SILVIO GIULIARI

TRAGUARDI E PROSPETTIVE PER IL MIGLIORAMENTO GENETICO DELLE SPECIE VEGETALI, IN PARTICOLARE DEL FRUMENTO E DEL MAIS

Il frumento e il mais sono due cereali ben conosciuti, che rivestono una grande importanza nell'economia agricola del nostro paese e del mondo intero. Secondo i dati resi noti dalla F.A.O., infatti, negli anni '80 la produzione mondiale di frumento si aggirava intorno ai 450 milioni di tonnellate e poneva questa specie al primo posto nel campo delle produzioni vegetali, seguita dal riso e dal mais rispettivamente con 390 e 380 milioni di tonnellate di granella secca.

Il frumento è una pianta tipica del Mediterraneo, il mais invece è stato importato dal nuovo mondo (1492-1494), e il suo luogo d'origine viene collocato nell'America Centrale fra il Messico e l'Honduras. In Italia comparve verso la metà del XVI° secolo, e per molto tempo la coltivazione rimase circoscritta al Veneto.

I cereali hanno contribuito in maniera essenziale alla nutrizione dell'uomo attraverso i millenni, essendo caratterizzati da un seme (frutto secco indeiscente) che, una volta essiccato, si conserva a lungo nel tempo e può essere trasferito da un luogo a un altro con sufficiente facilità. Sicuramente l'uomo ha utilizzato i semi di forme spontanee di graminacee presenti in natura, e con l'inizio dell'agricoltura ne ha fatto oggetto di coltivazione. Le notizie più antiche, documentate, relative alla coltivazione del genere «Triticum» risalgono a seimila anni prima di Cristo, e si riferiscono a un'area comprendente la Palestina e l'Egitto. Per il mais i più antichi reperti fossili (spighe) risalgono pure al VI° millennio a.C. e sono stati rinvenuti in Messico. Sicuramente esso ha contribuito allo sviluppo delle civiltà Azteche e Maia.

Le due piante sono caratterizzate da forme riproduttive assai diverse. Il frumento possiede infatti fiori ermafroditi a fecondazione autogama (un pistillo bifido e tre stami), mentre il mais è pianta monoica con il sesso maschile portato in alto (pennacchio) e quello femminile in basso all'ascella delle foglie (spiga), a fecondazione allogama. Il primo

* Comunicazione letta dall'Accademico Prof. SILVIO GIULIARI, Direttore dell'Istituto Prov. di Generica e Sperimentazione Agraria «N. Strampelli» di Lonigo, nel corso della tornata accademica tenuta nell'Odeo del Teatro Olimpico il 19 novembre 1989.

presenta quindi genotipi generalmente omozigoti, mentre il secondo è caratterizzato dall'eterozigosi.

Lo schema di miglioramento genetico di queste due piante è molto diverso.

Per il frumento, le forme più semplici del genere «Triticum» sono diploidi con n.=7 e 2n.=14. Il «Triticum monococcum» è la forma più interessante, ed è stato coltivato a lungo in Europa. Forme di graminacee spontanee affini a questa specie, con eguale numero di cromosomi e quindi con buone possibilità di incrociarsi fra loro, sono le «Aegilops» e l'«Heinaldia». Abbiamo poi un gruppo di frumenti tetraploidi con n.=14 e 2n.=28, di cui le specie più importanti sono:

«Triticum dicoccum», coltivato in Mesopotamia quattromila anni a.C.;

«Triticum turgidum», con alcuni tipi a spiga ramificata (grano del miracolo);

«Triticum durum» o grano duro, una delle specie largamente coltivate oggi.

Vi è infine il gruppo più evoluto degli esaploidi con n.=21 e 2n.=42; fra questi le specie più interessanti sono:

«Triticum spelta» o farro a granella vestita;

«Triticum compactum»;

«Triticum aestivum» o «vulgare» o grano tenero, comparso 800 anni a.C.

Tutte queste specie si sono evolute attraverso i millenni a seguito di incroci spontanei, sempre possibili, benché in misura assai ridotta (5-6%), anche nelle forme autogame; di mutazioni naturali (poliploidia); della pressione selettiva esercitata dall'ambiente e dall'uomo stesso, che ha ricercato i caratteri a lui più utili (uniformità di maturazione della granella, resistenza del rachide, spighe grosse, resistenza alle malattie).

