

LA GENETICA VEGETALE DALLA "GREEN REVOLUTION" ALLA "GENE REVOLUTION" di Teodoro Cardi, Stefania Grillo, Antonietta Leone

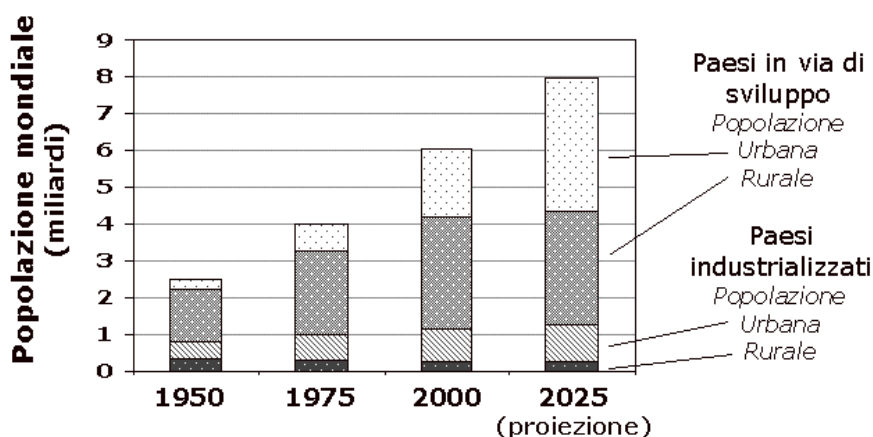
La riscoperta delle leggi di Mendel all'inizio del secolo scorso ha segnato l'inizio della Genetica Vegetale. Il conseguente sviluppo scientifico e tecnologico del Miglioramento Genetico delle Piante, insieme a quello dell'Agronomia, della Chimica, della Meccanizzazione Agraria e di altre discipline, ha portato alla selezione di nuove varietà molto produttive ed esigenti in termini di "inputs" esterni. Tali varietà sono alla base della cosiddetta "Green Revolution" della seconda metà del 1900. Oggi, le nuove tecnologie di analisi genomica e di ingegneria genetica stanno determinando una nuova rivoluzione, la "Gene Revolution". Questa sta aprendo nuovi orizzonti applicativi grazie alle conoscenze dei geni e della loro funzione e contribuendo allo sviluppo di un'agricoltura più sostenibile. In questo articolo sono riassunti alcuni risultati recenti della ricerca nel campo della Genetica Vegetale, evidenziandone il significato sia per l'avanzamento delle conoscenze che l'applicazione agraria e biotecnologica.

CRESCITA DELLA POPOLAZIONE ED AGRICOLTURA

Dal 1950 al 2000 la popolazione mondiale è triplicata, con un aumento di circa 2 miliardi di individui ogni 25 anni. Sebbene le stime per il futuro non sono sempre concordi, sembra chiaro che la popolazione totale continuerà ad aumentare allo stesso ritmo per

il prossimo futuro; la crescita rallenterà solo nella seconda metà di questo secolo. Inoltre, come nel passato, l'incremento di popolazione sarà distribuito non uniformemente nelle diverse regioni del pianeta, ma concentrato nei Paesi in via di Sviluppo (PVS), ed associato ad una rapida urbanizzazione (Fig. 1).

Figura 1. Variazione della popolazione mondiale nei Paesi Industrializzati ed in quelli in Via di Sviluppo, nelle città e nelle aree rurali.



Quanto su indicato ha, evidentemente, delle implicazioni per diversi aspetti, legati all'economia, le scienze sociali, l'agricoltura. Infatti, è necessario aumentare la produzione globale di cibo ed il suo valore nutrizionale, sebbene a tale aumento deve corrispondere anche una migliore distribuzione. Per fronteggiare l'incremento demografico nei PVS sarebbe auspicabile che la produzione alimentare aumentasse *in loco*, ma ciò pone particolari problemi di tipo tecnico ed ambientale, sia per quanto riguarda l'uso di

risorse preziose per l'equilibrio ecologico di tutto il pianeta, sia per la difficoltà di aumentare la produzione agricola in ambienti "difficili", caratterizzati da carenza idrica, suoli acidi ed altri stress abiotici e biotici, come per esempio avviene in molte zone del continente Africano. L'aumento di popolazione soprattutto nelle città determina la diminuzione della percentuale di popolazione che nel settore primario "produce" il cibo e, corrispondentemente, l'incremento dei "consumatori". Inoltre, in

seguito alla progressiva urbanizzazione della popolazione, si verificano cambiamenti nel gusto, nelle esigenze alimentari e nel tipo di alimentazione (soprattutto un incremento del consumo di carne, con conseguente aumento della domanda dei prodotti per l'alimentazione animale, ed una diminuzione di quello di vegetali per uso umano), nonché nuovi problemi legati al trasporto dei prodotti agricoli a grandi distanze dalle zone di produzione ed alla loro conservazione.

Le problematiche su evidenziate sono chiaramente complesse e richiedono approcci multidisciplinari sia per l'analisi che per l'individuazione di possibili soluzioni. Inoltre, è evidente che esse determinano la costituzione di nuovi e diversi "modelli agricoli". E' comunque chiaro che, mentre non è possibile affrontare quanto detto guardando indietro all'agricoltura del passato, non è neanche auspicabile aumentare la produzione agricola globale aumentando le superfici destinate all'agricoltura. Infatti, al di là dei problemi tecnici legati alla "vocazione" agricola delle nuove aree, tale scelta porta spesso alla progressiva riduzione delle superfici destinate ad usi "naturali", con conseguenti problemi di tipo ambientale. Sebbene questi si manifestino anche in seguito allo sviluppo dell'agricoltura "intensiva", l'aumento della produttività per unità di superficie e per unità lavorativa, parallelamente allo sviluppo di tecnologie più sostenibili, è in molti casi preferibile o comunque necessario. D'altro canto, solo l'analisi di vari fattori -ambientali, sociologici, tecnologici- può contribuire a definire il modello agricolo migliore per un determinato contesto. Molto spesso esso deriva dall'integrazione di più "agricolture": convenzionale, biologica e biotecnologica.

La ricerca in questo settore deve quindi continuamente puntare allo sviluppo di tecnologie innovative; solo la loro "intelligente" integrazione reciproca e con quelle convenzionali può offrire gli strumenti per affrontare i molteplici problemi presenti e futuri. In questo articolo vengono riportati i contributi che la Genetica Vegetale ha dato a questo processo nel corso del secolo passato e quanto essa può offrire per un approccio integrato e multidisciplinare in quello presente.

AGRICOLTURA E DOMESTICAZIONE

Dal suo inizio, circa 10.000 anni fa, l'agricoltura è diventata progressivamente sempre più intensiva. Il passaggio dall'approvvigionamento del cibo basato sulla caccia e la raccolta dei prodotti spontanei alla coltura ed allevamento di alcune specie vegetali ed animali ha determinato profondi cambiamenti sociali, che da un lato hanno consentito e dall'altro hanno goduto di importanti cambiamenti culturali e tecnologici.

