delle specie già oggetto di raccolta. Semi e parti di piante venivano seminati e piantati in aree che erano state preventivamente ripulite, per diminuire la competizione, o nella battigia degli stagni e dei fiumi. Venivano anche introdotte specie dalle regioni vicine, mentre le popolazioni umane diventavano sempre più sedentarie. Avvenivano anche le prime domesticazioni degli animali: si intensificava quell'evoluzione culturale, risultato del lento cambiare delle relazioni ecologiche tra gli esseri umani e le piante e gli animali, da cui gli uomini traevano gli alimenti e di cui erano ormai conoscitori. Prese l'avvio la Rivoluzione agricola o Rivoluzione neolitica, che doveva cambiare il corso delle vicende umane in modo radicale:

— aumentò la popolazione, favorita dalla disponibilità di alimenti derivanti dalle coltivazioni;
— cambiarono le relazioni tra la popolazione umana ed il territorio, perché una persona iniziava a non avere più bisogno di quei 250 ettari di ecosistema naturale da cui trarre i 300 chilogrammi di semi per anno (2500 kcal/d; 3 kcal/g di semi) necessari per il suo sostentamento, come calcola D. Pimentel (oggi il valore è di un ettaro a persona, su scala mondiale);
— iniziava la stratificazione sociale, come risultato della maggior disponibilità alimentare assicurata ad alcune persone dalla coltivazione dei terreni migliori, dalla maggior disponibilità di animali o da abilità personali.

La rivoluzione neolitica cambiò anche il rapporto dell'uomo con la natura, perché quando gli ecosistemi naturali sono convertiti in ecosistemi agricoli, i cambiamenti sono irreversibili; si rompono, infatti, sostituiti da quelli agricoli e non più ripristinabili, i meccanismi che consentono agli ecosistemi naturali di assorbire le forze che tendono a cambiarli; le piante coltivate e gli animali domestici non possono ritornare allo stato selvatico.

Cambiò l'uso della biodiversità: delle numerose specie, che l'uomo utilizzava per raccoglierne e consumarne certe parti – semi, tuberi, radici, frutti, ecc. – o con cui aveva un qualche rapporto, solo alcune vennero domesticate, operando una prima forte riduzione della diversità biologica utilizzata (Fig. 1).

Cambiò, con la domesticazione, l'evoluzione delle specie in coltivazione o in allevamento. In un tempo relativamente modesto dal punto di vista evolutivo, molta della variabilità che caratterizzava le popolazioni iniziali – il meccanismo di tamponamento contro le variazioni ambientali che si verificano da un anno all'altro –

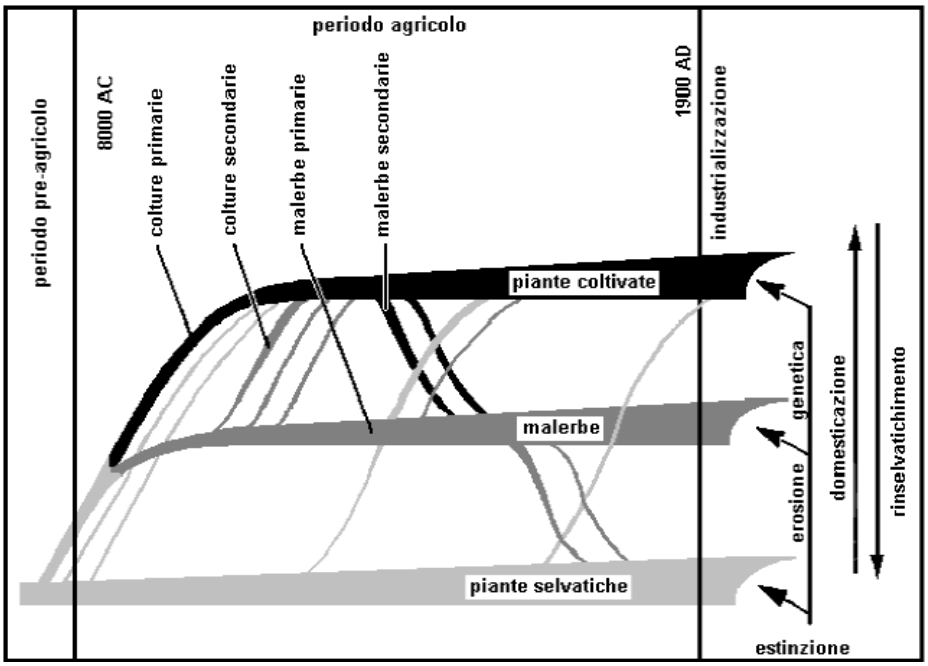

Fig. 1. Coevoluzione di specie coltivate, piante infestanti e specie selvatiche (Da: Hammer K., Th. Gladis e A. Diederichsen, 1997. Weeds as genetic resources. Plant Genetic Resources Newsletter, 111:33-39).

scompare sotto la pressione selettiva, operando una seconda grande riduzione della variabilità genetica (Fig. 1).