Il miglioramento genetico praticato sino alla fine del secolo scorso era limitato alla selezione massale o genealogica. La prima è stata esercitata da tutti gli agricoltori attraverso la scelta del materiale da impiegare nella riproduzione. Questa era dettata dalla presenza di una o più caratteristiche esteriori della pianta (grandezza della spiga, colore della granella, taglia della pianta, ecc.). La selezione massale portava quindi a una uniformità dei caratteri del fenotipo, ma non incideva sul genotipo; per cui, pur cambiando d'aspetto, la pianta non cambiava nella sostanza. Con la selezione genealogica, rivolta a un solo genotipo, si potevano ottenere dei cambiamenti genetici solo se esso derivava da un incrocio spontaneo o da una mutazione spontanea; altrimenti il risultato si limitava, anche in questo caso, a una maggiore uniformità dei caratteri esteriori.

Questo tipo di miglioramento genetico aveva portato alla costituzione di numerose popolazioni locali (ecotipi) che differivano tra di loro per alcuni caratteri esteriori legati all'ambiente, ed erano chiamate «razze». Nel triangolo Lonigo-Cologna Veneta-Montagnana, caratterizzato da terreni di notevolissima fertilità particolarmente adatti a questo cereale, si erano selezionate alcune razze con caratteristiche morfologiche assai pregiate, che, essendo molto richieste dai territori limitrofi, costituivano oggetto di commercio con relativo vantaggio economico. Alcune di queste razze, denominate «Guà», «Cologna» e «Lonigo», sono presenti nel ricco catalogo di varietà di frumento di proprietà dell'Istituto di Genetica e Sperimentazione Agraria «N. Strampelli» di Lonigo. Sicuramente fra le migliori razze del nostro paese, razionalmente coltivate su terreni molto fertili e ricchi di materia organica, nei primi decenni del secolo esse producevano (nelle migliori aziende) q.li 20 di granella ad ettaro.

Una svolta decisiva nel miglioramento genetico del frumento si è avuta con l'*ibridazione*, che è stata introdotta contemporaneamente in Italia e in altri Paesi europei agli inizi del secolo.

Il merito di aver portato un rinnovamento completo nella granicoltura del nostro paese va senza ombra di dubbio al grande genetista Nazareno Strampelli, il quale aveva intuito che solo attraverso l'ibridazione era possibile riunire in una pianta i caratteri utili presenti in varietà diverse, secondo le leggi di Mendel che regolano l'ereditarietà dei caratteri. Egli aveva notato che le migliori razze di frumento italiane soffrivano principalmente per l'eccessiva altezza e per la lunghezza del ciclo vegetativo; in quest'ultimo, la fase di accumulo dei fotosintetati nella granella coincideva con una stagione caratterizzata da alte temperature e forte siccità, che provocavano la cosiddetta «stretta», con conseguente striminzimento delle cariossidi. Per ovviare a questi inconvenienti era necessario incrociare queste razze con una pianta di bassa taglia e di precoce maturazione. Questi caratteri li trovò nella varietà giapponese denominata «Akagomughi», con la quale iniziò un lungo lavoro di ibridazione e selezione. A partire dagli anni 1930, vennero messe in commercio una serie di varietà con una potenzialità produttiva sempre maggiore, le quali, coadiuvate da una agrotecnica molto razionale, hanno portato le rese produttive delle migliori aziende a raggiungere i 60 q.li ad ettaro di granella già negli anni '40.

In questo modo è stata raggiunta nel nostro paese l'autosufficienza granaria che ha permesso di evitare le tristissime carestie che ciclicamente colpivano larghe fasce della popolazione costringendole alla fame. Il sottoscritto ha vissuto con passione ed entusiasmo, nella campagna veneta, questa battaglia contro la fame, e ne porta un ricordo meraviglioso.

Sulla strada tracciata dallo Strampelli si sono impegnati altri bravi genetisti, che hanno ulteriormente incrementato la potenzialità produttiva delle varietà di grano; con il supporto di un'agrotecnica molto sofisticata, chiamata «intensificazione colturale», esse hanno raggiunto il traguardo dei 100 q.li di granella secca ad ettaro, specialmente nei Paesi del nord Europa, dove il ciclo vegetativo del frumento si prolunga di oltre 60 giorni rispetto al nostro ambiente.

In questo contesto ha operato molto positivamente l'Istituto «N. Strampelli» di Lonigo, che ha costituito numerose varietà di frumento tenero, alcune delle quali bene affermate in Italia e all'estero. Ne cito quattro: il «Libellula» e il «Lontra», costituiti negli anni '60-'70. Il primo, caratterizzato da forte resistenza al freddo, buona produttività e pregi esteriori della granella, è stato coltivato largamente in Italia, Iugoslavia, Austria e Ungheria. Il «Lontra», di buona produttività e qualità della granella, viene ancora coltivato. Il «Leopardo», costituito negli anni '80, raggiunge punte produttive fra le più elevate. Il «Liocorno», messo in commercio lo scorso anno, possiede una buona qualità panificatoria delle farine.

