

AGRARIAN SCIENCES

SPECIALE GENETICA AGRARIA



200 ANNI GREGOR MENDEL

L'INARRESTABILE MARCIA DELL'AGRICOLTURA MODERNA



AGRARIAN SCIENCES
SPECIALE GENETICA AGRARIA

L'INARRESTABILE MARCIA DELL'AGRICOLTURA MODERNA

Pubblicazione: Numero speciale per i 200 anni dalla nascita di Gregor Mendel. Serie di articoli pubblicati su <https://www.agrariansciences.it/> sulla genetica agraria.

email info: agrarian.sciences@gmail.com

Grafica di copertina, progetto grafico e impaginazione: dott.ssa Teresa Monaco

- 5 **AUTORI**
- 7 **EDITORIALE**
- Ermanno Comegna
- 10 **MENDEL, LA SUA EPOCA E LA SUA VITA**
- Luigi Mariani
- 24 **A 200 ANNI DALLA NASCITA DI GREGOR MENDEL**
- Mariano Rocchi
- 43 **1900, A 34 ANNI DALLA PUBBLICAZIONE DI MENDEL E A 16 DALLA SUA MORTE**
- Mariano Rocchi
- 49 **GLI ESPERIMENTI DI MENDEL E LA LORO ATTUALITA'**
- Francesco Salamini
- 63 **VAVILOV, AGRONOMO MENDELIANO**
- Luigi Mariani
- 65 **IL RITORNO DEL POMODORO DI STRAMPELLI**
- Sergio Salvi
- 67 **TROFIM DENISOVIČ LYSENKO: AGRONOMO, GENETISTA O PSEUDO-SCIENZIATO?**
- Alberto Guidorzi
- 73 **NAZARENO STRAMPELLI OVVERO LA GENETICA AGRARIA CHE HA NUTRITO IL MONDO**
- Luigi Mariani, Tommaso Maggiore
- 76 **DAL GENE DI STRAMPELLI UNA MANO ALLA LOTTA AL BRUSONE DEL RISO**
- Sergio Salvi
- 78 **OTTAVIO MUNERATI UN GENETISTA DELLA BIETOLA DA ZUCCHERO DI FAMA MONDIALE, MA PRESSOCHÉ SCONOSCIUTO IN PATRIA**
- Alberto Guidorzi
- 83 **LA SCIENZA E LE BIOTECNOLOGIE VEGETALI SARANNO PRONTE PER ASSICURARE ALIMENTI ALLA POPOLAZIONE MONDIALE DEL 2050?**
- Michele Stanca
- 97 **IN MEMORIA DI UN GRANDE UOMO DI SCIENZA**
- Alessandro Cantarelli, Alberto Guidorzi, Francesco Marino
- 102 **PUBBLICATO SU "NATURE GENETICS" IL GENOMA DEL FRUMENTO DURO**
- Luigi Cattivelli
- 108 **UNA FACCENDA DI TRASPOSONI: BENEDETTO, NAZARENO E *DAHLIA VARIABILIS***
- Sergio Salvi
- 110 **VERSO COLTIVAZIONI A RISPARMIO IDRICO: UN APPROCCIO BIOTECNOLOGICO**
- Antonella Furini
- 113 **LE PIANTE GENETICAMENTE MODIFICATE (PGM) SONO UN PERICOLO?**
- Amedeo Alpi
- 116 **IL RIFIUTO DEGLI OGM – ESPERIENZE E VALUTAZIONE**
- Silviero Sansavini
- 123 **I LOVE GMO_s: QUANDO L'INGEGNERIA GENETICA PIACE**
- Luigi Mariani
- 125 **I SVELATI I SEGRETI DEL "GRANO DEL MIRACOLO"**
- Sergio Salvi
- 127 **TEA E TRANSGENESI SONO TECNICHE CHE SI CONTRAPPONGONO?**
- Alberto Guidorzi

autori



AMEDEO ALPI

E' stato Docente all' Università di Pisa e preside della Facoltà di Agraria dello stesso ateneo. Attualmente è vicepresidente dell' Accademia dei Georgofili (Fi), membro dell'Accademia Nazionale dell'Agricoltura (Bo) e dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta XL.



ANTONELLA FURINI

Docente Universitario di Genetica Agraria, Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona. Esperta dei meccanismi genetici responsabili della tolleranza dei vegetali allo stress idrico e all'assorbimento e accumulo di metalli pesanti in alcune specie vegetali. E' coautrice di circa 100 lavori scientifici su riviste internazionali.



ALESSANDRO CANTARELLI

Laureato in Scienze Agrarie presso la Facoltà di Agraria di Piacenza, con tesi in patologia vegetale. Dal febbraio 2005 lavora presso il Servizio Territoriale Agricoltura Caccia e Pesca di Parma (STACP), della Regione Emilia Romagna. Ha svolto diverse collaborazioni, in veste di tecnico, per alcuni Enti, Associazioni e nel ruolo di docente per la formazione professionale agricola. Iscritto all'Ordine dei dottori Agronomi e Forestali ed alla FIDAF parmensi.



ALBERTO GUIDORZI

Agronomo. Diplomato all'Istituto Tecnico Agrario di Remedello (BS) e laureato in Scienze Agrarie presso l'UCSC Piacenza. Ha lavorato per tre anni per la nota azienda sementiera francese Florimond Desprez come aiuto miglioratore genetico di specie agrarie interessanti l'Italia. Successivamente ne è diventato il rappresentante esclusivo per l'Italia; incarico che ha svolto per 40 anni accumulando così conoscenze sia dell'agricoltura francese che italiana.



LUIGI CATTIVELLI

Direttore del Centro di Ricerca per la Genomica Vegetale di Fiorenzuola d' Arda, PC. E' Autore di oltre 150 lavori scientifici.



TOMMASO MAGGIORE

Già Docente di Agronomia Generale presso la Facoltà di Agraria dell' Università degli studi di Milano, è stato anche Direttore del corso di Agronomia, Presidente del Corso di laurea Magistrale di Scienze della Produzione e protezione delle piante e Direttore del dipartimento di Produzione Vegetale. E' autore di centinaia di pubblicazioni a carattere scientifico.



LUIGI MARIANI

Insegna Agronomia all'Università degli studi di Brescia e Storia dell'Agricoltura all'Università degli Studi di Milano, dopo essere stato a lungo docente di Agrometeorologia. Agronomo libero professionista con lunga esperienza nella modellazione matematica dell'agroecosistema. Direttore del Museo Lombardo di Storia dell'Agricoltura e vicepresidente della Società Agraria di Lombardia. Per nove anni presidente dell'Associazione Italiana di Agrometeorologia. E' ordinario dell'Accademia della vite e del vino e membro corrispondente dell'Accademia dei Georgofili.



SERGIO SALVI

Biologo libero professionista, già ricercatore in genetica, è biografo di Nazareno Strampelli e cultore di storia agroalimentare. Si dedica alla divulgazione scientifica su temi d'interesse storico e di attualità. È Socio corrispondente della Deputazione di Storia Patria per le Marche.



FRANCESCO MARINO

Dott. Agronomo e Zootecnico (UniFI). Diploma di maturità in: Tecnico dell' Industria Enologica. Presidente dell'Associazione AgronomiperlaTerra e già Presidente dell' UGC-CISL Firenze/Prato e di Copagri Toscana. E' stato vicedirettore della Rivista " I Tempi della Terra" . E' Responsabile del Blog Agrarian Sciences e del sito biblioteca di Agrarian Sciences.



SILVANO SANSAVINI

Docente Universitario, Professore emerito - Università di Bologna. Studioso di fama internazionale, è uno dei maggiori esperti di frutticoltura mondiale.



MARIANO ROCCHI

Professore Emerito di Genetica, Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Bari Aldo Moro. E' Presidente della *European Cytogeneticists Association*.



ANTONIO MICHELE STANCA

E' stato Docente universitario, genetista di fama internazionale, Vicepresidente dell'Accademia dei Georgofili e Presidente dell'UNASA. Autore di oltre 400 pubblicazioni su riviste scientifiche nazionali e internazionali, ci ha lasciato il 19 marzo 2020.



FRANCESCO SALAMINI

Accademico dei Lincei. Già docente di Botanica e Fisiologia Vegetale presso la Facoltà di Agraria dell'Università di Piacenza . Direttore della Sezione Maiscultura di Bergamo dell'Istituto sperimentale per la Cerealicoltura di Roma. Dal 1985 al 2002 direttore, Dipartimento di Miglioramento Genetico e Fisiologia delle Piante, Colonia, Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung E' autore di circa 600 pubblicazioni scientifiche.



L'INARRESTABILE MARCIA DELL'AGRICOLTURA MODERNA

Ermanno Comegna

Rievocare con un fascicolo speciale la figura, le opere e l'eredità scientifica e culturale di Gregorio Mendel è un atto dovuto da parte di Agrarian Sciences che ribadisce, se mai ce ne fosse bisogno, l'importanza della propensione all'innovazione, della fiducia verso la scienza e della pragmatica consapevolezza circa il ruolo del sistema agroalimentare globale che sono elementi distintivi del gruppo di persone che a vario titolo collaborano con la testata.

Parlare di Mendel oggi ed affrontare il tema della genetica agraria è di fondamentale importanza, oltre che essere di indubbia attualità, a seguito dei recenti fenomeni di instabilità sociale, politica ed economica che si sono verificati negli ultimi tre anni.

In questo momento, il tema della sicurezza alimentare, intesa come la capacità di produrre e mettere a disposizione dei consumatori una quantità ed una varietà di alimenti salubri e in grado di soddisfare i più svariati bisogni, rappresenta una preoccupazione di molti governi, oltre che delle organizzazioni sovranazionali.

Solo per ricordarlo a chi tende a sottovalutare o peggio ignorare il tema, si ritiene opportuno sottolineare che l'Unione europea, a marzo scorso, ha pubblicato una comunicazione dal titolo "Proteggere la sicurezza alimentare e rafforzare la resilienza dei sistemi alimentari" ed ora si accinge a tornare sull'argomento con un'ulteriore iniziativa, in quanto le perturbazioni in atto sollevano evidenti preoccupazioni sulla sicurezza alimentare mondiale, oltre il breve termine.

Le crescenti sfide a livello globale, con particolare riferimento alla necessità di migliorare la produttività e la sostenibilità del settore agricolo, tenendo conto anche del fenomeno del cambiamento climatico, sono strettamente collegate con il progresso scientifico, il perfezionamento delle conoscenze e la diffusione delle innovazioni.

Solo un'agricoltura moderna, orientata al mercato, capace di evolversi accettando le sfide ed aperta al nuovo, è in grado di dare le risposte che la società si attende.

Di contro, gli approcci agricoli che guardano al passato e manifestano una ostinata chiusura verso le innovazioni, possono soddisfare bisogni peculiari di tipo occasionale e/o di una minoranza di consumatori, ma non sono convincenti e non sembrano capaci di corrispondere alle esigenze della società moderna.

I dati dell'ultimo Censimento dell'agricoltura italiana che l'Istat ha iniziato a diffondere, a partire dall'estate 2022, dicono chiaramente che la produzione agricola è sempre più concentrata su un numero limitato di aziende, con elevata specializzazione, le cui dimensioni crescono progressivamente, sempre più propense verso l'informatizzazione e gli investimenti innovativi.

Tra il 2010 ed il 2020 sono scomparse quasi 500.000 unità produttive. Nello stesso intervallo di tempo, il numero di persone coinvolte nell'attività agricola, comprendendo la manodopera familiare e quella esterna, si è dimezzato, passando da 2,92 a 1,46 milioni di unità. Oggi, l'80% della superficie agricola utilizzata è gestita dal 21% delle aziende agricole italiane.

Questi dati restituiscono un'immagine del settore primario in profonda evoluzione, con il comune denominatore che pochi addetti assumono il fondamentale compito di soddisfare le esigenze di sempre più ampi strati di popolazione extra-agricola.

Negli ultimi tempi, sembra di emergere qualche segnale di cambiamento dell'opinione pubblica e del personale politico, in particolare a livello europeo.

Evidentemente, l'instabilità degli ultimi anni ha risvegliato il senso pratico di molti che ora sono consapevoli della necessità di puntare sul modello agricolo professionale moderno, accantonando l'idea più volte espressa in passato, di un suo graduale, ma irreversibile superamento.

L'accelerazione dell'Unione europea verso una iniziativa legislativa in materia di nuove tecniche genomiche, favorita anche dall'inatteso risultato conseguito dalla consultazione pubblica (circa l'80% dei partecipanti propende per una legislazione specifica per mutagenesi e cisgenesi) è un segnale di straordinaria importanza che ora però va declinato in coraggiose scelte politiche, tali da togliere l'agricoltura europea dalla scomoda condizione di essere privata di fondamentali soluzioni fornite dal progresso scientifico, mettendola così in condizione di svantaggio competitivo rispetto alle proprie controparti del mercato globale.

La lettura dei tanti saggi contenuti nel fascicolo speciale di Agrarian Sciences, redatti da autori di consolidata e indubbia rilevanza scientifica ed operativa, è un godimento per chi ha fiducia nella capacità dell'Uomo di trovare soluzione anche ai più difficili problemi ed è senz'altro consigliabile a coloro che hanno una visione vaga del ruolo dell'agricoltura e, soprattutto a chi riveste il difficile compito di formulare le decisioni politiche.

"Gli ibridi di mais F1, hanno rappresentato lo sviluppo di maggiore importanza della biologia applicata che ha influenzato più vite di qualunque scoperta nella biologia medica durante la seconda guerra mondiale e immediatamente dopo".

(Mangelsdorf , 1951)



MENDEL, LA SUA EPOCA E LA SUA VITA

Luigi Mariani

Riassunto

Sacerdote e monaco agostiniano, Gregor Johann Mendel trascorse gran parte della sua vita nel monastero di San Tommaso a Brünn (l'odierna Brno) di cui fu Abate per 16 anni. Naturalista con una forte vocazione all'interdisciplinarietà che si traduceva nell'interesse per la botanica, l'agronomia, la matematica, la fisica, la pedagogia, la meteorologia e l'apicoltura, è universalmente noto per la scoperta delle leggi dell'ereditarietà, considerate il punto di partenza della moderna scienza della genetica. Per comprendere Mendel è certamente necessario immergersi nella realtà del mondo rurale da cui proveniva, afflitto dalla mancanza di elementari mezzi di sopravvivenza e per il quale la fede era un elemento imprescindibile per dare senso a una vita di fatica e sofferenza. Da Mendel siamo lontani non solo per la scarsità delle fonti ma anche per il nostro essere parte di società postmoderne nate dalle rovine di ideologie - nazionalismi e comunismo - che si erano fondate sul palese rifiuto dei valori che hanno ispirato il pensiero e l'azione di Mendel (fiducia nella scienza, dialogo interculturale, mitezza e benevolenza). In questo contributo cerco di offrire alcuni elementi utili per una riflessione basata sulla biografia di Mendel e sugli eventi del suo tempo.

Abstract

Priest and Augustinian monk, Gregor Johann Mendel spent most of his life in the monastery of St. Thomas in Brünn (today's Brno) of which he was Abbot for 16 years. Naturalist with interests in agronomy, mathematics, physics, meteorology, beekeeping and pedagogy, he is universally known for the discovery of the laws of inheritance, considered the starting point of the modern science of genetics. To understand Mendel it is certainly needed to evaluate the reality of the rural world from which he came and for which faith was an essential element to give meaning to a life of toil and suffering. From Mendel keeps us away not only the shortage of the sources but also our being part of a post-modern societies born from the ruins of the ideologies - nationalisms and communism - which were founded on the rejection of the values (trust in science, intercultural dialogue, mildness and kindness) that inspired the Mendel's thinking and action. In this paper I try to offer some elements useful for a reflection based on Mendel's biography and the events of his time.

Comunicazione presentata al Seminario "Gregor Mendel, il mendelismo e la genetica agraria" organizzato dal Museo di Storia dell'Agricoltura, la Società Agraria di Lombardia e la Fondazione Morando Bolognini il 14 ottobre 2022 a Sant'Angelo Lodigiano.



Ritratto di Johann Gregor Mendel di August Potuczek (Richter, 2015).

Introduzione

Gregor Johann Mendel (20 luglio 1822 – 6 gennaio 1884), sacerdote e monaco agostiniano, trascorse la maggior parte della sua vita nel monastero di San Tommaso in Brünn, l'odierna Brno, in Moravia, oggi regione della Repubblica Ceca. Attento naturalista con notevoli interessi per la matematica, la meteorologia e l'agronomia, è oggi universalmente noto per le attività sperimentali di ibridazione in pisello e altre specie che lo portarono a scoprire le leggi dell'ereditarietà, considerate il punto di partenza della moderna scienza della genetica, termine quest'ultimo che ai tempi di Mendel non esisteva, essendo stato coniato nel 1906 da William Bateson (1907).

La vicenda scientifica di Mendel prima e dopo la sua morte si articola in quattro passaggi chiave e cioè:

- la scoperta da parte di un ricercatore estraneo al mondo accademico, delle leggi che governano l'ereditarietà dei caratteri
- l'incapacità del mondo scientifico di comprendere il significato e la portata di tale scoperta
- la riscoperta delle leggi di Mendel da parte di Hugo De Vries, Varl Correns, William Jasper Spillman e dei fratelli Tschermak-Seysenegg, che intorno al 1900 porta finalmente alla pubblica attenzione il messaggio scientifico di Mendel (Giannini, 2002; Minelli, 2014).
- la *damnatio memoriae* a cui la figura di Mendel fu soggetta nei regimi comunisti dell'Est per il diffondersi delle teorie di origine lamarkiana di Trofim Lisenko. Ciò comportò anche la persecuzione dei genetisti mendeliani, con la vicenda esemplare di Nikolai Ivanovich Vavilov, amico personale di Bateson, incarcerato per le sue idee e morto in carcere a Saratov nel 1943 (Janick, 2015).

Una riflessione preliminare necessaria è quella che concerne le fonti su cui poter riflettere per delineare sul piano storico la figura di Mendel. A differenza infatti con quando accade con Charles Darwin, per il quale sussiste una sovrabbondanza di fonti (la sua corrispondenza consta infatti di oltre 15.000 lettere - <https://www.darwinproject.ac.uk/letters/darwins-life-letters>) nel caso di Mendel la disponibilità di fonti primarie, prodotte cioè quando Mendel era in vita o a partire da testimonianze di chi l'aveva conosciuto, è scarsa e secondo quanto riportato da van Dijk et al., 2018 (Allegato 1) si limita ad alcuni suoi articoli scientifici, diciotto lettere scritte a parenti e amici, le testimonianze di suoi allievi e di altre persone che ebbero occasione di interagire con lui e quanto riportato su quotidiani e periodici dell'epoca. La povertà delle fonti limita la capacità di ricostruzione ed espone al rischio costante di interpretazioni forzate e non realistiche.

Note biografiche

L'infanzia (1822-1833)

Mendel nacque il 20 (o forse il 22) luglio del 1822 da Anton Mendel e la moglie Rosine (nata Schwirtlich). Con il giovane Johann si giunse alla sesta generazione di Mendel nati a Heinzendorf bei Odrau (Hyncice), piccolo villaggio vicino al confine moravo-slesiano che all'epoca contava una popolazione di circa 500 abitanti e che oggi ospita la casa natale di Mendel. Johann era il secondo di tre figli sopravvissuti, con la sorella maggiore Veronika e la minore Theresia, a cui Mendel resterà sempre molto legato. Anton e Rosine ebbero altri due figli: una, nata tra Johann e Theresia, morta all'età di 2 anni e l'altro, nato dopo Theresia, che visse solo poche settimane.

Anton era un agricoltore di lingua tedesca che, dopo aver servito per 8 anni nell'esercito austro-ungarico, era riuscito a farsi assegnare un podere con un contratto che gli imponeva però di sottostare a una corvée di 3 giorni la settimana a vantaggio del proprietario terriero. Ci si aspettava quindi dai bambini il lavoro nella fattoria, compresa l'apicoltura e la gestione del frutteto, attività nelle quali Johann eccelleva e che proseguirà per tutta la vita (Giannini, 2003).

Sebbene molti residenti di Heinzendorf fossero analfabeti, il villaggio aveva una scuola elementare e il maestro Thomas Makitta riconobbe il precoce talento di Johann, raccomandando ai genitori di inviarlo in collegio a Leipnik (Lipnik nad Bécvou), una cittadina a circa 20 km di distanza. Come per molte famiglie in ristrettezze finanziarie, il problema legato a una tale scelta erano i soldi della retta e i genitori di Johann fecero molti sacrifici per mantenerlo agli studi. A 11 anni Johann affrontò così un anno di studi a Leipnik, ove una nota a margine di una delle sue pagelle lo indica come "primo della classe" (Hartl, 2022).



La casa natale di Mendel a Heinzendorf bei Odrau (oggi Hyncice).

Foto dello scrittore Simon Mawer - <http://www.simonmawer.com/photoessay.htm>.

Gli studi successivi (1834-1843)

Il passo successivo nell'educazione di Johann fu la scuola di preparazione presso il ginnasio di Troppau (Opava), a circa 30 km da casa, ove fu ammesso alla fine del 1834 (Hartl, 2022). Preside a Troppau era padre Ferdinand Schaumann, monaco agostiniano formatosi al monastero a Brünn. A Troppau Mendel ottenne costantemente i voti più alti ma ciò non lo liberò dai suoi problemi finanziari, i quali peggiorarono nel 1838, allorché il padre ebbe un incidente debilitante che minò la capacità della famiglia di sostentarsi: durante il lavoro invernale di corvée infatti un grosso tronco gli rotolò addosso

schiacciandogli parte del petto. E fu proprio a seguito di tale incidente che Johann Mendel si iscrisse a un corso di formazione per precettori privati, nella speranza di poter guadagnare abbastanza per sopravvivere. Vi erano però anche altri problemi: già a Troppau nel 1838, all'età di 16 anni, Mendel aveva vissuto il primo episodio di una malattia grave e non specificata che lo costrinse a ritirarsi dalla scuola e a rientrare a casa per settimane o mesi prima di poter riprendere gli studi. Peraltro episodi simili si ripeteranno più volte durante la tarda adolescenza e i primi anni in monastero.

Nonostante le difficoltà finanziarie e di salute, Mendel continuò con profitto gli studi a Troppau, tanto che venne giudicato eccellente (*prima classis cum eminentia*) in quasi tutte le materie. Sopravvivono a questo periodo due poesie scritte con la calligrafia di Mendel e che sono state trovate tra i ricordi di Theresia. Le correzioni, le cancellazioni e le riformulazioni nel manoscritto lasciano pochi dubbi sul fatto che le poesie siano originali e autentiche. Particolarmente significativi per quanto di profetico vi si ritrova, sono i versi dedicati a Gutenberg, inventore della stampa a caratteri mobili: "...*possa il destino garantirmi*

“ Scrive Carlo Giuseppe Londonio nel suo testo del 1819 “Per l'esecuzione del Piano degli studj ginnasiali giusta le recenti modificazioni superiormente prescritte” e relativo alle scuole del Lombardo Veneto: nella classificazione del merito dovranno in avvenire ritenersi i seguenti gradi cioè Prima classis cum eminentia, Prima classis accedens ad eminentiam, Prima classis, Sec classis, Tert classis.

Speciale Genetica Agraria

l'estasi suprema delle gloria terrena [...] quella di veder, uscendo dalla tomba, la mia arte prosperare nella pace tra coloro che saranno dopo di me" (Giannini, 2003).

Nella primavera del 1839, nuovamente malato per lo stress, Mendel si ritirò dalla scuola e trascorse il resto della primavera e dell'estate a casa con i genitori. Ritrovata la salute poté tornare a Troppau nell'autunno del 1839 e nel 1840, completando gli studi e ricevendo un attestato che ne riconosceva il talento.

L'anno 1841 si rivelò un punto di svolta per la famiglia Mendel (Hartl, 2022): la salute di Anton continuò infatti a peggiorare, costringendolo a vendere la fattoria, che fu acquistata dal genero, il marito di Veronika, con un contratto che prevedeva anche un piccolo stipendio a Johann per tutto il tempo in cui sarebbe stato studente e una dote per Theresia. Nello stesso anno Johann fu ammesso al 2° anno del corso di studi presso l'Istituto Filosofico di Olmutz, che era affiliato alla università Palacky, la più antica università della Moravia, fondata nel 1573 dai Gesuiti. Durante il suo primo anno di studi Mendel soffrì di un altro esaurimento nervoso debilitante che lo costrinse a ritirarsi. A quei tempi la materia che più lo interessava era la fisica e al suo rientro, l'anno successivo, trovò un nuovo insegnante, il professor Friedrich Franz, che aveva insegnato fisica per quasi 20 anni all'Istituto Filosofico a Brünn mentre viveva con i frati al monastero di San Tommaso. Lo stipendio di Mendel era insufficiente per mantenersi e pagare le sue tasse, ed è in questo fondamentale frangente che sua sorella Theresia, che all'epoca aveva solo 11 anni, rinunciò volontariamente alla sua quota del patrimonio di famiglia destinandogliela affinché potesse continuare gli studi.

Il monastero: sacerdozio, studio e insegnamento (1843-1868)

Anche quando il corso di studi di Mendel fu completato con successo, rimasero ad assillarlo i problemi economici (Hartl, 2022), come scrive in terza persona nella sua autobiografia: *egli "si rese conto che era impossibile per lui sopportare ulteriori sforzi. Pertanto, dopo aver terminato gli studi filosofici, si sentì in dovere di cercare una condizione di vita che lo liberasse dall'aspra lotta per l'esistenza. Le circostanze decisero la sua scelta di vocazione"*. Si rivolse dunque per un consiglio al professor Franz, il quale aveva da poco ricevuto la richiesta di segnalare uno studente meritevole per il monastero di Brünn. E fu così che Franz il 14 luglio 1843 rispose indicando Johann Mendel, che durante il suo corso di 2 anni in filosofia *"ha avuto, quasi invariabilmente, i rapporti più ineccepibili, ed è un giovane dal carattere molto solido. Nel mio ramo è quasi sempre il migliore. Ha una insufficiente conoscenza del ceco ma è disposto a dedicarsi al studio della lingua durante gli anni di studio teologico"*.

Mendel fu pertanto invitato a unirsi agli Agostiniani di Brünn e prima dell'accettazione gli fu chiesto di superare un esame fisico, cosa che fece guardandosi dall'indicare le malattie ricorrenti che lo avevano colpito, e di presentare un documento di assenso firmato da ambedue i genitori. Il 9 ottobre 1843 Johann, insieme ad altri tre novizi, fu formalmente ammesso al convento con il nome di "Gregor" (Hartl, 2022).

Posta alla confluenza dei fiumi Svitava e Svratka e capoluogo della Moravia, Brünn (Brno) era soggetta nel XIX secolo a una forte espansione demografica trainata in primis dall'industria tessile della lana. Da notare che nell'area collinare a sudest di Brünn si combatté la battaglia di Austerlitz, in cui Napoleone sconfisse l'esercito austro - russo. Inoltre la collina attorno a cui sorge Brünn ospita una fortezza, lo Spielberg, antica residenza dei Margravi di Moravia e che dal 1820 ospitò un carcere duro per delinquenti comuni e "politici", fra cui figurarono vari nostri patrioti. Fra questi ricordiamo Silvio Pellico (1789-1854) che di Brünn parla a più riprese nel suo libro "Le mie prigioni" e Giorgio Pallavicino Trivulzio (1796-1878), imparentato con i conti Bolognini.

Gli studi formali di Mendel al monastero di San Tommaso non ebbero inizio che un anno dopo il suo arrivo; prima di tale inizio

“Brünn ospita una fortezza, lo Spielberg, che dal 1820 ospitò un carcere duro per delinquenti comuni e "politici" fra cui figurarono vari nostri patrioti. Fra questi ricordiamo Silvio Pellico (1789 - 1854), che di Brünn parla a più riprese nel suo libro "Le mie prigioni".

Agrarian Sciences

Mendel investì probabilmente le proprie energie nel conoscere le persone e nel capire i rapporti fra monastero e città, oltre che nello studiare il ceco parlato e scritto. Il curriculum per i novizi includeva lezioni su argomenti ecclesiastici come storia della chiesa, diritto canonico, dogmatica e teologia morale. Mendel studiò anche ebraico, greco, metodi di insegnamento nella scuola elementare, rudimenti di caldeo, siriano e arabo e partecipò inoltre alle lezioni di economia, agricoltura, pomologia e viticoltura presso l'Istituto Filosofico di Brünn (Hartl, 2022).

A quel tempo vi era carenza di parroci, per cui l'abate Napp ritenne utile imporre un'accelerazione alla carriera ecclesiastica di Mendel, che fu ordinato sacerdote il 25 dicembre 1846 (Richter, 2015) e di lì a un anno prese servizio come parroco aggiunto nella collegiata del monastero. La fase di prova non ebbe tuttavia esito positivo per cui nel 1849 l'abate Napp, che nel frattempo era divenuto direttore educativo per la Moravia e la Slesia, designò Mendel come insegnante al liceo a Znaim (Znojmo), una piccola città della Moravia a circa 65 km a sud-ovest di Brünn. Al riguardo Napp ebbe a scrivere al vescovo: *"[Mendel] vive una vita molto ritirata ... ed è molto diligente nello studio delle scienze mentre è assai poco adatto al lavoro di parroco, a motivo della timidezza che lo coglie quando deve visitare persone malate e sofferenti. Invero, questa sua infermità lo ha reso pericolosamente malato ed è per questo che ho ritenuto necessario sollevarlo dal servizio di parroco"* (Hartl, 2022).

Mendel giunse dunque a Znaim ove insegnò matematica elementare e greco. E qui, all'età di 28 anni, lo colse il decreto del 1850 che richiedeva che tutti gli insegnanti precedentemente non certificati fossero sottoposti a un esame di abilitazione, il che interessava Mendel e altri due insegnanti presenti a Znaim. Mendel fece domanda per gli esami di storia naturale e fisica e a supporto di tale domanda redasse la propria autobiografia che a più riprese è stata citata in questo testo. L'abilitazione comportò la predisposizione di un ampio lavoro di ricerca sui due argomenti prescelti, cui seguì un viaggio a Vienna per un esame scritto su ogni argomento, seguito da un orale. Gli esiti dell'esame furono contrastanti: a un successo nella fisica si contrapposero un risultato negativo nella storia naturale e una performance mediocre nell'orale. Gli esaminatori, pur non potendo far altro che negargli l'abilitazione, rimasero colpiti dal suo zelo e gli raccomandarono di ripresentare domanda entro un anno. Il primo biografo di Mendel, Hugo Iltis, dedica un lungo capitolo a questo episodio, concludendo che un simile risultato era da dare quasi per scontato, in quanto Mendel non aveva una formazione universitaria in fisica e mancava di una preparazione sufficiente in storia naturale, materia per la quale si presentava come autodidatta, conscio del fatto che nella storia naturale, *"il metodo autodidattico, come forse in nessun'altra scienza, è arduo e porta a raggiungere l'obiettivo solo lentamente"*. Tornato a Brünn Mendel trascorse l'anno successivo insegnando in una scuola locale (Hartl, 2022).

Non solo le autorità scolastiche di Znaim volevano che Mendel fosse abilitato: lo stesso segretario della commissione esaminatrice, nel frattempo divenuto ministro del commercio, nel 1851 scrisse in tal senso all'abate Napp, il quale contattò il vescovo di Brünn chiedendogli il permesso di inviare Mendel all'Università di Vienna per un periodo formativo e ottenendo parere favorevole, a condizione però che Mendel «non si allontanasse dalle sue attività». E fu così che padre Gregor trascorse gli anni accademici dal 1851 al 1853 a Vienna, tornando a Brünn solo per le vacanze e recandosi inoltre a Heinzendorf nel 1852 per il matrimonio di Theresia. A Vienna, Gregor frequentò le lezioni di fisica sperimentale di Christian Andreas Doppler, e le lezioni di matematica, fisica matematica, chimica, zoologia, paleontologia, botanica sistematica, fisiologia vegetale e microscopia. Il suo professore di paleontologia lo giudicò *"estremamente diligente e molto attento"* e nel suo secondo anno di studi fu nominato socio della Società Zoologica e Botanica di Vienna (Hartl, 2022).