Cambiarono, sotto le pressioni selettive, molte caratteristiche delle piante:

— si affermarono le piante che erano in grado di crescere e produrre in ambienti disturbati e persero definitivamente l'esigenza di vivere in ambienti indisturbati;
— si persero i meccanismi di disseminazione, che assicuravano la separazione dei semi dalla pianta madre e la loro distribuzione l'uno lontano dall'altro, in modo da evitare la competizione tra individui simili e da facilitare il contatto e lo scambio pollinico con altri individui;
— si perse o almeno si affievolì la dormienza dei semi, il meccanismo che impedisce ai semi delle specie selvatiche di germinare tutti contemporaneamente, esponendo tutta la discendenza agli stessi fattori ambientali;
— cambiò il ciclo biologico di molte piante, alcune da perenni divennero annuali, come si è verificato per il riso, la manioca, la segale, ecc.;
— aumentò, nelle piante che diventavano annuali, il rimescolamento dei geni durante la meiosi ed aumentò l'effetto della selezione ed il ritmo evolutivo;

— diverse specie, come ad esempio la patata e gli agrumi, persero la capacità di produrre semi veri, dall'unione di gameti;
— aumentò la dimensione dei semi, dei frutti, degli organi di immagazzinamento delle riserve, a scapito di altre parti caratteristiche, quali ad esempio la numerosità della discendenza, non più fattore di fitness, ormai assicurata dall'agricoltore.

Cambiavano, nel contempo, molte delle caratteristiche degli animali domestici.

Si tratta di un insieme di caratteristiche che allontanarono le specie domesticate da quelle selvatiche, rendendo difficile e poi impossibile lo scambio genico. Nei pressi dei campi coltivati erano presenti aree indisturbate, in cui continuavano a crescere e produrre le piante selvatiche, come intorno gli allevamenti erano presenti animali selvaggi, con i quali le specie domesticate potevano e possono, ancora oggi, in teoria, scambiare geni. In pratica i più vincolanti meccanismi meiotici dei tipi selvatici, che rendono più facile l'incrocio tra maschi selvatici e femmine domesticate che viceversa, e la mancanza di capacità competitiva, dovuta ai fattori appena considerati e donata agli ibridi dai tipi domesticati, fanno in modo che i rari ibridi che si possono formare si trovino più nei campi coltivati (e negli allevamenti) che in quelli naturali. Lo scambio genico è quindi pressoché unidirezionale (Fig. 1), rimpinguando, per una certa entità, la diminuita variabilità delle popolazioni domesticate.

Nei campi degli agricoltori primitivi difficilmente si aveva una sola specie, come si può verificare ancora oggi nelle colture tradizionali o in quelle in cui l'agricoltore non adotta idonee pratiche colturali. Nei campi coltivati della Mezzaluna fertile, loro centro di domesticazione, si avevano frumenti diploidi e tetraploidi ed orzo, che producono una spiga ed hanno semi vestiti, e quindi poco separabili, mentre non mancavano altre specie, come ad esempio l'avena, che costituì una delle prime specie infestanti. È ipotizzabile che l'agricoltore, anche quello primitivo, abbia scelto il materiale per la generazione successiva, come testimoniano le osservazioni condotte da Vavilov, che vede, nelle caratteristiche delle specie mediterranee ed in particolare nella dimensione dei semi, l'opera esercitata dall'uomo durante millenni di coltivazione. Si trattava di una selezione e, come tale, elemento di diminuzione della variabilità.

La scelta del materiale per la generazione successiva consentì anche di cogliere e propagare gli eventuali nuovi tipi, man mano che si formavano, determinando così un allargamento della variabilità. È il caso, ad esempio, della nascita ed affermazione del frumento tenero, esaploide, ibrido naturale tra *T. dicoccum*, coltivato, ed *Aegilops squarrosa*, selvatica; le sue spighe vennero notate dall'agricoltore nei campi coltivati, isolate e moltiplicate dando origine ad una nuova specie, il frumento da pane, che non è presente in natura.

Sono diversi i meccanismi grazie ai quali la diversità è aumentata. Dalle aree in cui è nata, poche o molte, ristrette o ampie esse siano state, l'agricoltura si diffuse lungo le vallate fluviali, penetrando nelle valli più remote e raggiungendo zone ed

aree con caratteristiche pedoclimatiche diverse da quelle delle zone in cui si erano originate. Sotto l'influenza dei fattori ambientali i geni mutavano e le nuove varianti, distribuite dalla ricombinazione, venivano vagliate ad ogni generazione dalle forze selettive, naturali ed umane, dando luogo alle razze locali, diverse da zona a zona e ricche di variabilità. La somma della variabilità delle razze è di gran lunga superiore a quella dei tipi primitivi e spesso anche a quella dei tipi selvatici.

Un altro motivo dell'allargamento della diversità è quello della nascita di nuove colture, le cosiddette colture secondarie. È emblematico il caso dell'avena che, migrando come specie infestante dei campi di frumento e di orzo, trovò nel Centro e Nord Europa condizioni ambientali più idonee a crescere e produrre più delle stesse specie della coltura principale e diventò, ben presto, dominante, quasi coltura pura, dando origine ad una nuova specie coltivata, lontano dal luogo in cui sono presenti le specie selvatiche affini.

L'agricoltura doveva conoscere anche una seconda importante evoluzione a partire dal Rinascimento europeo. Fino a quel periodo, oltre due terzi della popolazione umana era impegnata nella produzione agricola ed il rifornimento alimentare era una delle maggiori preoccupazioni dei governanti. Con la rivitalizzazione culturale del Rinascimento presero l'avvio i grandi viaggi di esplorazione e, in seguito, venne inventata la ricerca scientifica.