Il forte incremento di produttività, reso possibile dalle nuove costituzioni e dalle più aggiornate tecniche di coltivazione, ha determinato a livello comunitario notevoli *surplus* di grano tenero e conseguente diminuzione del prezzo della granella. A causa del clima, il nostro paese non può competere sotto il profilo della produttività con i paesi d'Oltralpe (Francia, Germania, Olanda, Inghilterra), e pertanto la coltura del grano tenero è stata notevolmente ridotta; oggi produciamo solo il 50% del fabbisogno e l'altra metà, pari a circa 40 milioni di q.li annui, la importiamo dai Paesi sopra citati. Per il frumento, l'Italia deve scegliere la strada della qualità, in quanto possiede le condizioni ambientali ideali per raggiungerla; in questa direzione, il miglioramento genetico opera positivamente da una decina d'anni.

Oggi la valutazione della granella di grano tenero non avviene più sulla base delle caratteristiche esteriori (grossezza, uniformità, lucentezza, colore, % di impurità) e sul peso specifico, bensì delle qualità panificatorie delle farine. Le indicazioni relative alla viscoelasticità dell'impasto (elasticità ed estensibilità) si ottengono con apparecchiature reologiche speciali (farinografo, estensografo, mixografo, alveografo) e attraverso test chimici (Pelshenke e Zeleny). Questo tipo di ricerca ha permesso di scoprire che fattori rilevanti per la qualità panificatoria delle farine sono la quantità e la qualità delle proteine presenti nel glutine e, precisamente, le *gliadine* e le *glutenine* che ne rappresentano l'80%. Tali studi permettono di ottenere il miglioramento proteico in base a programmi molto concreti e di abbreviarne i tempi.

Le varietà di frumento vengono oggi così classificate:

1. Frumenti di forza con indice alveografico (W) superiore a 250;
2. Frumenti di buona qualità panificatoria con W tra 180-200;
3. Frumenti di scarsa qualità panificatoria con W inferiore a 100;
4. Frumenti zootecnici.

I grani di forza non si prestano alla panificazione, ma servono a tagliare le farine deboli.

I mugnai pagano i frumenti sulla scorta delle analisi reologiche, e attraverso opportune miscele mettono sul mercato farine con un contenuto proteico ottimale per la panificazione. In questo settore i risultati ottenuti negli ultimi anni sono stati notevoli, e la qualità del pane è sensibilmente migliorata. Le nuove varietà di grano possiedono inoltre particolari caratteri di resistenza ad alcune malattie (oidio, ruggini, septoria) e all'allettamento. Non ha senso pertanto andare alla ricerca di vecchie varietà per trovare la genuinità, come alcune Cooperative cosiddette «ecologiche» vanno facendo.

Come negli anni '20 è iniziato il miglioramento genetico del grano tenero, così negli anni '50 ha avuto inizio quello del grano duro, che ha portato a un completo rinnovamento dello stand varietale con risultati altrettanto soddisfacenti. I risultati ottenuti riguardano principalmente:

a. la riduzione della taglia;
b. l'aumento della potenzialità produttiva;
c. l'aumento della resistenza al freddo;
d. il miglioramento della qualità (riduzione delle cariossidi biancone).

Un esempio è dato dalla varietà di frumento duro denominata «Creso», costituita al Centro di Ricerche della Casaccia di Roma, ora ENEA, incrociando delle linee mutanti, ottenute da mutazioni causate da radiazioni nucleari, con linee di origine messicana.

I grani duri, se posti nelle stesse condizioni di coltura, sono oggi in grado di produrre quanto i teneri, e le aree di coltivazione si sono estese dal sud e dalle isole a tutta l'Italia centrale e anche settentrionale, fino alla provincia di Rovigo. Nel nostro paese la produzione del *duro* ha superato quella del *tenero*, e le esportazioni di semole e di paste da minestra si è notevolmente accresciuta.

Ultimamente è stata inoltre ottenuta, per incrocio e successiva poliploidizzazione, la prima specie coltivata interamente costituita dall'uomo mediante la combinazione dei genomi di due diversi generi botanici: il frumento («Triticum durum» e «sativum») e la segale. Essa è stata denominata «Triticale», e presenta i caratteri di rusticità della segale e la produttività del frumento, per cui si presta alla valorizzazione dei terreni difficili e come valido alimento zootecnico.

Questi, in rapida carrellata, i risultati ottenuti con il miglioramento genetico sul grano; ora descriviamo molto brevemente quelli apportati al mais.