Lo sviluppo dell'agricoltura è coinciso con il processo di domesticazione delle piante. Nel corso del tempo l'uomo ha scelto le specie e, all'interno di queste, i tipi più adatti ad un particolare ambiente e per un particolare uso. Sebbene non basata su criteri e conoscenze scientifiche, sviluppate solo nell'ultimo secolo a partire dalla scoperta delle Leggi di Mendel, la selezione operata dall'uomo ha portato alla costituzione di fenotipi profondamente diversi da quelli originari. I tipi coltivati ben presto hanno perso molte caratteristiche dei tipi selvatici, come la capacità di disperdere i semi, la ritardata germinazione di questi ultimi (dormienza), l'elevato contenuto di tossine e di fattori di resistenza ai parassiti, acquisendo caratteri come l'adattamento a diverse condizioni ambientali e di fotoperiodo, il "gigantismo" ed il "polimorfismo" delle parti della pianta d'interesse per l'alimentazione o altri usi, un più alto rapporto tra la parte della pianta raccolta sulla biomassa totale ("*harvest index*") (Tabella 1). Questi cambiamenti, mentre da un lato hanno determinato una perdita di competitività delle colture nelle condizioni di crescita naturali ed una maggiore interdipendenza con l'uomo, dall'altro hanno consentito la loro diffusione in regioni diverse da quelle di origine grazie alle migrazioni ed esplorazioni umane. Ad esempio, in seguito alla scoperta dell'America, sono arrivate in Europa le Solanacee, famiglia a cui appartengono colture come la patata, il pomodoro ed altre, che oggi consideriamo "tradizionali". Successivamente alla loro diffusione in zone diverse del globo, molte specie sono state sottoposte a nuovi cicli di selezione.

In alcuni casi, lo sviluppo delle colture agricole è dipeso non solo dalla selezione operata dall'uomo, ma anche dall'ibridazione tra specie diverse, in alcuni casi associata alla poliploidia (presenza multipla dei set cromosomici, o genomi, tipici della specie). E' questo il caso della fragola coltivata, *Fragaria anassassa*, che deriva dall'incrocio spontaneo

di *F. chiloensis* con *F. virginiana*, o del triticale, che invece deriva da un incrocio artificiale eseguito nella seconda metà del diciannovesimo secolo, tra il grano duro e la segale. Ma altre specie coltivate, oggi molto

importanti, come lo stesso grano o le diverse Brassicacee (es. colza), derivano da ibridazione interspecifica e successiva poliploidizzazione.

Tabella 1. Alcune caratteristiche acquisite o perse dalle specie d'interesse agrario in seguito alla domesticazione

Caratteristica	Forma selvatica	Forma domesticata
Capacità competitiva delle piante in campo	Elevata	Bassa
Dimensione del seme o del frutto	Piccolo	Grande
Mezzi di dispersione: - Baccelli - Stoloni	Si aprono facilmente Lunghi	Rimangono chiusi Corti
Meccanismi di difesa (peli, sostanze tossiche, sapore amaro)	Spesso presenti	Assenti
Uniformità di germinazione	Bassa	Elevata

Il processo di domesticazione e l'evoluzione delle colture agricole hanno portato, da un lato, allo sviluppo di tipi ben diversi da quelli "naturali", dall'altro alla riduzione della diversità genetica, sia tra le specie che all'interno delle specie. Oggi, a fronte di circa 300000 specie vegetali e 30000 utili per l'alimentazione o altri scopi, meno di 30 rappresentano le specie più importanti per l'alimentazione mondiale, ma solo tre -grano, riso e mais- costituiscono i due terzi della dieta umana. Inoltre, anche il numero di varietà coltivate per ogni specie si è progressivamente ridotto.

DAL MIGLIORAMENTO GENETICO CLASSICO A QUELLO INTEGRATO

L'effetto della selezione naturale e della selezione empirica operata dall'uomo ha portato nel corso dei secoli alla costituzione di ecotipi e di varietà locali. Queste sono generalmente caratterizzate da un buon adattamento alle condizioni ambientali in cui sono state selezionate e da un'alta eterogeneità. La diversità genetica che esse presentano da un lato costituisce una garanzia contro la diffusione di malattie e la variabilità delle condizioni meteorologiche, dall'altro rappresenta una preziosa fonte di geni utili per il miglioramento genetico. D'altro canto, l'alta uniformità richiesta dall'industria e dai consumatori e l'alta produttività richiesta dagli agricoltori hanno contribuito alla progressiva riduzione del loro uso.

La riscoperta agli inizi del '900 delle Leggi di Mendel, per cui la variabilità nei caratteri osservabili (fenotipo) è riconducibile alla variabilità genetica ed in particolare alla presenza o assenza di forme diverse dello stesso gene (alleli), ha determinato nel corso del secolo scorso lo sviluppo delle conoscenze scientifiche e tecnologiche alla base del miglioramento genetico delle piante coltivate. Questo si basa sostanzialmente su tre fattori: introduzione, selezione ed ibridazione.

L'introduzione di nuovi genotipi in nuovi ambienti è generalmente considerata la prima fase del miglioramento genetico. A questo proposito è stato calcolato che mentre i PVS hanno contribuito per ben il 95% alle risorse vegetali utilizzate dall'umanità come cibo, solo il 5% di queste deriva dai Paesi industrializzati.

La selezione di genotipi migliori all'interno delle varietà locali è la seconda fase del miglioramento genetico, ma la riduzione della variabilità genetica, che deriva da questo processo, ha reso necessario lo sviluppo di tecniche per l'ibridazione di genotipi con caratteristiche complementari e la selezione all'interno delle progenie dei genotipi superiori, fino alla costituzione di poche varietà "élite".

L'ibridazione controllata, che rappresenta un aspetto centrale del miglioramento genetico classico, ha importanza fondamentale per la generazione di nuova variabilità genetica. Quest'ultima deriva essenzialmente dal riassortimento dei cromosomi parentali e dalla ricombinazione dei segmenti cromosomici e dei geni,

fenomeni che si realizzano alla meiosi, il processo che nelle piante porta alla formazione delle spore. Parallelamente, nel corso del secolo scorso sono stati sviluppati diversi metodi di selezione, in funzione del tipo di riproduzione delle specie oggetto di miglioramento, del tipo di ereditarietà del carattere, dell'obiettivo dell'intervento genetico.

A partire dagli anni '20 del secolo passato per il mais e, successivamente, per molte altre colture, incluso specie autogame come il pomodoro, sono state sempre più utilizzate varietà ibride F_1 , che derivano dall'incrocio di genotipi parentali geneticamente distanti ed altamente omozigoti. Le varietà ibride presentano alta uniformità e produttività, caratteristiche alla base del loro successo. D'altro canto, per avere un ibrido con caratteristiche costanti nel tempo è necessario incrociare i medesimi genitori, conosciuti e posseduti solo dal costitutore, per cui non è possibile per l'agricoltore riprodurre il seme in azienda. La possibilità di vendere ogni anno il seme delle varietà ibride e gli alti profitti che esse fruttano hanno stimolato lo sviluppo dell'attività sementiera.