I grandi viaggi di esplorazione ebbero un momento significativo nella scoperta dell'America e nel contatto con specie domesticate completamente sconosciute nel vecchio mondo. La coltivazione di alcune di queste specie, come patata, pomodoro, fagiolo, ecc., seppur avvenuta dopo una lunga presenza come curiosità botanica, alterò in modo significativo la diversità, la distribuzione geografica e l'intensità di coltivazione delle specie ed aumentò la capacità di produrre alimenti. È il caso della patata che, introdotta in Europa alla fine del XV secolo, doveva rimanere confinata negli orti botanici per quasi due secoli, prima che si scoprisse che poteva essere coltivata su diversi tipi di terreno e dare, specie in Centro e Nord Europa, produzioni elevate, superiori a quella delle specie da seme fino a quel momento coltivate; il diffondersi della sua coltivazione generò un sistematico surplus alimentare da collocare sui mercati, consentendo il rifornimento alimentare per i primi lavoratori delle industrie. Cosa abbia significato la patata per molte aree dell'Europa è bene illustrato da quanto avvenne in Irlanda intorno al 1840, quando la mancata produzione delle colture di patata per due anni consecutivi costrinse all'emigrazione un quarto della popolazione di quel paese.

La seconda conseguenza della rivitalizzazione rinascimentale fu l'invenzione della ricerca scientifica moderna, i cui risultati hanno dato luogo a nuove tecnologie. Dapprima fu l'interesse per i principi medicinali a promuovere la ricerca sulle piante, con l'istituzione degli orti botanici, i primi dei quali nacquero in Italia nel 1500. L'interesse si allargò poi alle piante agrarie e agli animali domestici. Nel 1700 sorsero le prime Stazioni Sperimentali in Germania, Francia, Gran Bretagna, Italia, ecc. Fervevano i dibattiti e le discussioni presso le società scientifiche e le accade-

mie, alle cui riunioni venivano presentati i risultati delle sperimentazioni. Oltre ai già citati risultati di J. von Liebig, sono da ricordare quelli di Gregorio Mendel, che scoprì i principi dell'eredità e pose la selezione delle piante e degli animali su basi scientifiche, e di L. Pasteur, che avviò la valorizzazione del mondo microbico e del suo ruolo nel trasformare gli alimenti. Iniziò a cambiare la produzione e trasformazione delle derrate alimentari e l'agricoltura diventò progressivamente dipendente dalle conoscenze messe a punto dalla ricerca scientifica. Questo fervore di ricerca e l'innovazione tecnologica, che man mano ne derivava, determinarono, nelle diverse colture del mondo allora sviluppato, una serie di aumenti produttivi che consentirono di smentire le pessimistiche previsioni di R. Malthus, a partire proprio dall'Inghilterra, il paese sulla cui popolazione e produzione aveva basato i suoi calcoli.

I miglioratori genetici vagliavano con sistematicità scientifica la diversità accumulatasi in secoli di coltivazione tra ed entro le popolazioni, ed estraevano da esse le linee che meglio si adattavano alle migliorate condizioni di terreno, che iniziava ad essere coltivato in modo più razionale. Nascevano le prime varietà migliorate che si diffondevano con rapidità, scacciando dalla coltivazione le vecchie varietà locali e dando luogo ad un terzo restringimento della variabilità genetica. Anche nel settore animale iniziava il miglioramento genetico su basi scientifiche, dando luogo alla formazione delle razze moderne.

Non vi era, tuttavia, scambio deliberato di geni, che incominciò solo quando i miglioratori genetici iniziarono ad utilizzare la variabilità fino ad allora accumulatasi per combinare in un unico nuovo individuo i caratteri di pregio posseduti da due individui diversi. È appena il caso di accennare che il primo incrocio eseguito in Italia, su frumento, da Strampelli aveva proprio lo scopo di combinare la bassa taglia della varietà Noè con la resistenza alla ruggine della varietà Rieti, in modo da avere un frumento più basso e resistente alla ruggine.

La costituzione e diffusione di queste nuove varietà a partire da individui diversi non fu senza polemiche, 100 anni addietro, tra gli stessi ricercatori, tra chi sosteneva, cioè, l'effettuazione della sola selezione nella variabilità esistente e chi propugnava l'esecuzione di incroci per allargare la variabilità da cui selezionare e combinare i caratteri di individui diversi. Era in qualche modo un'anticipazione della discussione oggi in atto sugli OGM.

Ben presto l'effettuazione degli incroci si affermò e le nuove varietà si diffusero con rapidità impressionante: basti ricordare che nel 1926 solo il 20% dei terreni italiani a frumento erano interessati da nuove varietà, mentre sei anni dopo, nel 1932, la percentuale era salita a 60%.

L'esecuzione degli incroci non pose, come non pone oggi, particolare difficoltà e le progenie erano, come sono anche oggi, fertili, trattandosi in molti casi di materiali appartenenti alla stessa specie e quindi senza barriere riproduttive. Questi materiali costituiscono cioè quell'insieme di risorse genetiche, oggi denominato pool genetico primario (GP1), nell'ambito del quale sono stati reperiti un numero veramente elevato di mutanti utili ad assicurare tolleranza ai fattori ambientali e resistenza ai patogeni nelle diverse specie (Tabella 1).