Dal suo ritorno a Brünn (estate del 1853) alla primavera del 1854 non è del tutto chiaro cosa abbia fatto Mendel ma pare abbia insegnato alla scuola elementare. Inoltre alla fine di maggio 1854 Mendel fu nominato insegnante supplente di fisica e storia naturale alla Brünn Modern School, che aveva 300 iscritti, in seguito saliti a più di 1000. Lì Mendel insegnò fino al 1867 e, un anno dopo la sua nomina, fece nuovamente domanda per essere esaminato per l'abilitazione all'insegnamento, questa volta indicando fisica come materia principale e storia naturale come seconda. Nell'occasione Mendel ricevette ottime valutazioni sui suoi scritti di ricerca e a inizio maggio 1856 si recò a Vienna, ottenendo risultati deludenti e che sono così descritti in una lettera dal confratello padre Klacel al frate Bratànek: *"benché le domande fossero facili, Mendel si ammalò durante la prova scritta e di conseguenza non fu in grado di partecipare. Pare che Mendel abbia problemi con i suoi nervi in generale, avendo già*

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

subito molti attacchi insidiosi... Siamo dispiaciuti per lui, dal momento che i suoi scritti sono stati valutati in modo molto positivo. Ma le formalità sono formalità; non è stato possibile continuare. Per paura che gli attacchi potessero proseguire, Mendel tornò a casa senza portare a termine la prova". L'esame fu poi riprogrammato per Agosto dello stesso anno ma Mendel non si recò Vienna per sostenerlo (Hartl, 2022).

Mendel amava viaggiare per diletto e per le sue vacanze nel 1862 si concretizzò un'opportunità speciale (Hartl, 2022): gli imprenditori Neumeyer e Mihailovics avevano di recente fondato un'agenzia specializzata in viaggi di piacere per gruppi. Uno, in treno, riguardava il percorso da Vienna a Londra via Parigi e costava 250 fiorini austriaci, circa la metà dello stipendio annuo di Mendel, il quale acquistò un biglietto e il 30 luglio a Vienna si unì agli oltre 300 turisti, per lo più benestanti. Il gruppo trascorse sei giorni godendosi le attrazioni turistiche di Parigi e dei suoi dintorni, dove Mendel soggiornò nel Grand Deluxe Hotel, di recente aperto vicino al Louvre-Tuileries. Da lì i turisti si recarono a Londra, alloggiando nella nuova London Pavilion Music Hall vicino a Piccadilly Circus e seguendo sei giorni di visite turistiche di cui due all'International Industrial Exhibition.

Il gruppo ritornò a Vienna il 16 agosto e Mendel fu molto soddisfatto dell'esperienza, tant'è vero che l'anno successivo si iscrisse al tour in Italia organizzato dalla medesima agenzia di viaggi. A tale tour parteciparono un centinaio di viaggiatori che partirono da Vienna l'1 settembre e in treno raggiunsero Verona e Genova per poi percorrere in battello la costa fino a Pisa e raggiungere da lì Roma, dove i turisti trascorsero sei giorni, comprensivi di un'udienza di gruppo con Papa Pio IX tenutasi il 9 settembre. Da Roma i turisti proseguirono per Napoli e Pompei per poi raggiungere Firenze in treno e da lì, fra il 21 e il 24 settembre 1863, rientrare a Vienna attraverso Genova, Milano e Venezia (Hartl, 2022). Si noti peraltro che questo viaggio turistico ebbe luogo nel breve periodo di pace compreso fra la seconda (1859) e la terza guerra di indipendenza (1866).

Le esperienze di Mendel sui piselli

Dal 1856 al 1863 Mendel condusse i suoi pionieristici esperimenti sull'ereditarietà nei piselli (*Pisum sativum* L.). Tre anni e mezzo dopo l'inizio di tali esperimenti il mondo della biologia fu profondamente scosso dalla pubblicazione del libro di Darwin sull'origine delle specie, avvenuta il 24 novembre 1859. Mendel acquistò copie personali di tutti i libri di Darwin non appena si resero disponibili in edizione tedesca e li lesse assiduamente, apportando note a margine e commenti. La sua copia personale era una traduzione tedesca della seconda edizione

“La Naturforschender Verein (Società per lo studio delle scienze naturali) era emanazione della Mährischen Gesellschaft zur Beförderung der Landwirtschaft, der Natur- und Landeskunde (Società morava per lo sviluppo dell'agricoltura, delle scienze naturali e della storia locale) che comprendeva anche sezioni dedicate alla viticoltura, alla pomologia e all'allevamento ovino (Wood e Orel, 2005).

pubblicata nel 1863, e contiene annotazioni dei passaggi ritenuti più interessanti. L'entusiasmo per il testo di Darwin mise in ombra ogni altro aspetto della biologia di quei tempi, tant'è vero che l'11 gennaio del 1865 Alexander Makowsky, relatore principale della sessione mensile della Società per lo studio delle scienze naturali, offrì un appassionato riassunto del testo di Darwin (Hartl, 2022). Relatore principale delle sessioni di febbraio e marzo era invece Mendel, il quale nella serata dell'8 febbraio 1865 presentò la prima parte delle sue ricerche sull'ereditarietà, in cui descrisse come i caratteri si trasmettono negli ibridi (Giannini, 2003). Alla conferenza era presente una quarantina di persone, per lo più frequentatori abituali delle conferenze della Società. Fra di essi spiccavano alcuni amici di Mendel fra cui Johann Nave, botanico esperto di alghe d'acqua dolce, Gustav von Niessl, astronomo e botanico, Alexander Makowsky, botanico, Joseph Auspitz, direttore della Realschule, Jacob Kalmus, medico, Franz Czermak, chimico e Karl Theimer, floricoltore e farmacista. La seconda parte della presentazione di Mendel si svolse esattamente un mese dopo, l'8 marzo, e fu dedicata

Agrarian Sciences

sia alle modalità con cui le cellule riproduttive (polline e cellule uovo), delle piante ibride trasmettono i caratteri alle generazioni successive sia al tema della speciazione, allora al centro dell'attenzione grazie anche agli scritti di Darwin. I resoconti delle due conferenze di Mendel apparvero sul giornale locale *Tagesbote* e furono poi sviluppati da Mendel stesso nel famoso articolo *Versuche über Pflanzen-Hybriden* (1866), nel quale si riassume gran parte dell'eredità scientifica di Mendel (Giannini, 2003).

Mendel Abate (1868-1884)

Cyrrill Napp, che aveva protetto e guidato Mendel per tanti anni, morì il 22 luglio 1867. Il 26 marzo 1868, Mendel scrisse a Leopold Schindler, marito di Theresia, che: *"Lunedì prossimo a mezzogiorno dovremo eleggere il prelado ... l'esito è ancora incerto e non si sa chi di noi sarà il fortunato. Se la scelta ricadrà su di me, cosa che non oso sperare, lunedì pomeriggio ti manderò un telegramma"* (Hartl, 2022).

Una volta eletto, Mendel sottovalutò il lavoro che lo attendeva tant'è che subito dopo l'elezione scrisse al botanico di Monaco Carl von Nageli che la sua nuova posizione sarebbe costata molto tempo e fatica *"finché non mi sentirò a mio agio nei miei nuovi doveri"* e che tuttavia, *"questo non mi impedirà di andare avanti con gli esperimenti di ibridazione cui sono tanto affezionato; spero infatti di poter dedicare ancora più tempo e attenzione ad essi."* Per i primi anni Mendel ebbe ragione, i suoi esperimenti proseguirono e nel 1871 ebbe anche modo di recarsi a Kiel, a nord di Amburgo, per un Convegno Internazionale di Apicoltura. Tuttavia man mano che gli oneri amministrativi crescevano, Mendel si vide costretto ad abbandonare l'attività scientifica, cosa di cui si lamentò nel 1873 scrivendo che *"sono davvero scontento di dover trascurare le mie piante e le mie api"*. Solo le sue registrazioni meteorologiche poterono proseguire (Hartl, 2022).

Ciò che Mendel sottovalutò fu il tempo e lo sforzo necessari per gestire i vasti possedimenti del monastero con la conseguente necessità di frequenti visite ispettive. A ciò si aggiunga che le sue funzioni pubbliche di prelado richiedevano un'enorme quantità di tempo e lo avevano portato a far parte di praticamente tutte le società colte della Moravia. Divenne ad esempio membro di un comitato che esaminava la frutta e i prodotti orticoli, di uno che stanziava sovvenzioni agricole a comuni rurali e scuole agrarie, uno per la tassazione fondiaria in Moravia, uno che promuoveva la costruzione di strade secondarie e uno che si occupava della disponibilità di libri della biblioteca di agricoltura nelle scuole elementari. Gli fu chiesto di recensire libri, di valutare un nuovo tipo di filato e di identificare un lepidottero che devastava i raccolti di lino. Fu inoltre nominato vicepresidente della Banca Mutua Morava, il che gli offriva un buon stipendio ma lo costringeva quasi ogni giorno a 1-2 ore di lavoro in banca (Hartl, 2022).

A quei tempi il più grande assillo di Mendel fu lo scontro decennale con il Ministero della Pubblica Istruzione per problemi di fiscalità. Nel 1874 il Reichsrat aveva infatti approvato una legge che aggiungeva una tassa speciale sul reddito dei monasteri per pagare gli stipendi di parroci e altri funzionari religiosi, spesso impegnati in attività di insegnamento nelle scuole. Sebbene tutti i monasteri si fossero opposti a tale tassa, la maggior parte alla fine rispettò la legge denunciando il proprio reddito ma detraendo il denaro versato a religiosi e personale, così come le altre spese e azzerando di fatto le proprie pendenze. L'abate Mendel rifiutò invece di ricorrere a un simile sotterfugio, insistendo sul fatto che la legge era incostituzionale e rifiutandosi pertanto di pagare. Le sue proteste proseguirono mese dopo mese finché, nel 1876, le autorità esasperate sequestrarono i possedimenti monastici trattenendo al contempo la tassa. Mendel continuò ostinatamente le sue proteste, anno dopo anno, finché non si ammalò troppo per continuare. In tal modo si amareggiò, credette che i suoi amici lo avessero tradito e si alienò le simpatie di molti confratelli. Ittis dedica venti pagine della sua biografia a questo infelice capitolo finale della prelatura di Mendel. Peraltro dopo la morte di Mendel il procuratore del monastero effettuò una valutazione dei redditi degli anni precedenti, azzerandoli con le detrazioni e ottenendo così il risultato che molto del denaro che era stato prelevato per la tassazione fu restituito direttamente o attraverso l'abbattimento di altre imposte (Hartl, 2022).

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Gli anni del declino (1882 - 1884)

Persa l'amicizia di molti colleghi a seguito della lunga disputa fiscale con le autorità e preoccupato dal declino della sua salute, Mendel si avvicinò ai suoi nipoti, figli di Theresia che era morta nel 1857 a soli 28 anni: Alois, Ferdinand e Johann Schindler. Man mano che questi nipoti diventarono abbastanza grandi, Mendel li fece infatti trasferire a Brünn dove, in segno di gratitudine per il dono altruistico di Theresia che molti anni prima gli aveva permesso di continuare la propria istruzione, li sostenne pagando la loro iscrizione al liceo e poi alla scuola di medicina dell'Università di Vienna, ove Alois e Ferdinand si laurearono divenendo ambedue medici. Il primogenito di Theresia, Johann, divenne invece vicedirettore della scuola tecnica di Brünn e fu membro della Società per lo studio delle scienze naturali insieme allo zio Gregor, morendo poi di tubercolosi a metà degli anni '20 (Hartl, 2022).

Mendel era di media altezza con spalle larghe e complessione robusta (Richter, 2015). La conformazione corporea era in parte di origine genetica ma i ricchi pasti serviti dai cuochi del monastero giocarono indubbiamente un ruolo nel determinare il sovrappeso che sempre più lo afflisse con il procedere dell'età. Anni prima un medico gli aveva peraltro suggerito che il fumo poteva aiutarlo a controllare il peso, il che spinse Mendel a fumare fino a 20 piccoli sigari al giorno. Alla fine del 1883 Mendel soffriva di insufficienza renale e cardiopatia, tanto che non poté più svolgere le sue osservazioni meteorologiche e si spense il 6 gennaio 1884, a 61 anni.

I funerali di Mendel furono elaborati come competeva a un abate e a un'importante personalità civile: vi parteciparono centinaia di persone di tutte le religioni ed i rappresentanti delle numerose organizzazioni e Società scientifiche a cui apparteneva, oltre a membri del governo.

Probabilmente molte carte e altri cimeli di Mendel furono bruciati dopo la sua morte e si salvarono solo i suoi libri rilegati. Sebbene tale perdita sia molto grave, occorre anche dire che con l'occupazione tedesca di Brno nel 1939 e poi con la presa del potere da parte dei comunisti dopo la guerra, gran parte dei cimeli del monastero sarebbe andata comunque perduta (Hartl, 2022).

Mendel, le scienze agrarie e i cambi di paradigma ottocenteschi

Scrivendo Luigi Luca Cavalli Sforza che *"L'uso che Mendel fece della matematica per interpretare i suoi esperimenti biologici e gli sviluppi teorici che stimolarono la pianificazione di nuovi esperimenti progettati per confermare, estendere e mettere di nuovo alla prova la sua teoria, sono il primo esempio di metodo sperimentale avanzato in biologia e si configurano come l'equivalente biologico del rivoluzionario lavoro che due secoli e mezzo prima aveva portato Galileo al metodo sperimentale"*. Questa affermazione conferma l'idea del XIX secolo come secolo del cambio di paradigma nelle scienze agrarie. In tali scienze infatti fino al XVIII secolo aveva dominato la teoria del vitalismo, che in agricoltura era declinata come *umismo*. In base a tale teoria la materia vivente avrebbe posseduto una *vis vitalis* che la rendeva del tutto separata rispetto al mondo inorganico. A sconvolgere questo quadro di conoscenze furono le scoperte di Nicolas Theodore De Saussure (1804 - nutrizione carbonica dei

“ *Scrive De Saussure (1804) a pagina 47 del suo trattato: "piante alimentate con acqua pura in aria libera estraggono carbonio dalla piccola quantità di CO2 naturalmente presente nella nostra atmosfera." Occorre inoltre evidenziare il seguente brano tratto dall'introduzione: "Il percorso che mi sono imposto è senza dubbio arduo e faticoso, ma se si considera che il miglioramento dell'agricoltura è l'obiettivo verso cui è diretto, se ne sopporteranno le difficoltà e se ne scuseranno le mancanze. Questo lavoro mi ha portato a raccogliere molte nuove osservazioni che provano che tutti i problemi che ho enunciato possono essere risolti senza attribuire ai vegetali particolari forze creatrici o trasmutazioni in contrasto con le osservazioni note"*.

Agrarian Sciences

vegetali per mezzo della CO₂ atmosferica) e di Wöhler (1828 - sintesi dell'urea, molecola organica, a partire da una molecola inorganica con la nascita della chimica organica).

Con ogni probabilità Mendel, nella sua vicinanza alle scienze agrarie, conosceva a fondo il primo cambio di paradigma e si rendeva perfettamente conto che il suo contributo si collocava al grande filone che mirava alla rifondazione dell'agronomia su base scientifica. In tal senso occorre ricordare che dal nuovo quadro di conoscenze scientifiche, cui Mendel contribuirà in misura determinante sul fronte della genetica, deriverà un pacchetto tecnologico innovativo su cui si fonderà la rivoluzione verde del XX secolo

Un omaggio importante ai filoni di indagine inaugurati dai grandi scienziati ottocenteschi come Gregor Mendel ci viene da questa attualissima frase che l'agronomo Alberto Oliva inserisce in un suo testo del 1930: *"La tecnica moderna, in confronto a quella antica, assieme a molti mezzi tecnici nuovi e perfezionati, ne dispone di due poderosi per risolvere in pieno il problema granario mondiale: razze a prodigiosa capacità produttiva ed azoto a buon mercato ricavato industrialmente dalla miniera inesauribile dell'aria"*.

Circa i rapporti fra Mendel e la ricerca agronomica, Van Dijk et al. (2017) analizzano la questione facendo riferimento a due articoli apparsi su quotidiani moravi il 26 e il 30 luglio 1861. Nel primo, pubblicato sul *Mährischer Korrespondent* (Il corrispondente moravo) si loda l'attività di Mendel a favore dell'orticoltura e dell'agricoltura, scrivendo fra l'altro che Mendel grazie anche all'acquisto di sementi all'estero e all'uso dell'ibridazione stava selezionando nuove varietà di spinacio, anguria, pisello, fagiolo, piccoli frutti e specie da fiore, fra cui si citano le fuchsie. Il secondo articolo, apparso sul *Brünner Zeitung*, contesta le considerazioni espresse nel primo articolo affermando che, *"benché non si voglia in alcun modo offendere il Professor Mendel poiché noi onoriamo ogni sforzo per avvicinarsi alla verità in modo pratico"*, le attività di Mendel per la selezione di nuove varietà non devono essere sopravvalutate, trattandosi di attività già da tempo condotte da vari altri studiosi. Partendo da tali fonti, Van Dijk et al. (2017) avanzano l'ipotesi che Mendel, grazie anche al costante scambio di esperienze con l'Abate Napp, fosse molto più vicino di quanto si pensi alle tematiche agronomiche del breeding ed in tal senso citano:

- la preoccupazione che emerge da una lettera inviata ai familiari il 28 dicembre (1851?) per la peronospora della patata che in quegli anni stava infliggendo importanti danni in quell'area d'Europa.
- il legame di Mendel tramite l'Abate Napp con la Sheep breeders society, che tanto interesse aveva al miglioramento genetico animale in relazione all'industria della lana, che in quegli anni vedeva Brünn fra i maggiori poli produttivi europei.

4. Mendel e la meteorologia

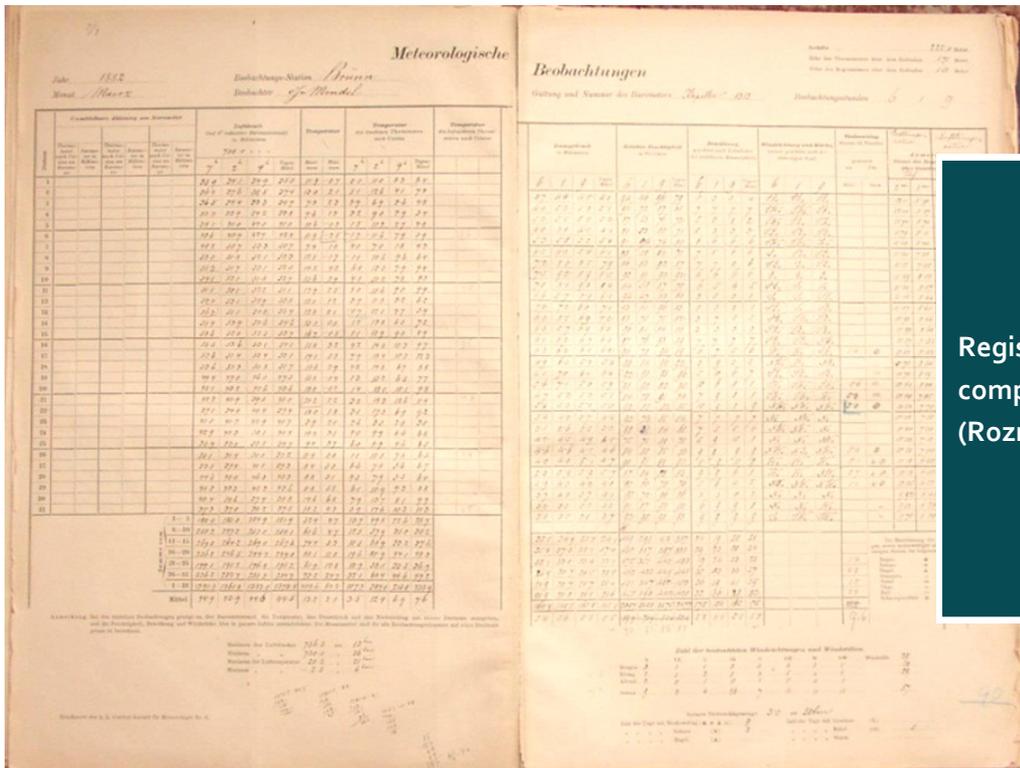
Mendel fu membro fondatore della società meteorologica austriaca e il suo contributo alla meteorologia fu l'aspetto scientifico più noto ai suoi contemporanei, che si scordarono ben presto delle sue attività di ibridatore. Mendel tenne registri giornalieri con 3 osservazioni al giorno che poi analizzava personalmente e fece ad esempio un'attenta analisi della tromba d'aria che colpì Brünn nel 1870. Mendel tenne inoltre traccia dell'attività delle macchie solari in relazione alle aurore boreali e ai disturbi nelle comunicazioni telegrafiche (Roznovsky, 2014). Per essendo ovvio che il contributo di Mendel alla meteorologia sia ben lontano da quello dato alla nascita della scienza della genetica, non possiamo tuttavia scordare che la metodicità accomuna le osservazioni meteorologiche (stato del cielo, fenomeni in atto, misure strumentali) e la raccolta sistematica di dati biologici sugli ibridi di pisello che porteranno Mendel a formulare le sue leggi.

Occorre anche ricordare che l'apporto di Gregor Mendel in quanto religioso alla meteorologia fu tutt'altro che un caso isolato. Ad esempio in Italia fra XVII e XIX secolo si ebbero importanti contributi di religiosi come l'Abate benedettino Benedetto Castelli (1578-1643), collaboratore di Galileo Galilei ed inventore del pluviometro e dell'e-vaporimetro, il barnabita Francesco Denza (1834-1894) e il gesuita Angelo Secchi (1818-1878). E' questa una tradizione di attenzione alla scienza che si è a lungo conservata nel mondo religioso cattolico e che ad esempio in Lombardia ha visto fino ad anni recenti l'attività di don Elia Orsenigo, mancato nel 2016 dopo esser stato per lunghi anni docente di matematica presso il Seminario arcivescovile di Venegono Inferiore, ove dal 1935 fino allo

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

smantellamento, avvenuto nel 1985 per decisioni superiori, diresse la stazione meteorologica e geofisica, che riteneva un'importante sussidio alle attività sperimentali degli studenti maturandi del Liceo Classico del Seminario (Arcani, 2022).



Registro meteorologico compilato da Gregor Mendel (Roznovsky, 2014).

Mendel uomo di scienza e di fede

Mendel oltre che scienziato fu un cattolico dalla fede profonda, come del resto uomini di fede erano stati Galileo Galilei e Nicolò Copernico (anch'egli monaco agostiniano). Dobbiamo anche dire che le gerarchie ecclesiastiche e in primis l'Abate Napp non ostacolarono la vocazione di Mendel per la ricerca e l'insegnamento.

Sulla fede che animò l'azione di Mendel è utile citare la testimonianza di un parente, padre Clemens Richter, anche lui monaco agostiniano, che ricorda il trisavolo dalle pagine della rivista scientifica *Molecular Genetics & Genomic Medicine* affermando anzitutto che "Nella casa dei miei nonni a Heinzendorf (oggi Vranze), c'era una stanza che veniva aperta solo in occasioni speciali e in cui si entrava con il massimo rispetto. In quella stanza c'era un quadro incorniciato che ritraeva un dignitario ecclesiastico vestito con un abito rosso-violaceo e un rocchetto bianco magnificamente ricamato e che portava sul petto un prezioso crocifisso. Solo più tardi venni a sapere che si trattava del mio trisavolo, il prelado Johann Gregor Mendel. Essendo io stesso un monaco agostiniano, mi sento molto vicino al mio famoso parente e permettetemi dunque di ricordarlo sia come essere umano che come sacerdote cattolico. Johann Mendel nacque da una famiglia di agricoltori di etnia tedesca profondamente religiosa e il cui spirito cristiano è ben documentato da una piccola piastrella bruciata trovata nel salotto dei Mendel. Su di essa vi era la Santissima Trinità simboleggiata da tre cerchi intrecciati che contenevano le parole: "Dein Wille geschehe". ("Sia fatta la tua volontà"). Queste tre parole potrebbero aver dato impulso alla scelta religiosa del giovane Mendel ponendo le basi per il suo desiderio di diventare sacerdote. Per tutta la vita Mendel si attenne con tutto il cuore ai suoi voti; accettando sinceramente tutti gli obblighi impostigli dal suo ordine. Altrimenti come avrebbero fatto i suoi confratelli a eleggerlo abate all'unanimità nel 1866, dopo la morte di Cyrill Napp? Mendel era profondamente radicato nella sua fede cristiana e cercava appassionatamente di trasmettere la sua convinzione e la sua esperienza agli altri in ogni occasione. Questo atteggiamento è testimoniato da diversi schemi di sermoni ancora conservati.

Agrarian Sciences

Mendel era di statura media, con spalle larghe e una figura un po' robusta. Era benvenuto dagli altri e sempre pronto a intervenire. Aveva un buon senso dell'umorismo e della "comicità delle situazioni". I suoi contemporanei sottolineavano il suo carattere accattivante e uno dei suoi compagni di monastero parlò di Mendel come "affabilis unicuique" (gentile e amichevole con tutti). "Con la sua generosità, gentilezza e mitezza, Mendel si guadagnò il rispetto e la simpatia di tutti. Nessuna richiesta di aiuto rimaneva senza risposta e, in modo amichevole, sapeva come dispensare aiuto senza far sentire il peso di ciò al richiedente" (Citazione da uno dei suoi necrologi).

Il carattere di Mendel è confermato dalla lettera alla madre scritta il 25 giugno 1859, in occasione della battaglia di Solferino (Brem, 2015): *"C'è poco di nuovo nel nostro monastero, eccezion fatta per l'arrivo di due novizi, uno da Brunn e uno straniero dalla Baviera.... Ma nel mondo non c'è pace e quiete. In Italia c'è la guerra, sanguinosa più che mai. In migliaia hanno perso la vita e attendiamo di conoscere gli esiti di una battaglia avvenuta negli ultimi giorni. Possa Dio dare un esito fortunato per la nostra parte: il dolore elevato al cielo da migliaia di madri i cui figli si sono sacrificati possa essere udito da Dio".*

L'attuale collocazione del paese natale e della città di Brno la dicono lunga su quanto i nazionalismi abbiano modificato le carte geografiche della Mitteleuropa. Di tale temperie, che nel 1918 si tradurrà nell'esplosione della compagine multinazionale dell'impero asburgico, fenomeno che poi porterà alla seconda guerra mondiale e alla successiva "cortina di ferro", è intrisa anche la vicenda umana di Mendel, il cui monastero vide ai suoi tempi la compresenza di una componente tedesca e di una componente slava. Scrive ancora Clemens Richter (2015) che *"come abate, Mendel accettò più novizi cechi che tedeschi - supervisionando la transizione di un monastero prevalentemente di lingua tedesca a uno di lingua ceca. L'idea di Mendel di una coesistenza di nazioni diverse nel microcosmo dell'Abbazia di San Tommaso era fondata sul rispetto per i suoi simili e per la loro diversità e sulla responsabilità reciproca dei membri di entrambe le etnie per lo sviluppo culturale ed economico della loro patria comune."*

Su Mendel uomo di fede concludiamo con l'acuto ritratto che ne traccia Santa Francesca Saverio Cabrini in una lettera alle consorelle scritta dalla California nel febbraio 1906 (Centro Cabriniano, 2012): *"I frutti hanno una fragranza e un sapore tutto speciale e qui presso Los Angeles abita il celebre naturalista Burbank che va aggiungendo nuove meraviglie alle meraviglie naturali, e con ingegnosi esperimenti e innesti ha ottenuto nuove specie di fiori e frutti, albicocche e prugne senza nocciolo, uva senza semi. A gloria della Chiesa debbo dirvi che chi mostrò la via al signor Burbank fu l'Abate Gregorio Mendel il quale, mezzo secolo fa, nel suo convento di Austria, cominciò esperimenti che hanno reso celebre il nome del naturalista di California. Ciò che egli compie al presente è dovuto al lavoro di un intelligente monaco Agostiniano. Di qui vedete quanto rispetto si debba alla Chiesa anche come nutrice di scienze e arti."*

La testimonianza della Cabrini ci aiuta peraltro a capire come l'attività divulgativa abbia fatto rapidamente seguito alla "riscoperta" del lavoro scientifico di Mendel, che come abbiamo accennato avvenne ai primi del '900.

Un'eredità difficile da accogliere

Mendel considerava fondamentali i risultati dei suoi esperimenti sugli ibridi vegetali, che tuttavia durante la sua vita non furono compresi e riconosciuti. Pochi mesi prima di morire Mendel disse a un novizio del monastero, Franz Barina, in seguito divenuto suo successore come Abate: *"Anche se ho vissuto alcune ore buie durante la mia vita, sono grato che le ore belle abbiano superato di gran lunga quelle oscure. Il mio lavoro scientifico mi ha portato grande gioia e soddisfazione e sono convinto che non ci vorrà molto perché il mondo intero apprezzi i risultati e il significato del mio lavoro".* A un amico espresse inoltre la sua ferma opinione: *"Meine Zeit wird kommen" (il mio tempo arriverà).*

Scriva Hugo Iltis, primo biografo di Mendel, che *"Il pensiero di Mendel era orientato al concreto e non ne facevano parte sentimentalismi e sterili riflessioni".* Da ciò deriva che Mendel non tenne mai un diario e che le lettere scritte a familiari e amici non fanno piena luce sulla sua vita interiore. Verso la fine della sua vita, si sentì sempre più solo. "Quando morì", scrive ancora Hugo Iltis, *"nessuno era consapevole dell'importanza del lavoro di Mendel e i pochi appunti manoscritti furono messi da parte o bruciati con noncuranza".*

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Conclusioni

In questo scritto si è cercato di offrire un sintetico quadro biografico di Johann Gregor Mendel, mirando altresì ad offrire alcune riflessioni utili a porre la vicenda scientifica e umana di Mendel in relazione con la temperie culturale del proprio tempo.

Ne emerge con chiarezza che Mendel fu un personaggio poliedrico (uomo di fede e prelato, scienziato e insegnante, botanico e agronomo, meteorologo, matematico e fisico) e proprio questa poliedricità rischia di renderlo sfuggente a quanti si avvicinano alla sua biografia.

Da quadro biografico emerge inoltre che Mendel fu il prodotto di:

- una famiglia di agricoltori molto religiosa, unita nelle difficoltà e con grande desiderio di istruire i figli
- un sistema di formazione che l'aveva posto in contatto con la scienza allo stato dell'arte (si pensi al calcolo combinatorio che Mendel aveva appreso a Vienna dalle lezioni del professor Ettingshauser e che tanto peso avrà nella sua ricerca)
- un ambiente socio-culturale aperto all'innovazione e molto impegnato nel perseguirla e una società che nutriva grande rispetto nei confronti della scienza.

Tal cultura, che forse potremmo oggi identificare con il concetto di civiltà Mitteleuropa, mise radici in un ambito sovranazionale e dette frutti abbondanti in svariati contesti, andando a costituire un esempio a cui ispirarsi per coloro che progettano il futuro dell'Europa e non solo.

Su Mendel si sono certamente sparsi fiumi di parole nel tentativo di sopperire alla povertà delle fonti e spero che questo modesto contributo possa in qualche modo giovare al lettore.