Comunque, anche il miglioramento genetico classico ha contribuito alla riduzione della variabilità genetica e gli addetti al settore si sono scontrati con la necessità di avere nuovi e più efficienti metodi per l'induzione di variabilità e la selezione. Nuove tecnologie sono state, quindi, sviluppate a partire dagli anni '60 e nei decenni successivi, ed implementate nel miglioramento genetico, che ne ha tratto nuovo impulso. Esse includono principalmente le tecniche di mutagenesi artificiale, le tecniche di colture *in vitro*, i marcatori molecolari.

La mutagenesi artificiale utilizza mutageni fisici, come raggi X o γ o chimici -EMS, NMU ed altri- per aumentare la frequenza di mutazione. Quest'approccio ha il vantaggio di modificare un genotipo già buono per la maggior parte dei caratteri, ma richiede un'accurata selezione per eliminare le mutazioni negative e mantenere quelle positive. Questa tecnologia, sviluppata negli anni '60, nel Mondo ed in Italia ha portato allo sviluppo di molte varietà, tra cui la varietà di grano duro Cresò, selezionata dai ricercatori del CNEN (attuale ENEA) ed ancora oggi coltivata.

Le tecniche di colture *in vitro* si basano sulla possibilità di coltivare parti di pianta in condizioni artificiali e sterilmente. Colture di

gemme ascellari od embrioni somatici possono essere impiegate per la micropropagazione di genotipi e varietà superiori, colture di antere o microspore per la produzione di genotipi aploidi e linee omozigoti, colture di embrioni zigotici o protoplasti per superare le barriere all'ibridazione interspecifica e quindi usare geni utili presenti in specie diverse. Le colture *in vitro* possono inoltre contribuire alla conservazione *ex situ* delle Risorse Genetiche, alleviando così il fenomeno dell'"erosione genetica".

Infine, i marcatori molecolari, un'area ancora in fase di continua evoluzione tecnica, hanno contribuito in maniera significativa a diversi aspetti del miglioramento genetico, in particolare per caratterizzare i genotipi utilizzati per l'ibridazione e per migliorare l'efficienza della selezione. Oggi la selezione assistita dai marcatori (MAS = "Marker Assisted Selection") viene ampiamente utilizzata per la selezione di caratteri qualitativi a base genetica semplice e quantitativi a base genetica più complessa. Inoltre, i marcatori molecolari sono anche utilizzati per caratterizzare le Risorse Genetiche, contribuendo ad una loro più efficiente raccolta e catalogazione.

In ogni caso, il Miglioramento Genetico classico e quello integrato hanno contribuito, e ancora contribuiscono, in maniera sostanziale al miglioramento delle produzioni agricole. Si stima infatti che da un terzo a metà del recente aumento della produttività agricola sia stato determinato da interventi genetici. Come già accennato, l'incremento della produzione globale attraverso l'aumento della produttività per unità di superficie è di estrema importanza per vari motivi. Basti pensare che, per produrre con i livelli di produttività agricola del 1960 il cibo attualmente disponibile a livello mondiale, sarebbero necessari almeno altri 300 milioni di ettari di superficie destinata all'agricoltura. Comunque, gli obiettivi del miglioramento genetico non si limitano all'aumento della **produttività**, ma includono anche il miglioramento della **qualità** nutrizionale, la **resistenza** a *stress* abiotici e biotici, l'**adeguamento** delle produzioni alle esigenze dell'industria (ad esempio pomodori con forma idonea alla conservazione in scatola) o della meccanizzazione (di nuovo pomodori con maturità uniforme per la raccolta con le macchine), la **diversificazione** dei prodotti a seconda degli usi (varietà di colza con

diverso contenuto di acidi grassi per uso alimentare o industriale), la **forma** delle piante e la loro **adattabilità** a condizioni di fotoperiodo diverse, ed altri ancora.

AGRICOLTURA MODERNA E "GREEN REVOLUTION"

Grazie soprattutto alla ricerca pubblica, ma anche privata, condotta nei Paesi Europei più industrializzati, negli Stati Uniti ed in Giappone, la costituzione di nuove varietà grazie al miglioramento genetico, insieme allo sviluppo della chimica, della meccanizzazione e di altre discipline, ha consentito nel secolo scorso l'affermarsi della moderna agricoltura.

Nei Paesi industrializzati l'agricoltura intensiva ha, comunque, richiesto fattori di produzione acquistati dall'agricoltore all'esterno dell'azienda. Il lavoro umano ed animale è stato rimpiazzato dalle macchine, i concimi organici, come il letame, sono stati sostituiti da quelli inorganici sintetici. L'agricoltura moderna fa ampio uso anche di pesticidi ed erbicidi chimici, di acqua e, più recentemente, anche di risorse informatiche per la cosiddetta "agricoltura di precisione". Per quanto riguarda la genetica ed il miglioramento genetico, le varietà locali selezionate e riprodotte in azienda sono state sostituite da nuove varietà più produttive ed uniformi, meglio in grado di rispondere alle esigenze dell'industria e di mercati differenziati, spesso lontani dal luogo di produzione. Esse sono selezionate da "breeder" specializzati e riprodotte da ditte sementiere, spesso multinazionali. Questi fattori di produzione non agiscono e non possono essere usati separatamente, ma, al contrario, interagiscono e richiedono un uso combinato per esprimersi al meglio.

Per quanto riguarda i PVS, le nuove varietà di grano e riso prodotte a partire dagli anni '60 presso Centri Internazionali come il CIMMYT in Messico e l'IRRI nelle Filippine sono state alla base della cosiddetta "Green Revolution", termine che indica gli enormi aumenti della produttività agricola, che si sono ottenuti in circa trent'anni in seguito all'adozione delle nuove varietà e delle tecnologie agronomiche associate (Tabella 2).

Le varietà usate nella "Rivoluzione Verde" rappresentano probabilmente i risultati più clamorosi del Miglioramento Genetico tradizionale e Norman Bourlag, responsabile

del miglioramento genetico del grano presso il CIMMYT, ha ricevuto il Premio Nobel per la Pace (quello per l'Agricoltura non esiste!) per i risultati ottenuti. La chiave del successo delle nuove varietà di grano e riso risiede nel maggiore potenziale produttivo dovuto alla maggiore capacità di sfruttare i nutrienti ed al più alto "harvest index" ed accumulo di biomassa; nella rapida crescita, che consente anche più raccolti in un anno; nell'*habitus* di crescita della parte vegetativa più ridotto e nel fusto più robusto, con effetti positivi sulla resistenza all'"allettamento" (cioè la piegatura delle piante sul terreno, con conseguenti perdite della produzione); nella resistenza alle malattie; nell'adattabilità alle condizioni ambientali locali.