Tabella 1 – *Fonti intraspecifiche di resistenza a malattie in alcune specie coltivate.*

Specie	Resistenza a:
Zea mais	*Helminthosporium turcicum* *H. maydis* *Gloeocercospora* spp. *Curvularia* spp. *Cercospora* spp. *Macrophomina phaseoli* *Fusarium moniliforme* *SDV*
Triticum	*Puccina* *Tilleria* *Urocystis* *Fusarium*
Capsicum annuum	*Xanthomonas vescicatoria* TMV
Cucumis melo	*Pseudoperonospora cubensis* *Sphaerotheca fuliginea* *Mycosphaerella melonis*
Citrullus lanatus	*Mycosphaerella melonis* *Colletotrichum lagenarium*

Per combinare i caratteri desiderati si fa ricorso a incroci e reincroci che coinvolgono una molteplicità di materiali della più diversa origine. Nel «pedigree» della varietà di riso IR64 sono presenti 20 varietà locali di otto diverse nazionalità (Tabella 2). Nelle specie allogame si affermava, invece, la costituzione di ibridi commerciali, che, sfruttando il vigore ibrido, hanno rivoluzionato la coltivazione del mais.

Erano attivi anche interessanti programmi di sostituzione delle razze animali attraverso l'introduzione di riproduttori e l'esecuzione di incroci di sostituzione. Si era ormai arrivati al punto che le nuove varietà e razze scacciavano e determinavano la scomparsa di quei materiali grazie ai quali erano stati costituiti.

Ben presto il miglioratore genetico vegetale iniziò a far ricorso, per reperire i geni che gli interessavano, anche alle specie selvatiche affini che, per essere utilizzate negli incroci, richiedono un impegno particolare e danno una discendenza che in genere presenta limitata fertilità. Anche l'uso di questo materiale appartenente al cosiddetto pool genico secondario (GP2) dà luogo a miglioramenti varietali, nelle

Tabella 2 – *Razze locali che figurano nel «Pedigree» della varietà di riso IR64.*

Razza locale	Origine	Razza locale	Origine
Gampai	Tailandia	Razza locale	India
Tetep	Vietnam	Benong	Indonesia
Mudgo	India	Kitehli Samba	India
O. nivara	India	Sinawpagh	Filippine
Tasi-Yuan Chon	Cina	Marong Paroc	Filippine
Vellaivar	India	Varietà locale	USA
Tadukan	Filippine	Pa Chiam	Cina
Chow-Sung	Corea	Seraup Besar	Indonesia
DGWG	Cina	NMS4	Tailandia
Latisail	India	Varietà locale	Cina

più diverse specie (Tabella 3). Ma anche quando si ha un successo tecnico, nel senso che l'incrocio riesce, la progenie è fertile e il carattere desiderato viene incorporato nel nuovo materiale, a volte manca il successo pratico, perché i geni utili sono associati ad altri che codificando per caratteri indesiderati, impedendo l'utilizzazione delle nuove linee selezionate. È quanto è avvenuto per i geni di resistenza alla ruggine di *Ae. umbellulata* che, trasferiti, da E. Sears, mediante metodi di ingegneria cromosomica in frumento tenero, si sono tirati dietro i geni che conferiscono colorazione gialla alla farina, impedendo l'immissione delle nuove linee nella coltivazione produttiva, sotto forma di varietà migliorate.

Si è trovato anche il modo di aumentare la variabilità mediante le mutazioni indotte sperimentalmente per mezzo di radiazioni e di composti chimici. Grazie a queste mutazioni si sono avute nuove varietà di riso in Giappone, di frumento duro in Italia, di fava in Svezia, di ricino in India, ecc.

La variabilità è aumentata anche grazie ai fenomeni di poliploidizzazione conseguente ad eventi naturali, quali ad esempio sbalzi termici o presenza di composti chimici particolari, che promuovono il raddoppiamento dell'intero corredo cromosomico. Si è già visto il caso del frumento tenero, derivante da incrocio e successivo raddoppiamento cromosomico e conseguente allargamento dell'areale di coltivazione dei frumenti, ma allo stesso modo si sono originati anche il banano, l'erba medica, il tabacco coltivato e molte altre specie agrarie. Emblematici delle possibilità sperimentali sono le fragole coltivate, risultato di un incrocio tra specie selvatiche eseguito nel 1700 nell'Orto botanico di Parigi, il Triticale, ottenuto per la prima volta nella seconda metà del 1800 in Germania ed unica specie il cui nome volgare è uguale in tutte le lingue, e più recentemente la barbabietola da zucchero ed i cocomeri, di cui esistono triploidi coltivati che non producono seme.

È attualmente intensa, in alcuni Paesi, l'attività di domesticazione sia in campo

Tabella 3 – *Fonti interspecifiche di resistenza a malattie, loro origine geografica e specie fonte della resistenza.*

Specie coltivata	Origine geografica	Specie fonte
Melo	Giappone	*Malus floribunda*
Melo	ex URSS	*Malus baccata*
Orzo	Turchia	*Hordeum spontaneum*
Cotone	Africa Centrale	*Gossypium anomalum*
Cotone	Messico	*G. hirsutum mexicanum*
Cotone	USA	*G. tomentosum*
Pisello	Asia SW	*Pisum*
Frumento	Israele, Turchia	*Triticum turgidum dicoccoides*
Frumento	Italia, Spagna	*Aegilops ventricosa*
Frumento	Turchia	*Ae. umbellulata*
Riso	India	*Oryza nivara*
Patata	Argentina	*Solanum vernei, S. spegazzinii*
Patata	Arg., Bolivia, Perù	*S. acaule*
Patata	Messico	*S. demissum, S. stoloniferum*
Girasole	USA	*Helianthus annuus, H. petiolaris*
Pomodoro	Ecuador	*Lycopersicon cheesmanii*
Pomodoro	»	*L. esculentum cerasiforme*
Pomodoro	»	*L. pimpinellifolium, L. hirsutum*
Pomodoro	Perù	*L. chmielewskii, L. peruvianum*
Vite	USA	*Vitis aestivalis, V. berlandieri*
Vite	»	*V. lincecumii, V. riparia*
Vite	»	*V. rupestris, V. labrusca*
Mais	Messico	*Zea diploperennis*
Mais	Venezuela	*Tripsacum dactyloides*

vegetale che animale. *Crambe, Cuphea, Euphorbia, Lesquerella, Stokesia, Vernonia* sono tra le specie da olio non alimentare su cui viene svolta un'intensa attività di ricerca mirata alla loro domesticazione, ripetendo quanto già sperimentato con successo con la barbabietola da zucchero, a partire dalla metà del secolo XIX, e per il mais da olio nel corso del secolo XX (Fig. 2).