Allegato A

Fonti primarie riguardanti il lavoro di Mendel (van Dijk et al., 2018)

1. I suoi articoli scientifici di cui il più noto, *Versuche über Pflanzenhybriden*, è lungo 44 pagine e contiene una breve introduzione e una lunga discussione che tocca vari argomenti. Inoltre, Mendel nel 1870 pubblica un breve articolo sull'ibridazione artificiale in *Hieracium* e nel 1853 e 1854 pubblica due brevi articoli sui parassiti nelle colture. Questi articoli testimoniano due decenni di lavoro ma non sono in ogni caso diari, ma piuttosto ricostruzioni al passato che spesso non offrono alcuna descrizione su come l'autore abbia raggiunto le sue conclusioni. Ciò è ad esempio illustrato dal fatto che *Versuche über Pflanzenhybriden* fu fortemente influenzato dall'origine delle specie di Darwin in traduzione tedesca ma il libro di Darwin si rese disponibile solo alla fine degli esperimenti di Mendel su *Pisum* e quindi non può aver influenzato il pensiero di Mendel durante la progettazione e la conduzione dei suoi esperimenti.
2. le lettere di Mendel che sono più simili a diari e spesso descrivono pensieri e motivazioni. Si conosce parte della corrispondenza di Mendel con Carl Nageli, professore di botanica a Monaco, comprese dieci lettere pubblicate da Correns nel 1905. Queste lettere riguardano principalmente gli esperimenti su *Hieracium*, a cui Mendel si dedicò su consiglio di Nageli e che ebbero luogo 8 anni dopo il lavoro dedicato al pisello.
3. diciotto lettere che Mendel scrisse a parenti e amici e nelle quali non si addentra mai nel proprio lavoro sperimentale.
4. i resoconti di prima mano di persone che incontrarono Mendel durante la sua vita. Infatti nel periodo successivo alla riscoperta dell'opera di Mendel vari amici e molti dei suoi allievi del liceo erano ancora vivi e il suo primo biografo Iltis intervistò molti di loro - fra cui l'amico Gustav Niessl von Mayendorf (1839-1919), segretario della Società di scienze naturali - ottenendo contributi per lo più aneddotici. Più pregnante appare il contributo offerto da Eichling, che visitò Mendel nel 1878 come giovane venditore di una ditta di sementi e con il quale Mendel si mostrò tuttavia riluttante a parlare dei suoi esperimenti sul pisello.
5. i giornali dell'epoca di Mendel. Due brevi reportage su un quotidiano locale relativi alle conferenze su *Pisum* tenute da Mendel nel febbraio e marzo 1865 sono stati scoperti da Sajner nel 1966 e sulla loro base Zhang et al. hanno reinterpretato nel 2017 gli esperimenti di Mendel su pisello.

Bibliografia

- Arcani M., 2022. *Geofisica al Seminario di Venegono Inferiore*, <https://www.astroparticelle.it/geofisica-al-seminario-di-venegono.asp>
- Bateson, W., 1907 *The progress of genetic research*, pp. 90 – 97 in *The Report of the Third International Conference of Genetics*, edited by W. Wilks. Royal Horticultural Society, London.
- Brem G., 2017. *150 years Gregor Mendel, from counting peas to genome editing*, *Lohmann information*, vol 51(1), June 2017.
- Centro Cabriniano, 2012. *Tra un'onda e l'altra, viaggi di Santa Francesca Saverio Cabrini*, edizioni Centro Cabriniano di Roma, 553 pp.
- De Saussure N.T., 1804. *Recherches chimiques sur la végétation*. Paris. https://books.google.it/books/about/Recherches_chimiques_sur_la_v%C3%A9g%C3%A9tation.html?id=xXFwyAgAQn8C
- Gest H., 2002. *Definition of photosynthesis History of the word photosynthesis and evolution of its definition*, *Photosynthesis Research* 73: 7–10, 2002.
- Giannini A., 2003. *Mendel, il padre postumo della genetica*, *Le scienze, i grandi della scienza*, n. 34, giugno 2003. 95 pp.
- Hartl D.L., 2022. *Gregor Johann Mendel: From peasant to priest, pedagogue, and prelate*. PNAS, Vol. 119, No.30, e2121953119
- Iafrate L., 2021. Angelo Secchi: *il Gesuita Italiano che inventò le previsioni del tempo*, <http://www.meteoam.it/news/angelo-secchi-il-gesuita-italiano-che-invento-le-previsioni-del-tempo>
- Janick J., 2015. *Nikolai Ivanovich Vavilov Plant Geographer, Geneticist, Martyr of Science*, *Hort.Science*, vol 50 (6), 772-776.
- Mendel, Gregor: *Versuche über Pflanzen-Hybriden*. In: *Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn* 4 (1866), S. 3-47
- Minelli A., 2014. *Introduzione a "Gregor Mendel, Le leggi dell'ereditarietà"*, Mimesis, Milano-Udine
- Oliva A., 1930. *La politica granaria di Roma antica*, Federazione italiana dei consorzi agrari, Piacenza, 296 pp. (introduzione - pag X).
- Richter C., 2015. *Remembering Johann Gregor Mendel: a human, a Catholic priest, an Augustinian monk, and abbot*, *Molecular Genetics & Genomic Medicine*, vol. 3/6 (2015), pp. 483-485
- Roznovsky J., 2014. *G.J. Mendel's meteorological observations*. in *Rožnovský, J., Litschmann, T.*, (eds): *Mendel a bioklimatologie*.
- van Dijk P.J., Weissing F.J., Noel Ellis T.H., 2017. *How Mendel's Interest in Inheritance Grew out of Plant Improvement*, *Genetics*, Vol. 210, 347–355 October 2018
- Wood R.J., Orel V., 2005. *Scientific Breeding in Central Europe during the Early Nineteenth Century: Background to Mendel's Later Work*, *Journal of the History of Biology*, Summer, 2005, Vol. 38, No. 2, pp. 239-272



A 200 ANNI DALLA NASCITA DI GREGOR MENDEL

Mariano Rocchi



Heinzendorf (Hynčice), 20 luglio 1822 – Brünn (Brno), 6 gennaio 1884

Siamo all'8 maggio del 1900 e William Bateson, zoologo del St. John's College di Cambridge, sta viaggiando in treno verso Londra per tenere un seminario alla Royal Horticultural Society. Aveva preparato un intervento sugli importanti risultati ottenuti dal botanico olandese Hugo De Vries, che lui conosceva bene anche per averlo ospitato a casa sua l'anno prima in occasione della First International Conference on Hybridization and Plant Breeding a Londra, a cui entrambi avevano partecipato. Bateson racconterà poi di aver letto qualche giorno prima la versione in tedesco dell'ultimo lavoro di De Vries, che la Società Tedesca di Botanica aveva pubblicato nell'aprile precedente. In una nota, e solo in essa, De Vries riportava, a *denti stretti*, di essersi accorto che i suoi stessi fondamentali risultati erano stati pubblicati nel 1866 dal monaco moravo Gregor Mendel. Il perché del "*a denti stretti*" lo vedremo dopo. Per ora c'è solo da notare che nella versione in francese del lavoro, che aveva preceduto di pochissimo quella in tedesco, la nota non c'era. Bateson, letta la nota, era riuscito a procurarsi l'articolo di Mendel e ora, sul treno, se lo stava leggendo. E sul treno, racconta sempre Bateson, la folgorazione, con conseguente stravolgimento della scaletta della sua presentazione. Al centro ci sarebbe stato Gregor Mendel. Il mendelismo sbarcava così trionfalmente nella patria di Darwin.

La storia di questo sbarco è, molto probabilmente, alquanto diversa da questa leggenda creata da Bateson stesso con lo scopo di legare strettamente il suo nome a quello di Mendel, avendo capito che i risultati di questo oscuro monaco moravo avrebbero rappresentato una tappa fondamentale della storia della biologia. Ma a capirlo furono anche altri tre. La mancanza di date sicure di quando questi "riscopritori" abbiano avuto in mano il lavoro di Mendel rende la ricostruzione dei meriti e dei demeriti di ognuno un po' incerta, nonostante ci siano varie pubblicazioni in merito. Un tentativo di ricostruzione nel seguito.

Narrare a dei biologi l'importanza di Mendel per gli sviluppi della genetica mi sembra proprio superfluo, anche se dei cenni sull'eugenica, nata da una prima semplicistica interpretazione della selezione naturale abbinata alla genetica, sarebbero molto interessanti. La spinta a scrivere questo articolo è nata invece dal desiderio di

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

colmare una (mia) lacuna. Della vita di Darwin si conoscono, per così dire, vita morte e miracoli. Di Mendel ben poco (sempre riferito a me). In effetti, sicuramente molti di noi hanno letto *L'Origine delle Specie*, disponibile in tutte le lingue e anche in formato digitale, ma chi ha letto l'articolo originale di Mendel? Fra le ultime traduzioni in italiano, si ricordano quella di Brunetto Chiarelli (Rizzoli, 1984) e Renzo E. Scossioli (Jaca Book, 1986), entrambe pubblicate in occasione del centenario della morte di Mendel, e un'altra di Alessandro Minelli (Mimesis, 2014). Di recente, in occasione del duecentenario della nascita, una nuova traduzione critica di tutte le opere biologiche di Mendel è stata realizzata, sulla base dei testi originali in tedesco, da Alessandro Volpone (in corso di pubblicazione), ed è da queste traduzioni che provengono i virgolettati. E approfitto per ringraziarlo della lettura critica di questo articolo.

Il desiderio di colmare questa lacuna mi ha portato a cercare libri che parlassero soprattutto della vita, della psicologia, del contesto culturale e sociale di Mendel, oltre a dettagli sulla sua riscoperta.

Le fonti più interessanti che ho trovato, da questi punti di vista, sono il libro di Robin Marantz Henig intitolato "*The monk in the garden: the lost and found genius of Gregor Mendel, the father of genetics*" (Mariner Books, 2001, disponibile anche in digitale), e il già citato volume di Scossioli nel quale si trova la traduzione del Versuch, intitolato "*I primi passi della genetica. Scoperta e riscoperta delle leggi di Mendel sull'ereditarietà dei caratteri*". E' da questi libri che ho preso molti spunti, ed è a questi libri che rimando per approfondimenti.

Johann (poi Gregor) Mendel era il secondo di tre figli, Veronika, lui e Theresia. Era nato a Heinzendorf (ora Hynčice; enclave tedesca), nel nord della Moravia (impero Austriaco), il 20 luglio 1822, da Anton, contadino che aveva riscattato la sua terra, e Rosine.

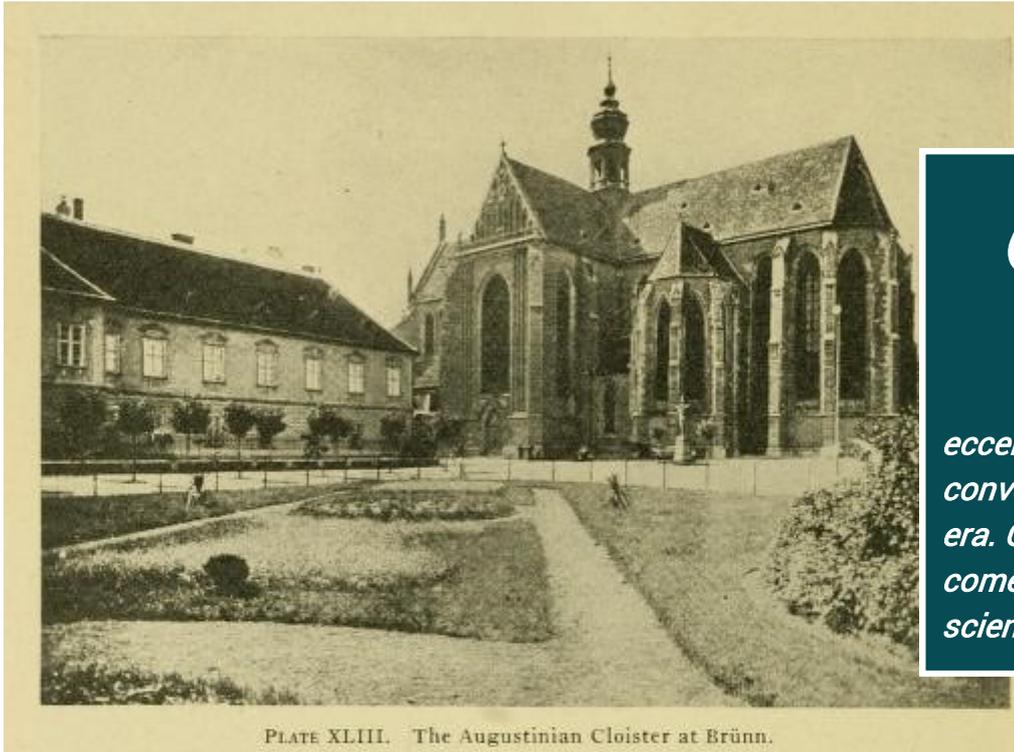
Alla scuola elementare parrocchiale Johann era stato un ottimo alunno e l'apprezzamento costante dei suoi insegnanti, unito alla sua grande voglia di proseguire negli studi, gli avevano spianato la strada ai passaggi successivi, la scuola media a Leipnik e l'Imperial Royal Gymnasium a Troppau (ora Opava), pur essendo di famiglia povera. Per mantenersi agli studi, vista la situazione della famiglia, si arrangiava dando ripetizioni, ma era comunque in difficoltà economiche. In Troppau seguì un corso per insegnare.

In questo periodo (1839) Johan, 17 anni, in vacanza estiva dal Gymnasium, si mette a letto per 4 mesi, proprio mentre il padre aveva problemi di salute. Il mettersi a letto per una malattia misteriosa (ansietà?) si ripeterà in altre occasioni di stress, come dopo le sue sconfitte accademiche. Johann non ci si vedeva come contadino, e questo pesava su di lui perché, come unico figlio maschio, avrebbe dovuto subentrare al padre nella conduzione del lavoro dei campi. Il mettersi a letto era sicuramente l'indizio di grande disagio. I rapporti con la famiglia migliorarono allorché il marito di Veronika, la sorella maggiore, prese la conduzione del lavoro dei campi. Ma, dal punto di vista economico, la svolta la diede la sorella minore, Theresia, ancora giovanissima, che con grande generosità cedette una quota della sua dote per aiutarlo a mantenersi agli studi. Per gratitudine, Mendel sarà poi di molto aiuto ai tre figli di Theresia che frequenteranno il Gymnasium di Brno e che diventeranno poi medici.

Nell'autunno del 1839 ritorna comunque al ginnasio che termina, e successivamente si iscrive al Philosophical Institute a Olmütz (oggi Olomouc) (1840-43). Non tragga in inganno il termine "*Philosophical*", retaggio della preminenza della filosofia sulle altre scienze nei secoli precedenti. Vi si studiavano anche materie scientifiche come la matematica e la fisica. Per inciso, Galileo aveva rivolto il suo Sidereus Nuncius a "*philosophis atque astronomis*" (a filosofi e astronomi, nell'ordine); il titolo completo dei Principia di Newton è *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. E, del resto, PhD sta per Philosophy Doctor.

Friedrich Franz, sacerdote e suo professore di fisica al Gymnasium, ne aveva grande stima e anche in considerazione delle sue difficoltà economiche lo indirizza al convento agostiniano di S. Tommaso a Brno, dove lui stesso era stato per 20 anni. Questo nel 1843. La strada ecclesiastica per proseguire negli studi era verosimilmente, per Mendel, l'unica alternativa disponibile.

Il convento era sorto nel 1322 come fredda fortezza per proteggere le monache cistercensi. Gli Agostiniani, verso la fine dell'700, avevano il loro convento in un lussuoso palazzo del centro di Brno, allora capitale della



“ ...In generale non si associa un convento a un centro di eccellenza scientifica, ma il convento di S. Tommaso lo era. Gli Agostiniani avevano come loro motto “*Per scientiam ad sapientiam*”.

Moravia. Ma l'imperatore Francesco II d'Asburgo-Lorena volle farne la sua residenza principale in Moravia, e fece traslocare i frati nell'ex-convento delle Cistercensi. Per l'occasione il convento fu molto migliorato, accorpando, per esempio, le celle a formare degli alloggi più ampi e ospitali. Il convento è dominato da una collina, su cui si staglia la fortezza dello Spielberg, dove Silvio Pellico passò un periodo di villeggiatura (1822-1830).

In generale non si associa un convento a un centro di eccellenza scientifica, ma il convento di S. Tommaso lo era. Gli Agostiniani avevano come loro motto “*Per scientiam ad sapientiam*”. Erasmo da Rotterdam era agostiniano. In effetti Franz lo aveva indirizzato lì soprattutto per questo, con una lettera di presentazione per l'abate Cyrill Napp, suo amico, dove presentava Mendel non come il più pio dei suoi alunni, ma come uno dei migliori studenti di fisica. Franz conosceva bene il suo Napp.

Brno, 70 mila abitanti, era un centro culturale di notevole levatura. C'erano un politecnico, varie orchestre, un istituto filosofico (vedi sopra) e varie società scientifiche, tra cui la Società Imperiale della Moravia e della Slesia per il Miglioramento dell'Agricoltura, delle Scienze Naturali e della Conoscenza della Nazione, di cui, dal 1827, era presidente proprio l'abate Napp. L'imperatore Francesco I, del resto, aveva dato l'incarico al convento di fornire docenti di fisica e di religione all'Istituto Filosofico di Brno. Da non dimenticare che Ernst Mach (velocità del suono: Mach 1) e Milan Kundera sono di Brno. La biblioteca del convento aveva più di 20,000 volumi e Mendel ne sarà un assiduo frequentatore. E Brno era anche un centro di eccellenza nella cucina, la cucina del convento in particolare (che influenzò sicuramente il girovita di Mendel). Le ragazze vi accorrevano per poi trovare lavoro nei palazzi aristocratici di Vienna, dove la cucina morava era tenuta in alta considerazione.

Come novizio Mendel aveva studiato, oltre alle materie teologiche, anche archeologia, ebraico e greco. L'abate l'aveva poi stimolato a coltivare meteorologia, botanica, fisica e matematica. Inoltre, gli aveva garantito libero accesso alla serra. Da notare che l'interesse di Mendel per l'orticoltura era iniziato già alle elementari.

Nel 1843, anno di arrivo di Mendel al convento, era diventato giardiniere il suo confratello Matouš Klácel, con cui Mendel intratterrà una lunga amicizia. Klácel era insegnante di filosofia, ma aveva fatto importanti osservazioni su alberi trapiantati dai monti della Moravia a Brno, senza notare i cambiamenti che invece si pensava sarebbero sopravvenuti a causa del cambiamento dell'ambiente. Klácel aveva poi perso l'insegnamento per alcuni scritti in favore della Naturphilosophie, in cui erano adombrati concetti di evoluzione. E la pubblicazione di un suo scritto

Speciale Genetica Agraria

non fu mai autorizzata perché vi era stata vista una difesa delle minoranze linguistiche che l'Impero Austriaco (diventerà Austro-Ungarico nel 1867) non apprezzava proprio. Nel 1848, anno di sommovimenti in Europa, Klácel e Mendel furono tra i sette firmatari di una petizione in favore dei diritti civili dei preti in Moravia. Petizione ignorata.

Nel 1847 Mendel fu ordinato sacerdote, e per più di un anno svolse attività pastorale, a contatto anche con povera gente, con malati e moribondi. Lo stress, per il suo carattere, fu enorme e, per la seconda volta, lo troviamo a letto per un mese senza una malattia specifica. E qui inizia quella serie di iniziative di Napp in favore di Mendel che saranno cruciali per il suo futuro. Senza Napp non avremmo mai conosciuto Mendel. Napp decise che Mendel si dovesse dedicare all'insegnamento. E difese questa scelta contro il parere di Schaffgotsch, vescovo di Brno, più alto in grado di Napp nella gerarchia ecclesiastica, ma molto più in basso in quella scientifica. E, sempre a proposito

del vescovo, bisogna dire che non sempre tutti i mali vengono per nuocere. Mendel aveva iniziato degli esperimenti di ibridazione con i topi, ospitati in una delle sue due stanze, e Napp ne era ovviamente al corrente. Il vescovo, venutone a conoscenza, vi si oppose, questa volta senza appello. La cosa, secondo il vescovo, proprio non era consona ad un monaco. A questo proposito: a Mendel capiterà di parlare di incroci a lezione. A qualche sorrisetto malizioso degli studenti Mendel replicherà di non fare gli stupidi, essendo cose naturali!

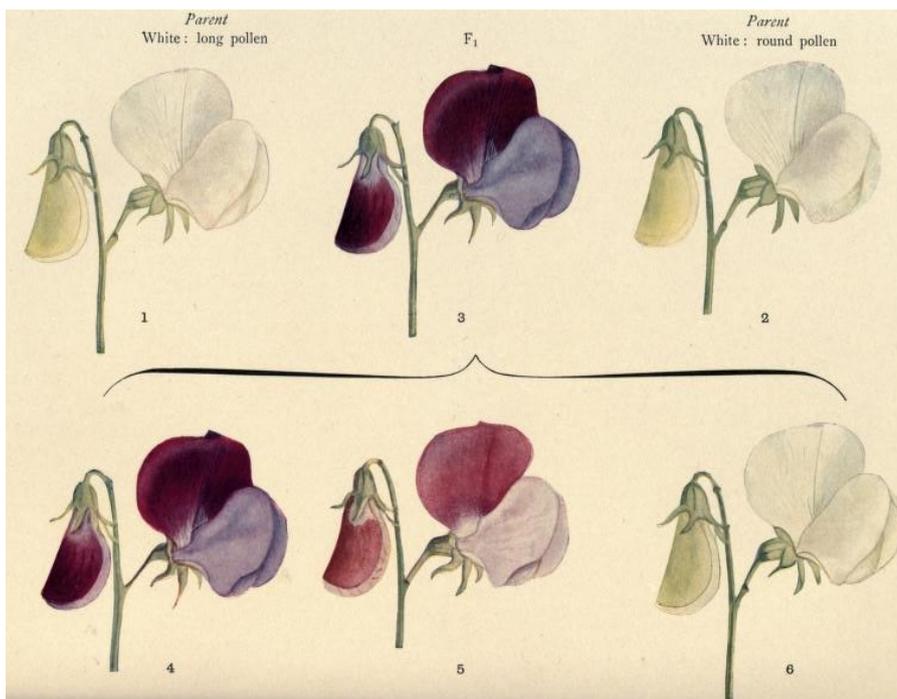
A proposito di benevolenza dell'abate Napp per Mendel, non bisogna dimenticare che Napp si interessava molto di agricoltura (vedi sopra) per cui, oltre alla benevolenza, entra in gioco sicuramente una forte condivisione di interessi scientifici.

Nell'autunno del 1849 Mendel inizia quindi il suo insegnamento di matematica e greco nel Gymnasium della città di Znaim (oggi Znojmo), come sostituto (e quindi a metà stipendio). E nell'insegnamento Mendel ha, e avrà sempre, successo, tanto che il Gymnasium stesso lo propone per l'esame di certificazione in scienze naturali e fisica. Gli esami di certificazione si tenevano a Vienna. E si arriva così all'agosto del 1850. Mesi prima Mendel aveva spedito alla commissione una prova scritta su zoologia, meteorologia e geologia. Gli esami erano personalizzati, nel senso che i sei esaminatori sarebbero stati lì solo per lui. Con una lettera del 1° agosto, Andreas von Baumgartner, fisico molto noto e presidente della commissione, aveva convocato Mendel per metà agosto per la prova orale. Però poi ci aveva ripensato, considerando che le vacanze per i docenti iniziavano il 12 agosto, e aveva spedito una seconda lettera rimandando la prova orale all'autunno. Questa seconda lettera però non arrivò mai a Mendel, ed ecco Mendel presentarsi inatteso agli uffici di Baumgartner. Possiamo immaginare che Baumgartner abbia tentato di convincerlo a rimandare l'esame, anche per non convocare in fretta e furia i commissari, già pronti per le vacanze. Contrariamente al suo carattere, Mendel insistette e l'esame fu fissato per il 15 agosto. L'insistenza di Mendel, carattere timido, fu probabilmente dettata dal desiderio di iniziare il nuovo anno scolastico a pieno titolo (e a pieno stipendio). La effettivamente scarsa prova scritta, la probabile non buona disposizione degli esaminatori dovuta alla improvvisa convocazione, e la impacciata prova orale di Mendel si conclusero con una bocciatura. Baumgartner si era reso conto della molta buona volontà del candidato, e nella lettera di comunicazione all'abate Napp gli suggerisce di far frequentare corsi accademici all'autodidatta Mendel. Suggerimento pienamente accettato dall'abate, a ulteriore dimostrazione di benevolenza e di una notevole stima per Mendel. Vienna, capitale dell'impero, era un ambiente scientifico di primissimo ordine. Mendel dovette destreggiarsi, prima di tutto, a trovare una sistemazione perché l'abate, nonostante le sue entrate, non era riuscito a trovarne una in un convento. La cosa non era piaciuta affatto al vescovo, per la fama di Vienna come la "Capua della mente", con riferimento agli ozi di Annibale. Ma Napp, sempre da sottolineare, aveva avuto ancora la meglio, e così Mendel parte, anche se in ritardo rispetto all'inizio dei corsi, e trascorre due anni a Vienna seguendo corsi non solo di scienze naturali, ma anche, forse soprattutto, di matematica e fisica, in cui eccelle. A conferma delle sue capacità, Christian Andreas Doppler (quello dell'effetto Doppler del suono) gli offrì un posto aggiuntivo come assistente di laboratorio (élève) di fisica sperimentale. Segno di considerazione, visto che Mendel aveva iniziato a frequentare le lezioni in ritardo per il problema della sistemazione, e che i 12 posti previsti come élève erano stati tutti già assegnati. Ma Doppler, malato, lascia presto l'insegnamento. Gli succede Andreas von Ettingshausen, valente matematico e fisico, autore anche di un libro sul calcolo combinatorio. E

Agrarian Sciences

il destreggiarsi con i numeri e le loro combinazioni sarà fondamentale per Mendel. Ettingshausen è la chiave che ci permette di capire perché Mendel sia arrivato dove è arrivato e perché gli altri non lo capirono. Mancavano loro le basi matematiche.

Anche molto importante fu l'insegnamento del botanico Franz Unger sugli esperimenti di ibridazione condotti in precedenza dai botanici tedeschi Josef Kölreuter and Karl Friedrich von Gärtner. Siamo nel periodo in cui Matthias Jakob Schleiden e Theodor Schwann scoprono che tutte le piante e gli animali sono composti da cellule, introducendo a pieno titolo la biologia nel campo delle scienze sperimentali esatte. E con Unger entra in scena il *Pisum sativum*, che dei botanici inglesi avevano descritto come molto adatto alle ibridazioni controllate, sia per la forma dei fiori, con antere facilmente manipolabili, sia per la facile identificazione di alcuni caratteri. Meno provvida, come si vedrà in seguito, fu la reverenza di Unger verso Karl von Nägeli, rinomato botanico di Monaco, che comunque fu un forte promotore della tesi che i fenomeni della vita potessero essere ricondotti a leggi fisiche e chimiche. Con Unger, Mendel sentì senz'altro parlare di metamorfosi e transmutazione (parola poi sostituita da evoluzione), anche se le idee erano tutt'altro che chiare. Alcuni compagni di studi di Mendel li ritroveremo in seguito, come Johann Nave, studente di legge ma molto interessato alle lezioni di Unger. Nave nel 1854 si trasferirà a Brno e, da avvocato, continuerà a coltivare la botanica e l'amicizia con Mendel. I due saranno tra i membri fondatori della Società per lo Studio delle Scienze Naturali di Brno.



“Pisum sativum, che dei botanici inglesi avevano descritto come molto adatto alle ibridazioni controllate, sia per la forma dei fiori, con antere facilmente manipolabili, sia per la facile identificazione di alcuni caratteri.” Immagine tratta da Bateson W., 1909. *Mendel's principles of heredity.* Cambridge [Eng.], University Press .

Al ritorno da Vienna, e dopo un breve periodo passato a letto per lo stress della bocciatura, riprende l'insegnamento, questa volta nella scuola secondaria Realschule (Reale Scuola) della stessa Brno e riprende la coltivazione dei piselli per essere sicuro di avere in mano linee pure.

1856. Sono passati 6 anni dalla débâcle dell'esame per la certificazione all'insegnamento. Era tempo di riprovare. Ma il risultato fu peggiore del primo. Inciampato sulla prima domanda, si ritira. Cosa sia successo esattamente non lo sappiamo. Abbiamo però degli indizi che coinvolgono Eduard Fenzl, suo esaminatore e già uno dei suoi insegnanti di botanica. Fenzl era un "preformista" convinto, fautore cioè del fatto che il polline, o il gamete

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

maschile in generale, era già preformato e che gli mancava solo un contesto appropriato per svilupparsi. Mendel non condivideva assolutamente questa teoria. Preferì capitolare piuttosto che arrendersi? Non lo sappiamo con certezza. Di sicuro troviamo di nuovo Mendel a letto. E fu necessario chiamare suo padre e suo zio da Heinzendorf per tirarlo giù dal letto.

Non sappiamo chi abbia incontrato Mendel durante questo suo ultimo e breve soggiorno viennese. Il suo professore di botanica Franz Unger? In questo caso è probabile che i due siano tornati a parlare della non fissità delle specie. Per poco Unger non era stato licenziato per queste sue idee. *The Origin of Species* di Darwin uscirà tre anni dopo, nel 1859. Da notare che la chiesa cattolica morava era molto progressista, con eccellenze in campo scientifico, Napp fra questi, ed era molto distante dalle posizioni pesantemente conservatrici di Pio IX.

Dopo la *débâcle* e il letto, troviamo Mendel molto impegnato con i piselli, nell'orto che dava ai frati molta verdura, tra cui i cetrioli che Mendel adorava. "Preparate i cetrioli che arrivo", scriveva ai suoi annunciando una sua visita.

Un evento importante e positivo di questo periodo è costituito dal fatto che Napp fa costruire una struttura molto più grande della serra esistente allora, in cui Mendel poté iniziare coltivazioni su più ampia scala. Dopo aver seguito le lezioni di von Ettingshausen, a Mendel era molto chiaro il concetto che a numeri piccoli corrispondono fluttuazioni molto ampie, difficili da interpretare, e probabilmente Napp ne era rimasto convinto. A questo impegnativo lavoro di Mendel contribuì forse un senso di rivalsa/riscatto/rifugio come conseguenza delle sue *débâcle* accademiche? Difficile escluderlo. E, sempre Napp, nel 1855 aveva fatto costruire una serra, riscaldata d'inverno, per gli agrumi. Mendel ne fece il suo rifugio preferito, dotandolo di un tavolo per scrivere, di sei sedie di giunco e di un tavolo per gli scacchi, una sua passione. Lo possiamo immaginare mentre gioca a scacchi con il nipote più giovane nel periodo che questi era al Gymnasium a Brno, tenendo in bocca uno dei circa venti sigari che fumava ogni giorno come cura dimagrante prescrittagli dal suo medico. Da abate sarà solito intrattenere gli ospiti in questa serra.

Con il 1856 tutti i problemi, per Mendel, sembrano superati. Le linee pure erano pronte per le ibridazioni e l'insegnamento molto gratificante. In questo periodo assume l'incarico ufficiale di meteorologo, con tre osservazioni giornaliere da registrare e con rapporti da inviare mensilmente a Vienna. La fama di meteorologo fu il maggiore riconoscimento scientifico che Mendel ebbe in vita.