Tabella 2. Produzione di grano e riso (in tonnellate per ettaro) in India e Cina prima e dopo la Rivoluzione Verde

Paese	Coltura	1963	1983
India	grano	0,9	1,7
India	riso	0,9	2,2
Cina	grano	1,0	2,5
Cina	riso	2,0	4,7

Modificata da Chrispeels e Sadava, 2003

Molti di questi caratteri avevano già caratterizzato, nei decenni precedenti, il miglioramento genetico nei Paesi industrializzati, incluso l'Italia, principalmente con il lavoro di Nazareno Strampelli con il grano. Ma così come per i Paesi industrializzati, anche nei PVS l'uso delle nuove varietà ha richiesto l'adozione di un pacchetto tecnologico completo, basato sull'uso di macchine, pesticidi chimici, fertilizzanti inorganici, ecc. Sebbene lo sviluppo di un'agricoltura intensiva con molti "inputs" esterni ha consentito di aumentare considerevolmente la produttività agricola, esso ha anche provocato vari problemi ambientali ed oggi la sua "sostenibilità" è sotto esame. L'agricoltura è attualmente una delle principali cause di degradazione fisica e chimica del suolo, per i fenomeni di erosione e per quelli legati all'incremento del pH o del sale e al decremento dei nutritivi. I residui dei pesticidi, degli erbicidi e dei fertilizzanti contribuiscono in maniera consistente all'inquinamento delle acque e dell'ambiente. Inoltre, l'agricoltura consuma circa il 70% delle riserve idriche di acqua dolce disponibili e più di metà dell'acqua utilizzata

è persa in seguito a scorrimento ed evaporazione. Infine, l'adozione di poche varietà "elite" ha provocato una fortissima contrazione della variabilità genetica, riducendo la disponibilità di geni utili per le esigenze future e provocando effetti negativi immediati per la gestione dei parassiti e delle malattie.

Un'agricoltura "low-input" caratterizzata da bassa efficienza, però, pone anch'essa problemi per la gestione delle risorse ambientali. Ne deriva, quindi, che le problematiche sopra delineate possono essere affrontate solo utilizzando un approccio integrato delle risorse ambientali e genetiche, basato sull'innovazione tecnologica in settori diversi.

LA "GENE REVOLUTION"

Come già accennato, negli ultimi decenni alcune biotecnologie cellulari e molecolari sono state sviluppate ed implementate negli schemi di miglioramento genetico, aumentandone l'efficienza. Anche grazie all'integrazione delle nuove biotecnologie il miglioramento genetico convenzionale ha sviluppato prodotti agricoli qualitativamente migliori e piante più produttive e geneticamente più resistenti a vari tipi di stress. Ciononostante, il lavoro di miglioramento genetico resta un processo lungo, costoso e, in molti casi, relativamente inefficiente.

Le nuove tecnologie di analisi genomica e di ingegneria genetica stanno determinando una nuova rivoluzione, la "Gene Revolution", che si basa sulla scoperta della struttura della molecola del DNA nel 1953 ed il successivo sviluppo delle conoscenze tecniche e scientifiche nel campo della Biologia Molecolare. La "Gene Revolution" sta aprendo nuovi orizzonti applicativi basati sulla conoscenza dei geni e della loro funzione e contribuendo allo sviluppo di un'agricoltura più sostenibile.

L'universalità della struttura e della funzionalità del materiale genetico in tutti gli organismi viventi apre immense prospettive non solo per l'individuazione, mediante approcci di Genomica, dei geni che controllano importanti vie metaboliche, ma anche per il loro trasferimento da un organismo all'altro, indipendentemente dalla compatibilità sessuale, grazie all'Ingegneria Genetica. E' bene, comunque, ribadire che i

nuovi approcci non sono la "bacchetta magica" per tutte le domande; è però evidente che essi, opportunamente integrati con gli altri disponibili, possono contribuire in maniera "rivoluzionaria" a risolvere i problemi vecchi e nuovi dell'agricoltura.

Genomica

La produttività e la qualità dei prodotti agricoli è controllata da complessi processi biochimici e metabolici regolati da set di geni, molti dei quali sono influenzati dall'ambiente biotico ed abiotico. Lo studio della complessità di tali processi può attualmente avvantaggiarsi del rapido sviluppo e progresso di nuove tecnologie nel campo della genomica delle piante, che utilizzando in maniera integrata gli strumenti della genetica, della biochimica, della fisiologia e della bioinformatica, contribuiscono a comprendere i complessi meccanismi di crescita e sviluppo della pianta, di sintesi ed accumulo di diverse sostanze che, direttamente o indirettamente, determinano le caratteristiche e la qualità dei prodotti alimentari. Il termine "genomica", apparso per la prima volta nel lessico biologico nel 1986, definisce la scienza del mappaggio, sequenziamento ed analisi dei genomi, cioè dell'intero contenuto di DNA di una cellula.

Gli anni '90 hanno visto un avanzamento straordinario nelle conoscenze sul funzionamento a livello molecolare degli organismi biologici, e nella capacità di analizzare, capire e manipolare molecole di DNA. Le attività di ricerca nel campo vegetale hanno avuto una profonda accelerazione grazie al progetto di sequenziamento del genoma umano, per il quale sono state investite consistenti risorse pubbliche e private, e sviluppate tecnologie innovative di analisi e di catalogazione dei dati.

Sono state così acquisite una vastissima quantità di informazioni sulla struttura del genoma di alcune piante modello (la specie spontanea *Arabidopsis thaliana*, il riso), principalmente per quanto riguarda le mappe genetiche costruite con l'ausilio dei marcatori molecolari e la sequenza dei geni. L'avvento dei marcatori molecolari ha consentito di definire la localizzazione cromosomica dei geni associati a diversi caratteri fenotipici e di descrivere l'alto grado di conservazione nella struttura dei genomi (*sintenia*) tra organismi affini. Ad esempio, un alto grado di conservazione nel tipo e nella posizione dei geni nei cromosomi è stato osservato tra

patata e pomodoro o tra mais, riso e grano. Grazie alla sintenia, nelle ultime due specie è stato recentemente possibile identificare e manipolare direttamente i geni responsabili dell'accrescimento ridotto delle piante, che resero possibile la "Green Revolution". La disponibilità di sequenze ha accresciuto le conoscenze sulla natura dei geni e della loro espressione in diversi organismi ed in diverse condizioni di crescita, ed ha portato allo sviluppo di banche dati con cui è possibile identificare e studiare i geni sfruttando le omologie di sequenza tra le specie. La possibilità di trasferire le informazioni da una specie all'altra e la nozione che i processi fondamentali della vita sono sostanzialmente controllati dagli stessi geni in tutte le specie hanno accresciuto il valore delle conoscenze ottenute negli organismi modello, per i quali sono oggi disponibili, oltre all'intera sequenza genomica, innumerevoli strumenti e risorse genetico-molecolari, sia per lo studio dei processi metabolici fondamentali, sia per lo studio di caratteri agronomici importanti. Ciò consentirà il rapido trasferimento delle conoscenze acquisite alle specie coltivate, in genere più difficili da studiare e/o trascurate dalla ricerca ("orphan crops").