Utilizzare geni da specie più lontane, anche se ancora entro il genere o la famiglia, e che costituiscono il pool genico terziario (GP3) è stato impossibile, almeno fino a quando non sono iniziate le prime forme di biotecnologie, come le colture *in vitro*, le colture di tessuto, il recupero di embrioni, ecc.

Le tecniche di ingegneria genetica molecolare consentono di utilizzare geni di qualsiasi organismo presente in natura (GP4) e scambiare geni tra procarioti ed eucarioti, allargando quindi la diversità delle specie coltivate oltre ogni misura

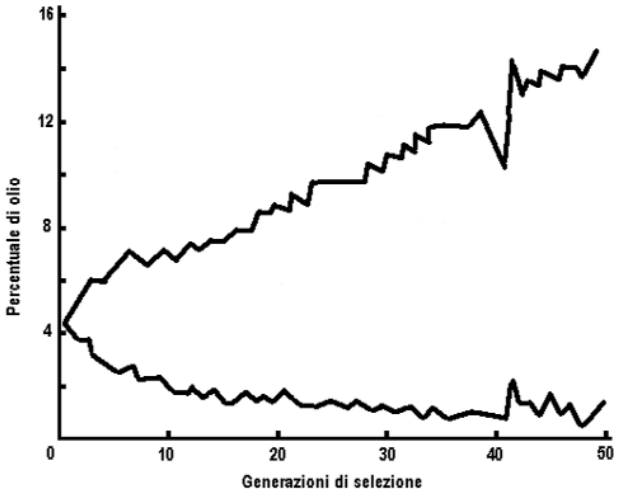

Fig. 2. Risultati delle selezione del mais per il contenuto in olio (Da: Woodworth C.M., E.R. Long, R.W. Jugenheimer, 1952. Fifty generations of selection for protein and oil in corn. Agron. Jour. 44:60-65).

finora nota; sono ormai diverse le varietà di specie coltivate che possiedono geni di batteri per la resistenza agli insetti, o geni per la resistenza al freddo, o agli erbicidi.

Biodiversità e Biotecnologie

Le biotecnologie offrono molto di più della semplice introduzione di geni da specie più o meno lontane. Esse permettono di caratterizzare il materiale biologico in modo non equivoco e quindi di disporre di informazioni utili ad una migliore comprensione della diversità biologica, nuovi metodi ed indirizzi per la sua conservazione ed un'utilizzazione più efficiente e precisa.

La stima dell'entità e distribuzione della diversità rappresenta un requisito fondamentale per la sua corretta gestione. Le biotecnologie consentono di eseguire indagini critiche sulla diversità, caratterizzando il materiale biologico vivente ed in qualche modo anche quello estinto, conservato nei musei, erbari, reperti fossili, ecc., di migliorare la qualità degli inventari, delimitare meglio i confini delle specie, valutare la distribuzione geografica della variabilità, definire le modalità con cui essa ha avuto origine e descrivendo la sua organizzazione tra specie ed entro specie. Così ad esempio le «librerie» di DNA permettono di stabilire più precise relazioni filogenetiche o di ricostruire gli eventi evolutivi di specie, popolazioni, cromosomi o singoli geni. Ciò è particolarmente rilevante nello studio di popolazioni di microrganismi, dove il fenotipo è talora di poca utilità per la caratterizzazione delle specie e delle entità sub-specifiche. Considerando il fondamentale valore dei microrgani-

smi nei processi ecologici e la loro capacità di produrre materiali e sostanze ad alto valore aggiunto, un'accurata classificazione tassonomica di queste forme viventi riveste notevole importanza non solo dal punto di vista biologico, ma anche da quello applicativo.

Le biotecnologie possono svolgere un ruolo molto importante anche nella messa a punto di strategie più efficaci di conservazione della diversità genetica sia *in situ* che *ex situ.*

Per la conservazione *in situ,* una conoscenza più accurata, grazie ai marcatori molecolari, della variabilità esistente nelle popolazioni di specie selvatiche può essere utile per: 1) selezionare e proteggere le aree con la variabilità genetica più elevata; 2) definire la dimensione ottimale delle aree, necessaria per conservare o per ripristinare l'equilibrio negli ecosistemi naturali; 3) controllare l'adeguatezza delle strategie adottate per la conservazione della variabilità genetica.

I marcatori molecolari possono essere usati efficacemente anche per la conservazione *ex situ* perché: 1) consentono un controllo più accurato della variabilità genetica disponibile; 2) possono permettere di identificare i materiali geneticamente uniformi, evitando le duplicazioni e riducendo le dimensioni delle collezioni a dimensioni di più facile gestione.

Le biotecnologie consentono inoltre la conservazione di geni che codificano per caratteri utili.