Ma il 1856 è anche l'anno in cui iniziano i primi esperimenti di ibridazione. Piselli rotondi x rugosi. La semina delle due linee pure era forse iniziata il giorno di S. Gregorio (12 marzo), secondo il detto moravo "Chi non coltiva la sua terra entro il giorno di Gregorio è un uomo pigro". E a maggio Mendel lavora alacremente alle ibridazioni, prima che, con la maturazione completa del fiore ermafrodita, l'autoimpollinazione renda vani gli esperimenti. Le due varietà sono a file alterne. Armato di pinzette scorre la prima fila di piselli e castra i fiori della parte maschile, le antere, prima che maturino, e copre ogni fiore con un cappuccio. Per la seconda varietà, in seconda fila, attende che le antere siano mature, per utilizzarle per la impollinazione della prima fila, che opera con un pennellino di peli di cammello, rimettendo accuratamente il cappuccio sul fiore per evitare l'arrivo di polline intruso.

La ibridazione di piante era una pratica sperimentale diffusa, ma le interpretazioni spesso andavano in direzioni opposte a quelle che otterrà Mendel. Josef Kölreuter, botanico tedesco, aveva incrociato due specie di tabacco, *Nicotiana rustica* e *Nicotiana paniculata*. Dopo due anni, la *N. rustica* si era trasformata in *N. paniculata*. Kölreuter ne era rimasto meravigliato e interdetto, visto il suo background filosofico/religioso molto simile a quello di Linneo: "*Species tot numeramus quot a principio creavit infinitum Ens*" (Tante sono le specie oggi esistenti quante furono quelle create in principio dall'Ente infinito). Fu quindi con sollievo che constatò che, alla fine, la pianta era diventata praticamente sterile. Charles Naudin, francese, nel suo saggio del 1862 per l'Accademia Parigina delle Scienze (che Darwin aveva letto), descrive gli esperimenti di ibridazione che lui aveva operato. Ma aveva i pregiudizi linneiiani di cui sopra. Il ritorno alla forma parentale delle sue primule era avvenuta perché "*La natura è desiderosa di dissolvere le forme ibride ... che l'arte o il caso hanno violentemente unito*". Se Naudin

Agrarian Sciences

avesse letto Il Saggiatore di Galileo avrebbe appreso che "*Il libro della natura è scritto in lingua matematica*". Invece per Naudin e molti altri botanici che lavoravano sulle ibridazioni (compreso Darwin!), la matematica era una illustre sconosciuta. Era invece decisamente ben impiantata nella testa di Mendel, soprattutto nelle sue espressioni più recenti del calcolo combinatorio che aveva appreso appunto da von Ettingshausen a Vienna. E in questo contesto come non pensare alla storia dell'equilibrio di Hardy-Weinberg (problema che Godfrey H. Hardy, famoso matematico di Cambridge, risolse in un attimo, vista, per lui, la semplicità del problema).

Torniamo ai piselli di Mendel. Queste le 7 caratteristiche scelte da Mendel per i suoi esperimenti (dominanti in maiuscolo).

1. forma del seme, ROTONDO (LISCIO) o rugoso
2. colore dell'albumine del seme, GIALLO o verde
3. colore del tegumento cui corrisponde il colore dei fiori, VIOLA o bianco
4. forma del baccello RIGONFIO o raggrinzito
5. colore del baccello immaturo, GIALLO o verde
6. posizione dei fiori, distribuita SULLO STELO o solo all'apice
7. altezza della pianta, ALTA o nana

Ora sappiamo che 5 di questi 7 loci sono su cromosomi diversi, e i due sullo stesso cromosoma sono alle estremità. Quindi nessun linkage a complicare la interpretazione dei risultati. E a molti viene subito da esclamare "C...o"! (che non è cielo). E invece no! O perlomeno solo in parte, perché le caratteristiche inizialmente prese in considerazione da Mendel erano 34! Infatti, i due anni per i "dati preliminari" servirono non solo per avere linee sicuramente pure, ma anche per scegliere quei tratti che gli sembravano più facili da seguire. Quei tratti, cioè, in cui l'ibrido manifestava uno solo dei caratteri parentali, anche invertendo la pianta accettrice e la pianta donatrice del polline (reciprocità degli incroci). Escluse quindi quelle varietà in cui gli ibridi davano forme intermedie. Mi chiedo cosa lo avesse guidato in questa scelta che, per fortuna, gli escludeva i problemi di una eredità quantitativa che non lo avrebbe portato da nessuna parte.

L'Eureka di Archimede rappresenta il momento in cui l'intuizione illuminante prende forma e dipana il caos delle osservazioni e dei dati. La mela che cade in testa a Newton è quasi sicuramente una leggenda, ma sottolinea il momento dell'Eureka.

Quell'"1" che Darwin, nel 1837, aveva disegnato alla base dell'albero della vita nel suo quaderno di appunti rappresenta il suo Eureka sulla unitarietà della vita sulla terra. Lui però, modestamente, in alto scrive "I think". Ci deve essere stato sicuramente un momento in cui, dalla mole dei dati, le sue leggi hanno preso forma nella sua mente. Ma di note o appunti di Mendel non abbiamo nulla, poiché alla sua morte tutte le sue cose furono bruciate in un falò, come era prassi dopo la morte di un monaco. Nei necrologi fu ricordato essenzialmente per la meteorologia e l'apicoltura. Tutti i suoi risultati sugli ibridi erano da un pezzo nel dimenticatoio. Alcune informazioni e aneddoti sulla vita di Mendel inizieranno a emergere solo quando, agli inizi del '900, Mendel verrà riscoperto, cioè a circa due decenni dalla morte. Le lettere scambiate con Nägeli sono una delle poche cose che abbiamo. Fu pubblicata da Karl Correns, cui erano pervenute non dal tavolo di Mendel, ma da quello di Nägeli, che era stato suo insegnante, e con cui era in rapporti stretti per averne sposato la nipote. L'assenza di appunti, inoltre, rende impossibile una ricostruzione accurata della sequenza temporale degli esperimenti di ibridazione. Abbiamo solo la sequenza logica descritta nella pubblicazione del 1866, ma che non necessariamente corrisponde all'iter effettivo delle sue sperimentazioni.

Questi i ritmi annuali dei suoi esperimenti iniziati nel 1856. Preparazione del terreno, semina in marzo, impollinazione in primavera e raccolta dei dati in estate o autunno a seconda che la caratteristica da esaminare fosse dei fiori, del baccello o dei piselli. In questi ultimi casi Mendel portava i sacchi dei baccelli, la cui provenienza era stata ben contrassegnata, nella serra riscaldata. Seduto poi su una delle sedie di giunchi, con pazienza apri-

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

LE 7 CARATTERISTICHE SCELTE DA MENDEL PER I SUOI ESPERIMENTI (DOMINANTI IN MAIUSCOLO)

CARATTERI

SEMI LISCI	SEMI rugosi
COLORE DELL'ALBUME DEL SEME GIALLO	COLORE DELL'ALBUME DEL SEME verde
COLORE DEL TEGUMENTO CUI CORRISPONDE IL COLORE DEI FIORI VIOLA	COLORE DEL TEGUMENTO CUI CORRISPONDE IL COLORE DEI FIORI bianco
FORMA DEL BACCELLO RIGONFIO	FORMA DEL BACCELLO raggrinzito
COLORE DEL BACCELLO IMMATURO GIALLO	COLORE DEL BACCELLO IMMATURO verde
POSIZIONE DEI FIORI, DISTRIBUITA SULLO STELO	POSIZIONE DEI FIORI, DISTRIBUITA sull'apice
PIANTA ALTA	PIANTA nana



...Ora sappiamo che 5 di questi 7 loci sono su cromosomi diversi, e i due sullo stesso cromosoma sono alle estremità. Quindi nessun linkage a complicare la interpretazione dei risultati...

Agrarian Sciences

va tutti i baccelli e riponeva i piselli in altri sacchi, etichettati secondo la caratteristica e la fila da cui provenivano. Si calcola che Mendel abbia analizzato in tutto 10.000 piante, 40.000 fiori e 300.000 piselli. Contare, contare, contare... Era una forma mentis appresa a Vienna (von Ettingshausen) che Mendel applicava anche nei suoi compiti di meteorologia e di altro.

Il primo dato che compare nella pubblicazione sono le informazioni, per ognuna delle 7 coppie prese in considerazione, di quale variante fosse dominante e quale recessiva. I termini "dominante" e "recessivo", non erano stati mai usati prima di lui, anche se il concetto non era nuovo (Darwin nel 1868 userà il termine "*prepotency*"), e usa la notazione "A" per dominante e "a" per recessivo; anche questa notazione "proprietaria".

Esempio del tipo di ereditarietà del carattere altezza. Dall'incrocio Mendel otteneva una prima generazione ibrida, F1, tutta composta da individui uguali.

PIANTA
ALTA
(P1)

X

PIANTA
nana
(P2)



F1

PIANTE TUTTE ALTE



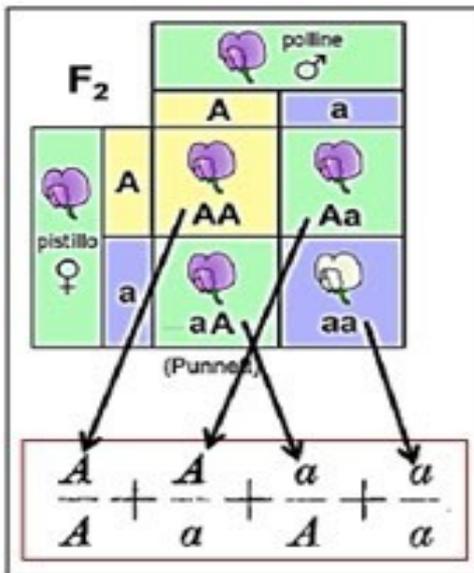
... Il primo dato che compare nella pubblicazione sono le informazioni, per ognuna delle 7 coppie prese in considerazione, di quale variante fosse dominante e quale recessiva. I termini "dominante" e "recessivo", non erano stati mai usati prima di lui...

Speciale Genetica Agraria

Per ognuno dei 7 ibridi ottenuti Mendel procede con l'autoimpollinazione, operativamente molto più semplice, ma impegnativa nella raccolta e conta dei piselli. Mendel, per ogni ibrido, analizzerà circa 250 piante. Conteggi per la coppia dei semi rotondi-rugosi: 7.324 semi, di cui 5.474 rotondi e 1.850 rugosi; rapporto 2,96:1. Per il colore dell'album: 8.023 semi, di cui 6.022 gialli e 2.001 verdi; rapporto 3,01:1. Per farmi un'idea di questi numeri, ho comperato 1kg di piselli. Ne ho contati 800 (tutti verdi). Dopo aver riportato i risultati degli altri 5 esperimenti Mendel conclude: "Combinando fra loro i risultati di tutti gli esperimenti, quindi, il rapporto medio tra il numero di forme con caratteri dominanti e recessivi è 2,98:1, cioè 3:1".

E Mendel esplicita in maniera chiarissima perché servissero numeri così alti. Dice: "Come casi estremi nella distribuzione di queste due coppie di caratteri del seme, in una medesima pianta, si sono registrati i seguenti: nella prima serie di esperimenti, sono stati osservati 43 semi rotondi e solo 2 irregolari, oppure 14 semi rotondi e 15 irregolari, mentre nella seconda serie di esperimenti, 32 semi gialli e solo 1 verde, ma anche 20 gialli e 19 verdi. Queste due serie di osservazioni sono importanti per determinare il valore del rapporto medio, e mostrano d'altronde che, con un numero minore di dati sperimentali, possono verificarsi fluttuazioni anche considerevoli". Ettingshausen aveva colpito in profondità. Ma per i botanici di allora questi concetti erano tutt'altro che chiari.

Torniamo al rapporto 3:1. Nessuno l'aveva indicato negli esperimenti di ibridazione riportati fino ad allora. In molti casi il rapporto, quando calcolato, indicava vagamente un 2:1, che forse si adattava meglio alla concezione del "blending" allora dominante (vedi sotto). Nella pubblicazione del 1868 di Darwin, su riportata, i numeri erano 88 e 37, cioè 2.4:1 (rapporto che Darwin non riporta). Da notare che Mendel indica l'omozigote AA o aa rispettivamente A e a. Ma non ci sono assolutamente dubbi, soprattutto dalle figure, su cosa intendesse (vedi Figura).

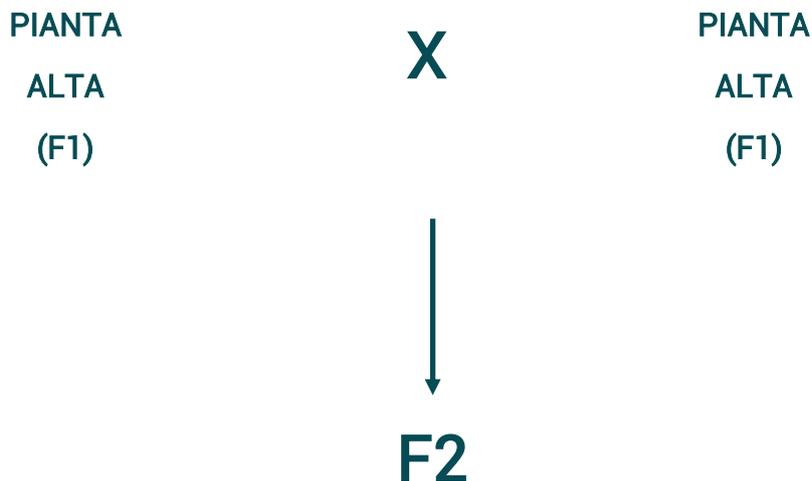


Corrispondenza tra il classico quadrato di Punnett e la figura (originale, dalla pubblicazione in tedesco) situata in basso. La figura a destra, invece, non è originale.

Il passo successivo nel cammino sperimentale di Mendel fu la F2 (lui non usa questa notazione, introdotta successivamente da Karl Correns), cioè l'autoimpollinazione. Che la forma recessiva rimanesse stabile gli era già chiaro da prima. Ma cosa era nascosto nel "3" dominante? I numeri suggeriscono che gli attribuisse molta importanza. Per la coppia rotondo-rugoso analizza 565 piante ottenute da semi rotondi (ibridi). Risultato: 372 piante danno semi rotondi/rugosi nel rapporto 3:1, mentre 193 danno solo piselli rotondi (e rimangono costanti). Rapporto 1.93:1 (2:1). Il 3:1 della F1 è quindi in realtà 1:2:1 (o come dice lui 2:1:1). E trova riscontri perfetti nelle generazioni successive degli eterozigoti. Riporto. "Considerando la totalità degli esperimenti e tenendo conto, al contempo, della doppia accezione del carattere dominante, secondo la quale esso può manifestarsi come carattere ibrido o parentale, il rapporto iniziale 3:1 può essere quindi trasformato nel rapporto generale

2:1:1. Poiché i membri della prima generazione provengono direttamente dai semi degli ibridi, è dunque evidente che i discendenti di una coppia di caratteri alternativi portano semi che producono piante di cui la metà sviluppa nuovamente la forma ibrida, mentre l'altra metà rimane costante, conservando in egual misura il carattere dominante e recessivo". Questo risultato assume grande importanza per Mendel, che controlla che il dato ottenuto si ripeta identico, cosa che avviene, per varie generazioni; ben 7 per la coppia rotondo/rugoso! Per 7 generazioni vuol dire per 7 anni. Ma Mendel all'inizio del suo articolo dice che gli esperimenti coprono un arco di 8 anni. Quindi alcuni esperimenti sono stati portati avanti in contemporanea. E qui torna il dubbio se la sequenza logica degli esperimenti come desunta dall'articolo corrisponda a quella effettiva sul campo.

Esempio del tipo di ereditarietà del carattere altezza. Da piante alte F1 autofecondate si ottiene una seconda generazione (F2).



Rapporto Fenotipico PIANTE ALTE /piante nane

3 : 1



...Per ognuno dei 7 ibridi ottenuti Mendel procede con l'autoimpollinazione...

...Combinando fra loro i risultati di tutti gli esperimenti, quindi, il rapporto medio tra il numero di forme con caratteri dominanti e recessivi è 2,98:1, cioè 3:1 ...

Dunque. A questo punto (non dopo i 7 anni!) io credo che sia esploso il primo Eureka! E la raffigurazione del risultato che ne dà nella pubblicazione è chiarissima. Non usa il quadrato di Punnett che verrà introdotto da Punnett appunto, ma la corrispondenza è evidentissima.

Tradotto in concetti moderni, diremmo che Mendel aveva ora chiaro che il fenotipo può ingannare. Piselli gialli potevano essere AA o Aa. E da questi esperimenti risulta molto chiara, a Mendel, l'entità "discreta" dei tratti (il contrario del blending), ma quale concetto aveva Mendel di "tratto" o "caratteristica"? Sicuramente era distante dal concetto odierno di gene. Ma di quanto? Può essere di aiuto il fatto che Mendel usa la parola tedesca *Merkmal* (tratto, in senso fenotipico) 150 volte, mentre *Elemente* (elemento), usato però solo al plurale, solo 10 volte. Il riferirsi ai termini tedeschi è importante perché la traduzione inglese degli inizi del 1900 traduce *Merkmal* con "unit" o "factor" o "determinant", che appaiono come una discreta tiratina di giacca, o meglio di tonaca, a Mendel. I concetti di cromosoma, di mitosi e soprattutto di meiosi e DNA erano ancora sconosciuti. Quel che si può affermare con una certa sicurezza è che Mendel, in un'epoca nella quale August Weismann non aveva ancora distinto negli organismi fra linea germinale e linea somatica (cosa accaduta solo negli anni '80 dell'Ottocento), aveva già chiaro in mente che le piante avessero una "costituzione interna" (*Beschaffenheit*) solo in parte corrispondente al loro aspetto esteriore, distinguendo fra "somiglianza interna ed esterna" (*äußere und innere Verwandtschaft*). Per cui, egli rimarcava «quanto possa essere azzardato, in certe circostanze, trarre conclusioni sulla somiglianza interna posseduta dagli ibridi a partire dalla loro somiglianza esterna». E più avanti Mendel osservava: «*La differenza nei caratteri di due piante, in ultima analisi, può quindi basarsi solo sulla diversa costituzione interna delle cellule di base in esse responsabili dell'interazione vitale, e nel differente raggruppamento degli elementi che vi partecipano*». In quest'ultima frase torna il riferimento agli Elementen interni costitutivi delle cellule riproduttive, di cui si diceva, ma soprattutto appare evidente, ante litteram, la distinzione fra genotipo e fenotipo.

Questi anni furono anni felici per Mendel. Era molto contento dell'insegnamento alla Realschule di Brno, dove insegna, molto apprezzato, materie scientifiche, e anche della cucina morava. E trovava piena soddisfazione nel suo coinvolgente lavoro sui piselli. Per invitare un suo visitatore a vedere le sue coltivazioni di piselli chiedeva "Ti piacerebbe vedere i miei figli?"

Mendel viaggiò molto poco nei suoi primi 40 anni, ma il 1862 segna una grande eccezione. Il 24 luglio Mendel, come membro di una delegazione della Realschule di Brno, parte per la grandiosa mostra internazionale di Londra (*London International Exhibition*), incentrata soprattutto sulla scienza e organizzata per nazioni. Questo ci riconferma del livello scientifico della Realschule e di Brno in generale, oltre che della considerazione in cui era tenuto Mendel. Il loro apporto alla mostra? Sulla cristallografia.

Ma una seconda motivazione importante era anche che Brno aveva intenzione di allestire un museo di tecnologia, e la mostra avrebbe potuto sicuramente dare degli spunti. Una foto mostra la folta delegazione davanti al Grand Hotel a Parigi, dove avevano fatto tappa nel lungo viaggio verso Londra. Mendel è in giacca, camicia chiara e cravatta scura.

Alla mostra c'era di tutto. Dal motore perpetuo a una protezione per i baffi per mangiare il brodo in sicurezza. Vi

“...La differenza nei caratteri di due piante, in ultima analisi, può quindi basarsi solo sulla diversa costituzione interna delle cellule di base in esse responsabili dell'interazione vitale, e nel differente raggruppamento degli elementi che vi partecipano...

Agrarian Sciences

era esposto il corpo imbalsamato della famosa Julia Pastrana, messicana, barbata (affetta da ipertricosi); "Part human, part orangutan" era riportato nella descrizione. A me sembra un riferimento, non so se positivo o negativo, al *The Origin of Species*, uscito pochi anni prima (1859).

Alcuni hanno pensato che questa sarebbe stata una occasione unica per Mendel e Darwin di incontrarsi. Ma l'incontro non ci fu e non poteva esserci. Proprio in quei giorni Leonard, figlio dodicenne di Darwin, era a letto con la scarlattina. Ma c'è anche da considerare la timidezza e la ritrosia di Mendel, oscuro monaco moravo, mentre Darwin era il più famoso naturalista dell'epoca, al centro del dibattito scientifico. Inoltre, Mendel non aveva ancora completato i suoi esperimenti, anche se il fatto che i caratteri non si mescolassero, ma passassero alle generazioni successive come elementi discreti, gli era già chiaro. La maggior parte degli altri naturalisti, compresi Darwin e suo cugino Francis Galton, ritenevano invece che si mescolassero (blended heredity), come fossero due tinte di colori. Per ultimo, Mendel, non conoscendo l'inglese, non aveva ancora letto *The Origin of Species*. Lo leggerà solo nella seconda edizione della versione in tedesco (*Über die Entstehung der Arten*) del 1863. Interessante comunque notare che dalle sottolineature, talvolta doppie, e dai punti esclamativi si intuisce il grande interesse suscitato in lui. Dicevo prima che l'incontro non poteva esserci, ma anche se ci fosse stato, non si sarebbero capiti (vedi nota conclusiva). Al suo ritorno a Brno, in autunno, Mendel riprende l'insegnamento e torna sui suoi esperimenti.

Siamo all'incrocio per due coppie di caratteri, rotondo/rugoso (Aa) x giallo/verde (Bb). Ottenuto l'eterozigote (termine introdotto sempre da Karl Correns), ottiene i diibridi AaBb, che esprimono solo le forme dominanti. Segue poi l'autoimpollinazione, con i seguenti risultati: 315AB, 101Ab, 108aB, 32ab. In numeri, 315, 101, 108, 32. I rapporti, riportati da Correns, non da Mendel, risultano 9:3:3:1. Seguono vari esperimenti di controllo, sempre concordanti. Mendel conclude. "*La progenie degli ibridi, dunque, quando in essa si combinano due [coppie di] caratteri distinti, si sviluppa secondo la seguente serie: AB + Ab + aB + ab + 2ABb + 2aBb + 2AaB + 2Aab + 4AaBb. Essa è indubbiamente il risultato della combinazione delle due serie di sviluppo relative ai caratteri A e a, B e b. La serie completa delle forme, infatti, si ottiene combinando fra loro i singoli termini delle seguenti due espressioni: : A+2Aa+a e B+2Bb+b*".



...Siamo all'incrocio per due coppie di caratteri, rotondo/rugoso (Aa) x giallo/verde (Bb). Ottenuto l'eterozigote, ottiene i diibridi AaBb, che esprimono solo le forme dominanti. Segue poi l'autoimpollinazione, con i seguenti risultati: 315AB, 101Ab, 108aB, 32ab...

Fenotipo	ROTONDO/GIALLO	ROTONDO/verde	rugoso/GIALLO	rugoso/verde
Genotipo	1 AABB 2 AABb 2 AaBB 4 AaBb	1 AA bb 2 Aa bb	1 aaBB 2 aaBb	1 aabb
Frequenza Fenotipica	9	3	3	1



...Si dimostra allo stesso tempo che la relazione di ciascuna coppia di caratteri diversi nell'unione ibrida è indipendente dalle altre differenze nei due genitori originari..."

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Le regole che lui ha trovato, in altre parole, si applicano a più caratteri simultaneamente. De Vries la chiamerà poi legge della indipendenza dei caratteri. Dice Mendel: *" Si dimostra allo stesso tempo che la relazione di ciascuna coppia di caratteri diversi nell'unione ibrida è indipendente dalle altre differenze nei due genitori originari"*.

Non pago degli esperimenti con due coppie di caratteri, Mendel passa a 3 coppie di caratteri (forma del seme rotonda/rugosa Aa; colore dell'albumine giallo/verde Bb; colore del tegumento (e del fiore) viola/bianco Cc. *" Fra tutti gli esperimenti, è quello che ha richiesto più tempo e fatica"*. Queste le combinazioni:

ABC + 2ABCc + 2AbCc + 2aBCc + 2abCc + 2ABbC + 2ABbc + 2AbbC + 2Abbc + 2AaBC + 2AaBc + 2AabC + 2Aabc + 4ABbCc + 4aBbCc + 4AaBCc + 4AaBcc + 4AaBbC + 4AaBbc + 8AaBbCc. Tutto torna.

E fa sfoggio di padroneggiare il calcolo combinatorio con situazioni ancora più complesse. Quali sarebbero le combinazioni possibili di 7 coppie di caratteri? 2.187, calcola giustamente Mendel.

E fa poi una mole incredibile di esperimenti, compresi quelli che noi chiamiamo test cross o back cross, per trovare sempre nuovi riscontri che puntualmente arrivano. Ma Mendel è molto umile e nota: *" La validità dei principi stabiliti per Pisum, tuttavia, richiede ulteriore conferma e sarebbe quindi auspicabile ripetere almeno gli esperimenti più importanti, come ad esempio quelli sulla costituzione interna delle cellule riproduttive ibride. Durante le osservazioni, infatti, potrebbe magari essere sfuggito qualche particolare, che, quantunque apparentemente irrilevante, potrebbe non essere trascurabile rispetto al risultato complessivo. Altrettanto, anche la validità delle conclusioni per altre specie di piante dev'essere ancora dimostrata sperimentalmente, verificando che esse si comportino davvero allo stesso modo, sia pur supponendo che negli aspetti essenziali non vi siano grosse differenze, giacché sembra che l'unità nel piano di sviluppo della vita organica sia fuori discussione"*. Viene subito in mente l'albero della vita di Dawin (vedi sopra). Dicevo che Mendel è molto umile. Però lo sfoggio ripetuto di conoscenze matematico-statistiche con cui analizza e disseziona i suoi dati sperimentali, hanno contribuito, secondo me, a che alcuni (mi sa quasi tutti) degli indirizzatori del suo reprint si arenassero nella lettura del suo articolo e più non vi lessero avanti .

La conoscenza della meiosi avrebbe molto semplificato il lavoro di Mendel. E in effetti la semplificherà ai suoi



...Contare, contare, contare... Era una forma mentis appresa a Vienna (von Ettingshausen) che Mendel applicava anche nei suoi compiti di meteorologia e di altro...

riscopritori. Ma la meiosi verrà descritta solo nel 1876 da Oscar Hertwig. È quindi con maggior considerazione delle intuizioni di Mendel che leggiamo "Siccome durante l'intero periodo vegetativo non è percepibile alcun cambiamento nell'aspetto di queste piante, dobbiamo concludere che gli elementi differenti riescano a liberarsi dalla combinazione forzata nell'ibrido solo durante la formazione delle cellule riproduttive". Il concetto di gamete aploide, quindi, è chiarissimo per Mendel.

Arriviamo intanto all'inverno 1864/65 che Mendel probabilmente passa a preparare la relazione da presentare alla Società per lo Studio della Scienze

Naturali di Brno, di cui lui era stato uno dei fondatori. La relazione è fissata per l'8 febbraio 1865, da tenersi presso la Realschule, dove lui insegnava da vari anni. Si avvia verso l'Istituto con alcuni confratelli, tenendo sottobraccio il suo manoscritto e alcuni piselli come esempio delle varietà usate. L'uditorio è formato da una quarantina di persone provenienti soprattutto dal mondo accademico, dalla stessa Realschule e da altre scuole. Manca il suo amico di Vienna, avvocato, ma appassionato di botanica, Johann Nave, morto un anno prima. Forse sarebbe stato l'unico a capire appieno la sua presentazione. Dopo l'introduzione del vice-presidente della Società, Mendel inizia a leggere la sua relazione. Possiamo immaginarlo un po' impacciato, con voce un po' monotona, a snocciolare numeri. Dopo circa un'ora chiude preannunciando che a breve avrebbe tenuto, a completamento, una seconda relazione. Domande? Nessuna. Forse nessuno aveva capito. La seconda relazione avviene quattro settimane dopo, l'8 marzo. Di nuovo, nessuna reazione. Come non riandare al primo luglio 1858, quando le tesi di Darwin e Wallace vengono lette davanti alla Linnean Society a Londra, davanti cioè al fior fiore dell'establishment scientifico inglese? Anche lì nessuno si rese conto che quei concetti sarebbero stati forse la più importante rivoluzione culturale del loro tempo (a dir poco).

Probabilmente, anzi sicuramente, i calcoli matematici che sottostavano alla segregazione dei gameti risultarono ostici per l'uditorio, e che la meiosi, come detto, verrà scoperta solo 25 anni dopo. Oltretutto Mendel presentò, nella seconda relazione, anche dati su altre piante. Ma mentre sui fagioli (*Phaseolus vulgaris* x *Phaseolus nanus*) i conti gli tornavano, per il colore dei fiori del *Penstemon* no. Insinuando quindi egli stesso delle perplessità sui suoi risultati. Nelle sue intenzioni questo forse avrebbe voluto essere solo un invito ad altri botanici a ripetere e allargare i suoi esperimenti.

Nell'ultima parte dell'articolo, infine, Mendel affronta il discorso della speciazione. E qui, per me, la sorpresa più grande. Queste tematiche non erano nuove nel suo tempo e in particolare ai suoi professori a Vienna (vedi sopra, Unger). E, cosa da tenere ben presente, Mendel aveva letto con molta attenzione *The Origin of Species*.

Dunque. Contro Lamarck rivendica che la legge è uguale per tutti. "Nessuno potrebbe seriamente affermare che lo sviluppo della pianta nel suo ambiente selvatico sia regolato da leggi diverse da quelle dell'aiuola di un giardino". E ancora: "... nulla ci giustifica a supporre che la tendenza a formare varietà sia così straordinariamente accresciuta che le specie perdano presto ogni indipendenza e che la loro progenie divenga una serie senza fine di forme altamente variabili". E se è solo l'ambiente a far variare le piante, allora quelle coltivate non dovrebbero variare mai, "Tuttavia, come noto, non è così, perché, anzi, è proprio tra queste che si trovano non solo le forme più diverse, ma anche quelle più variabili".

E si chiede, in un certo senso, di come queste variazioni possano originarsi. "È più che probabile che per la variabilità delle piante coltivate esista un fattore che finora ha ricevuto poca attenzione". Nelle piante coltivate una accanto all'altra si possono formare ibridi, ma la stabilità dei caratteri è la regola, infatti, "in mezzo alle varie piante nella enorme schiera di forme variabili ce ne sono sempre alcune che rimangono costanti in questo o quel carattere qualora si tenga accuratamente lontana ogni influenza estranea".

Speciale Genetica Agraria

Quindi la regola è la stabilità (la necessità) basata su elementi discreti, non il blending. Qui forse risiede la differenza più grande di prospettiva tra Mendel e tutti quelli che si erano occupati di "*transmutazione*". Molti cercavano il movente, la spinta interiore alla variabilità, la "*force vitale*". Il vitalismo era morto, ma non definitivamente, solo nel 1828, con la sintesi dell'urea da parte di Friedrich Wöhler, che tra l'altro se ne era pure dispiaciuto. E a dimostrazione della molta vaghezza delle idee in biologia basta ricordare che il concetto di generazione spontanea era stato definitivamente sepolto da Pasteur solo un anno prima, nel 1864. Le leggi che Mendel introduce parlano invece di una stabilità che si estrinseca in precisi calcoli matematici; cosa completamente nuova per la biologia, almeno in questo ambito.