Con lo sviluppo di metodi per studiare non solo la localizzazione e la sequenza di basi dei geni, ma anche la loro funzione ed espressione, è emersa la distinzione tra "genomica strutturale", il cui scopo è la mappatura ed il sequenziamento, e "genomica funzionale" che studia la regolazione dei geni o *cluster* di geni e la loro funzione nella cellula. Insieme, la genomica strutturale e funzionale permettono di avere una visione globale del fenomeno biologico studiato: il gene non viene studiato singolarmente, ma nell'ambito dell'intero genoma; parallelamente, l'interesse non è più rivolto al singolo RNA messaggero (mRNA) ma all'intero *set* di geni espressi in un determinato momento durante il ciclo vitale e produttivo della pianta. Da ciò nasce il termine trascrittoma, in analogia alla parola "genoma", per indicare l'intero *set* di molecole di mRNA presenti.

Parallelamente allo sviluppo dell'analisi genomica, ha assunto un'importanza sempre crescente l'analisi sistematica delle proteine presenti nelle cellule nelle diverse fasi del ciclo vitale (proteomica). L'analisi genomica e proteomica possono essere infine messe in relazione, mediante l'analisi metabolica, con i composti organici presenti in un dato comparto cellulare in una precisa fase dello

sviluppo. Ciò permette di comprendere come il genoma di una cellula determini l'accumulo dei metaboliti (proteine, amidi, grassi, metaboliti secondari con proprietà salutistiche, aromatiche ecc.), che costituiscono le principali sostanze nutritive per l'uomo.

L'uso e l'organizzazione sistematica delle informazioni globali provenienti dall'applicazione di queste nuove tecnologie ha determinato l'affermarsi di nuove discipline come la Bioinformatica, che in prima analisi consente di predire la funzione di un gene sulla base della sua sequenza, oppure d'identificare e selezionare potenziali nuovi geni utili comparando le informazioni disponibili per organismi diversi.

L'applicazione integrata di queste nuove discipline per l'analisi del genoma di organismi complessi richiede un vasto e sofisticato apparato tecnologico (sistemi robotizzati ad alta produttività, sequenziatori, sistemi informatici avanzati, etc.), che ha portato alla definizione e sviluppo delle nanotecnologie, basate sulla miniaturizzazione degli strumenti di analisi e di micromanipolazione dei campioni. Ad esempio, sono stati creati supporti sperimentali sui quali fissare in modo ordinato migliaia di geni in spazi ridottissimi ("arrays", "chips"). Le potenzialità di questi strumenti analitici sono straordinarie e legate alla possibilità di studiare, in una sola analisi, il comportamento di migliaia di geni. La costruzione e lo sviluppo di "microchip" contenenti idealmente tutte le sequenze espresse di un genoma offre enormi opportunità per comprendere ed utilizzare le basi molecolari della fisiologia cellulare, della differenziazione, dello sviluppo di organi, della resistenza ai patogeni ed agli *stress* ambientali. In tali situazioni fisiologiche, le variazioni dell'espressione genica possono essere fotografate, individuando geni attivi, repressi o spenti in un particolare momento del ciclo vitale e biologico della pianta.

Molteplici sono gli esempi di successo in cui gli approcci di genomica funzionale hanno permesso di definire il complesso *network* di geni coinvolto nei rapporti simbiotici o parassitici di una pianta con batteri, micorrize o funghi, comparare i profili d'espressione genica di piante convenzionali e piante transgeniche, studiare processi della fisiologia e dello sviluppo di una pianta attraverso l'analisi globale dell'espressione genica in mutanti naturali o indotti con tecniche diverse. Attraverso lo

sviluppo di sistemi di "fingerprinting" ad alta efficienza è inoltre possibile ottenere una caratterizzazione puntuale di genotipi, assicurando in questo modo un nuovo sistema di certificazione e controllo per le produzioni tipiche, oltre che di difesa dei diritti del costitutore.

Infine, molteplici sono le possibilità di applicazione delle nuove tecnologie molecolari allo studio della biodiversità. Presso le banche del germoplasma sono raccolte diverse migliaia di genotipi dal fenotipo ben descritto: la loro caratterizzazione attraverso approcci genomici costruiti *ad hoc* rappresenta un formidabile strumento per identificare geni chiave, utilizzabili per la costituzione di nuove varietà migliorate. Negli studi di filogenesi, la genomica apre nuovi orizzonti alle teorie evuzionistiche, con ricadute possibili nel miglioramento genetico delle piante coltivate e nel mantenimento della biodiversità.

Da quanto sopra illustrato, è evidente il ruolo strategico che la genomica vegetale giocherà nello sviluppo agro-economico dei prossimi anni come testimoniato dall'impegno che i governi dei maggiori paesi industrializzati (Stati Uniti, Canada, Giappone, Cina, Corea e molti paesi Europei) hanno assunto nel finanziare iniziative, anche transnazionali, finalizzate allo sviluppo delle nuove tecnologie.

Ingegneria Genetica

L'integrazione delle tecniche per la rigenerazione di nuovi germogli *in vitro* con quelle per il clonaggio e l'espressione dei geni ha consentito di sviluppare le tecnologie per la produzione di piante transgeniche o "Piante Geneticamente Modificate" (PGM). Sebbene, come abbiamo visto, i prodotti che sono oggi sulla nostra tavola o che usiamo per svariati scopi sono il risultato di profonde modificazioni genetiche, s'intende per pianta (o organismo) geneticamente modificato un "organismo il cui materiale genetico è stato modificato in modo diverso da quanto si verifica in natura mediante incrocio o con la ricombinazione genetica naturale".

Una volta che un gene d'interesse è stato isolato da un organismo "donatore", è oggi possibile clonarlo per ottenerne copie multiple, inserendolo in appositi vettori costituiti da plasmidi batterici. Successivamente, esso può essere trasferito nelle cellule vegetali mediante approcci diversi; quelli più usati prevedono

l'utilizzazione di ceppi particolari di un batterio (*Agrobacterium tumefaciens*), che naturalmente è capace di trasferire porzioni del suo DNA nelle cellule vegetali che infetta, oppure l'impiego di un apposito dispositivo ("cannone genetico") che "spara" nelle cellule vegetali delle sferette di oro o tungsteno ricoperte con il gene da trasferire. Generalmente, per poter selezionare le cellule trasformate dalle altre, insieme al gene d'interesse viene trasferito un gene marcatore selezionabile che conferisce resistenza ad un antibiotico od altre molecole tossiche per la cellula vegetale (Fig. 2).