La specie «Zea mais» si ritiene derivi da una forma spontanea chiamata Teosinte (Euchlaena messicana) con eguale numero di cromosomi: n.=10 2n.=20. Essa presenta più culmi che terminano con una infiorescenza maschile, mentre lungo i fusti si trovano delle piccole spighe con 8-10 cariossidi, ciascuna delle quali è racchiusa in un guscio molto duro. Sotto la pressione selettiva dell'ambiente e dell'uomo, si è via via trasformata nella forma attuale di pianta a fusto unico, polispiga, con cariossidi coperte da una brattea, e quindi protette dagli uccelli. La specie Zea mais, famiglia delle Graminacee, tribù delle Tripsaceae, in base alle caratteristiche morfologiche e chimiche della granella viene suddivisa in diverse sottospecie:

1. «Zea mais indurata»: con cariossidi a endosperma corneo all'esterno e farinoso all'interno, mais vitreo. Molti dei mais originariamente introdotti in Europa appartenevano a questo tipo.
2. «Zea mais indentata»: mais a dente di cavallo, con cariossidi piatte con endosperma farinoso e corona cornea. I mais ibridi attuali appartengono quasi tutti a questa sottospecie molto produttiva e particolarmente adatta all'alimentazione del bestiame bovino.
3. «Zea mais amylacea» o mais amilosico: presenta sino all'80% di amilosio, sostanza che si presta per la produzione di amidi speciali.
4. «Zea mais saccharata» o mais zuccherino: particolarmente ricco di saccarosio; se raccolto a maturazione latteo-cerosa costituisce un apprezzato ortaggio.
5. «Zea mais everta» o mais da scoppio: comprende tipi primitivi con piante che accestiscono e portano spighe piccole ma numerose, con granella variamente e intensamente colorata, completamente vitree e ricche di proteine.
6. «Zea mais ceratina» o mais cereo: comprende forme originarie dalla Cina, alcune delle quali contengono amido costituito esclusivamente da amylopectina (mais Waxy), utilizzato come alimento dietetico, nonché nell'industria tessile e cartacea.

Sino al 1959 circa, in Italia erano coltivati solo ecotipi di mais a granella vitrea, selezionati località per località al fine di produrre farina da polenta per l'alimentazione umana; si ricordano il famoso Marano vicentino, il Bianco perla, il Pignolino e il Rostrato.

In questo materiale completamente eterozigote la selezione massale non aveva portato ad alcun aumento di produttività. La svolta decisiva nel miglioramento genetico del mais è avvenuta, come per il frumento, all'inizio di questo secolo (1909), per opera di due genetisti americani (Shull e East) i quali, all'insaputa l'uno dell'altro, sono giunti

allo stesso risultato: la scoperta del vigore dell'ibrido derivato dall'incrocio di due linee omozigote (Eterosi). Gli ibridi F1 risultano vigorosissimi e tutti uguali.

Per ottenere queste linee *inbred* è necessario assoggettare a riproduzione autogama per più anni (6-7) individui scelti entro una popolazione (ecotipo, varietà sintetica, ibrido da migliorare), che presentino caratteristiche interessanti (buona qualità della granella, struttura della pianta, adattabilità all'ambiente).

L'autofecondazione viene compiuta a mano, coprendo l'infiorescenza maschile e femminile con appositi sacchetti di carta prima dell'antesi, versando poi il polline maturo sui pistilli, e ricoprendo nuovamente la spiga. Ogni anno il seme ottenuto viene riseminato per poter valutare, selezionare e autofecondare la progenie. A seguito dell'autofecondazione, la vigoria della pianta si riduce di generazione in generazione, e si manifestano nuove linee, molte delle quali con caratteri indesiderabili (tendenza all'allettamento, suscettibilità alle malattie, albinismo, sterilità, ecc.), che perciò vanno eliminate. Dopo 7-8 generazioni di autofecondazione e rigorosa selezione, si ottiene un certo numero di linee portatrici di qualche carattere pregiato, di aspetto molto uniforme e a struttura genetica molto prossima all'omozigosi, ma estremamente indebolite. Queste linee *inbred*, riprodotte in isolamento spaziale (200 m), conservano i loro caratteri da una generazione all'altra senza modificarsi.

Per valutare l'attitudine alla combinazione delle decine o centinaia di linee *inbred* ottenute, si devono compiere tutta una serie di *test* di incrocio al fine di individuare quelle più idonee a dare ibridi superiori (che manifestano cioè l'eterosi al massimo grado).