Seguendo l'uso della Società per lo Studio della Scienze Naturali di Brno, quanto presentato da Mendel viene pubblicato negli atti della Società, nel 1866. Titolo *Versuche über Pflanzen-Hybriden* (Esperimenti sulla ibridazione delle piante). Titolo non molto felice, non proprio attrattivo, visto che di pubblicazioni similari ce ne erano state non poche. E sempre secondo gli usi, 133 copie vengono spedite a istituzioni accademiche. Mendel era conscio dell'importanza delle sue scoperte e l'ordine di un numero insolitamente elevato di reprint, 40, attesta il suo giusto desiderio di disseminare le sue scoperte. Questi reprint vengono spediti a eminenti personalità nel campo delle scienze naturali, della botanica in particolare.

I libri erano e sono stampati su fogli grandi, in genere in sedicesimi, poi piegati a formare pagine ordinate, e infine rilegati. Non sempre però i bordi dei fogli erano tagliati per separare le pagine, e non lo erano, sappiamo, i reprint di Mendel, per cui reprint non tagliato = reprint sicuramente non letto. Di molti reprint non sappiamo di come siano arrivati laddove sono stati poi ritrovati. Di destinatari certi ne conosciamo 12, e la storia di alcuni di questi è importante.

Un reprint, duole dirlo, arriva a Darwin. Il tedesco era una lingua molto usata allora nel campo scientifico, soprattutto per le scienze naturali, e, al dire di Francis, figlio di Darwin (come riportato in questa pagina del sito The Friends of Charles Darwin), Darwin non avrebbe avuto troppa difficoltà a leggerlo. Comunque, il reprint è stato trovato intonso. Uno dei tanti, avrà pensato Darwin (e per di più di uno sconosciuto). È anche difficile prevedere se ne avrebbe afferrato il significato. Uno dei tanti... come Naudin, che aveva fatto esperimenti simili (vedi sopra), e che Darwin aveva liquidato dicendo "*He cannot, I think, have reflected much on the subject*". Anche Darwin aveva fatto esperimenti di ibridazione, probabilmente in quel periodo. Ne parla una sua pubblicazione del 1868. Aveva incrociato delle bocche di leone, fiore rosso x fiore bianco, notando una "*prepotency*" del rosso (vedi sopra).

Anche la storia di altri due reprint è degna di nota. Uno lo troviamo girato, non si sa da chi, a Martinus Beijerinck, olandese, che sicuramente lo lesse. Beijerinck essendo a conoscenza che il suo giovane collega olandese De Vries lavorava sulle ibridazioni di *Oenothera lamarckiana* (enotera) e *Zea mays* (mais) gli spedì il reprint, scritto, dice Beijerinck, da un certo Mendel nel 1866, e che avrebbe potuto essergli utile. Per capire bene l'influenza di Mendel su De Vries bisognerebbe sapere quando esattamente il reprint gli fu spedito. Non si sa. Nel prosieguo, questa storia viene affrontata più in dettaglio.

L'altro reprint lo troviamo sul tavolo di Karl von Nägeli, Università di Monaco, con una lettera di accompagnamento in cui Mendel mostra tutta la sua reverenza (eccessiva!) verso il rinomato luminare, a cui chiede consigli. Da premettere che la pianta prediletta da Nägeli, e non solo da Nägeli, era lo *Hieracium*, (la pilosella è una delle specie di *Hieracium*), probabilmente perché ha una varietà di forme incredibilmente alta.

Parafrasando Manzoni, ahimè *lo sventurato rispose!* Il 27 febbraio 1867 arriva a Mendel la risposta di Nägeli, l'unico a rispondergli. Ma non è molto incoraggiante, anzi. Nägeli è scettico sull'assunto di Mendel che le forme "A" e "a" siano stabili: "*Mi aspetto che prima o poi varino ancora una volta*". Da questo e da altri commenti si può ragionevolmente capire che il luminare non aveva capito nulla, condizionato, probabilmente, dal fatto che egli aveva posizioni opposte a quanto Mendel asseriva.

Nägeli era per la mescolanza (blending) dei caratteri dei genitori, che era poi l'opinione comune di allora, di Darwin in primis. Dare ragione a Mendel avrebbe significato riconoscere che lui invece lui aveva sbagliato tutto.

Agrarian Sciences

Che delusione per Mendel! E nella sua risposta del 18 aprile 1867 gli rispiega per benino i suoi esperimenti e le sue conclusioni. Centrale questo passaggio. "... *in ogni generazione appaiono i due tratti parentali, separati e immutati, e nulla indica che uno di loro abbia ereditato o preso qualcosa dall'altro*". Nägeli aveva anche obiettato sulla correttezza delle sue deduzioni. Al che Mendel ribatte che "... *ho dimostrato con precedenti esperimenti che il passaggio di una coppia di tratti differenti procede indipendentemente*".

Nägeli non risponde a questa seconda lettera. Va detto che in questo periodo Nägeli non è proprio in salute. Mendel allora invia una terza lettera il 6 novembre 1867, sempre con atteggiamento da scolarotto, evitando di parlare dei piselli (a Nägeli evidentemente non piacevano) e parlando invece di quello che piaceva a Nägeli, cioè dello (sventurato!) *Hieracium*, raccontando anche che aspettava con impazienza di vedere i risultati delle ibridazioni che aveva fatto proprio su questa pianta. Ancora silenzio da Nägeli. Mendel non desiste e invia una quarta lettera il 9 febbraio 1868, con cambio di tattica. Blandisce Nägeli chiedendogli di spedirgli 12 campioni di specie diverse di *Hieracium*. Lui penserà alle ibridazioni. Mendel era notoriamente molto esperto in queste cose, e i fiori di *Hieracium* erano tutt'altro che semplici da gestire. A questa offerta allettante Nägeli finalmente risponde, brevisssimamente, promettendo fiori e semi.

Il 4 maggio 1868 Mendel risponde ancora, ma la sua vita, nel frattempo, aveva avuto una svolta radicale. Il 30 marzo 1868 era stato eletto abate del monastero di S. Tommaso come successore di Napp, morto l'anno prima. Riceverà piante e semi da Nägeli ma ci lavorerà a tempo perso. E la speranza che gli fossero riconosciute le sue straordinarie scoperte si affievolisce fino a scomparire. La elezione ad abate, molto apprezzata anche se dissimulata, lo ricompensò in parte di queste delusioni. Come abate entra nella "nomenclatura" di Brno, con incontri e ricevimenti abbastanza regolari nel convento stesso.

Nägeli, dunque, gli aveva mandato il materiale richiesto e Mendel, se pur con ritmi molto molto più blandi, si mette all'opera, e nel 1869 relaziona molto brevemente i suoi risultati alla Società di Scienze Naturali di Brno, pubblicati poi come atti nel 1870. Dice Mendel nella introduzione: "...vorrei ora riassumerne brevemente i risultati, quantunque ancora molto limitati". E un po' mestamente aggiunge che "*la realizzazione degli esperimenti previsti richiederà ancora diversi anni, e non so se mi sarà concesso di portarli a termine*".

Torniamo al perché della scelta "sventurata" dello *Hieracium*. Innanzi tutto la manipolazione era difficilissima per cui bisognava farla con un microscopio. E difficilissimo era evitare l'autoimpollinazione. Una ulteriore difficoltà era rappresentata dal fatto che mentre gli ibridi di alcune varietà mostravano un comportamento grosso modo dominante/recessivo, altri mostravano forme intermedie (che Mendel aveva accuratamente evitato per il *Pisum*). Ma il motivo principale della sventura nasce essenzialmente dall'ignoranza, inconsapevole, che questo genere di piante va raramente incontro alla riproduzione sessuata. La regola è l'apomissia (partenogenesi negli animali). In effetti Mendel riporta: "Finora, i discendenti dei bastardi prodotti per autofecondazione non sono variati: essi conservano i medesimi caratteri della pianta bastarda da cui derivano". Da notare che Mendel, dal 1868, usa pressoché esclusivamente il termine "bastardo" invece di "ibrido" (A. Volpone, comunicazione personale). Nelle conclusioni, Mendel non può non rimarcare la differenza tra *Pisum* e *Hieracium* ("incontriamo una differenza alquanto significativa"). A questo punto c'è la frase "*Nondimeno, durante la discussione sugli esperimenti condotti in Pisum, è già stato sottolineato che esistono anche bastardi la cui prole non varia, come ad esempio i bastardi di Salix, secondo Wichura, i quali si riproducono immutati come le specie pure. Hieracium potrebbe quindi rappresentare un caso analogo*". Quindi, a mio parere, il lavoro sullo *Hieracium* non è da considerarsi proprio un seppuku per Mendel. È forse la constatazione che le cose sono più complesse di quanto immaginato.

Come detto, Mendel aveva letto con molta attenzione *The origin of Species*, ma non abbiamo commenti oltre le sottolineature e i punti esclamativi. Un passo della relazione sullo *Hieracium* ci offre però uno squarcio di luce che, secondo me, è forse più importante di tutti i risultati negativi dello *Hieracium*. Dice Mendel: "*La questione dell'origine delle numerose forme intermedie costanti [constanten Zwischenformen] ha suscitato notevole interesse di recente perché un famoso esperto di Hieracium, nello spirito [im Geiste] della dottrina di Darwin, ha sostenuto che esse possano derivare dalla trasmutazione [Transmutation] di specie estinte o ancora existen-*

Speciale Genetica Agraria

t' (ricordo, transmutazione = evoluzione). All'affermazione non segue alcun commento, da parte di Mendel, ma è sicuramente significativo che egli segnali, se non accolga, anche l'idea di una possibile spiegazione evoluzionistica di una questione ampiamente dibattuta dagli ibridisti di fine '700 e metà '800.

Tornando alla corrispondenza con Nägeli, dopo la relazione del 1869 ci sono altre lettere ma senza più molta importanza. E sembra che dei suoi esperimenti non ne parlasse proprio più.

Mendel comunque continuò a interessarsi di come andava il mondo della biologia. Lesse con attenzione (lo si capisce anche qui dalle sottolineature) la traduzione tedesca della seconda opera maggiore di Darwin, *The Variation of Animals and Plants Under Domestication*, lavoro per lui ancor più interessante, visto che riguardava in larga parte l'ereditarietà, cioè l'argomento delle sue ricerche. Anche da questo libro egli trasse qualcosa, poiché si persuase che le apparenti irregolarità in *Hieracium* potessero ascrivere nell'ambito del fenomeno che Darwin aveva definito "Direct Action of the Male Element on the Female"; e Mendel ipotizzava perciò che si trattasse appunto di «azione diretta del polline di una specie [di *Hieracium*] sulle cellule uovo di un'altra». Forse fu anche in cerca di un riferimento al suo lavoro svolto su *Pisum*, ricevuto da Darwin un paio d'anni prima della pubblicazione della *Variatione*. Nulla. Fino al 1881 nessuno aveva sentito parlare di Mendel con la eccezione di Nägeli. Nel 1881 Wilhelm Olbers Focke pubblica un libro sulle ibridazioni, *Die Pflanzen-Mischlinge*, e cita Mendel 15 volte, ma non in maniera lusinghiera. Dice che "*Mendel crede di aver trovato proporzioni numeriche costanti tra i tipi di ibridi*" (= si era illuso), aggiungendo anche, e non si capisce il perché, che il lavoro del monaco seguiva la tradizione dei primi ibridatori, cioè che gli ibridi tendono a tornare alla forma genitoriale, preconetto allora ben radicato (vedi Naudin). In concreto, anche Focke non aveva capito nulla di Mendel. Le opinioni di Focke su Mendel vengono travasate nell'Enciclopedia Britannica.

Ci furono in realtà altri che citarono Mendel mentre questi era vivo, ma tutti senza averne capito granché. E comunque Mendel non ne venne mai a conoscenza.

Mendel continua invece, anche da abate, a essere il meteorologo ufficiale di Brno, e descrive con accuratezza distaccata, con passaggi ironici e di spirito, il tornado che colpì il convento il 13 ottobre 1870, che tra l'altro distrusse buona parte della serra. Mendel era timido e ritroso, ma ironia, spirito e scherzi facevano anche parte del suo carattere, ed era un lettore assiduo della rivista umoristica "*Die Fliegende Blätter*" (*Le Foglie Volanti*). Un giorno di inizio primavera, con la neve ancora a coprire il terreno, con Clemens, un suo confratello, fece una passeggiata visitando tra l'altro gli alveari. "*Lascia il berretto lì davanti*", gli disse Mendel maliziosamente. Maliziosamente perché Mendel sapeva come sarebbe andata a finire. Al loro ritorno, il berretto era stato tutto imbrattato dalle api.

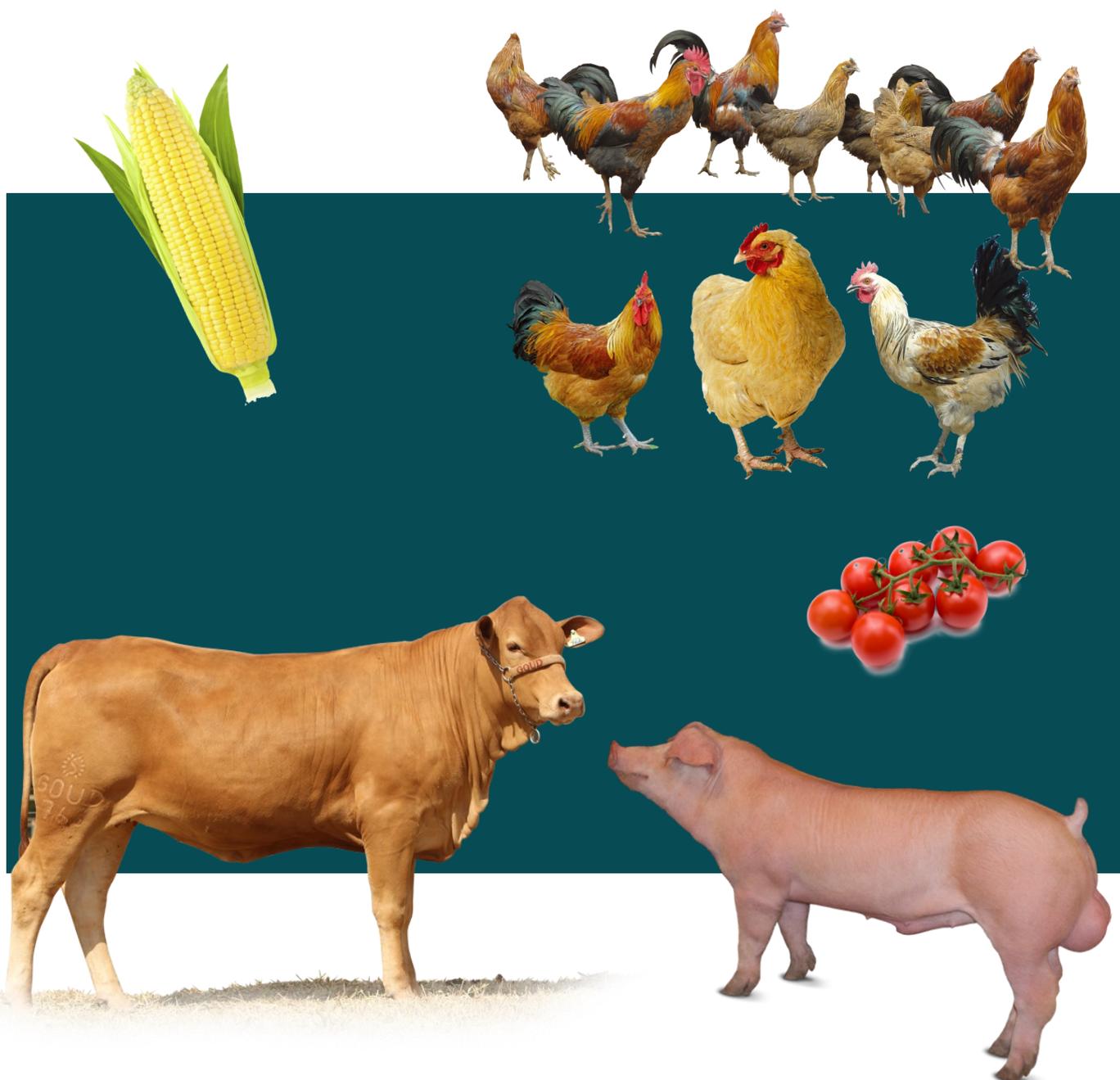
Del periodo da abate è degna di nota la sua reazione alla imposizione di una pesante tassa annuale sul convento, nel 1874, dovuta alla situazione disastrosa delle casse imperiali. Il timido monaco qui invece appare molto determinato, quasi aggressivo, nel difendere anche legalmente il suo convento. Ma questo, forse, lo fece sentire isolato. Le uniche tre persone di fiducia divennero i tre nipoti, i figli della sorella Theresia, che si trovavano a Brno per il Ginnasio. In Ferdinando, il più giovane, aveva trovato un capace sfidante agli scacchi.

Siamo così al 6 gennaio 1884. Dopo una malattia renale Mendel muore. I necrologi parlarono del suo amore per il giardinaggio, per la meteorologia e per l'apicoltura. Nulla dei suoi esperimenti di ibridazione. Gustav von Niessl lo ricordò durante una delle sedute della Società delle Scienze Naturali di Brno, ma anche qui senza riferimenti ai suoi risultati sulle ibridazioni. Von Niessl visse a lungo da vedere la riscoperta di Mendel. Solo allora confessò a Hugo Iltis (insegnante di scienze naturali alla stessa Realschule dove aveva insegnato Mendel, e futuro primo biografo di Mendel), che questi era solito dire ai suoi amici "*Il mio tempo verrà*".

Molti suoi quaderni, come detto, furono bruciati in un grande falò.

Mendel riposa nel cimitero di Brno. Il giovane Johann Mendel, da studente, in una composizione poetica che doveva celebrare una personalità, mette in bocca a Gutenberg che la sua ricompensa sarebbe stata:

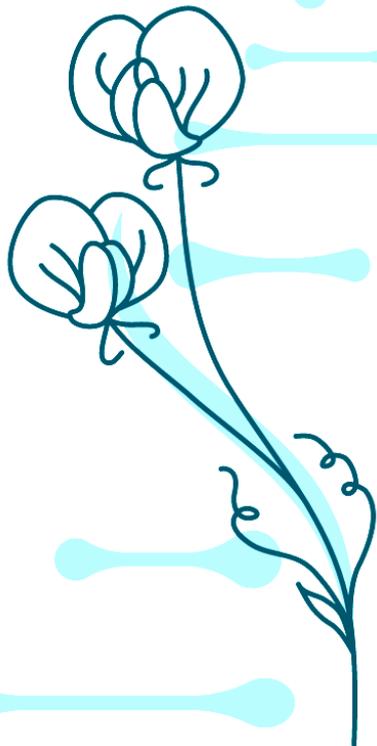
*"Quella di vedere, quando emergerò dalla tomba,
Che la mia arte prospera pacificamente
Tra coloro che verranno dopo di me".*





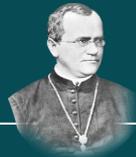
1900, A 34 ANNI DALLA PUBBLICAZIONE DI MENDEL E A 16 DALLA SUA MORTE

Mariano Rocchi

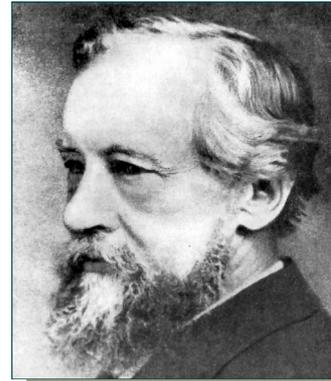


Chi ha visto una propria pubblicazione essere bruciata sul tempo da un collega, forse può solo intuire come si sentisse Karl Correns, docente di botanica a Tubinga, quel sabato 21 aprile del 1900 nel leggere la prima versione, quella in francese (cui si è accennato all'inizio) del collega olandese Hugo De Vries, pubblicata il mese prima su Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, rivista ufficiale dell'Accademia Francese delle Scienze. Per capire la situazione occorre sapere che Correns era già a conoscenza della pubblicazione di Mendel. L'articolo di De Vries parlava della trasmissione di caratteri negli ibridi di piante, di cui anche lui si stava occupando. Correns conosceva bene De Vries, soprattutto per essere stato da lui bruciato sul filo di lana altre volte, come nella soluzione del problema, molto caldo allora, del fenomeno denominato xenia. Ma Correns aveva altri motivi di irritazione, oltre alla bruciatura sul tempo. De Vries aveva sì capito il carattere discreto degli elementi che venivano trasmessi da una generazione all'altra, ma, secondo Correns, non aveva capito appieno le regole (mendeliane appunto) che sottostavano a questi passaggi. E poi il terzo motivo. Correns aveva il forte sospetto, come vedremo giustificato, che De Vries conoscesse già Mendel, ma che lo avesse intenzionalmente ignorato per poi poter dimostrare che alle sue importanti conclusioni c'era arrivato da solo. Correns decide allora di mettere i puntini sulle i, inviando immediatamente una nota alla Società Tedesca di Botanica.

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Mariano Rocchi



HUGO DE VRIES

De Vries nel 1889 aveva pubblicato un lavoro che riprendeva l'ipotesi della pangenesi di Darwin. Verso la fine del 1890 inizia un progetto sulle mutazioni o, come le

chiamava lui, "mostruosità", che credeva si verificassero casualmente, per ragioni sconosciute. De Vries considerava queste mostruosità come la forza trainante dell'evoluzione. Aveva casualmente trovato un genere di piante locali particolarmente propenso alle mostruosità, le *Oenothera*, concentrandosi in particolare sull'*Oenothera lamarckiana*, ora *Oenothera glazioviana*. Questo lavoro l'aveva convinto sempre di più della correlazione tra l'insorgere di nuove specie e le mutazioni. Nei suoi piani c'erano una serie di pubblicazioni che sarebbero dovuti culminare con l'uscita, agli inizi del secolo, del primo dei due volumi intitolati *Die Mutationstheorie, La Teoria della Mutazione*. Nel 1890 aveva fatto esperimenti di ibridi tra *Lychnis diurna* (pelosa) x *L. vespertina glabra* (liscia) che, alla F2 (autoimpollinazione degli ibridi) gli avevano dato un rapporto pelosi/rotondi 99:54, rapporto ovviamente interpretato come 2:1.

Nel 1899 De Vries partecipa alla *First International Conference on Hybridization and Plant Breeding*, a Londra, che si tiene alla *Royal Horticultural Society*, ove riporta gli incroci di cui sopra, ma il rapporto 99:54 diventa 3:1! Aveva già letto Mendel? Conclude comunque in modo interlocutorio che c'era molto lavoro da fare. Alla conferenza c'era ovviamente Bateson, eminente zoologo inglese e principale sostenitore della variazione discontinua della evoluzione, in contrapposizione alla linea Darwiniana che vedeva l'evoluzione muoversi su una linea "continua" di variazioni, cioè con piccoli impercettibili incrementi su cui agiva la selezione naturale. Le teorie di Bateson si sposavano perfettamente con le mostruosità di De Vries. I due erano entrati in contatto, e De Vries si era fermato a casa di Bateson, a Cambridge, prima di andare tutti e due a Londra per la conferenza.

E alla conferenza Bateson, nel suo intervento dell'11 luglio, aveva bene puntualizzato che per capire i risultati delle ibridazioni in chiave evolutiva era assolutamente necessario che la progenie di tali incroci venisse esaminata "*statisticamente*". Parola in corsivo nel testo scritto del suo intervento. Anche per Bateson vale la domanda: aveva già letto Mendel? Altre frasi che insistono sulla necessità di una analisi statistica rinforzano questa supposizione. Dopo di loro un altro oratore, R.

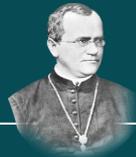
A. Rolfe, riassume la storia degli esperimenti di ibridazione, e in questo riassunto appare per la prima volta dalla sua morte il nome di Mendel, riferito però allo *Hieracium*. Probabilmente nessuno notò questo nome.

Il lavoro di De Vries, dunque, era apparso dapprima in francese sui *Comptes Rendus*. Il 27 aprile 1900, De Vries tiene un seminario alla Società Tedesca di Botanica e il suo seminario, in tedesco, viene quindi pubblicato sugli *Atti della Società*. Qui compare una nota aggiuntiva, non molto in risalto, in cui De Vries dà a Mendel il giusto credito.

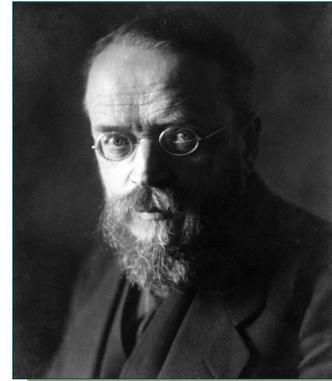
Aggiungendo però che sì, aveva adeguato la sua terminologia a quella di Mendel, ma era venuto a conoscenza del suo lavoro a esperimenti già praticamente ultimati e conclusioni già tirate.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Mariano Rocchi



CARL E. CORRENS

Correns, dunque, il 22 aprile manda una pepata nota alla Società Tedesca di Botanica, intitolato *La legge di G. Mendel sul comportamento della progenie di varietà di ibridi*, pubblicato il 27 aprile, quando la versione in tedesco di De Vries, con la nota su Mendel, era stata già pubblicata. Non arrivò a usare la parola plagio, ma il messaggio era quello. Rivendica che anche lui era giunto alle stesse conclusioni, ma che si era reso conto che Mendel lo aveva fatto molti anni prima. Questo per sottolineare una differenza morale con De Vries. E rimarca come i termini "attivo" e "latente" che De Vries aveva sempre usato prima, erano improvvisamente diventati, sui *Comptes Rendus*, "dominante" e "recessivo", che solo Mendel aveva usato. E la lista delle incongruenze elencate da Correns continua. Si meraviglia, per esempio, che De Vries non riportasse alcuna eccezione a queste leggi. Eccezioni che Correns aveva trovato (lavorando però su un numero di piante più alto).

Da notare che Correns usa, al posto di *Merkmal* o *Elemente* (vedi sopra) la parola "anlage" che (mi dicono) si avvicina di più al termine gene, nel senso che fa riferimento, in un certo senso, al codice che genera la caratteristica, più che alla caratteristica stessa. E aggiunge che il set completo di questi "anlage" potrebbe essere localizzato nel nucleo. Correns esprime poi per la prima volta la notazione 9:3:3:1 per i diibridi. Dal lavoro di Mendel la si deduce, ma lui non l'aveva mai riportata in questo modo. Introduce anche i termini segregazione e segregazione indipendente come "leggi di Mendel". E riconosce, onestamente, che i progressi recenti della biologia, sconosciuti a Mendel (vedi meiosi), gli fossero stati di grande aiuto nell'arrivare a queste leggi, riconoscendo così a Mendel una notevolissima statura scientifica. Correns, dunque, dice che alle leggi di Mendel ci era arrivato per proprio conto.

Sarà. Mah. Correns, come detto, conosceva molto bene Nägeli. Possibile che Nägeli, conoscendo sicuramente su cosa lavorasse Correns, non gli abbia parlato di Mendel? E come mai Correns si era concentrato sui piselli?

ERICH VON TSCHERMAK

Il terzo a impegnarsi moltissimo ad entrare nel club dei riscopritori di Mendel è Erich von Tschermak, belga, che prima in Belgio e poi a Vienna aveva lavorato su piselli e violacciocche. Era nipote di Eduard Fenzl, uno degli esaminatori che avevano bocciato Mendel al suo secondo tentativo. Il lavoro di von Tschermak è del giugno 1900. I suoi risultati sono preliminari, ma si evince molto chiaramente che non aveva colto i punti essenziali di Mendel, il processo combinatorio dei caratteri in particolare. Si darà sempre molto da fare per accostare il suo nome a quello di Mendel, ma la sua autocandidatura a terzo scopritore di Mendel non viene riconosciuta dai più.

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Mariano Rocchi



WILLIAM BATESON

Bateson nel 1905 conia il termine "genetica".

Dunque, nel 1899 Bateson si incontra con De Vries e si entusiasma della teoria delle "mostruosità" che supportava le sue idee sui meccanismi della evoluzione, e si spende a diffondere queste idee in Inghilterra. L'8 maggio 1900 lo troviamo sul treno per raggiungere Londra e dare un seminario alla Royal Horticultural Society.

La leggenda riportata all'inizio parla di un suo discorso miliare per la diffusione del Mendelismo in Inghilterra, preparato all'ultimo momento sul treno. Ma i conti non tornano. Non tornano i tempi per procurarsi la versione in tedesco del lavoro di De Vries pubblicato sugli Atti della Società Tedesca di Botanica, che riportava la nota aggiuntiva su Mendel, e non tornano ancora di più i tempi per procurarsi il lavoro di Mendel (comunque presente nella biblioteca di Cambridge) prima del suo viaggio a Londra dell'8 maggio. I tempi ci sono per il lavoro di De Vries sui *Comptes Rendus*, ma lì la nota su Mendel non c'è. Infine, negli Atti che riportano il suo intervento, pubblicati su *Gardeners' Chronicle* e apparsi il 12 maggio alla Royal Horticultural Society, manca ogni riferimento a Mendel. È verosimile che la folgorazione che lo colpisce sulla via di Londra è una leggenda creata da Bateson stesso, per collocare Mendel nell'Olimpo della scienza, ma anche, forse soprattutto, per metterglisi accanto come suo profeta. E nella traduzione in inglese dell'articolo di Mendel che lui cura nel 1902 compare una prefazione intitolata *Mendel's Principles of Heredity: a Defence*. In questa prefazione Bateson spiega come l'evoluzione proceda per cambiamenti "discontinui" e non per passaggi "continui". E conia il termine "*Mendelians*" per sé e per i seguaci della nuova teoria, in contrapposizione ai "*biometricians*", contro cui tuona in uno dei passi: "*Exactness is not always attainable by numerical precision, there have been students of Nature, untrained in statistical nicety, whose instinct for truth yet saved them from perverse inference, from slovenly argument, and from misuse of authorities, reiterated and grotesque*".

Buffo a dirsi, l'ammirazione (pelosa) di Bateson per Mendel lo aveva portato a diventare, come Mendel, un giocatore di scacchi, un fumatore di sigari, e un lettore della rivista umoristica *Die Fliegende Blätter* (*Le foglie volanti*) che, come detto, piaceva molto a Mendel. De Vries invece si allontana sempre più dal mendelismo. Nel suo libro *Pflanzenzuchtung* (*Plant Breeding*) Mendel non è citato, e, nel 1908 si rifiuta di firmare la petizione, con von Tschermak primo firmatario, per erigere un monumento a Mendel in Brno (vedi sotto). Probabilmente, e un po' a ragione, De Vries voleva essere ricordato per i meriti suoi, non solo per aver riscoperto Mendel.

Bateson sarà il mastino di Mendel come Thomas Huxley lo era stato per Darwin. Famoso il dibattito del 19 agosto 1904 a Cambridge tra Mendelians e biometricians, tra lui e il condottiero dei biometricians, Frank Raphael Weldon, un tempo suo amico, ma con cui ora c'era una lotta senza esclusione di colpi, come testimoniano le lettere e controlettere molto dure, con accuse reciproche, apparse su *Nature*. Il dibattito comincia con un colpo basso: il biometrician Arthur Dukinfield Darbishire, allievo di Weldon, cambia schieramento (senza molta spon-

taneità, sembra. Bateson si era accorto di errori, forse falsificazioni, di un suo lavoro contro il mendelismo...). Nel suo turno Weldon accusa veementemente la teoria di Mendel come "*cumbrous and undemonstrable*" ed elenca le eccezioni che confuterebbero il Mendelismo. Bateson parla nel pomeriggio, con altrettanta veemenza. Karl Pearson, il famoso biostatistico, considerato un biometrician, propone una tregua di tre anni, ma il chairman, il reverendo T. R. Stebbing, prima esita, ma poi conclude di lasciarli battaglia. Bateson conclude il suo discorso con l'affondo che argomenti basati sulle eccezioni rivelano solo la scarsità delle proprie prove. Per inciso, al dibattito era presente Reginald Crundall Punnett, collaboratore di Bateson, che era stato il primo a usare una matrice quadrata, detta appunto il quadrato di Punnett, per visualizzare meglio gli incroci. Dalle sue partite a cricket con il famoso matematico Godfrey H. Hardy nascerà un equilibrio...