Dai primi esperimenti in laboratorio ed in campo negli anni '80 e nella prima metà degli anni '90, si è passati successivamente alla commercializzazione dei primi OGM vegetali. Oggi essi sono coltivati, per un totale di 67,7 milioni di ettari, in 18 Paesi, ma soprattutto negli USA, in Argentina, Canada, Brasile e Cina (Tabella 3). In Europa, dove, spesso per motivi non comprensibili e legati più a motivazioni di carattere politico-economico che scientifico, più forti sono le resistenze al loro impiego, sono comunemente impiegati solo in Romania e Spagna. Le principali specie interessate sono soia, mais, colza e cotone.

Tabella 3. Superficie destinata alla coltivazione di colture OGM nel Mondo nel 2003

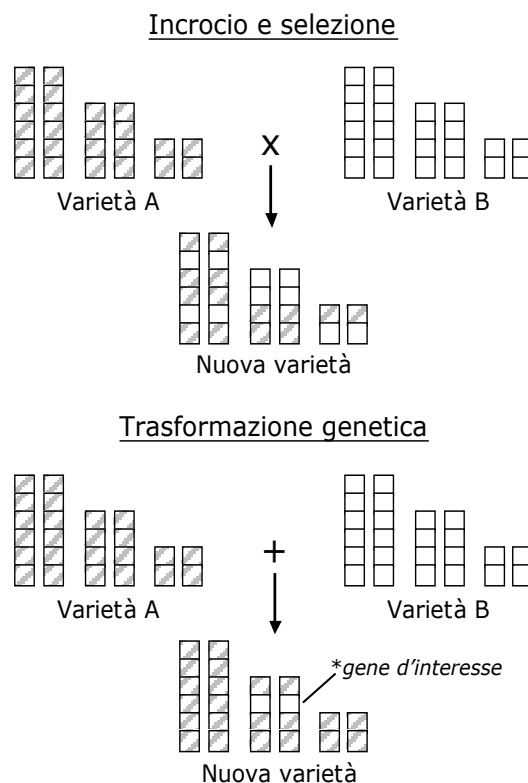
Paesi	Superficie (milioni di ettari)	Variazione percentuale rispetto all'anno precedente
industrializzati	47,3	11
in via di sviluppo	20,4	28
Totale	67,7	15

Modificata da James, 2003

Le PGM oggi coltivate sono quasi esclusivamente costituite da piante resistenti agli erbicidi o agli insetti e rappresentano la prima generazione di questi nuovi prodotti. Essi, riguardando caratteri a base genetica e fisiologica più semplice, sono più facili da produrre e, almeno secondo l'opinione corrente, portano un vantaggio soprattutto agli agricoltori. Gli OGM di nuova generazione, invece, prevedono l'ingegnerizzazione di caratteri più complessi (es. quelli legati alla qualità) e dovrebbero

presentare un vantaggio più chiaro anche per i consumatori.

Figura 2. Schema illustrativo del miglioramento genetico classico e dell'ingegneria genetica applicati alla produzione di nuove varietà. Con la trasformazione genetica, al contrario dell'incrocio, viene trasferito nella varietà che si vuole migliorare solo il gene d'interesse.



Per quanto riguarda la resistenza ad insetti, il sistema più avanzato ed utilizzato (*Bt*) si basa sul trasferimento nelle piante di un gene proveniente da un batterio (*Bacillus thuringiensis*) che normalmente codifica per una tossina selettiva per alcuni tipi d'insetti. Le spore dello stesso batterio sono da tempo utilizzate anche nell'agricoltura biologica come pesticida naturale. Le piante *Bt* sono ovviamente resistenti a molti insetti fitofagi, hanno scarsi effetti collaterali verso l'entomofauna utile, richiedono un numero considerevolmente inferiore di trattamenti antiparassitari e presentano un prodotto qualitativamente migliore per il minor contenuto di residui di antiparassitari e di tossine prodotte da funghi saprofiti che

spesso si sviluppano in seguito all'attacco degli insetti (micotossine).

Questi aspetti, insieme al minor inquinamento ambientale dovuto al ridotto uso di pesticidi sintetici, suggeriscono quindi che le piante *Bt* non sono solo un vantaggio per l'agricoltore, ma anche per il normale cittadino. E' comunque chiaro che, per poter ottenere i migliori risultati anche nel lungo periodo, esse devono essere inserite in schemi integrati di gestione dei parassiti ("*Integrated Pest Management*" o IPM), schemi già studiati e adottati in molti casi. Sempre nel capo degli *stress* biotici, molti altri geni sono, a diverso grado di avanzamento, sotto esame e per molti di essi sono già disponibili piante

resistenti non solo agli insetti, ma anche ai nematodi, funghi, batteri, virus.

Per vari motivi, il miglioramento genetico classico per tolleranza a *stress* abiotici, come siccità, freddo, salinità, avverse condizioni del suolo (pH, carenza di particolari elementi), è particolarmente difficile. Diversi approcci d'ingegneria genetica sono stati quindi saggiati e alcuni risultati interessanti sono stati ottenuti. Poiché, tra l'altro, questi caratteri sono controllati da più geni spesso su cromosomi diversi, un approccio particolarmente interessante è risultato essere la produzione di piante transgeniche che sovraesprimono un fattore di trascrizione, in grado di regolare l'espressione di molteplici geni a valle. Si ritiene che particolarmente per caratteri di questo tipo gli approcci d'ingegneria genetica beneficeranno degli studi di genomica volti all'individuazione dei geni coinvolti nella risposta della pianta a condizioni di *stress*. Va comunque sottolineato che la tolleranza a *stress* abiotici, come carenza idrica o di un nutriente nel terreno, significa anche una maggiore adattabilità della pianta a condizioni limitanti e ciò ha delle ripercussioni importanti per quanto riguarda la gestione di risorse preziose come l'acqua oppure consente di limitare l'apporto esterno di fertilizzanti. Inoltre, bisogna ricordare che per l'applicazione su larga scala, non è sufficiente che uno o pochi transgeni consentano alla pianta di sopravvivere in presenza di uno *stress*; infatti, essi devono permettere alla pianta transgenica di crescere e produrre normalmente, garantendo un reddito minimo all'agricoltore.

Approcci d'ingegneria genetica sono stati utilizzati anche per modificare i "pattern" di sviluppo della pianta. Sono state così prodotte piante transgeniche con una diversa "architettura", fioritura o modalità di maturazione dei frutti. Per semplificare le procedure per la produzione di ibridi F₁, è stata ingegnerizzata la capacità delle piante di produrre polline fertile, inducendo "maschiosterilità" nelle piante transgeniche grazie all'espressione solo nelle antere, cioè nella parte dei fiori dove il polline viene prodotto, di un gene di derivazione batterica.