Per ottenere un ibrido F1 commerciale, è necessario mantenere le due linee scelte in isolamento spaziale e procedere, sempre in isolamento, alla loro ibridazione. Le due linee devono avere tempi di fioritura pressoché uguali, altrimenti bisognerà procedere a semine scalari per farli coincidere. Il rapporto tra le file di impollinante e portaseme è di uno a uno, e quindi la produzione di granella nella F1 risulta assai ridotta per la debolezza delle linee e per il fatto che il 50% della superficie è occupata dal parentale maschile. Al portaseme viene tolto il pennacchio prima della deiescenza del polline, cioè appena esce dall'ultima foglia.

La maschio-sterilità citoplasmatica indotta nelle linee portaseme ha portato con sé la suscettibilità a una grave malattia («Helmintosporium maidis»); questa tecnica si è dovuta quindi abbandonare, per ricorrere invece alla emasculazione manuale o meccanica, con un forte aggravio di spesa. Il seme ibrido F1 risulta così molto costoso. Per ridurre i costi, Jones nel 1918 ha proposto di ricorrere agli ibridi doppi

o a quattro vie: A, B, C, D. Lo schema da realizzare è il seguente: AxB=X; CxD=Y; XxY=F2. I due ibridi X e Y risultano vigorosi, ed essendo inoltre coltivati in isolamento spaziale, con un rapporto di un parentale impollinante a tre portaseme, contribuiscono ad aumentare considerevolmente la produzione di seme F2. Questi ibridi sono stati utilizzati nel nostro paese negli anni '50-'60.

Agli ibridi doppi hanno fatto seguito gli ibridi a tre vie, costituiti da un ibrido semplice incrociato con una linea *inbred* impollinante parentale migliorata per alcuni caratteri. Con l'introduzione della semina localizzata, che ha ridotto considerevolmente la quantità di semi ad ettaro, si è passati all'uso degli ibridi F1, molto più produttivi e più uniformi.

Successivamente (nel 1977) sono stati messi in commercio gli ibridi cosiddetti a foglia eretta, nei quali le foglie poste sopra alla spiga sono inserite sul fusto ad angolo acuto, per cui la pianta assume un aspetto assurgente e lascia penetrare una maggiore quantità di luce. In questo modo è stato possibile aumentare l'investimento da 4,5 a 6 piante a mq., con conseguente sensibile aumento della produzione. Questo tipo di ibridi presentava però una maggiore fragilità dello stocco alla maturazione: se si incorreva in un'annata piovosa alla raccolta, la pianta di mais si stroncava e rendeva impossibile la raccolta meccanica. Sono stati costituiti così i nuovi mais ibridi, migliorati per la resistenza dello stocco, che hanno permesso di aumentare di un'altra pianta l'investimento a mq. In questo modo le rese ad ettaro sono salite a 130 e anche a 150 q.li di granella secca.

Oltre al vertiginoso aumento della produttività, il miglioramento genetico ha causato anche uno sviluppo qualitativo della granella, con la costituzione di linee ricche di aminoacidi pregiati, tipo *lisina*, chiamate «Opach 2». Questi mais contengono una percentuale di lisina doppia di quella dei mais normali, e sono particolarmente adatti per l'alimentazione degli animali monogastrici. Essi hanno però il difetto di produrre meno degli ibridi normali e di essere suscettibili all'attacco di funghi e insetti.

Anche nel frumento si è lavorato a lungo per cercare di utilizzare il vigore ibrido, ma senza risultati concreti. Dopo più di 20 anni di lavoro, non è comparso ancora sul mercato un ibrido di frumento capace di produrre più della linea pura. Trattandosi di pianta autogama con pochi semi, è necessario ricorrere alla maschio-sterilità citoplasmatica, che è stata ricavata dal «Triticum timophevi», e quindi ripristinare la fertilità attraverso l'incrocio con un ristoratore. Un procedimento molto laborioso che richiede un elevato numero di incroci manuali e successive selezioni, con conseguenti costi assai elevati.

Il traguardo degli ibridi di frumento è stato raggiunto con l'uso dei gametocidi, che sono sostanze chimiche che vengono spruzzate sulla pianta portaseme al momento della spigatura, e che determinano la morte del polline. In questo modo le glume della spiga si aprono per ricevere il polline esterno. Seminando file di frumento di varietà diverse una di fianco all'altra e operando con il trattamento gametocida, è possibile ottenere subito e con estrema facilità tutti gli ibridi che si desiderano. Gli ibridi di frumento coltivati secondo questa tecnica entreranno presto in commercio.