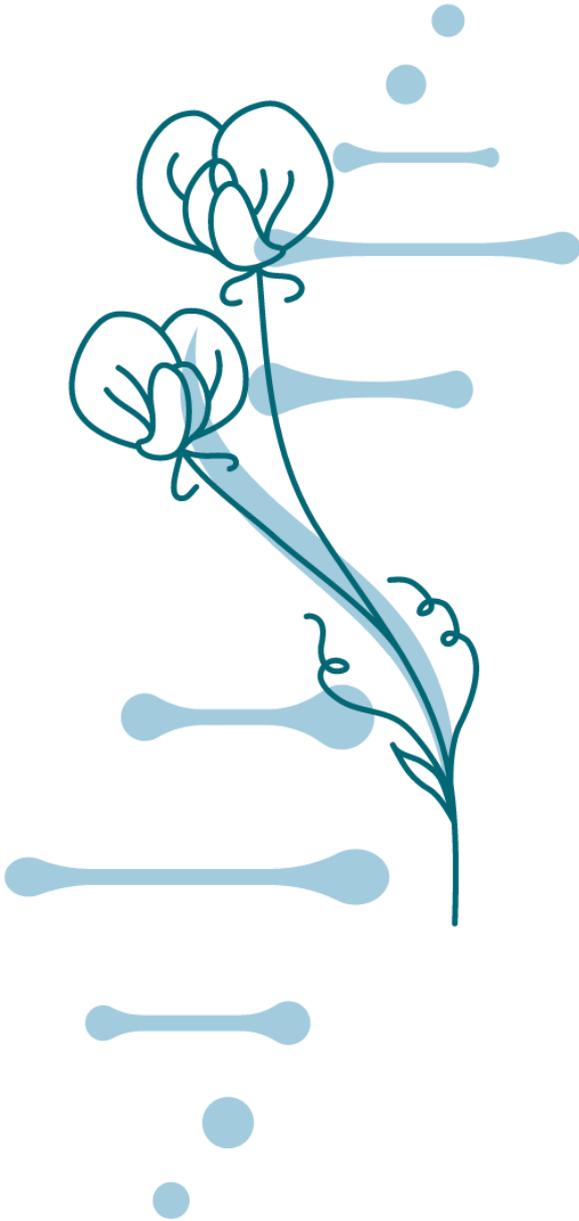
A concludere la battaglia tra Mendelians e biometricians arriva, nel 1905, la carica di cavalleria del colonnello, di cavalleria appunto, Charles Chamberlain Hurst. Hurst sottopone alla Royal Society un lavoro in cui descrive che, nei cavalli, i colori baio, marrone e sauro mostrano una segregazione mendeliana semplice, con baio e marrone dominanti e sauro recessivo (primo riscontro delle leggi di Mendel negli animali!).

Questi risultati Hurst li aveva ottenuti spulciando con molta pazienza i venti volumi dei pedigree dei cavalli da corsa registrati nel General Stud Book of Race Horses di Weatherby. Weldon, come chairman del Zoological Committee, fu uno dei primi ad aver accesso al lavoro, e si mette subito a spulciare i venti suddetti volumi alla ricerca di inconsistenze. E le trova. In alcuni casi erano riportati cavalli marroni (dominante) figli di genitori dal colore sauro (recessivo). Weldon, sulla base delle inconsistenze trovate, boccia il lavoro. Ma dopo alcune settimane Hurst risottomette il suo lavoro, lavoro caldeggiato questa volta da Bateson, che in un primo momento (invidia?) si era mostrato tiepido. Hurst spiega le eccezioni come errori materiali di trascrizione o di valutazione del colore, cosa non semplice nei puledri. Il colonnello era andato a cercare con che colore erano stati registrati i cavalli "inconsistenti" nelle cronache di altre corse, e le inconsistenze scompaiono. Weldon non la prende bene e si mette a spulciare di nuovo i 20 volumi portandoseli addirittura in un viaggio in Italia, ma concentrandosi molto di più su questo che sulle attrattive dell'Italia. Tornato, fa visita a varie scuderie nei dintorni di Oxford sperando di trovare materiale per controbattere i dati di Hurst. I primi di aprile del 1906 ne visita una con Pearson e discute con lui il progetto di un libro sul colore dei cavalli. L'8 aprile va a portare a sviluppare alcune foto di cavalli che aveva ispezionato, ma si sente molto affaticato. Qualche giorno dopo è in ospedale e il 13 aprile, a soli 46 anni, muore. Max Plank diceva che una teoria scientifica si afferma definitivamente solo quando muoiono i suoi oppositori.

Tschermak, l'autoproclamatosi riscopritore di Mendel, era stato il primo e più attivo membro del comitato costituito per raccogliere fondi per l'erezione di una statua a Mendel a Brno. Del resto, non avendo molti meriti scientifici suoi, era quello che aveva più da guadagnare mettendosi in bella mostra. La statua viene inaugurata domenica 2 ottobre 1910, nella rinominata Mendelplatz (ora Mendlovo náměstí), ed è Hugo Itlis a introdurre Correns per il breve discorso di inaugurazione, in tedesco, presenti i più illustri scienziati del momento. Ovvie le sue parole di dispiacere che Mendel in vita non potesse aver avuto il riconoscimento che avrebbe meritato. Da notare che la scritta ai piedi del monumento è in tedesco. Siamo sempre nell'impero Austro-Ungarico che continua a non apprezzare le minoranze linguistiche. Da notare anche l'assenza sul podio dell'abate del monastero, allora Franciscus Salesius Bařina, che l'abate Mendel aveva accettato nel suo convento; e, infine, che i documenti radunati per l'occasione a formare un piccolo museo, non erano esposti nel convento, ma sistemati alla German House.

Assente alla cerimonia Hugo De Vries, che del resto non aveva voluto sottoscrivere la raccolta fondi per la statua. Giustamente, come detto, si considerava qualcosa di più che un riscopritore di Mendel. In effetti si era concentrato per ricordare le teorie evoluzionistiche di Darwin con le sue mostruosità. E nemmeno parteciperà, nel 1922, alle celebrazioni del primo centenario della nascita di Mendel. Assente anche Correns, che sottoscrisse la petizione di raccolta fondi, ma non fu molto attivo.

Dunque, la statua di Mendel è ora al centro della Mendelplatz, ma la sua storia merita di essere ulteriormente raccontata perché ricalca i percorsi della genetica nei meandri delle ideologie & della politica del XX secolo. Una



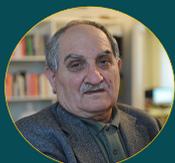
notte del 1950 (cortina di ferro ben in piedi) l'esercito cecoslovacco, segretamente, rimuove la statua e la porta, senza il suo piedistallo, sul retro del cortile del convento adibito nel frattempo a uffici governativi. Per la ideologia comunista la genetica era un'eresia borghese da combattere. Con l'avvento di Trofim Lysenko e delle sue teorie simil-lamarckiane la battaglia diventa fisica, con licenziamenti, deportazioni in Siberia e anche fucilazioni. Per le drosofile invece si ricorse alla bollitura. Nel 1964 un gruppo di genetisti ottiene che la statua fosse portata nel cortile principale dell'ex-convento di San Tommaso.

Una considerazione finale sulla vita di Mendel. Ogni grande scienziato, dice Newton, vede oltre perché è sulle spalle dei giganti che lo hanno preceduto. Anche Mendel aveva preso da altri, da Gärtner e Kölreuter, per esempio. Ma Mendel usa strumenti mai usati prima nel campo della botanica e della biologia in generale: la matematica e la statistica. Mendel è uno scienziato del XX secolo intrappolato nel XIX.

Si è accennato alla possibilità per Mendel e Darwin di incontrarsi in occasione della mostra internazionale di Londra del 1862. Si sarebbero capiti? Sicuramente no, allora. E più tardi? Il passo su riportato dalla pubblicazione sullo *Hieracium* mi mette ora qualche dubbio. Ma forse ci sarebbe voluta una buona iniezione di pazienza perché Darwin ascoltasse fino in fondo il racconto di quello sconosciuto monaco moravo.

A noi ora risulta comunque chiaro che ognuno dei due aveva una metà della mappa del tesoro. Ma la comprensione della loro perfetta complementarità avrà bisogno di vari decenni di riflessioni. Finalmente, tra il 1918 e il 1937, grazie a scienziati del calibro di Roland Fisher, John Haldane, Theodosius Dobzhansky e altri, si arriva alla "nuova sintesi", al neo-darwinismo. La biologia prende la strada su cui ora camminiamo.

Articolo scritto per l'AGI, Associazione Genetica Italiana. Per gentile concessione dell'autore



GLI ESPERIMENTI DI MENDEL E LA LORO ATTUALITÀ

Francesco Salamini



...Si è calcolato che il lavoro sul Pisello abbia imposto a Mendel di controllare circa 10.000 piante, 40.000 fiori e 300.000 semi...

Comunicazione presentata al Seminario "Gregor Mendel, il mendelismo e la genetica agraria" organizzato dal Museo di Storia dell'Agricoltura, la Società Agraria di Lombardia e la Fondazione Morando Bolognini il 14 ottobre 2022 a Sant'Angelo Lodigiano.

Riassunto

Viene presentato il ruolo di Mendel come padre fondatore della Genetica. Si dà rilievo all'importanza della sua educazione, ai contenuti del suo principale scritto del 1866 (metodi; cura delle piante; terminologia; materiali; analisi dei dati; risultati), ai tentativi di rendere nota la sua visione dell'eredità, alla riscoperta di quelle che oggi sono note come leggi di Mendel. Viene anche riassunta la rilevanza di Mendel nel proporre una teoria divenuta, poi, termine di confronto nell'analisi di argomenti biologici che potevano rappresentare eccezioni alla stessa, anche se solo apparenti, come allopoliploidia, fattori genetici multipli, apomissia, semi dominanza, rapporto numerico tra i sessi, fattori gametofitici.

Summary

(Mendel experiments and their current relevance). The contribution summarizes the unique role of Gregor Mendel as the founder of Genetics. The note includes discussions on the importance of his education, on the content of his main contribution published in 1866 (methods; plant handlings; terminology; materials; data analysis; results), on the action taken by Mendel to communicate his discoveries, and on the re-discovery of Mendel work. The Mendel laws are considered as focal points in the analysis of biological arguments appearing as putative exceptions to mendelism, exceptions frequently only apparent, such as allopolyploids, duplicated genetic factors, apomixis, semi-dominance, sex ratio, gametophytic factors.

Introduzione

Gregor Mendelⁿ¹ ha offerto alla scienza un contributo epocale, ma il suo messaggio presupponeva l'accettazione di aspetti metodologici dove, per la prima volta, il calcolo combinatoriale, allora sconosciuto ai biologi, veniva applicato allo studio dell'eredità. E', infatti, a partire da rapporti matematici che Mendel propose l'esistenza di determinanti ereditari di natura discreta, oggi chiamati geni. " *Senza le conoscenze di citologia e cromosomiche, senza l'analisi di Weismann sul ruolo del nucleo, e senza tutte le scoperte biologiche sopravvenute tra il 1865 e il 1900, Mendel propose un nuovo modo di considerare l'eredità*" (Mayr, 1982). Negli ultimi 120 anni si è discusso alla noia del perché Mendel sia stato dimenticato per 34 anni prima che le sue conclusioni, pubblicate nel 1866, venissero accettate. Una possibile ragione è che, in quegli anni, la scienza biologica si presentava alle società umane sulla base delle proposte di Charles Darwin con argomenti evolutivi affascinanti per le loro implicazioni scientifico-filosofiche (Lewontin, 2004; Abbondandolo, 2015). Al contrario, la scoperta di Mendel, dal punto di vista filosofico, era meno interessante: proponeva solo un meccanismo che, però, sarebbe - e come - servito a Darwin per dare anche più sostanza scientifica alla sua teoria dell'evoluzione: è evidente che Darwin non ha spiegato l'origine della variabilità biologica. La chiave della ereditarietà dei caratteri, ma anche dell'origine della variabilità, si nascondeva, al tempo, nel lavoro di Mendel. Edward M. East (1923) era convinto che se c'era qualcuno in grado di capire quel lavoro, questo era Darwin (oltre che Galtonⁿ²). La storia di Mendel, contrapposta a quella di Darwin, è, invece, quella di un gentile rivoluzionario nato troppo presto, e che non ha goduto, per emergere, delle spalle di giganti e maestri (Henig, 2000).

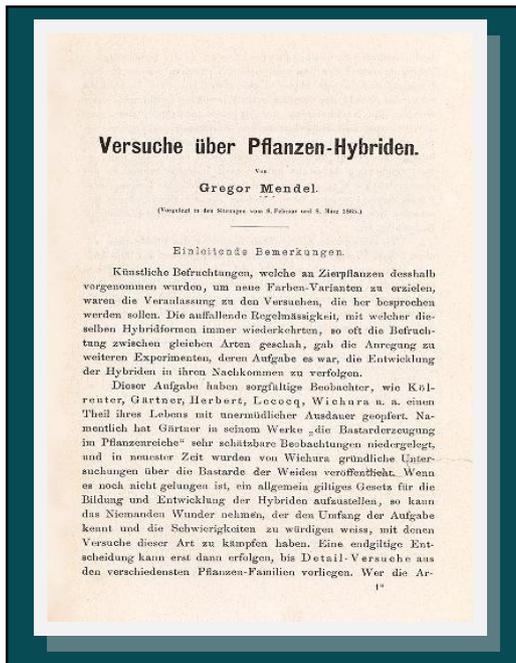
In sintesi, il suo contributo alla biologia moderna, concentrato in un paio di pubblicazioni, va dalla descrizione di elementi assimilabili ai geni di oggi e dalle sue tre famose leggi (uniformità della F1, segregazione, indipendenza dei caratteri), alla dimostrazione dell'utilità della matematica in biologia, fino ad offrire un paradigma predittivo del DNA. Curiosamente, nel suo sviluppo la genetica ha poi assunto un ruolo culturale che, secondo Bianchi (1997), la rende una disciplina biologica generale soffusa di atmosfera caratteristicamente filosofica. Nel nostro secolo, specialmente nei suoi aspetti biotecnologici, sta addirittura ipotecendo il nostro futuro.

Educazione

Per comprendere lo sviluppo del percorso scientifico di Mendel, è necessario accennare a come, nel periodo educativo, sia stato introdotto alla scienza. Friedrich Franz, il professore della scuola che Mendel aveva frequentato prima di entrare in Convento, nel raccomandarlo all'abate Cyril Napp lo presentava come uno dei migliori studenti di fisica. Questa sua attitudine si manifestò anche a Vienna dove, appena arrivato all'Universitàⁿ³, divenne assistente all'Istituto di Fisica, una posizione riservata agli studenti più bravi e seri. Dal 1851 al 1853 Mendel studiò in quella Università, frequentando il corso di fisiologia vegetale e botanica tenuto da Franz Unger. Questo professore era convinto che nelle popolazioni naturali esistessero individui varianti che caratterizzavano le varietà o le sottospecie. Già allora Mendel fu un accanito lettore dei testi di Josef Kölreuter (1761-1766) e di Carl Friedrich Gärtner (1849) che trattano degli ibridi tra specie e varietà di piante (Rocchi, 2022). Inoltre, Mendel conosceva anche il lavoro di Franz Unger dove si dimostrava che le cellule della pianta si originano per divisione più che per spontanea neoformazione. Questo indirizzò Mendel verso la conclusione sul ruolo delle cellule riproduttive nella formazione degli ibridi e nelle loro segregazioniⁿ⁴ (Wallace, 2002-2003).

A Vienna, Mendel seguì non solo i corsi di scienze naturali, ma anche di matematica e fisica. All'Accademia Imperiale delle Scienze, in quegli anni il fisico Andreas von Baumgartner proponeva la necessità di creare legami tra botanica, zoologia e fisica; erano tempi in cui si sollecitava anche l'uso della matematica per valutare dati sperimentali relativi anche alle scienze biologiche. Insieme, i fisici Andreas von Baumgartner, Andreas von Hettingshausen e Christian Doppler ebbero un ruolo positivo nell'educazione di Mendel (Accademia Nazionale dei Lincei, 1984). Mendel seguì il corso di fisica sperimentale di Doppler; dopo il suo ritiro l'insegnamento fu tenuto da Hettingshausen, autore dell'importante libro di testo *Combinatorial analysis* (Darwin, che pubblica *L'Origine delle specie* nel 1859, non considerò nel formulare la sua proposta i contributi di matematica, fisica e statistica applicati all'eredità dei caratteri). Dopo il suo ritorno a Brno, Mendel ebbe la possibilità di completare la sua formazione scientifica avendo accesso alla biblioteca del Convento che era dotata di più di 20.000 volumi. Inoltre, a Brno per diversi anni insegnò la fisica.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna



Il contributo del 1866: le Versuche

Si è già ricordato che Mendel ha pubblicato poco. Il suo lavoro principale del 1866 fu preceduto da due presentazioni pubbliche dei dati⁵. Una traduzione in italiano a cura di Angelo Bianchi è stata pubblicata in Annali della Facoltà di Agraria dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, Anno VIII, Fasc. I, 1968 (Montalenti, 1984). È sorprendente, nel rileggere (o leggere) il testo del 1866, constatare quanto sia moderno nella terminologia e, soprattutto, nell'espone le conclusioni; tuttavia, le Versuche sono state spesso (ma impropriamente) ritenute difficili da consultare, forse per la poca pazienza dei lettori a seguire gli esperimenti riportati in forma molto analitica. L'articolo è invece un miracolo di chiarezza (Cavalli-Sforza, 2002-2003).

Metodi

Mendel introduce la sua metodologia con parole molto precise: *"Al compitodi seguire lo sviluppo degli ibridi nelle loro discendenze hanno sacrificato parte della loro vita.... attenti osservatori come Kölreuter, Gärtner, Herbert, Lecocq, Wichura*

ed altri....Se ancora non si è riusciti a stabilire una legge universalmente valida per la formazione e lo sviluppo degli ibridi, ciò non recherà meraviglia ad alcuno che conosca la portata dell'assunto e che sappia valutare le difficoltà con le quali si trovano a dover lottare per realizzare adatti esperimenti. Un responso definitivo si potrà raggiungere soltanto quando si disporrà di esperimenti di dettaglio condotti in piante appartenenti ai più diversi ordini.... Fra i numerosi esperimenti non ve n'è alcuno eseguito in dimensioni e maniera tali da rendere possibile di determinare il numero delle diverse forme in cui si presentano i discendenti degli ibridi, talché si possano con sicurezza ordinare queste forme nelle singole generazioni, fissandone i reciproci rapporti numerici". "La presente trattazione descrive la prova di un siffatto esperimento di dettaglio".

L'uso di Mendel della matematica per interpretare esperimenti biologici e gli sviluppi teorici della sua teoria - che hanno stimolato dopo il 1900 nuovi esperimenti di verifica - sono il primo esempio di metodi avanzati applicati in biologia. Il fidarsi del calcolo combinatoriale e la sicurezza nel praticarlo, furono, infatti, parte importante del suo genio. Questa fiducia nella matematica gli ha permesso, nell'impostazione degli esperimenti e nelle conclusioni-interpretazioni dei dati, di adottare senza patemi il metodo ipotetico-deduttivo. Si deve anche accennare al dettaglio, non insignificante, che nessuno prima di Mendel aveva fatto in biologia un piano sperimentale così accurato al solo scopo di curiosità scientifica (Rocchi, 2022). Relativamente alla critica di Fischer circa i numeri riportati per le segregazioni e utilizzati per stabilire i rapporti tra versioni alternative dei caratteri - numeri troppo precisi secondo Fischer - è stato considerato che Mendel possa aver continuato a ripetere lo stesso incrocio fino a che i numeri si avvicinavano ai rapporti attesi (Mayr E., 1982).

Cura delle piante

Le piante con caratteri differenziati, utilizzate per produrre ibridi, dovevano, negli anni, mantenere fisso il carattere che manifestavano. I fiori degli ibridi dovevano essere protetti per evitare l'incrocio accidentale. Gli ibridi e le loro progenie non dovevano manifestare sterilità, situazione da accertare con cura, anche per rivelare solo una eventuale semi-sterilità. La scelta di una leguminosa era giustificata perché le specie della famiglia hanno fiori che tendono ad evitare l'alloincrocio.

Terminologia

Definisce gli stati di dominanza e recessività, termini poi usati sempre in genetica. Introduce il simbolo dei caratteri come lettera maiuscola per la versione dominante (*dominirende*) e minuscola per quella recessiva (*recessive*) (A vs a; B vs b, etc.). Questo uso delle lettere in binomio è stata una importante iniziativa di Mendel

Agrarian Sciences

(Henig, 2000). Correns, invece dei termini di Mendel *Merkmal* o *Elemente*, usa *Anlage* che fa riferimento alla cosa che genera una caratteristica, più che alla stessa caratteristica (suggerisce, inoltre, che il set completo delle *Anlage* potrebbe localizzarsi nel nucleo cellulare; Rocchi, 2022). Il termine *Regel* introdotto da Correns indica una regola, non una legge. Mendel, in verità, non ha riassunto le sue conclusioni in forma di leggi; queste sono state introdotte dopo la sua riscopertaⁿ⁶ (Fantini, 2001). Anche il quadrato di Reginald Crundall Punnett, poi universalmente adottato per illustrare le combinazioni tra gameti, apparve per la prima volta nel 1911 nel libro di Punnett "*Mendelism*" (Henig, 2000). Nella *Versuche*, Mendel usa almeno dieci volte la parola "*Elemente*" che ragionevolmente ora corrisponde al nostro concetto di gene.

Materiali

Rende da subito chiaro che gli ibridi da considerare non devono essere sterili o parzialmente sterili (comportamento da accertare con molta cura). Inizia con il considerare 34 varietà di pisello che vengono valutate per due anni per stabilirne l'omogeneità rispetto al carattere allo studio. Scarta quelle che fanno eccezione e ne conserva 22 che si dimostreranno stabili nel fenotipo per tutti gli anni di durata degli esperimenti. Seleziona sette coppie di varietà, ciascuna coppia con due versioni dei caratteri seme liscio o seme rugoso, colore dell'endosperma giallo o verde, pericarpo del seme bianco o grigio, baccello liscio o con costrizioni, colore del baccello immaturo verde o giallo, fiori assiali o terminali, pianta alta o nana. Gli ibridi venivano prodotti nelle due direzioni (AA madre - aa donatore di polline; aa madre - AA donatore di polline), e dovevano risultare fenotipicamente indistinguibili. Al fine di ottenere, specialmente nelle generazioni segreganti, credibili rapporti di segregazione, riteneva metodologicamente importante pianificare esperimenti basati su un elevato numero di piante: si è calcolato che il lavoro sul Pisello abbia imposto a Mendel di controllare circa 10.000 piante, 40.000 fiori e 300.000 semi.

Analisi dei dati.

Il commento di Mendel ai suoi dati ha una chiarezza propria delle leggi fisiche, una chiarezza non più raggiunta da coloro che poi riscoprono le sue leggi (Czihak, 1984). Conosceva e utilizzava con disinvoltura il calcolo combinatoriale. Questa sua familiarità si può anche desumere, oltre che da come presenta i risultati, da una osservazione che fa nella discussione delle *Versuche*. Scrive che se due parentali differissero per 7 caratteri, e se venissero allevate 100-200 piante F2 al fine di stabilire le relazioni tra le diverse combinazioni di fenotipi, le conclusioni sarebbero quanto mai aleatorie, perché la serie delle combinazioni indicherebbe la necessità di osservare e caratterizzare 16.384 individui, distribuiti in 2187 forme (e le piante simili ai parentali ricomparirebbero una sola volta per ciascun parentale). Dal testo risulta evidente che gli esperimenti di rincrocio sono stati condotti per ultimi come verifica dei risultati delle F1 e delle F2 (Rocchi, 2022).

Risultati

A seconda dei testi che si consultano, le leggi di Mendel sono riportate come due o come tre. In generale possono definirsi della dominanza, della segregazione e dell'assortimento indipendente dei caratteri. È inutile, considerati i destinatari di questo manoscritto, citare i dati prodotti per i rapporti F2 3:1, suddiviso poi in 1:2:1 per i genotipi AA: Aa: aa. Le *Versuche* sviluppano anche, dimostrando la familiarità con il calcolo combinatoriale, le probabilità dei fenotipi delle progenie degli ibridi fino alla generazione n, secondo la serie $2^n - 1$: 2: $2^n - 1$ (per n = 5, per esempio, si ottiene 31: 2: 31, rispettivamente per AA: Aa: aa; da qui l'insistenza su esperimenti con numeri elevati di individui: una corretta approssimazione sperimentale della frequenza di Aa (teoricamente pari a 2 su 64) richiede molto più di 64 individui. Usa ancora l'approccio combinatoriale per stabilire l'indipendenza tra caratteri sviluppando i rapporti 9: 3: 3: 1 (due caratteri segreganti: fenotipi AB, Ab, aB, ab) e 27: 9: 9: 9: 3: 3: 3: 1 (tre caratteri segreganti: fenotipi ABC: ABc: AbC: aBC: Abc: aBc: abC: abc). Kölreuter è largamente citato nelle *Versuche*: aveva intuito e scritto che caratteri diversi potevano essere ereditati indipendentemente; anche i lavori di Gärtner erano ben noti a Mendelⁿ⁷.

In sintesi, Mendel credeva che i caratteri passassero, da genitori a figli, come unità individuali discrete, in modo prevedibile, consistente e matematicamente preciso (Henig, 2000).

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

I tentativi di Mendel di rendere noti i suoi risultati

Mendel sentiva la necessità di diffondere i suoi risultati, almeno se si considera il contenuto delle sue lettere. Voleva, in particolare, verificare se le regole stabilite per il pisello valevano anche per altre piante, compreso lo *Hieracium*. Per parte sua, confermò i dati di *Pisum* con incroci di *Mattiola annua* e *glabra*, *Zea* e *Mirabilis*, ma, stranamente, non rese noto che i nuovi dati confermavano la pubblicazione del 1866. Sull'argomento ebbe una lunga corrispondenza (1866-1873) con Carl Nägeli, professore di Botanica a Monacoⁿ⁸. Nägeli non recepì la novità del lavoro di Mendel perché non credeva che la manifestazione di un carattere passasse inalterata attraverso le generazioni. Perché Mendel scriveva a Nägeli nel periodo in cui erano ancora in corso i lavori su *Hieracium*ⁿ⁹? Forse cercava incoraggiamenti, ma anche che qualcuno ripetesse i suoi esperimenti (Wallace, 2002-2003).

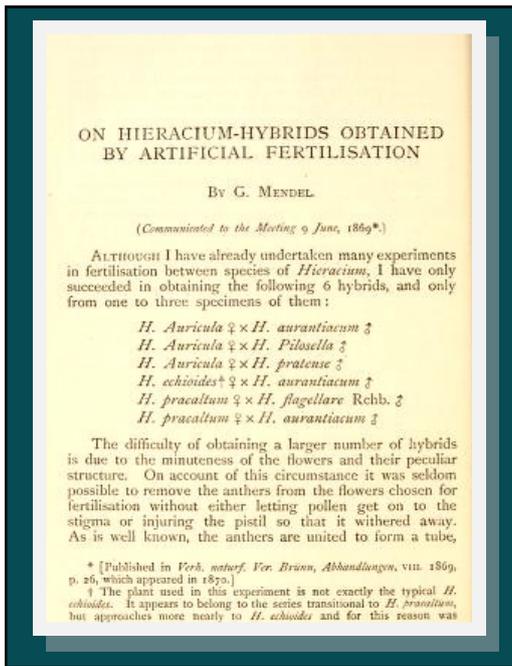
Mendel ordinò 40 estratti del suo lavoro del 1866 e almeno una dozzina fu spedita a importanti botanici del tempo. Una copia a Kerner von Marilaun, compagno di corso di Mendel a Vienna. Le pagine dell'estratto sono rimaste non separate e quindi non lette. Un secondo estratto, non letto perché a pagine unite, arrivò a Darwinⁿ². Un terzo raggiunse Martinus Beijerinck, olandese, che, avendo saputo che De Vries stava pubblicando sugli ibridi delle piante, tra il 1898 e il 1900 glielo spedì. Un quarto arrivò al Max Planck Institute di Tubingen sul tavolo di Boveri, uno degli scopritori della teoria cromosomica della cellula. Un quinto esiste nella biblioteca dell'Istituto di Botanica di Graz dove Unger aveva insegnato prima di spostarsi a Vienna; l'estratto era intonso. Un sesto raggiunse il botanico Matthias Jacob Schleiden. Sono stati ritrovati altri cinque estratti ma non si conosce chi li abbia ricevuti. L'ultimo estratto spedito a persona nota è quello di Nägeli (Henig, 2000).

Bisogna anche considerare che Mendel aveva veramente anticipato i tempiⁿ¹⁰: per esempio, la meiosi, che è alla base delle segregazioni fenotipiche e genetiche, fu scoperta solo 25 anni dopo la pubblicazione delle *Versuche*. Ha giocato un ruolo anche la scarsissima diffusione della rivista su cui Mendel ha pubblicato (Wallace, 2002-2003).

La riscoperta di Mendel

Nel 1900, la ricerca di spiegazioni alternative alla teoria che l'ereditarietà dei caratteri avvenisse per il mescolamento dei contributi di due genitori, stimolò la produzione di risultati che la volevano dimostrare di natura discontinua. Nel preparare le relative pubblicazioni, Hugo de Vries e Karl Correns riscoprono il contributo di Mendel. De Vries (1900a), nella nota sui Comptes Rendus, non aveva citato Mendel; Correns si insospettì, presumendo che De Vries volesse avere il merito di essere arrivato indipendentemente alle stesse conclusioni di Mendel. Nelle due note dello stesso anno (1900b, c), tuttavia, De Vries citò Mendel (Fantini, 2001). Anche Erich von Tschermak è stato incluso tra gli riscopritori, anche se era chiaro che non aveva compreso i contenuti delle *Versuche* (Henig, 2000). È vero che Wilhelm Olbers Focke già nel 1881 cita Mendel quindici volte, ma non in modo lusinghiero ("*Mendel ha creduto di aver trovato...*"). Le scoperte fatte tra la pubblicazione di Mendel e la sua riscoperta, come l'attenzione ai cromosomi e il meccanismo di divisione cellulare, avrebbero dovuto aiutare a comprendere il lavoro di Mendel, ma non giocarono alcun ruolo nella sua riscoperta (Cavalli-Sforza, 2002-2003). Le stesse scoperte avrebbero potuto essere di Mendel se questi, a suo tempo, fosse stato incoraggiato a continuare le sue analisi genetiche. La teoria dell'eredità trasmessa dai cromosomi è stata da subito considerata la base fisica delle leggi di Mendel, anche se, in senso evolutivo, dal 1900 al 1960 la ricombinazione tra cromosomi omologhi venne relativamente poco considerata. I chiasmi cromosomici erano noti fino dal 1880 dal lavoro di August Weismann, ma solo con l'equazione "*chiasmata= crossing over*" di Cyril Dean Darlington il fenomeno divenne universalmente accettato (Mayr, 1988).