Recentemente, interessanti risultati sono stati pubblicati per quanto riguarda la modificazione del valore nutrizionale degli alimenti. Sono state così prodotte piante transgeniche che accumulano proteine con un più ricco contenuto di aminoacidi di maggior valore nutritivo, zuccheri diversi (trealosio,

fruttani) e amidi con un rapporto amilosio/amilopectina diverso, lipidi contenenti acidi grassi a diversa lunghezza e diverso grado d'insaturazione, vitamine ed altri composti. Il caso più noto è quello del "golden rice", in cui, grazie all'espressione di tre geni, due di derivazione vegetale ed uno batterico, si è riusciti a modificare nel riso l'espressione di quattro enzimi e quindi a far accumulare pro-vitamina A, che normalmente è assente nei semi di questo cereale. Questo risultato è particolarmente interessante sia perché ha mostrato la possibilità di modificare caratteri metabolici complessi, sia perché può contribuire ad alleviare il problema della cecità, ed altri, derivati da carenza di vitamina A nei Paesi Asiatici più poveri, dove il riso è spesso l'unico alimento disponibile. Ma per migliorare il valore nutrizionale degli alimenti si può non solo aggiungere qualcosa, come sopra descritto, ma anche sottrarre fattori antinutrizionali o tossici, come è il caso delle piante transgeniche di riso e patata che, grazie alla tecnologia dell'"RNA antisense", hanno mostrato un minor contenuto di allergeni o di glicoalcaloidi.

Per quanto riguarda la salute umana ed altri usi non strettamente alimentari, particolarmente interessante appare la possibilità di utilizzare piante transgeniche come bio-fabbriche sia per la sovrapproduzione di metaboliti secondari vegetali come alcaloidi, isoprenoidi, fenilpropanoidi, sia per la produzione in pianta di composti non di origine vegetale, come antigeni, anticorpi, peptidi terapeutici. Piante transgeniche che accumulano questi composti sono state prodotte ed il loro potenziale per l'impiego su ampia scala è sotto esame. Piante transgeniche sono state poi utilizzate per produrre plastiche biodegradabili o altri polimeri per impieghi vari. Al di là del valore intrinseco dei prodotti così ottenuti, l'utilizzazione delle piante come bio-fabbriche presenta diversi aspetti interessanti, come: la riduzione dell'inquinamento derivante dal minor uso del petrolio come fonte di energia, come avviene nelle fabbriche tradizionali, e dall'uso di prodotti biodegradabili; la minor dipendenza dalle importazioni di petrolio; la diversificazione dell'agricoltura e dell'economia verso nuovi prodotti con alto valore aggiunto; il minor costo di prodotti altrimenti non facilmente accessibili ad ampi settori della popolazione mondiale.

Per quanto riguarda l'inquinamento, un effetto diretto delle piante transgeniche lo si può osservare nel caso della "phytoremediation", dove, sfruttando la capacità che alcuni organismi, vegetali e non, hanno di asportare dal suolo o degradare composti inquinanti come metalli pesanti, idrocarburi ed altri, le piante vengono ingegnerizzate per svolgere questi processi in maniera più efficiente. Una riduzione dell'emissione di fosforo da parte degli animali monogastrici, con effetti positivi sulla conseguente eutrofizzazione delle acque, si potrebbe ottenere aumentando la disponibilità di fosforo negli alimenti per gli animali ed evitando di aggiungerlo come supplemento. A tal fine sono state prodotte piante transgeniche che esprimono l'enzima

fitasi del fungo *Aspergillus niger*, che libera il fosforo legato al fitato negli alimenti.

La recente ricerca in questo settore si è comunque orientata anche verso lo sviluppo di nuove tecnologie per la produzione di piante transgeniche, in particolar modo quelle di nuova generazione. Esse in parte rispondono alle obiezioni legate all'utilizzazione delle PGM in agricoltura, prendendo in considerazione aspetti come l'utilizzazione di geni marcatori alternativi a quelli per resistenza ad antibiotici o erbicidi, l'eliminazione dei geni marcatori dopo la trasformazione, la riduzione della diffusione dei transgeni nell'ambiente, l'inserimento mirato dei transgeni nel genoma bersaglio (Tabella 4).

Tabella 4. Tecnologie innovative per la produzione di piante transgeniche

Obiettivo	Tecnologia
Utilizzazione di geni marcatori alternativi a quelli per resistenza ad antibiotici	Selezione negativa basata sulla detossificazione di composti alternativi Selezione positiva basata sull'utilizzazione <i>in vitro</i> di zuccheri non metabolizzabili dalle cellule vegetali
Eliminazione dei geni marcatori dopo la trasformazione	Co-trasformazione con il gene utile ed il gene marcatore su vettori indipendenti Utilizzazione di sequenze che promuovono l'"escissione" mirata di frammenti di DNA
Riduzione della diffusione dei transgeni nell'ambiente	Trasformazione di piante maschio sterili Co-trasformazione con geni che riducono la competitività in ambienti naturali o rendono sterili le piante transgeniche Trasformazione dei plastidi

Modificata da Cardi et al., 2001

IL RUOLO DELLA RICERCA

Come già accennato, l'apporto della ricerca e dell'innovazione tecnologica in campi diversi, nonché l'integrazione delle nuove tecnologie, è stato fondamentale per lo sviluppo dell'agricoltura nel 20° secolo. Nei Paesi più industrializzati, tale ricerca è stata condotta per circa metà presso Istituzioni pubbliche e per la rimanente parte presso Imprese private; nei PVS, essa è stata soprattutto concentrata negli Istituti di ricerca Internazionali aderenti al CGIAR (*Consultative Group on International Agricultural Research*).

Due elementi principali caratterizzano la ricerca in agricoltura: la dipendenza dell'applicabilità dell'innovazione tecnologica dalle condizioni locali ed i lunghi tempi di ritorno per gli investimenti. Infatti, i tempi lunghi legati sia alla fase di ricerca che

di adozione di una nuova tecnologia fanno sì che per molti anni il bilancio netto di un investimento sia negativo. Bisogna comunque sottolineare che la percentuale di successo per quanto riguarda i risultati scientifici e commerciali è particolarmente alta.

Per ciò che concerne le moderne biotecnologie, anche qui i risultati dipenderanno dalla continuità degli investimenti in settori diversi e dall'integrazione di vecchie e nuove competenze nel campo della biologia vegetale come il miglioramento genetico, la genetica, la biologia molecolare, la fisiologia, la bioinformatica. La possibilità di proteggere con brevetti i risultati della ricerca biotecnologica ha rafforzato la ricerca privata in questo settore, creando però in alcuni casi problemi per le ricerche che devono far uso delle precedenti innovazioni tecnologiche.

Essendo poi la ricerca privata prevalentemente interessata allo sviluppo di tecnologie facilmente trasferibili e con alto valore aggiunto, è evidente che il ruolo di quella pubblica è fondamentale nel caso della ricerca più di base e pretecnologica, o quando gli obiettivi mirano in maniera più diretta al benessere del consumatore o al miglioramento dell'ambiente.