Biotecnologie e Agricoltura

Il miglioramento genetico mira ad innalzare la produzione quali-quantitativa delle specie animali e vegetali, sia aumentando la loro capacità produttiva, sia la resistenza alle malattie, ai parassiti e agli stress.

Le biotecnologie rappresentano uno strumento fondamentale nell'utilizzazione delle risorse genetiche perché facilitano l'identificazione dei geni ed il loro eventuale trasferimento sia all'interno delle specie che tra specie diverse.

La loro utilità può esplicarsi in diversi modi:

— *Miglioramento genetico assistito.* Le biotecnologie forniscono nuovi strumenti per migliorare l'efficienza della selezione durante il miglioramento genetico di piante, animali e microrganismi. I marcatori molecolari consentono di identificare la presenza di specifici geni già allo stadio giovanile, o negli individui del sesso che non prevede la manifestazione del carattere (ad esempio, latte nei tori) e sono indipendenti dal tipo di tessuto o dalle condizioni ambientali, per cui è possibile valutare una caratteristica che si esprime nei semi, anche nelle piante appena nate.

Le normali tecniche di incrocio, in particolare con specie selvatiche, determinano il trasferimento di segmenti cromosomici e non di singoli geni, malgrado l'effettuazione di ripetuti reincroci. A volte questi segmenti cromosomici possono contenere anche geni i cui effetti non sono desiderati, come si è già visto per la resistenza alla ruggine ed il colore della farina. Le mappe genetiche sature, basate su

marcatori molecolari, consentono una visione d'insieme del genoma per cui è possibile selezionare appropriatamente per il ripristino del genotipo ricorrente, riducendo le generazioni di reincrocio.

Nelle piante legnose da frutto e nelle piante forestali il valore delle biotecnologie viene accresciuto anche dal fatto che spesso l'autofecondazione non è praticabile e che gli intervalli generazionali si misurano in decenni. In molte piante forestali, in particolare le conifere, l'analisi genetica in fase aploide, condotta sui megagametofiti, consente, tra l'altro, la costruzione di mappe dettagliate ed in tempi ridotti.

— *Selezione per la resistenza a fattori avversi.* L'uso di marcatori molecolari permette l'isolamento e la caratterizzazione di geni di resistenza, di cui non si conosce il prodotto genico, e la messa a punto di «kit» diagnostici che consentono di individuare il parassita o il patogeno sulla base del suo materiale genetico, e quindi selezionare verso di esso individui resistenti.

— *Aumento delle possibilità di incrocio.* Spesso, negli incroci interspecifici e intergenerici, gli zigoti danno luogo ad embrioni squilibrati dal punto di vista ormonale, che ben presto degenerano e muoiono. Le biotecnologie consentono di recuperare gli embrioni e di coltivarli *in vitro*, pervenendo all'ottenimento di piante adulte. L'incompatibilità costituisce spesso un ostacolo insormontabile all'effettuazione di incroci interspecifici e intergenerici per l'acquisizione di geni da specie lontane; la fusione di protoplasti consente di produrre ibridi, superando le barriere sessuali; la tecnica consente anche l'ottenimento di ibridi asimmetrici con limitato scambio di materiale genetico, e di ibridi citoplasmatici.

— *Ingegneria genetica.* I metodi più elaborati di miglioramento delle piante, degli animali e dei microrganismi prevedono il trasferimento diretto di sequenze di DNA di diversa origine in un altro genoma, indipendentemente dalla distanza tassonomica esistente tra il donatore ed il ricevente.

Le basi molecolari di molti caratteri utili ai fini agronomici ed industriali di piante, animali e microrganismi sono spesso complesse e risultato di catene metaboliche ove ogni passo è regolato da uno o più enzimi. La conoscenza dei geni che codificano per questi enzimi rende possibile modificare queste catene biosintetiche modificando la natura e la qualità di molti composti organici. Nell'ambito delle piante coltivate l'amido, ad esempio, sta ricevendo grande attenzione come materiale per la produzione di polimeri biodegradabili; attraverso la modificazione di alcuni enzimi chiave si possono fare produrre alle piante diversi tipi di amido con diversa composizione e struttura chimica. La cellulosa, alla base della produzione di carta, è incrostata di lignine nelle pareti delle cellule xilematiche dei vegetali; inserendo, con la tecnica biolistica, due costrutti antisenso dei geni che codificano per la O-metil transferasi e la cinnamil alcol deidrogenasi è stato possibile ottenere piante di pioppo con quantità di lignina inferiore del 50% a quelle delle piante normali e composizione molto più simile a quella delle piante erbacee. È stato pari-

menti possibile – mediante l'inserimento del gene dell'alloro che codifica per la lauril AcP diesterasi, responsabile della terminazione precoce della catena degli acidi grassi, con accumulo di prodotti a C_{12} invece di C_{18} – ottenere piante di colza che producono semi con 40% di acido laurico, al posto del normale 0,1%. L'olio di lauro prodotto dalla colza può sostituire sul mercato l'analogo prodotto ricavato dal cocco e dalla palma.

Analogamente l'inserzione di una copia antisenso del gene per la stearato desaturasi, la cui produzione viene quindi inibita, determina un accumulo di acido stearico, che anziché essere desaturato a oleato, si accumula raggiungendo valori intorno al 40% anziché i normali 1-2%.