Riassumendo possiamo dire che alla data odierna il miglioramento genetico ha raggiunto i seguenti risultati:

Frumento

1. Aumento della potenzialità produttiva da 20 a 100 q.li ad ettaro
2. Miglioramento della qualità delle farine
3. Resistenza ad alcune malattie (oidio, ruggini, septoria)
4. Resistenza all'allettamento e ad alcuni stress ambientali

Mais

1. Aumento delle produzioni da 40 a 130/150 q.li ad ettaro
2. Resistenza dello stocco allo stroncamento
3. Resistenza a malattie funginee e stress ambientali
4. Miglioramento della qualità della granella negli Opach 2
5. Miglioramento degli ibridi da trinciato con la diminuzione del contenuto in lignina.

In linea di massima si stima che l'aumento delle rese sia da attribuire per il 50% al miglioramento della potenzialità produttiva della pianta, e per l'altro 50% all'affinamento delle tecniche colturali.

Che cosa ci riserva il prossimo futuro?

Un apporto fondamentale al miglioramento genetico è dato dalla *coltura in vitro*, cioè dalla possibilità di riprodurre le piante agamicamente, partendo da piccolissime porzioni di tessuti somatici o da cellule riproduttive immature (antere e ovari), e allevandoli su substrati speciali (naturali o artificiali) in ambiente asettico, secondo precise metodologie messe a punto in questi ultimi anni.

All'inizio, questo tipo di riproduzione era stato riservato a piante orticole o floricole, per ottenere in breve tempo moltissime piante tutte uguali e immuni da gravi fitopatie (virosi).

Oggi la riproduzione *in vitro* riguarda tutte le specie più importanti, siano esse erbacee o arboree, e consente di raggiungere molti traguardi, quali, per esempio, una notevole riduzione dei tempi di ottenimento di una nuova costituzione genetica. Ciò è stato ottenuto nel

frumento sia in Francia che in Cina. Mentre con i metodi tradizionali occorrono 10-12 anni per produrre una nuova varietà, con la coltura *in vitro* essi si riducono a sei o sette, poiché essa rende possibile la produzione di *linee diaploidi* sicuramente omozigote in meno di due anni partendo da un'antera. La duplicazione del corredo cromosomico viene indotta con trattamenti chimici o shock termici.

L'ottenimento di variazioni genetiche, e quindi ereditarie, attraverso la riproduzione di tessuti somatici (variabilità somaclonale) risulta particolarmente efficace in genotipi evoluti derivati da precedente selezione naturale e artificiale. Le mutazioni assomigliano a quelle che si ottengono con i trattamenti mutageni classici (radiazioni, sostanze chimiche, ecc.), e possono essere ricondotte sia ad alterazione del numero e della struttura dei cromosomi (aneuploidia, poliploidia, riarrangiamenti cromosomici), sia mutazioni di tipo puntiforme.

La selezione *in vitro* a livello cellulare, per caratteristiche legate alla tolleranza a stress biotici e/o abiotici, prevede che tra le migliaia di cellule allevate, una volta sottoposte a stress o a trattamenti chimici, qualcuna sia in grado di sopravvivere per particolari caratteristiche di resistenza, e si possa così ottenere una nuova pianta.

La coltura in vitro dei tessuti somatici rappresenta inoltre un passaggio obbligato per l'adozione di nuove biotecnologie, le quali semplificano enormemente il lavoro che le tradizionali tecniche di ibridazione e selezione genetica richiedevano per ottenere una mescolanza casuale tra migliaia di geni, attraverso lunghi anni di incrocio e reincrocio.

Per le colture agricole l'applicazione delle biotecnologie offre le seguenti aspettative:

a. ridurre la suscettibilità alle malattie;

b. accrescere la tolleranza ai prodotti chimici;

c. conferire una concreta resistenza alle condizioni ambientali avverse;

d. interagire con microrganismi nella fissazione dell'azoto atmosferico;

e. controllare la qualità delle produzioni.

Le possibilità offerte dalle nuove biotecnologie si ritengono essere:

1. Trasferimento di geni e ottenimento di piante transgeniche.

La principale applicazione delle tecniche molecolari riguarda il trasferimento di geni eterologhi o manipolati *in vitro* da specie selvatiche non incrociabili sessualmente, da animali, bacteri o virus, in piante coltivate che hanno bisogno di aiuto. Il risultato dipende essenzialmente dalla possibilità di identificare e isolare geni utili da introdurre

in nuove varietà e di inserirli in una cellula ospite affinché l'informazione genetica venga espressa in cellule stabilmente trasformate. Il lavoro di trasferimento dei geni è stato già sperimentato e realizzato nelle piante dicotiledoni, per le quali il procedimento è ormai bene acquisito, anche se assai complesso e difficile da realizzare.