Frank Raphael Weldon tentò di opporsi, con altri, all'accettazione del contributo di Mendel. In particolare, riconsiderò i dati sui rapporti mendeliani per il colore dei cavalli da corsa che Charles Chamberlain Hurst, nel 1905, aveva sottoposto alla Royal Society. I dati di Hurst erano stati desunti dai pedigree ufficiali dei cavalli da corsa inglesi e Weldon vi scoprì significativi errori. Hurst, tuttavia, dimostrò che le eccezioni di Weldon erano dovute ad errori di trascrizione, lasciando così via libera alle regole di Mendel anche per il regno animale (Rocchi, 2022).



“...Bateson (1909) faceva una osservazione di singolare importanza "Fate tesoro delle eccezioni in cui vi imbattete"..."

Rilevanza delle leggi di Mendel: le eccezioni apparenti

Subito dopo la riscoperta di Mendel, iniziò la ricerca di spiegazioni dei casi di non allineamento alle sue leggi, questo sia per negare la validità generale del mendelismo, sia, quando spiegate, per contraddire gli oppositori definendole eccezioni apparenti. Formalmente, vere eccezioni alle leggi di Mendel esistono: i libri di testo citano, per esempio, l'epistasia, l'eredità poligenica e gli alleli multipli allo stesso locus genetico. Relativamente alle eccezioni solo apparenti, già Bateson (1909) faceva una osservazione di singolare importanza "Fate tesoro

delle eccezioni in cui vi imbattete". Queste eccezioni, per essere considerate tali, necessitano, però, che esista una teoria dalla quale si discostano. Nel caso della sua spiegazione dell'ereditarie, l'aver proposto una teoria è stato il più grande merito: ha offerto una regola per mettere in discussione fatti, o dati, o altre ipotesi le cui conclusioni erano prima accettate come tali. Mendel ha considerato alcune di queste eccezioni che lo hanno, per esempio, forzato a ipotizzare l'esistenza di fattori genetici ripetuti o di ibridi con progenie non segreganti che producevano gameti tutti uguali. Queste ed altre eccezioni, più o meno apparenti, sono brevemente presentate di seguito.

Allopoliploidia

Secondo Mayr (1982), Joseph Gottlieb Kölreuter è stato il primo a proporre la nascita di una nuova specie dall'incrocio interspecifico. Aveva incrociato *Nicotiana rustica* con *N. paniculata* e osservato la costanza delle piante F1 ottenute. Gli ibridi, pur vigorosi, erano, però, sterili. Si specializzò nelle ibridazioni interspecifiche: ne produsse moltissime a partire da almeno 138 specie. Anche Carl Friedrich Gärtner adottò questo approccio effettuando circa 10.000 incroci e ottenendo 250 ibridi diversi. Una delle eccezioni apparenti alle leggi di Mendel riguardava il comportamento di diversi ibridi interspecifici che generavano progenie F2 composte da piante tutte uguali, i cosiddetti "*constant species-hybrids*" (Correns, 1901, Winge, 1917, 1932). Nella discussione delle *Versuche*, anche Mendel fa acutamente osservare che esistono ibridi fertili che danno progenie sempre uguali ai genitori, comportamento che li può far considerare specie pure nate dall'incrocio. Questi casi sono riportati da Gärtner per *Aquilegia atropurpurea canadensis*, *Lavatera pseudoalba thuringiana*, *Geum urbanorivale* e alcuni ibridi di *Dianthus* (nonchè di *Salix*, secondo Wichura, specifica Mendel). Oggi sappiamo che questi casi erano relativi a situazioni allopoliploidi derivanti dalla fusione di gameti non ridotti. Mendel, correttamente, interpreta questi ibridi proponendo che le loro cellule riproduttive siano tutte uguali per il contenuto ereditario: gli allopoliploidi, come più tardi si è verificato, hanno cromosomi che si appaiano in bivalenti (e non in tetravalenti), condizione che sostiene nell'ibrido la trasmissione inalterata dei genomi dei due parentali; da qui la stabilità fenotipica e genetica. E' anche stato accertato che l'allopoliploidia è un importante modalità di speciazione, particolarmente nelle piante (Soltis e Soltis, 2009; Ramsey 2014). Parole di Mendel: "*gli esperimenti di J. G. Kölreuter, Gärtner e di altri che riportano la trasformazione di una specie in un'altra via fecondazione artificiale, meritano una particolare attenzione; è importante sottolineare con Gärtner che questi casi sono tra i più difficili tra quelli da analizzare dopo ibridazione*".

Fattori genetici ripetuti

Nelle *Versuche*, Mendel annota che alcune delle varietà di pisello considerate inizialmente potevano essere sottospecie di *Pisum sativum*. Altre potevano appartenere alle specie *P. quadratum*, *P. saccharatum*, *P. umbellatum*. Osserva che è spesso difficile differenziare gli ibridi tra varietà da quelli tra specie. Tuttavia, fa notare che per realizzare esperimenti come i suoi, bisogna assolutamente evitare gli ibridi sterili o parzialmente sterili, situazione che elimina dall'analisi gli ibridi interspecifici. Quando tratta degli esperimenti con altre specie di piante, introduce e commenta le segregazioni da incrocio tra linee di fagiolo. Qui considera prima *Phaseolus vulgaris* x *P. nanus*, concludendo che i risultati si allineano a quelli del pisello (oggi sappiamo che si trattava di due varietà della stessa specie). In un secondo caso, descrive gli ibridi tra *P. nanus* (*P. vulgaris*) e *P. multiflorus* (*P. coccineus*). I fiori F1 avevano un colore intermedio tra quello dei genitori e le piante erano altamente sterili. Alcuni dei caratteri considerati presentavano rapporti di segregazione veramente anomali, con la comparsa del fenotipo recessivo molto in difetto. E qui Mendel ne approfitta per proporre una interpretazione che, suo merito spesso dimenticato, introduce una spiegazione basata su fattori ereditari ripetuti, basati sui rapporti di segregazione 15:1 e 63:1 (*Diese färbung ist in der reihe nur einmal enthalten, und könnte daher auch nur in durchschnitte unter je 16, bei drei farbenmerkmalen sogar nur unter 64 pflanzen einmal entwickelt werden*; il colore (bianco) è stato osservato una sola volta; potrebbe comparire, in media, in un caso su 16; se fossero coinvolti tre fattori (ereditari), una volta su 64). Negli anni Settanta del secolo scorso, A. M. Ibrahim e D.P. Coyne (1975) hanno ripetuto questo incrocio, riportando che la comparsa di fiori rosa in F1 si osserva solo nell'incrocio interspecifico *Ph. vulgaris*, fiore bianco, utilizzato come portaseme e *Ph coccineus* scarlatto come donatore di polline (e non nell'incrocio con maschio e femmina invertiti). Ipotizzano che il controllo del colore ha anche una componente citoplasmatica.

Apomissia

Nogler (2006), in una pubblicazione ospitata dalla rivista *Genetics* dal titolo "*The lesser-known Mendel: his experiments on Hieracium*", descrive nei dettagli la più cocente delusione scientifica di Mendel. La sperimentazione su *Hieracium* indicava che gli ibridi F1 non erano uniformi come quelli del pisello, ma molto variabili da pianta a pianta. Al contrario, la generazione F2 era uniforme, cioè non segregava come invece accadeva nelle F2 di pisello. In una lettera a Nägeli, Mendel considera fino a che punto *Pisum* e *Hieracium* possono rappresentare due diversi tipi di eredità. Nei primi anni dopo la riscoperta delle leggi di Mendel, questa visione era condivisa anche da De Vries, Correns e Bateson. Solo dopo anni dalla pubblicazione di dati embriologici sulla partenogenesi (Juel, 1898, 1900), divenne chiaro che le specie di *Hieracium* sono tra le poche angiosperme che hanno embrioni derivanti da cellule materne 2n, cioè che il genere ospita in larga parte specie apomittiche dove le progenie derivate da seme sono cloni del genotipo materno. È evidente che, invece, il paziente lavoro di impollinazione manuale, che Mendel praticava in *Hieracium*, produceva semi (rari) da cellule uovo con ploidia ridotta e da gameti maschili trasferiti dall'operatore, rivelando così in F1 tutta l'eterozigosi dei parentali (che invece Mendel considerava linee pure perché composte da piante tutte uguali perché derivanti da apomissia, ma certamente geneticamente eterozigoti).

Mendel aveva studiato almeno 20 specie appartenenti a generi molto diversi come possibili soggetti di indagine (tra altre, *Antirrhinum*, *Lychnis*, *Mirabilis*, *Zea*). Decise per *Pisum* e poi per *Hieracium*, in questo caso rivolgendosi a Nägeli, rinomato professore e specialista del genere *Hieracium*. La corrispondenza con Nägeli è stata pubblicata da Correns (1905) e consiste di 10 lettere. Nella prima lettera a Nägeli, Mendel comunica che ha iniziato esperimenti con *Geum*, *Hieracium* e *Cirsium*: Nägeli risponde incoraggiandolo (Iltis, 1924). Il primo incrocio di successo (*H. praealtum* X *H. stoloniferum*) produsse 4 semi, solo uno ibrido. Mendel si dedicò, negli anni successivi, a migliorare il metodo di impollinazione artificiale, molto laborioso: secondo Correns (1924) fu in grado di ottenere centinaia di piante F1 da 21 combinazioni di incrocio (derivanti da migliaia di emasculazioni!). Quando dispose di più ibridi F1 per lo stesso incrocio, notò con disappunto che entro incrocio erano estremamente variabili. In un incrocio di *H. pilosella* raggiunse il numero di 29 piante F1 ibride, tutte diverse le une dalle altre. Anche in un incrocio di *H. auricola* (una specie oggi nota per riprodursi solo sessualmente) X *H. aurantiacum*, le 84 piante F1 erano variabili. Questo esperimento fu ripetuto da Ostefeld nel 1910 e diede gli stessi risultati.

Agrarian Sciences

Nella generazione F2 le piante ottenute da Mendel risultarono uguali tra di loro. Nella pubblicazione relativa ai dati di *Hieracium* (1869), Mendel scrive: *“Bei Pisum haben die Bastarde (...) in allen Fällen den gleichen Typus, ihre Nachkommen dagegen sind veränderlich und variiren nach einem bestimmten Gesetze. Bei Hieracium scheint sich nach den bisherigen Versuchen das gerade Gegentheil davon herausstellen zu wollen; in Pisum le piante degli ibridi F1 sono simili, mentre la progenie derivante da loro varia secondo una regola precisa. In Hieracium gli esperimenti finora effettuati indicano il contrario.”* L'ultimo esperimento di Mendel considerava l'incrocio *H. praealtum* X *H. aurantiacum*, dove con il reicrocio a *H. aurantiacum* aumentava la formazione di seme sulle piante F1; ma ancora i rapporti di segregazione non si allineavano con le regole stabilite per *Pisum* (dall'ultima lettera a Nägeli con i risultati e il commento su *Hieracium*). I dati ottenuti, e la mancata risposta di Mendel alle due ultime lettere del 1874 e 1875 di Nägeli, possono avere influenzato quest'ultimo ad assumere un atteggiamento scettico verso il contributo di Mendel. È certo che, al tempo della riscoperta di Mendel, coloro che discussero e proposero le conclusioni di Mendel ritenevano ancora che i comportamenti ereditari si allineassero alle regole valide per *Pisum* e, alternativamente, alle situazioni osservate in *Hieracium*. È vero che già nel 1881 Focke aveva riportato il caso di molti ibridi fenotipicamente stabili, così come Millardet (1894; citato da Bateson 1906) pubblicava i risultati relativi a “falsi ibridi”, ma di fatto anche un accanito propugnatore delle regole di Mendel come Bateson, nel 1902 sosteneva la differenza tra *Pisum* e *Hieracium*, per poi ricredersi nel 1909. È stato C. H. Ostenfeld (1904) che per primo ha interpretato il caso *Hieracium* come dovuto alla partenocarpia risultante in uova 2n. Correns, nel 1905, si salvò in corner scrivendo che la partenogenesi nelle piante è rara al punto da comprendere che sia Mendel che De Vries non l'abbiano considerata. Conclusione: le leggi di Mendel per un certo periodo di anni, pur riscoperte, non furono immediatamente riconosciute di validità generale.

I risultati di Mendel relativi a *Hieracium* vengono interpretati, di solito, negativamente (Van Dijk e Ellis 2016). In realtà, in una pagina andata persa della prima lettera di Mendel a Nägeli, egli dimostrava una accentuata attenzione ai cosiddetti “ibridi costanti”, ritenuti essenzialmente diversi dagli “ibridi variabili” come quelli di pisello. Mendel considerava i due diversi tipi di ibridi come la manifestazione di una legge dell'eredità ancora più fondamentale.

Semidominanza

Già Mendel aveva notato che negli incroci tra specie di *Phaseolus* il colore di fiori era intermedio. Anche il periodo di fioritura dei piselli si comportava nello stesso modo. Correns (1900) notò che certi fattori genetici sono semidominanti con F1 intermedia tra il fenotipo dei genitori. Bateson confermò la semidominanza negli incroci tra polli bianchi e neri, così come Cuènot per il colore del pelo nei topi. Tuttavia, le generazioni degli ibridi segregavano come atteso, confermando, seppur in casi complessi, le leggi di Mendel.

Il rapporto numerico tra i sessi

Il rapporto viola la regola del 3:1 e nella larghissima maggioranza delle specie è allineato a 1:1. Già prima di Mendel, riflettendo sul rapporto tra sessi, veniva ipotizzato un controllo relativamente semplice. Nel decennio 1840-1850 erano stati scoperti i cromosomi. W. S. Sutton (1902) nella tesi di dottorato aveva descritto la segregazione dei cromosomi di *Brachystola magna*, ciascuno di essi identificato singolarmente. Insieme a Theodor Boveri propose che l'associazione tra cromosomi materni e paterni e la loro successiva separazione durante la gametogenesi poteva rappresentare la base fisica delle leggi mendeliane. Nettie Stevens ed Edmund Wilson, indipendentemente, descrissero il comportamento dei cromosomi X e Y, ritenuti da Erwin McClug come i determinanti del sesso (Geraci, 2001). Nel 1910-1911, Thomas Hunt Morgan provò il loro ruolo nell'ereditarietà. In particolare, confermò la loro partecipazione al determinismo del rapporto 1:1 tra i sessi. Negli incroci tra femmine (cromosomi X X) a occhi rossi, omozigoti per l'allele R, e maschi X Y a occhi bianchi (allele r), nelle F1 sia le femmine (XR XR o XR Xr) che i maschi (XR Y) avevano occhi rossi. Nelle loro F2 nessuna femmina aveva occhi bianchi (perché riceveva sempre un allele R dai maschi XR Y), con l'assenza di colore presente invece nel 50% dei maschi (erano XR Y o Xr Y). L'interpretazione fu che il gene responsabile del controllo del colore degli occhi era localizzato sul cromosoma X, cioè, in generale, che i determinanti ereditari erano ospitati dai cromosomi. Negli anni successivi il gruppo di Morgan scoprì il linkage genetico tra geni ospitati in modo lineare sui cromosomi.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

somi. Si evidenziava, così, che la legge di Mendel della segregazione indipendente dei caratteri, poteva avere delle importantissime eccezioni che però non la negavano.

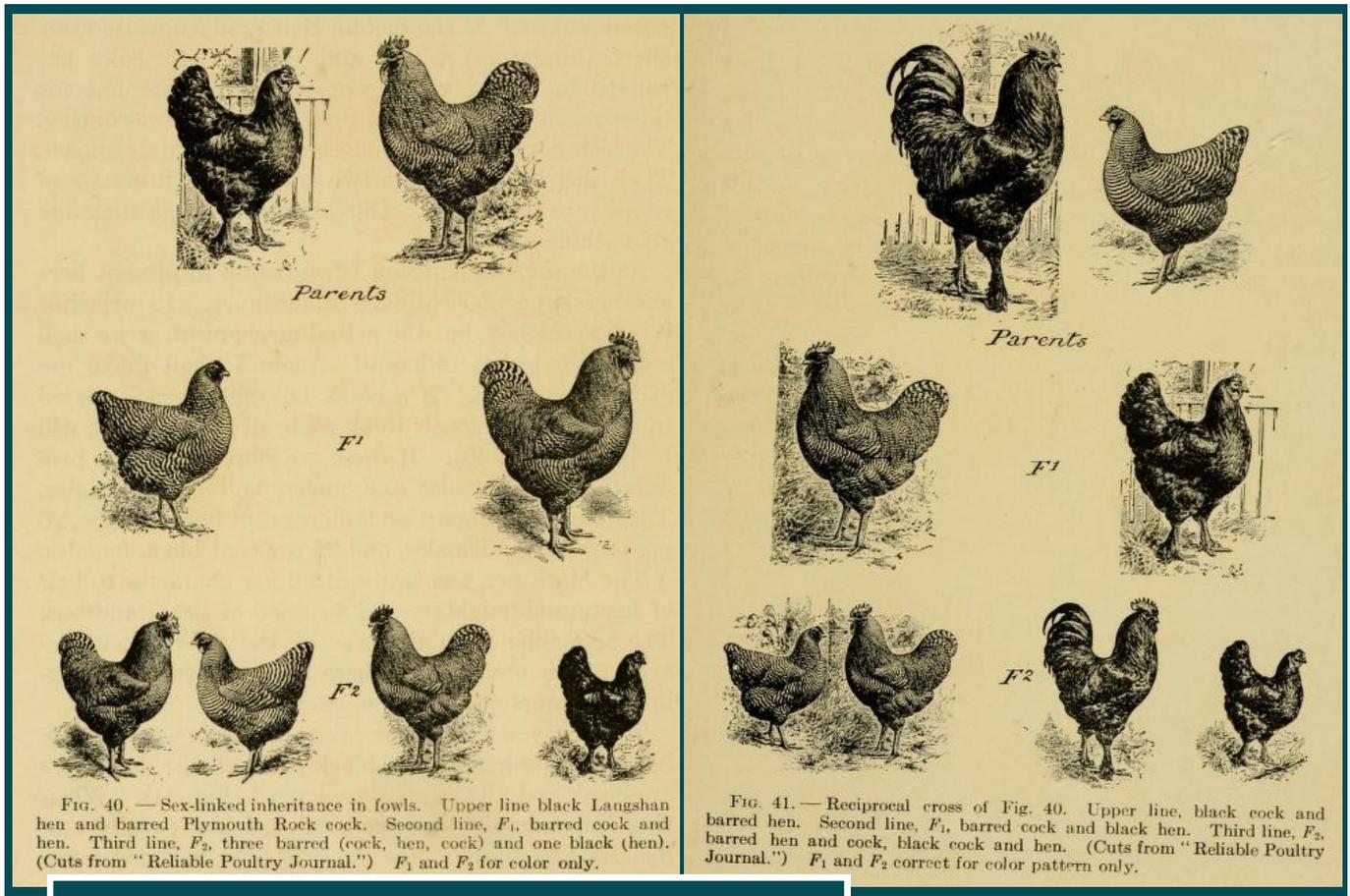


Figure tratte da *Heredity and sex*, Morgan T. H., New York, Columbia university press, 1914. Fonte: <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/6238>.

Fattori gametofitici

In studi citogenetici postmendeliani si era notato che i granuli di polline possono avere un successo differenziale nella fecondazione, determinando così rapporti di segregazione non allineati alle regole di Mendel (Pfahler, 1965, 1967). Questo comportamento dei grani pollinici è dovuto a quelli che i genetisti del mais indicano come fattori gametofitici (loci *Ga-ga*). In senso lato, la stessa terminologia si può anche usare per fattori gametofitici che influenzano lo sviluppo dell'ovulo (come *lethal ovule 1* e *2*, sempre del mais). In questa pianta, i fattori gametofitici che si esprimono nei granuli di polline hanno alleli *Ga* che determinano un vantaggio competitivo su quelli *ga* nella fecondazione di piante *Ga Ga* o *Ga ga*, ma non *ga ga*. Fa eccezione a questa regola il locus genetico *ga7* localizzato sul cromosoma 3 (Nelson, 1994). La fecondazione differenziale altera la trasmissione dei fattori genetici concatenati ai loci *ga*, generando segregazioni che, apparentemente, sono diverse da quelle attese in base alle regole mendeliane e ai dati di linkage.

Conclusioni

L'applicazione di metodi quantitativi matematici e statistici alla botanica non aveva precedenti prima della pubblicazione delle *Versuche* (Henig, 2000). Mendel, inascoltato per 34 anni, offrì una teoria semplice, verificabile da qualsiasi ricercatore. Centrale era la persistenza della separazione negli ibridi delle "*Anlagen*" tracciate da

Agrarian Sciences

stati alternativi dei caratteri (Mayr, 1982). Dopo la sua riscoperta, il mendelismo fu accettato anche dagli studiosi dei caratteri a variabilità continua. La matematica della genetica di popolazione, basata sull'equilibrio di Hardy-Weinberg del 1908, assume che la frequenza di due alleli dello stesso locus rimane costante nelle generazioni, a meno che venga modificata da migrazione, mutazione, selezione, accoppiamenti non casuali. I proponenti accettarono il mendelismo, nel senso di considerare nelle loro analisi alleli alternativi e trasmissibili (Mayr, 1982). Sarà poi Ronald Aylmer Fisher a precisare che la variabilità continua di un carattere non dipende dall'ambiente ma da fattori mendeliani multipli con piccoli effetti fenotipici. Cadeva così un importante bastione che divideva, per anni, la genetica dei mutanti da quella di caratteri complessi. È stato commentato che è impossibile che Mendel non abbia compreso l'interazione tra mutazione e selezione naturale, una introduzione che inevitabilmente conduce a interpretare l'evoluzione organica (Cavalli-Sforza, 2002-2003); anche questa è una conquista nata da banali incroci tra varietà di una pianta coltivata.

La genetica nasce con Mendel, fondatore celebrato dai testi delle scuole di tutti i livelli. Non è sempre stato così: morì senza essere riconosciuto dai contemporanei e anche il suo Convento, nell'annunciarne la morte, dimenticò di celebrarlo per i risultati dei suoi esperimenti (Accademia Nazionale dei Lincei, 1984). Certamente trovò ascolto presso gli specialisti di miglioramento delle piante. In Boemia, un *plant breeder* locale diede il nome "*Prelate Mendel*" a una vigorosa varietà di Fuchsia monstrosa. In Italia, Nazareno Strampelli, che fin dal 1904-1907 utilizzò l'incrocio per migliorare i frumenti, diede il nome "*Gregorio Mendel*" a una sua costituzione commentando: "*Questo frumento cui volli dedicare il nome venerato di quel sapiente naturalista che dettò le leggi che tanto utile guida mi furono nei miei lavori di ibridazione, è quello che porta il no. 133 fra i 256 ottenuti per l'incrocio Rieti x Principe Alberto*" (Montalenti, 1984).

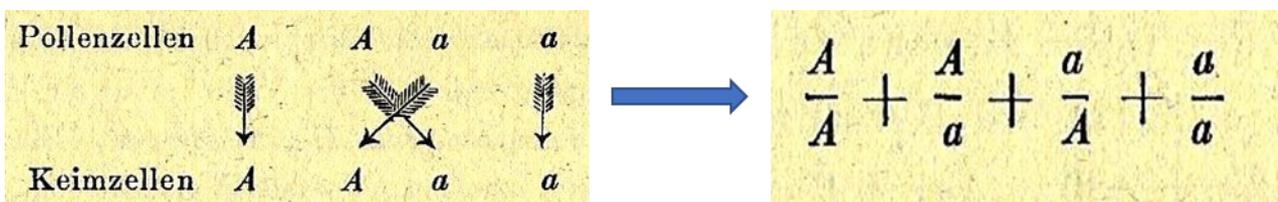
Note

n1. Battezzato con il nome di Johann, a Mendel fu dato il nome di Gregor alla sua entrata in Convento. Fu ordinato sacerdote nel 1847.

n2. Darwin non considerò quanto gli suggeriva il cugino Francis Galton, scienziato molto noto, che gli raccomandava di leggere il testo di W. O. Focke del 1881, incluse i richiami all'eredità dove Focke citava Mendel almeno 15 volte. Come evidente dalle sue note sulla trasmissione dei caratteri, Galton si avvicinava al mendelismo e, tra il 1875 e il 1876, in diverse lettere suggeriva a Darwin di familiarizzarsi con il pisello per accertare se un "certo" Mendel aveva ragione (Wallace, 2002-2003).

n3. Nel Dipartimento di Storia naturale e Agricoltura della Facoltà di Filosofia, la direzione era tenuta da Johann Karl Nestler che si interessava di trasmissione dei caratteri, specie negli animali.

n4. Dalla figura, ripresa dalle *Versuche*, si desume visivamente la posizione di Mendel relativa alla trasmissione dei caratteri via gameti maschili e femminili.



n5. La pubblicazione del 1866 fu preceduta da due presentazioni alla Società per le Scienze Naturali di Brno. Alle due riunioni, dell'8 febbraio e dell'8 marzo 1865, parteciparono 40 tra accademici e cultori di biologia vegetale.

n6. Più corretto sarebbe indicarle, con Bateson (1902, 1909), come i principi dell'eredità.

n7. Gärtner, però, non riteneva che dagli incroci interspecifici si potessero generare nuove specie (Wallace, 2002-2003). Che questo fosse possibile era comunque accettato da molti, Mendel incluso (si legga la sezione Allopoliploidia).

n8. Correns pubblicò la corrispondenza di Mendel con Nägeli; di questo suo insegnante, Correns aveva sposato la nipote (Rocchi, 2022).

n9. Nelle prime discussioni seguite alla riscoperta di Mendel, ha poi ammesso Bateson nel 1909, si era inclini a credere che il caso *Hieracium* fosse molto diverso da quello di *Pisum*.

n10. Dopo la morte di Mendel, Gustav von Niessel ricordò ufficialmente Mendel in una seduta della Società di Scienze naturali di Brno della quale era stato membro, senza però accennare ai suoi esperimenti con le piante. A Mendel riscoperto, von Niessel, ancora vivo, raccontò a Hugo Iltis, il primo biografo di Mendel, che questi era uso dire ai suoi amici che "*il mio tempo verrà*" (Rocchi, 2022), intuendo, cioè, un futuro che si sarebbe realizzato.

Bibliografia

Abbondandolo A., 2015. *Mendel e Darwin: la nascita della biologia moderna*. <https://www.uaar.it> › ateo › archivio › 2015_1_art1

Accademia Nazionale dei Lincei, 1984. *Johan Gregor Mendel. 1822-1884. Catalogo della mostra a cura di Gerhard Czihak*. Trad. A.M. Fidora. Argos, Roma.

Accademia Nazionale dei Lincei, 2001. *Centenario della riscoperta delle leggi di Mendel*. Atti Convegni Lincei no. 169. Roma.

Bateson W., 1902. *Mendel's principles of heredity: A defense*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Bateson W., 1906. *The progress of genetics since the rediscovery of Mendel's papers*. Progr. Res. Bot. 1: 368–418.

Bateson W., 1909. *Mendel's principles of heredity*. pp. xiv e 396. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Bianchi A., 1968. *Esperimenti su ibridi di piante di Gregor Mendel*. Ann. Facoltà Agraria Università Cattolica Anno VIII: 5-44.

Bianchi A., 1997. *Genetica Agraria, missione di vita*. Edizioni Informatore Agrario, Verona.

Cavalli-Sforza L.L., 2002-2003. *Mendel's Greatness*. In: Albano C., Wallace M., Kemt M., 2002-2003. *Gregor Mendel, the genius of genetics. A celebration of Gregor Mendel through Science and Art. An exhibition at the Abbey of St. Thomas, Brno*. Verainigung zur Forderung der Genomforschung, VFG, Vienna.

Correns C., 1900. *Mendel's regel uber das verhalten der nachkommenschaft der rassebastarde*. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 18: 158-168.

Correns C., 1901. *Ueber bastarde zwischen rassen von Zea Mays, nebst einer bemerkung über die "faux hybrides" Millardet's und die "unechten bastarde" de Vries*. Ber. Dt. Bot. Ges. 19: 211–220.

Correns C., 1905. *Gregor Mendel's briefe an Carl Nägeli 1866–1873. Ein nachtrag zu den veröffentlichten bastardierungsversuchen Mendels*. Abh. Math. Phys. Classe Kgl. Sächs. Ges. Wiss. 29: 189–265.

- Correns C., 1924. *Reprint in Gesammelte Abhandlungen*, pp. 1233–1297. Springer, Berlin.
- Darwin C., 1859. *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life*. John Murray, London.
- Czihak G., 1984. *Premessa*. In: Accademia Nazionale dei Lincei, 1984. *Johan Gregor Mendel. 1822-1884. Catalogo della mostra a cura di Geherard Czihak*. Trad. A.M. Fidora. Argos, Roma.
- De Vries H., 1900a. *Sur la loi de disjunction des hybrides*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 130: 845-847.
- De Vries H., 1900b. *Sur les unités des caractères spécifiques et leur application à l'étude des hybrides*. Rev. Gén. Bot. 12: 257-271.
- De Vries H., 1900c. *Das spaltungsgesetz der bastarde*. Ber. Deutsc. Bot. Gesell. 18: 83-90.
- East E. M., 1923. *Mendel and his contemporaries*. The Scientific Monthly 16: 225-237.
- Fantini B., 2001. *100 anni di genetica: le leggi di Mendel e la filosofia della vita*. In: Accademia Nazionale dei Lincei, 2001. Centenario della riscoperta delle leggi di Mendel. Atti Convegni Lincei 169. Roma.
- Focke W. O., 1881. *Die Pflanzen-Mischlinge. Ein beitrage zur biologie der gewächse*. Borntraeger, Berlin.
- Gärtner C. F., 1849. *Versuche und beobachtungen uber die bastarderzeugung im pflanzenreiche*. Hering und Comp., Stuttgart.
- Geraci G., 2001. *Genetica biochimica. Una visione storica ed epistemologica delle linee di pensiero e dei principali contributi scientifici che hanno portato alla moderna genetica*. In: Accademia Nazionale dei Lincei, 2001. Centenario della riscoperta delle leggi di Mendel. Atti Convegni Lincei 169. Roma.
- Henderson M., 2008. *50 grandi idee di genetica*. Edizioni Dedalo, Bari.
- Henig R. M., 2000. *A monk and two peas. The story of Gregor Mendel and the discovery of genetics*. Weidenfeld & Nicolson, London.
- Kölreuter D. J. G., 1761-1766. *Vorläufige nachricht von einigen das geschlecht der pflanzen betreffenden versuchen und beobachtungen, nebst fortsetzungen*. W. Pfeffer, Leipzig.
- Ibrahim, A.M.; Coyne, D.P., 1975. *Genetics of stigma shape, cotyledon position, and flower colour in reciprocal crosses between Phaseolus vulgaris L. and Phaseolus coccineus Lam. and implication in breeding*. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 100: 622–626.
- Iltis H., 1924. *Gregor Johann Mendel: Leben, Werk und Wirkung*. Springer, Berlin.
- Juel H. O., 1898. *Parthenogenesis bei Antennaria alpina (L.)*. R. Br. Bot. Centralblatt 74: 369–372.
- Juel H. O., 1900. *Vergleichende untersuchungen über typische und parthenogenetische fortpflanzung bei der Gattung Antennaria*. Kgl. Svenska Vetenskapsakad 33: 1–59.
- Lewontin R., 2004. *Il sogno del genoma umano ed altre illusioni della scienza*. Laterza, Roma-Bari.
- Mayr E., 1982. *The growth of biological thought. Diversity, evolution, and Inheritance*. Belknap Press, Cambridge, London.
- Mayr E., 1988. *Toward a new philosophy of biology*. Belknap Press, Cambridge, London.
- Mendel G., 1866. *Versuche uber Pflanzen-Hybriden. Verhandlungen Naturforschenden Veraines, Bande IV*. Brünn, Georg Gastl's Buchdruckerei.