È stato anche possibile inserire, con la tecnica biolistica, in cotone due geni batterici codificanti per l'acetoacetil-CoA riduttasi NADPH dipendente e per la poliidrossialcanoato sintasi, che entrano con la b-ketotiolasi, già presente anche in cotone oltre che nei batteri, nella sintesi del poli-D-(-) -3-idrossibutirrato (PHB), nel lume della fibra di cotone dotandola, anche a quantità di 0,2-0,3% in peso, di minor capacità di assorbimento e rilascio del calore, assicurando, quindi, un miglior isolamento termico.

Se, in sintesi, l'obiettivo del miglioramento genetico continuerà ad essere quello di costituire nuove varietà che producono una maggior quantità di derrate, qualitativamente migliori per caratteristiche nutrizionali e tecnologiche di quelle precedenti, la gamma delle possibilità si amplia:

— più elevata produzione primaria grazie al fatto che tutta la luce incidente è intercettata dalle foglie grazie alla diversa architettura della pianta, la fotosintesi è resa più efficiente e la fotorespirazione diminuisce;
— raccolti più elevati, grazie ad una migliore efficienza della traslocazione degli assimilati verso gli organi di accumulo – semi, radici, tuberi, – che costituiscono il raccolto agricolo;
— più elevata qualità nutrizionale, per una maggior quantità di aminoacidi limitanti nelle parti oggetto di raccolta e consumo;
— più efficiente utilizzazione dei fertilizzanti, grazie a migliorate simbiosi con i batteri azotofissattori, o comunque a migliori interazioni con i microrganismi azotofissatori e rizosfera;
— più efficiente uso dell'acqua, la risorsa naturale che si va facendo sempre più rara e sempre più scarsa per l'uso agricolo;
— resistenza agli insetti ed ai patogeni che causano perdite di raccolto stimate intorno al 30 a 40% su scala globale;
— eliminazione di composti tossici, come glucosidi cianogenici o aminoacidi inusuali.

Non meno importanti sono i miglioramenti nel settore della post-raccolta quale il prolungamento del periodo di maturazione, il prolungamento del periodo

di senescenza dei fiori nelle piante da fiore, o il prolungamento del periodo di buona consistenza della frutta, specie di quella che viene consumata allo stato fresco, la sapidità dei frutti, ecc.

Da non dimenticare, a proposito di consumo, è la salubrità delle derrate destinate al consumo umano. Man mano che gli studi procedono si rafforza sempre più l'evidenza della quantità di sostanze nocive, ed in particolare quelle carcinogene, contenute nei prodotti cosiddetti naturali, sia perché prodotti dalle piante sia, più spesso, perché prodotti durante la conservazione e cottura. Si calcola infatti che il 99,99% dei carcinogeni negli alimenti siano composti organici naturali e solo 0,01% siano di origine agricola o industriale, e si stima che il consumo umano di pesticidi naturali sia circa 100.000 volte più elevato di quello dei pesticidi di sintesi. Ma mentre tutti si preoccupano della presenza dei secondi, la maggior parte della popolazione o dei mass media non si cura affatto dei primi.

Non meno importanti sono le biotecnologie nella produzione animale, come schematicamente indicato nella figura 3.

Ma esiste un altro settore, quello dei microrganismi, la cui attività viene spesso data per scontata ma che in termini di biodiversità, di importanza economica ed

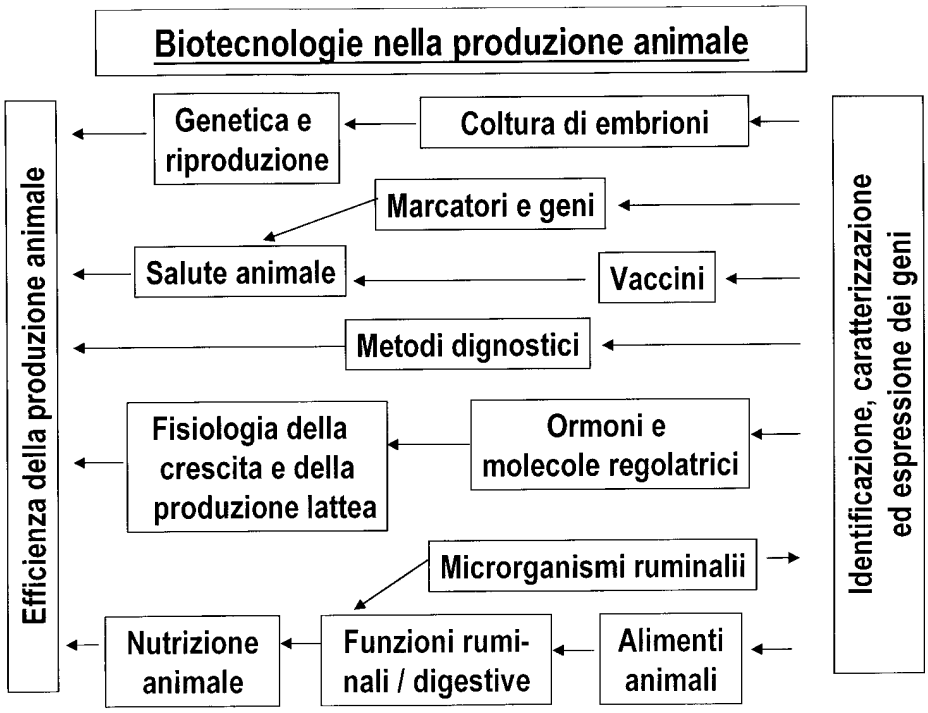

Fig. 3. Potenzialità di interventi biotecnologici nella produzione animale.