Per quanto riguarda la Genomica, numerosi sono i progetti recentemente finanziati a livello Mondiale ed Europeo, tra cui il tedesco "GABI", diretto verso l'analisi genomica di piante di interesse agrario e piante modello, il francese "Genoplante", impegnato in progetti di sequenziamento e genomica strutturale di riso, *Arabidopsis* e piante d'interesse agrario, le iniziative inglesi TFG ("Technologies for Functional Genomics") ed IGF ("Investigating Gene Function"). Il nostro Paese, pur avendo gruppi di eccellenza nel settore, soffre di notevole ritardo rispetto ai partner Europei, accumulando un gap tecnologico significativo, che rischia di rendere l'Italia dipendente dalle tecnologie sviluppate in quei Paesi che hanno saputo organizzare meglio la ricerca e la formazione in questo settore. Solo recentemente, con lo scopo di coordinare le poche iniziative nazionali del

settore ed integrarle con quelle di altri Paesi, un primo sforzo è stato fatto da parte di singoli ricercatori con la costituzione di un "Network Italiano di Genomica Vegetale".

Negli ultimi tempi un dibattito particolarmente aspro, ed in molti casi non centrato, si è sviluppato in relazione all'impiego dell'ingegneria genetica in agricoltura. E' chiaro che la ricerca, soprattutto pubblica, dovrebbe giocare un ruolo fondamentale per sviluppare nuove tecnologie e per valutare il loro impatto sull'ambiente e la salute umana, mettendo a confronto, caso per caso, le opzioni tecnologiche esistenti con quelle che si rendono disponibili. E' importante però che i risultati scientifici disponibili vengano presi in esame per valutare gli effetti delle nuove tecnologie e che il "principio di precauzione", spesso adottato come criterio esclusivo per prendere delle decisioni sull'uso degli OGM in agricoltura, non diventi, come recentemente discusso anche in questa rivista, un "principio di blocco". Questo, al contrario, è esattamente quello che è successo in Europa e soprattutto in Italia!

[Contributo N° 48 dell'Istituto di Genetica Vegetale, Sezione di Portici]

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 2000 *Transgenic Plants and World Agriculture*. National Academy Press, Washington, D.C., USA
- AA.VV. 2001 *OGM: una risorsa per il futuro*. Le Scienze Dossier 10/2001
- Basso B., Casati D., Frisio D., Giorgi B., Rossi L., Sala F. 2003 *Biotechnologie per la tutela dei prodotti tipici italiani*. 21^{mo} Secolo, Milano
- Buchanan B.B., Gruissem W., Jones R.L. 2000 *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD, USA
- Cardi T., Filippone E., Grillo S. 2001 *Tecnologie più sicure per produrre piante geneticamente modificate*. L'Informatore Agrario 48/2001, 33-35
- Chassy B.M., Mackey M. (eds.) 2002 *The future of food and nutrition with biotechnology*. J. Amer. Coll. Nut. 21, No. 35 (supplement)
- Chrispeels M.J., Sadava D.E. 2003 *Plants, Genes, and Crop Biotechnology*, 2nd Ed. Jones and Bartlett Publishers, Sundbury, MA, USA
- Clive J. 2003 *Preview: Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2003*. ISAAA Briefs No. 30. ISAAA, Ithaca, NY, USA
- Delledonne M., Borzi N. 2001 *Biotechnologie in agricoltura - Realtà, sicurezza e futuro*. Assobiotec, Milano
- FAO 2004 *Report on The State of Food and Agriculture 2003-2004 - Agricultural Biotechnology: Meeting the needs of the poor?* Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome
- Kessler C., Economidis I. (eds.) 2001 *EC-sponsored Research on Safety of Genetically Modified Organisms - A review of results*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
- Labra M., Imazio S., Grassi F. 2003 *L'ABC delle biotechnologie vegetali*. L'Informatore Agrario 37/2003, 27-36
- Meldolesi A. 2001 *Organismi geneticamente modificati. Storia di un dibattito truccato*. Einaudi, Torino
- Sala F. 2004 *"Piante geneticamente modificate: "principio di precauzione" o "principio di blocco"?* Analysis 1/2004, 9-14
- Scarascia Mugnozza G.T., Monti L.M., Russo V. 2001 *Potenzialità del miglioramento genetico in piante ed animali*. Accademia Nazionale di Agricoltura, Bologna

Siti Internet

American Society of Plant Biologists (Education Foundation):

www.aspb.org/education/foundation/programs.cfm
Assobiotec: www.assobiotec.it
Commissione Europea: europa.eu.int/comm/index_it.htm
FAO: www.fao.org
Fondazione AgBioWorld: www.agbioworld.org/index.html
Information Systems for Biotechnology: www.isb.vt.edu
International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications: www.isaaa.org
Pew Initiative on Food and Biotechnology: pewagbiotech.org
Società Italiana di Genetica Agraria: www.siga.unina.it
The International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology: www.icgeb.trieste.it

TEODORO CARDI

Laureato in Scienze Agrarie presso l'Università "Federico II" di Napoli. Ricercatore CNR dal 1986. Dal 2001 è Primo Ricercatore presso il CNR-IGV, Istituto di Genetica Vegetale, Sezione di Portici. Per molti anni si è interessato dell'integrazione dell'ibridazione somatica ed altre biotecnologie nel miglioramento genetico della patata. Attualmente si occupa dello sviluppo di tecnologie innovative per la trasformazione genetica delle piante (trasformazione dei plastidi) e per l'uso delle piante come biofabbriche per la produzione di molecole d'interesse farmaceutico (vaccini).

Contatti:

CNR-IGV Via Università 133 80055 Portici (NA)
Tel. 081.2539223 Email: cardi@unina.it

STEFANIA GRILLO

Laureata in Scienze Biologiche presso l'Università "Federico II" di Napoli. Ricercatore CNR dal 1986. Dal 2002 è Responsabile della Sezione di Portici dell'Istituto di Genetica Vegetale. Da anni si interessa delle basi molecolari della risposta delle piante a stress ambientali in piante di interesse agrario (patata e pomodoro) e in specie modello (arabidopsis). Attualmente è impegnata in progetti di genomica funzionale per l'identificazione di network di geni che regolano la risposta delle piante a stress da alte temperature e carenza idrica.

Contatti:

CNR-IGV, Ist. Genetica Vegetale Via Università 133 80055 Portici (NA)
Tel. 081.2539205 Fax 081.7753579 Email: grillo@unina.it

ANTONELLA LEONE

Laureata in Scienze Agrarie presso l'Università "Federico II" di Napoli, è professore di Genetica Agraria presso il Dipartimento di Scienze Farmaceutiche, Università di Salerno. Da anni studia la risposta molecolare delle piante a stress ambientali (in particolare siccità e sale) e, più recentemente, gli approcci di ingegneria genetica e metabolica di piante medicinali per la produzione di metaboliti secondari bioattivi.

Contatti:

Univ. Salerno, Dip. Sc. Farmaceutiche Via Ponte don Melillo 84084 Fisciano (SA)
Tel. 089.964180 Fax 089.962828 Email: aleone@unisa.it