La Società Monsanto ha costituito una pianta transgenica di pomodoro e una di cotone. Nella prima è stato ingegnerizzato un gene ricavato dal «Bacillus thuringensis» che si dimostra letale nei confronti dei bruchi che divorano le foglie della pianta. Questa nuova pianta transgenica non ha più bisogno di essere trattata con insetticidi, avendo acquisito una propria resistenza al parassita. Nella pianta di cotone è stato invece ingegnerizzato un gene che conferisce la resistenza ai moderni diserbanti totali (Randaup) che non nuociono all'ambiente, si degradano rapidamente, non percolano nel terreno e nelle falde acquifere, e hanno uno spettro d'azione molto ampio. Con un unico trattamento erbicida vengono distrutte tutte le erbe infestanti, mentre il cotone sopravvive perché il gene inserito favorisce la produzione dell'enzima di crescita in misura sufficiente per resistere al diserbante.

Un esempio eclatante di trasferimento di un gene tolto da un animale in una pianta è stato ottenuto in un laboratorio americano, dove è stato isolato il gene che determina la luminescenza nella lucciola, inserendolo nel corredo cromosomico di una pianta di tabacco. La nuova pianta, messa in un locale buio, si presenta fosforescente.

Il transfer genico nei cereali (monocotiledoni) è solo agli inizi, e rimane quindi un importantissimo campo scientifico applicativo della moderna biotecnologia.

2. Miglioramento della qualità delle produzioni attraverso l'aumento della percentuale di amminoacidi pregiati nelle proteine (lisina, triptofano, ecc.).

Manipolando i geni delle zeine del mais con le tecniche del DNA ricombinante si può aumentare la percentuale di lisina e ottenere una pianta transgenica con le qualità degli Opach 2, senza gli aspetti negativi.

3. Ibridazione somatica per fusione di protoplasti.

I protoplasti (cellule vegetali private della membrana) di differenti specie possono essere indotti a fondersi mediante esposizione a certi composti chimici, oppure a corrente elettrica. L'ibrido somatico risultante può essere coltivato *in vitro*, in modo da produrre un tessuto detto *callo*, dal quale può essere rigenerata una pianta intera. L'obbiet-

tivo finale di questa manipolazione può essere quello di combinare i cromosomi di specie sessualmente incompatibili o il genoma nucleare di una specie con il citoplasma di un'altra. Risultati sperimentali al riguardo sono già stati ottenuti inducendo in alcune specie (Nicotiana, Brassica, Raphanus) la sterilità citoplasmatica per facilitare la produzione di ibridi.

4. *Iniezione diretta di DNA nel nucleo con tecniche molto sofisticate.*

5. *Batterizzazione delle radici dei cereali con microrganismi capaci di indurre una interazione che porti all'assorbimento dell'azoto dell'aria* (come avviene per le piante leguminose: soia, medica, ecc.).

Come abbiamo avuto modo di capire da questi pochi esempi, le possibilità offerte dalle biotecnologie sono molte e di grande efficacia, e porteranno in tempi più o meno lunghi ad una nuova *rivoluzione verde* che cambierà profondamente il quadro dell'agricoltura attuale.

Chi è nato negli anni '20, come il sottoscritto, ha avuto modo di assistere, relativamente al settore primario, a trasformazioni radicali. L'esercizio dell'agricoltura è passato da forme artigianali, spesso primitive, a forme assai evolute. Nello spazio di 50-60 anni, il progresso è stato enorme, immensamente superiore a quello che si era avuto nei millenni precedenti. Tutto ciò è riconducibile a tre fattori: il miglioramento genetico, la meccanizzazione, i prodotti chimici.

A partire dagli anni '30 il patrimonio genetico delle principali colture è stato completamente rinnovato, elevando vertiginosamente la potenzialità produttiva delle piante, migliorandone la qualità e introducendo resistenze alle malattie e agli agenti atmosferici avversi.

Dagli anni '50 in poi, la meccanizzazione ha tolto dalle campagne l'energia animale e ha ridotto enormemente la fatica dell'uomo. Siamo passati dalla falce alla mietitrebbia autolivellante che opera su terreni con una pendenza del 20%, provvista di cabina di guida con aria condizionata, radio e ricetrasmittente. Oggi le colture agricole sono tutte integralmente meccanizzate, dalla semina al raccolto. Al riguardo ha operato efficacemente il miglioramento genetico, adeguando le caratteristiche morfologiche della pianta alle esigenze della macchina. Basti pensare alle trasformazioni indotte in alcune piante orticole, quali il pisello e il pomodoro. Negli anni '50-'60, il Consorzio Agrario di Lonigo ritirava ogni sera, nel mese di maggio, 500 q.li circa di baccelli di pisello coltivato sui Colli Berici, che venivano inviati su tutti i mercati dell'Italia settentrionale. Oggi una raccoglitrice meccanica da piselli raccoglie in una giornata, direttamente sul campo, 500 q.li di granella a un grado tenderometrico ideale. Il prodotto viene subito inviato,