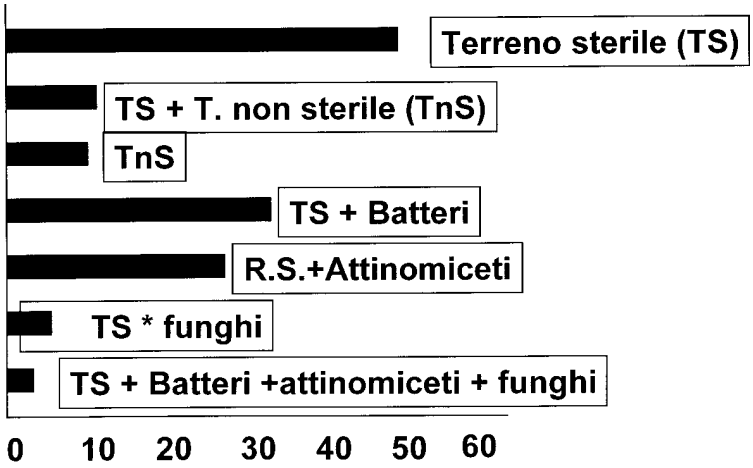

Fig. 4. Ruolo di diversi microrganismi nel difendere le radici del frumento da attacchi di *H. sativum* (Da: A.W. Henry (1931) Canadian Journal of Research 4:69-77).

ecologica e di potenzialità biotecnologica non sono sicuramente secondi a nessun altro settore.

Presentati troppo spesso come dannosi, a causa delle conseguenze dell'azione di alcuni di essi sulle piante e sugli animali, uomo compreso, i microrganismi giocano un ruolo importante nelle trasformazioni di derrate in alimenti, come ricordato in precedenza. Essi sono anche i promotori della salute degli animali e delle piante.

Viene valorizzato, anche se lentamente, l'uso dei microrganismi probiotici, quale elemento di difesa e di promozione della salute degli animali, consentendo drastiche riduzioni quando non l'abolizione dell'uso di antibiotici o di altri medicinali a scopo precauzionale. Inizia l'uso commerciale dei microrganismi nella difesa delle derrate e riacquistano interesse le ricerche sul ruolo dei microrganismi del terreno sulle condizioni di salute delle piante e sul riciclo degli scarti. Si tratta di una ricchezza impressionante di forme di vita (Tabella 4) che con i loro rapporti vicen-

Tabella 4 – *Organismi presenti in un grammo di terra.*

Organismi	Quantità
Batteri	800
Funghi	3300
Protozoi	330
Alghe	275
Vermi e insetti	1020

devoli costituiscono un ecosistema tanto ricco e prezioso quanto sconosciuto: un ecosistema che trae alimento da una serie di molecole secrete dalle radici delle piante, gli essudati radicali, fornendo nel contempo composti che difendono le radici dagli attacchi degli organismi nocivi. Illuminanti, anche se datate e condotte con tecniche meno raffinate di quelle attualmente a disposizione, sono le ricerche sul ruolo di batteri, funghi ecc. nel difendere le radici di frumento da infezioni di *Helminthosporium sativum* (Fig. 4). Altrettanto evidente è il ruolo dei microrganismi nel riciclo dei rifiuti, nelle pratiche di risanamento di terreni inquinati, ecc., riconvertendo in risorse quelli che sono i rifiuti dell'attività produttiva e degradando molecole inquinanti. È dalle sinergie tra diversità biologica e biotecnologie che si avrà, e non solo nell'ambito del sistema agricolo, un avanzamento considerevole verso una migliore qualità della vita.

Conclusioni

L'interesse strategico per la biodiversità è sottolineato dalla convenzione di Rio del 1992, che riconosce la diversità biologica come «proprietà nazionale, elemento di sicurezza dei popoli», a cui fa peraltro obbligo di adottare tutti gli accorgimenti e le azioni per la sua salvaguardia.

Allo stesso tempo l'Agenda 21, anch'essa adottata a Rio nel 1992, riconosce che le biotecnologie possono contribuire sostanzialmente allo sviluppo sostenibile, migliorando la disponibilità di alimenti, la salute umana e la protezione ambientale. Ma Agenda 21 ammonisce anche che la Comunità internazionale potrà trarre i massimi benefici dalle biotecnologie solo se queste verranno sviluppate e applicate giudiziosamente. E la convenzione sulla diversità biologica (art. 8 lettera g) fa obbligo ai governi di «regolamentare, gestire, controllare i rischi associati con l'uso ed il rilascio di organismi modificati mediante biotecnologie che possono avere impatti negativi sull'ambiente e influenzare la conservazione e l'uso sostenibile della diversità biologica».

Questo quadro apparentemente ben ordinato – in cui biodiversità e biotecnologie sono alleate nel produrre nuove opportunità per la sicurezza alimentare ed una migliore qualità della vita, e le convenzioni internazionali ricordano ai popoli la sovranità d'uso e l'obbligo di custodire – è complicata dal fatto che mentre la ricchezza in biodiversità è concentrata in alcuni paesi, le possibilità di trarre frutto dalle biotecnologie sono in altri paesi, per cui solo da una stretta alleanza fra paesi l'umanità potrà trarre, anche in questo campo, i maggiori benefici.

Gli studiosi di questi aspetti ritengono oggi che la rivoluzione neolitica e quella rinascimentale non siano avvenute sotto la tensione di una necessità ma dietro una spinta evolutiva a cui le società erano pervenute. È quella attuale dell'uso biotecnologico della biodiversità un altro di questi momenti?