immerso in acqua molto fredda, all'Industria Conserviera, e nello spazio di 24 ore viene inscatolato. Per ottenere questo risultato, le piante di pisello sono state accorciate nella loro taglia, il primo palco di baccelli è stato innalzato da terra, la maturazione è stata trasformata da scalare a contemporanea per tutti i baccelli, e la grossezza della granella resa perfettamente uniforme. Trasformazioni ancora maggiori sono state introdotte nel pomodoro da industria per la produzione di conserve; ora è coltivato a pieno campo, senza sostegni, con accrescimento determinato, bacche tutte uniformi, buccia particolarmente resistente, a maturazione contemporanea, e si adatta particolarmente alla raccolta meccanica.

I prodotti chimici (fertilizzanti, antiparassitari, erbicidi, fitoregolatori) hanno permesso di innalzare ulteriormente le produzioni e di renderle costanti nel tempo, riducendo l'intervento dell'uomo e delle macchine nelle colture.

Gli addetti all'agricoltura, che nel 1930 rappresentavano l'80% della popolazione, si sono ridotti all'8-10%. La montagna, la collina e la pianura si sono spopolate, mentre i centri urbani sono cresciuti a dismisura. Molte delle terre marginali (difficili da coltivare) sono state abbandonate, e si stima che l'80% della produzione agricola italiana si ottenga su 7 milioni di ettari di pianura, contro i 30 milioni del territorio nazionale.

Per l'agricoltura sta iniziando ora l'*evoluzione biologica*. Mentre le macchine e i prodotti chimici agiscono sulle coltivazioni, la nuova tecnologia sfrutta le proprietà della natura per contribuire a risolvere i problemi che la natura stessa pone all'agricoltura. I danni provocati dagli stress ambientali, dalle malattie, dalle piante infestanti, verranno combattuti ricercando resistenze presenti in natura, e così pure si cercherà di soddisfare i bisogni nutritivi delle singole piante attraverso processi biologici degli organismi inferiori. Ciò porterà a una forte riduzione dell'uso dei prodotti chimici e a una loro maggiore selettività. I prodotti tradizionali lasceranno il posto a quelli nuovi, che operano in sinergia con le colture sottoposte a manipolazione genetica, e che verranno usati nell'ordine di grammi ad ettaro. Analogamente si diffonderà l'uso degli antiparassitari biologici creati dalle nuove biotecnologie. Si avrà certamente una sensibile riduzione del volume complessivo delle sostanze chimiche scaricate nell'ambiente con conseguente attenuazione del pericolo dei residui chimici nei prodotti alimentari. I risultati raggiunti dalle biotecnologie saranno alla portata di tutti gli agricoltori indipendentemente dalle dimensioni dell'azienda agricola. Ciò implica però maggiore istruzione, maggiore professionalità da parte degli agricoltori, al fine di conoscere e applicare correttamente i nuovi prodotti.

Si rende necessaria inoltre una più stretta collaborazione fra Scienza (Università, Centri di Ricerca), Industria e Stato, il quale dovrà svolgere una severa azione di controllo perché la tecnologia si sviluppi secondo criteri di ordine, sicurezza e trasparenza, in modo che possa godere dell'appoggio dell'opinione pubblica. Le nuove tecnologie pongono inoltre implicazioni politiche ed economiche a livello internazionale. Le singole nazioni dovranno intensificare gli sforzi per collaborare, nell'ambito di organismi sovrannazionali, per orientare la ricerca in modo razionale, secondo principi di vera utilità e in assenza di rischi per l'uomo.

Il principio antropocentrico deve stare alla base della ricerca: non si deve manipolare geneticamente il mondo vegetale e animale oltre i limiti della conservazione dell'ecosistema compatibile con la vita e la salute dell'uomo.

Nonostante le preoccupazioni che si avvertono, le nuove biotecnologie porteranno grandi vantaggi all'umanità; la quantità di cibo potrà aumentare rapidamente in misura sufficiente per tutti gli uomini presenti sul pianeta, e le condizioni della vita miglioreranno anche sotto l'aspetto ecologico-ambientale. Una cosa è certa: i problemi dell'agricoltura, come quelli di qualsiasi altro settore dell'attività umana, si risolvono guardando avanti e non ritornando al passato.

SILVIO GIULIARI