- Mendel G., 1869. *Ueber einige aus künstlicher Befruchtung gewonnenen Hieracium-Bastarde*. Verh. Naturf. Ver. Brünn 8: 26–31. (English translation: *On Hieracium hybrids obtained by artificial fertilisation*. In W. Bateson, 1902, pp. 96–103, and in W. Bateson, 1909, pp. 362–368).
- Millardet A., 1894. *Note sur l'hybridation sans croisement ou fausse hybridization*. Mém. Soc. Sci. Phys. Nat. Bordeaux 4: 347–372.
- Montalenti G., 1984. *Presentazione*. In: *Accademia Nazionale dei Lincei, 1984. Johan Gregor Mendel. 1822-1884. Catalogo della mostra a cura di Geherard Czihac*. Trad. A.M. Fidora. Argos, Roma.
- Morgan T. H., 1910. *Sex limited inheritance in Drosophila*. Science 32: 120-122.
- Morgan T. H., 1911. *Random segregation versus coupling in Mendelian inheritance*. Science 36: 384.
- Nelson O. E., 1994. *The gametophyte factors of maize*. The Maize Handbook, M. Freeling, V. Walbot, eds. Springer-Verlag, New York.
- Nogler G.A., 2006. *The lesser-known Mendel: his experiments on Hieracium*. Genetics 172: 1-6.
- Ostenfeld C. H., 1903. *English abstract on Raunkiær (1903)*. Bot. Centralblatt 93: 81–83.
- Ostenfeld C. H., 1904. *Weitere beiträge zur kenntnis der fruchtentwicklung bei der Gattung Hieracium*. Ber. Dt. Bot. Ges. 22: 537–541.
- Ostenfeld C. H., 1910. *Further studies on the apogamy and hybridization of the Hieracia*. Zeitschrift für induktive Abstammungs und Vererbungslehre 3: 241–285.
- Pfahler, P. L., 1965. *Fertilization ability of maize pollen grains. I. Pollen sources*. Genetics 52: 513–520.
- Pfahler, P. L., 1967. *Fertilization ability of maize pollen grains. I. Pollen genotype, female sporophyte, and pollen storage interactions*. Genetics 57: 513–521.
- Ramsey J., 2014. *Ecological studies of polyploidy in the 100 years following its discovery*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0352>.
- Rocchi M., 2022. *A 200 anni dalla nascita di Gregor Mendel*. (L'autore esplicitamente fa notare di avere largamente attinto al libro di Robin Marantz Henig).
- Soltis D. E., Soltis P.S., 2009. *The role of hybridization in plant speciation*. Annu. Rev. Plant Biol. 60: 561–588.
- Sutton W. S., 1902. *On the morphology of the chromosome group in Brachystola magna*. Zoological Bulletin 4: 24-29.
- van Dijk P. J., Ellis T. H. N., 2016. *The full breadth of Mendel's genetics*. Genetics 204: 1327–1336.
- Wallace M., 2002-2003. *The genius of genetics*. In: Albano C., Wallace M., Kemt M., 2002-2003. Gregor Mendel, the genius of genetics. A celebration of Gregor Mendel through science and art. An exhibition at the Abbey of St. Thomas, Brno. Verainigung zur Forderung der Genomforschung, VFG, Vienna.
- Winge Ø., 1917. *The chromosomes: their number and general importance*. Compt. Rend. Trav. Lab. Carlsberg 13: 131–275.
- Winge Ø., 1932. *On the origin of constant species-hybrids*. Sven. Bot. Tidskr. 26: 107–122.

"Curiosamente, nel suo sviluppo la genetica ha poi assunto un ruolo culturale che, la rende una disciplina biologica generale soffusa di atmosfera caratteristicamente filosofica".

(Bianchi , 1997)



VAVILOV, AGRONOMO MENDELIANO

Luigi Mariani



Nato a Mosca il 25 Novembre (13 novembre nel calendario pre-rivoluzionario) del 1887, Nikolai Vavilov si diploma nel 1911 all'Istituto Agrario di Mosca. In quegli anni lavora alla Stazione Sperimentale di Poltava (1910) ed al Bureau di botanica applicata di san Pietroburgo (1911-12). Dal 1912 riceve l'incarico di tenere seminari ai Corsi femminili superiori di agronomia Golytsin. In tale sede tiene un seminario sul tema "Genetica e suoi legami con l'agronomia" in cui parla delle origini della nuova disciplina genetica, della teoria delle mutazioni di Korzhinsky e de Vries, del principio di Johanssen delle linee pure e delle possibilità di ottenere nuove cultivar sfruttando la teoria di Mendel.

Nel 1913 Vavilov si reca all'estero, in Germania, Austria e Gran Bretagna per proseguire i suoi studi. In tale contesto sono da segnalare in particolare le attività svolte con la supervisione di William Bateson e John Innes all'Horticultural Institute di Merton, nei pressi di Londra, e quelle svolte con la supervisione di Rowland Biffen alla Scuola di Agricoltura di Cambridge. In quest'ultima sede ebbe modo di utilizzare la libreria personale di Darwin sita presso la Botany School dell'Università di Cambridge. Tornato in Russia, fu nominato nel 1917 professore di genetica e selezione presso il Istituto Agrario Voronezh, e professore di agricoltura all'università di Saratov. Tre anni dopo assunse la direzione dell'Ufficio di Botanica Applicata a San Pietroburgo, che in seguito divenne l'Istituto di Industrie Agrarie dell'Unione Sovietica. L'istituto fiorì sotto la guida di Vavilov, diventando il centro di riferimento per oltre 400 istituti di ricerca sparsi in tutta l'Unione Sovietica.

Divenuto primo presidente dell'Accademia delle scienze agrarie nel 1929, negli anni che vanno dal 1916 al 1933, Vavilov condusse una serie di spedizioni in svariate aree del mondo con lo scopo di raccogliere campioni di piante coltivate e dei loro progenitori selvatici che si rivelassero utili ai programmi di miglioramento genetico che si andavano conducendo in Unione Sovietica. Tale attività fu rilevantissima, tanto che nel 1940 la sua collezione vantava ben 250.000 accessioni. In altri termini il suo fu il primo grande tentativo di creare una collezione globale di varietà vegetali ad utilizzare nei programmi di miglioramento genetico.

Un'ulteriore conseguenza di tali viaggi fu l'osservazione di Vavilov che la diversità genetica degli antenati selvatici delle diverse specie di piante coltivate si concentrava in alcune zone che lui chiamò "centri genetici", postulando che queste corrispondessero a regioni in cui era avvenuta la domesticazione di tali specie. Il numero e la collocazione geografica di tali centri è stata in seguito modificata ma l'aver per primo definito tali aree resta uno

Agrarian Sciences

dei grandi meriti scientifici di Vavilov. L'eccellente lavoro scientifico di Vavilov, che peraltro era in relazione con genetisti di tutto il mondo, fu purtroppo gradualmente soffocato dall'intrusione dell'ideologia nella biologia sovietica avvenuta nel corso degli anni '30 del XX secolo. Infatti l'adesione di Vavilov alla genetica classica che si richiamava a Mendel lo portò a scontrarsi con lo scienziato di regime Trofim Lysenko, il quale proponeva una visione lamarckiana dell'ereditarietà. Il Congresso Internazionale di Genetica del 1937, che si sarebbe dovuto a Mosca in virtù dei progressi compiuti dalla genetica sovietica sotto Vavilov, fu così annullato. In seguito Vavilov fu arrestato nel 1940 e morì il 26 gennaio 1943 nella prigione di Saratov, ove venne seppellito in una fossa comune. E' interessante segnalare che nel quinquennio 1948-53 si registrò il tentativo, documentato da Casasta (2008) e Forni (2009), di introdurre il Lisenckismo nella realtà della ricerca italiana. Dalla seconda metà degli anni '50, a seguito della destalinizzazione, ebbe luogo la riabilitazione postuma di Vavilov ed oggi al suo nome sono intitolati vari istituti scientifici russi.



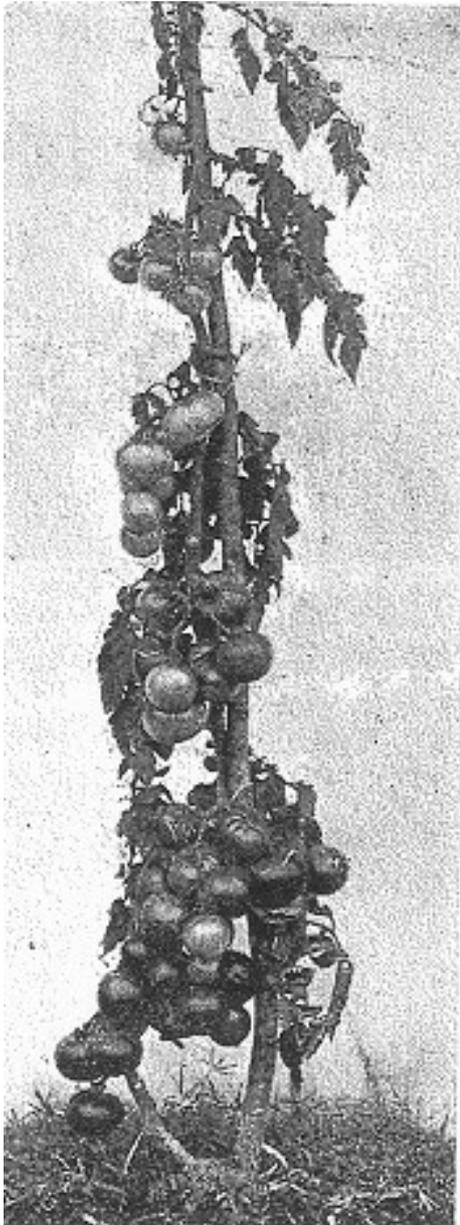
VI Congresso di Genetica di Ithaca, USA (1932) (Janick, 2015). Da sinistra Vavilov, Morgan e N.V. Timofeyev-Ressovsky. Vavilov fu arrestato per aver sostenuto la genetica mendeliana contro l'ideologia lamarkiana di Lisenko e morì in carcere a Saratov nel gennaio 1943; Timofeyev-Ressovsky nel 1945 fu in cella alla Lubianka di Mosca con Alexandr Solzenicyn che ne parla nel suo capolavoro *Arcipelago Gulag*, fonte documentale importantissima sulle aberrazioni del sistema carcerario e concentracionario sovietico.

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Sergio Salvi

IL RITORNO DEL POMODORO DI STRAMPELLI



Il pomodoro *Varrone ieri* (1924) e oggi (*Varrone* 2015).

Agrarian Sciences

Sparito dall'Italia dopo essere stato soppiantato dalle moderne varietà da industria, è ritornato nel nostro Paese grazie al suo rinvenimento nella grande banca del germoplasma del VIR di San Pietroburgo, l'istituto creato nei primi decenni del Novecento dall'agronomo, botanico e genetista russo Nikolai Vavilov (1887-1943).

Si tratta della varietà di pomodoro "Varrone", costituita alla fine degli anni '10 dal genetista agrario Nazareno Strampelli (1866-1942), noto per i suoi lavori di miglioramento genetico del frumento ma che nel primo ventennio del secolo scorso si occupò anche di creare nuove varietà agrarie da impiegare nella rotazione col grano. Tra queste, anche il pomodoro "Varrone", ottenuto da Strampelli incrociando una pregiata varietà inglese, il "Sutton's Best of All", con varietà italiane resistenti alla peronospora. Il "Varrone" fu sperimentato sia nel nord sia nel sud Italia e fu apprezzato come varietà da conserva fino agli anni Trenta, tanto da essere menzionato persino dalla celebre Enciclopedia Treccani nella voce dedicata al pomodoro.

Con l'avvento delle moderne varietà nane da industria, il "Varrone", per quanto dotato di pregevoli caratteristiche agro-botaniche, subì lo stesso destino di molte altre varietà all'epoca coltivate e non più rispondenti agli standard incipienti dell'industria conserviera del dopoguerra.

Grazie alla collaborazione instauratasi tra chi scrive e l'Università Politecnica delle Marche insieme all'Università degli Studi di Sassari, i semi del "Varrone" sono stati riportati in Italia e impiegati in una prima serie di prove atte a stabilire la corrispondenza delle caratteristiche manifestate dalla varietà odierna con quelle illustrate negli anni '20 e riportate in uno dei pochissimi studi esistenti dedicati al pomodoro creato dal genetista maceratese.

Il recupero e i risultati delle osservazioni preliminari sono descritti in un articolo appena uscito sul noto periodico tecnico-divulgativo "L'Informatore Agrario".

Il recupero del "Varrone", oltre che un omaggio al suo costituente (del quale quest'anno cade il 150° anniversario della nascita), vuol rappresentare anche un'occasione di rilancio economico per le aziende che vorranno promuovere lo sviluppo di percorsi produttivi basati sulla valorizzazione di una varietà storica.

Bibliografia

Salvi S., Nanni L., Rodriguez M., Attene G., Papa R., «Ritorna in Italia il pomodoro di Strampelli», L'Informatore agrario, n. 10/2016.



TROFIM DENISOVIČ LYENKO: AGRONOMO, GENETISTA O PSEUDO-SCIENZIATO?



Alberto Guidorzi



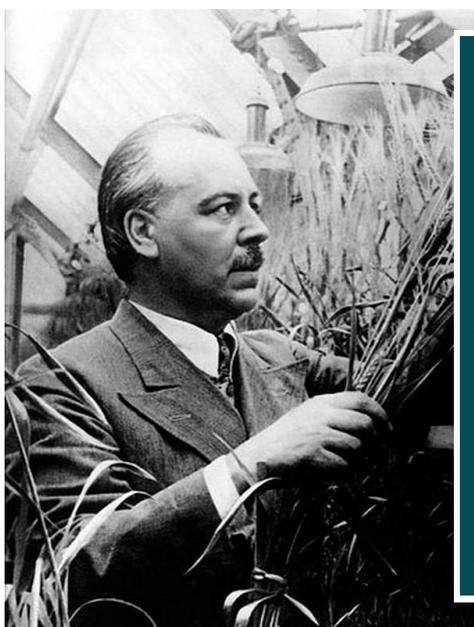
Era nato nel 1898 ed è morto a Kiev nel 1976, ed ha perseguito idee piuttosto strampalate in fatto di agronomia e miglioramento varietale. Si era laureato nel 1925 e quasi subito si fece notare per i suoi studi sulla "vernalizzazione" dei cereali; vale a dire l'influenza dei fattori ambientali sulle fasi di crescita dei cereali. Egli propugnò la pratica di immergere in acqua molto fredda delle piante invernali, cioè piante che avevano bisogno di essere esposte ad un sufficiente numero di ore di freddo per subire l'induzione fiorale e dunque per produrre spighe, fiori e frutti. Questo processo era eseguito nel caso del frumento alla fine dell'inverno e poi i semi erano seminati in primavera. Dato che gli inverni 1927/28 in Russia furono talmente freddi da decimare i coltivi di grano seminati in autunno, le teorie di Lyenko vennero prese in considerazione con la speranza di sfuggire alle avversità climatiche invernali attraverso le coltivazioni primaverili di frumento.

I risultati furono però disastrosi in quanto il seminare un seme rigonfio d'acqua comportava infime germinazioni in terra. Tuttavia l'idea non dispiacque al commissario all'agricoltura del tempo Yacovlev e questi lo supportò nella continuazione delle prove. Solo che quando espose le sue teorie al congresso di agronomia del 1929 nessuno dei partecipanti diede credito alle sue idee ed, infatti, iniziò una contrapposizione tra lui e gli altri scienziati, in particolare con Vavilov. Già in questi anni di consolidamento del nuovo regime sovietico, Lyenko era visto come "*il sapiente dai piedi nudi*", per esaltare la sua origine proletaria.

Lyenko poi sposa, opportunisticamente, le teorie del botanico Ivan Vladimirovitch Mitčurin secondo il quale la natura delle piante e di tutti gli organismi dipendeva "*per il 90% dall'ambiente* (n.d.r. e pertanto modificabile) *e solo il 10% dal loro patrimonio genetico*". Questo botanico propugnava idee che erano consoni alla filosofia di regime in quanto sulla base dell'affermazione precedente la modificazione possibile della "natura" di un vivente, e quindi anche di quella umana, prefigurava "*l'educabilità*" del cittadino recalcitrante in strutture apposite ("GULag", "GUITK", "GUITU", "UITU") dove era prevista la rieducazione con il lavoro forzato. Egli in agronomia preferiva più l'applicazione pratica che non la verifica scientifica di intuizioni teoriche; anche questa era un'altra caratteristica consona al pensare degli ideologi del regime. Infatti per questa sua professione di enunciazioni in linea con l'ideologia imperante, negli ultimi anni della sua vita (morì nel 1935) fu innalzato all'onore di botanico e additato come "*eroe popolare*" della botanica. Lyenko capì l'importanza del seguire l'onda e di

Agrarian Sciences

sfruttare il momento politico e quindi si adeguò chiamando le sue pratiche "*mitčurinismo*" o ". Comunque, a livello ufficiale, si proponeva ancora l'agronomia scientifica che appunto Vavilov e tanti altri propugnavano; infatti, Vavilov nel 1929/31 era presidente dell'Accademia Lenin delle scienze agronomiche e dell'istituto di ricerca scientifica dell'URSS per le piante. Le due cariche lo facevano automaticamente membro del comitato centrale del PCUS. Tutto ciò era avvenuto a seguito dei grandi riconoscimenti internazionali che erano stati attribuiti ai suoi lavori sui centri di origine delle piante coltivate individuati in base alla presenza in essi della massima variabilità genetica, a cui ricorrere per il miglioramento vegetale. D'altronde i suoi lavori sui centri di origine delle piante coltivate e della presenza in questi luoghi della massima variabilità genetica, a cui ricorrere per il miglioramento vegetale di queste piante, che avevano, tra l'altro, ricevuto un alto riconoscimento internazionale, non potevano che porlo ai livelli predetti. Questa discrasia esistente nel regime sovietico è confermata dal fatto che su 300 varietà di frutti costituite da Mitčurin, una sola fu accettata per l'iscrizione nel 1931. Vi è anche da dire che Mitčurin collaborò con Vavilov e i due furono legati da amicizia personale, seppure le loro idee non collimasero per ovvie ragioni.



“...Secondo Lysenko era inconcepibile che si facessero prove sperimentali nel chiuso delle stazioni di ricerca senza coinvolgere da subito i contadini, che, invece, dovevano essere i primi sperimentatori...”

Lysenko comprese subito che l'uomo da attaccare e distruggere era Vavilov, che, in quanto mendeliano, proponeva di agire nel rispetto di queste leggi che però, faceva notare Lysenko, presupponevano tempi eccessivamente lunghi per gli obiettivi del regime in fatto di messa a disposizione di alimenti per il popolo. Ciò anche alla luce dell'estrema gravità delle crisi alimentari del 1932 e 1933. In ciò Lysenko ricalcava sempre un'idea di Mitčurin che diceva: "*non possiamo attendere le cose ben fatte dalla natura, il nostro compito è strappargliele*". L'accusa era formulata in modo da mettere in contrasto Vavilov con

dell'ideologia imperante, Lysenko diceva cioè che ciò che Vavilov proponeva era completamente staccato dalla pratica quotidiana dei contadini, mentre lui proponeva metodi molto più consoni alle idee socialiste; più in particolare secondo Lysenko era inconcepibile che si facessero prove sperimentali nel chiuso delle stazioni di ricerca senza coinvolgere da subito i contadini, che, invece, dovevano essere i primi sperimentatori. In sintesi dunque secondo Lysenko occorreva dare priorità alla pratica rispetto alla ricerca.

E' in questo modo che Lysenko comincia ad interessarsi della genetica al fine di confutare la maggiore delle accuse rivolte alle sue pratiche, vale a dire quella di essere contrarie alla genetica mendeliana. Non dimentichiamo che negli anni '30 del secolo scorso le leggi di Mendel, rese pubbliche nel 1866 e riscoperte alla fine del secolo, erano già grandemente accettate ed inoltre August Weismann aveva nel 1887 prefigurato la presenza dei cromosomi come base biologica dell'ereditarietà, dando un duro colpo alle teorie lamarckiane. Senza contare che Morgan già nel 1910 aveva riconosciuto i cromosomi come portatori dei geni. In altri termini le intuizioni mendeliane frutto di elaborazione statistico-matematiche avevano trovato una base biologica di conferma. Forse è proprio per contrapporsi a Vavilov che Lysenko si avvicinò alle teorie che Jean-Baptiste de Lamarck aveva enunciato nella sua opera del 1809 dal titolo "*Philosophie zoologique*".

Lamarck fu fra i primi evolucionisti ma la sua evoluzione dei viventi era basata sull'ereditabilità dei caratteri acquisiti. Le teorie di Lamarck potrebbero essere sintetizzate da questa sequenza: "*il bisogno crea l'organo, l'uso lo perfeziona, il disuso lo indebolisce e lo atrofizza, il cambiamento di abitudini o di bisogni lo trasforma*", una



Foto segnaletica e certificato di morte del prigioniero identificato con il numero 1887, Nikolai Vavilov. Fonte VIR.

А К Т
о смерти заключенного

Мною врачом (лекномом) Степановой Н. А.
Р-цей Скрипиной М. В. осмотрен труп заключенного
Вавилова Николая Ивановича
рожд. 1887 следственный _____ ст.
_____ осужденный ст. 58 на 20 лет умерше-
го в больнице (камере) тюрьмы № 1 г. Саратова
26 января месяца 1948 г. в 7 час. --- минут
Причем оказалось следующее: телосложение среднее
упитанность редко пожитковые покровы бледные
костномышечная система без изменений

По данным истории болезни заключенный
Вавилов Николай Иванович находился в больнице
тюрьмы на излечении с 24 января 1948 г.
по поводу хронического воспалительного
Смерть наступила вследствие упадка
сердечной деятельности.

Дежурный врач (лекпом): Степанова Е.
Дежурная медсестра: Скрипина

Agrarian Sciences

sequenza che è bene espressa dalla spiegazione figurata dell'allungamento del collo della giraffa determinato dalla necessità di avere accesso a cibo situato nella parte più alta degli alberi. Si trattava di una teoria che ben più di altre poteva supportare l'"*agrobiologia*" Lysenko offrendo inoltre una base, ovviamente pseudoscientifica, alle strutture di rieducazione sovietica cui abbiamo pocanzi accennato. A scusante di Lamarck sta il fatto che egli aveva sviluppato la sua teoria in base alle conoscenze di più di un secolo prima, mentre a demerito di Lysenko vi è che lui aveva già disposizione delle acquisizioni che avrebbero dovuto portarlo ad essere assai più critico nel suo ragionare.

Nel 1936 e 1939 furono indette due conferenze/dibattito sull'agronomia e la genetica, solo che il clima era cambiato, per cui molti dei genetisti presenti, piuttosto che prendere posizione inimicandosi il regime, preferirono tacere o assecondare l'esposizione fatta da Lysenko. Soprattutto ci si guardò bene dal chiedere a Lysenko quali dati sperimentali potesse portare a supporto del suo dire. Già la conferenza del 1936 vide il prevalere delle teorie

di Lysenko ed iniziarono le purghe dei genetisti "*non allineati*": Hermann J. Muller scienziato americano e comunista che teneva lezioni di genetica a Mosca lasciò gli incarichi e ritornò in patria mentre Vavilov cominciò la sua caduta in disgrazia che lo portò ad essere imprigionato nel 1940. Fu forse questa frase pronunciata da Vavilov nel 1939 che fu usata a suo carico per l'arresto: "*Ci possono portare al macello, ci possono bruciare vivi, ma non potranno mai farci rinunciare alle nostre convinzioni (.....) rinunciare ad una evidenza semplicemente perché qualcuno molto in alto lo desidera. No, è impossibile*".

Ad ogni modo il Lisenkismo e l'uomo che lo impersonificava trionfarono totalmente nel 1948, quando alla sessione d'agosto dell'Accademia Lenin delle scienze agronomiche si dichiarò che "*L'eredità non è retta da misteriosi fattori...*", un'affermazione questa che venne propagandata come "*una grande scoperta scientifica*". E' così che Lysenko si pose alla testa dell'agronomia e della biologia russa, gestendola con metodi autoritari ed impedendo di fatto qualsiasi dialettica. La genetica venne definita così scienza "*reazionaria*".

Non ridiamo però troppo alle spalle dei russi, in quanto in Francia, per l'importanza che aveva assunto il partito comunista nel primo dopoguerra si creò un'associazione degli amici di Mitčurin che pubblicarono un bollettino dal titolo "*Mitchourinisme*" e nel n° 1 del 1952 il titolo era: "*La sperimentazione mitchuriniana dei frumenti ramificati (sic!) in Francia*". L'associazione proseguì l'attività fino al 1963 e si vantò dell'adesione di 5000 sperimentatori.

La parabola di Lysenko montò fino alla morte di Stalin (1953) per stabilizzarsi durante la fase di graduale smantellamento dello stalinismo e per precipitare infine nel 1956 dopo il discorso di denuncia dello stalinismo fatto da Kruscev al XX congresso del PCUS. Il 1956 fu anche l'anno in cui l'Occidente conobbe la vera natura delle idee di Lysenko. Infatti fino alla morte di Stalin e nel periodo immediatamente successivo, si era assistito ad un vero e proprio comportamento agnostico da parte di molti genetisti occidentali di fede comunista. Citiamo l'inglese J.B.S. Haldane che liquidò le poche notizie riservate che trapelarono sulla morte di Vavilov come propaganda antisovietica e aggiungendo che in URSS vi era libertà di discussione scientifica. In Francia perfino il poeta Louis Aragon, stalinista convinto, erse a difensore del lisenkismo dedicandogli un intero numero della sua rivista "Europe". Dobbiamo anche dire però che vi furono menti aperte anche tra i simpatizzanti comunisti e uno di questi fu Jacques Monod, futuro premio Nobel, che si allontanò dal partito con questa frase: "*In definitiva ciò che emerge più chiaramente da questa vicenda grottesca e deplorabile è il decadimento fatale in cui è caduto il pensiero socialista dell'URSS*".

Ma come si comportò Il Partito Comunista Italiano nei confronti di Lysenko e delle sue strane teorie? Purtroppo dobbiamo dire che anche da noi in Italia vi fu chi lo osannò e lo fece in particolare Emilio Sereni, responsabile culturale del partito. Inoltre, come fu per Lysenko, anche Emilio Sereni non fu contrastato in modo perentorio dagli scienziati aderenti al partito; anche i più seri come Massimo Aloisi e Emanuele Padoa espressero solo dei dubbi, che comunque valsero loro proposte di espulsione dal partito, ma finché rimasero nel partito non lo fecero mai in modo palese. Solo quando ne uscirono presero una netta posizione contraria. Vi è stato, per la verità, la resistenza di Giulio Einaudi che si rifiutò di pubblicare gli scritti di Lysenko ed altri che invece ne contrastarono le teorie da subito, come fu per Giuseppe Montalenti e Giovanni Buzzati-Traverso. Altri, che probabilmente poco

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna



La morte di Lysenko riaccende il dibattito culturale-ideologico sul rapporto tra scienza e marxismo. Alcuni titoli del quotidiano l'Unità dopo la morte di Lysenko, novembre 1976.

conoscevano di scienza genetica, rimasero allineati con il partito limitandosi a lodare la biologia sovietica; fecero questo Italo Calvino e il filosofo Antonio Banfi.

Sempre in Occidente si è tentato poi di spiegare Lysenko ed il Lysenkismo sulla scorta delle ideologiche del marxismo. In particolare si disse che dai testi di Engels si rilevava più la logica del lamarckismo che non quella del darwinismo e che la genetica mendeliana era contraria al materialismo dialettico. Più semplicemente a mio avviso occorre calare il tutto nel contesto storico: se lo zar voleva riformare l'agricoltura riformando la borghesia agricola ma lasciando intatta la struttura di base, la rivoluzione d'ottobre, con la massiccia collettivizzazione e distribuzione delle terre voleva, per contro, riformare l'agricoltura dal basso. Pertanto la scelta di teorie che soddisfacevano anche la rivoluzione nelle campagne era una strategia consona al disegno di uscire dalla crisi dell'agricoltura degli anni '30 del XX secolo.. Non valeva la pena di preoccuparsi delle basi scientifiche su cui poggiavano queste idee, perché il lysenkismo era funzionale allo scopo. In altri termini non ci si preoccupò più di tanto che si trattasse di una pseudoscienza portata avanti da uno pseudo scienziato come era Lysenko.

Quando poi il Lisenkismo cadde in disgrazia in URSS esso fu resuscitato in Cina e fece da supporto al famoso "grande balzo in avanti" che, purtroppo, fu concomitante con grandi carestie e morti per fame verificatesi negli anni a cavallo del 1960. A queste carestie diedero il suo contributo anche alcune pratiche agricole imposte dall'ideologia e che consistevano nell'introdurre nel terreno i semi di diverse piante addossati gli uni agli altri (per vegetare si sarebbero aiutati gli uni con gli altri alla stregua della "lotta di classe"), nel seminarli a notevole profondità (perché la maggiore fertilità era in profondità!) o nel seminarli in terreni gelati (per educarli al freddo!). Per la scarsità di letame si letamava con un miscuglio di 1:10 tra letame e terra (anche se sarebbe stato più semplice e saggio non trasportare e faticare per mescolare della terra inutilmente!). Tuttavia la stranezza più grande si raggiunse quando si uccisero tutti i passeri perché a maturazione si cibavano di qualche chicco di frumento, ma, così non si tenne conto degli equilibri biologici e si lasciò libero il campo a che gli esapodi devastassero i raccolti

A questo punto però anche per noi del XXI sec. non è concesso ridere del passato, perché oggi viviamo esempi che sono sulla falsa riga del modo di affermarsi del lysenkismo; riflettiamo solo e immaginiamo se il contesto socio-politico supportasse in tutto e per tutto la "decrescita" vagheggiata da qualcuno e spingesse per il gene-

Agrarian Sciences

ralizzato affermarsi dell'agricoltura biologica e di quella biodinamica, o ancora se si ritornasse all'autoproduzione delle sementi e all'adozione delle "inimitabili varietà antiche". D'altronde se fa fortuna una Boiron vendendo preparati omeopatici, significa che anche qui noi non si è esenti da pericoli involutivi.

Lysenko fu un genetista?

Certo che no! Per spiegarlo basta riandare alla sue iniziative in fatto di miglioramento del frumento.

1. Perseguì il miglioramento genetico del frumento e di tutte le piante autogame mediante l'incrocio di piante della medesima varietà. Lysenko credeva che l'autofecondazione fosse la causa delle degenerazione varietale e che occorreva rinnovarle con incroci intravarietali. Solo che a lui fu concesso operare su larghissima scala. In tal modo partendo dalla varietà "Lutescens 062" Lysenko creò 4 nuove varietà di nessun interesse, salvo una che fu un po' coltivata. La cosa più grave furono però i metodi grotteschi utilizzati per rifornire di sementi la granicoltura dell'URSS. Le spighe di tutti i campi di moltiplicazione delle sementi di frumento dovettero essere castrate e per eseguire il lavoro Lysenko si servì di 800.000 contadini a lavoro forzato, che poi dovettero impollinare manualmente le piante castrate per mezzo di polline raccolto in piante seminate ai bordi del campo. Anche in URSS si accorsero che si trattava di una metodologia di esecuzione non praticabile.
2. Perseguì la modifica della natura delle piante attraverso trattamenti fisici appropriati.

Una varietà di frumento invernale (Koopertorka) fu trasformata in un varietà primaverile mettendo le piante a vegetare in serre calde (appunto per eliminare il bisogno di vernalizzazione). Solo che questo esperimento non aveva nulla di scientifico in quanto non è mai stato possibile ripetere l'esperimento e che probabilmente il risultato era semplicemente dovuto ad uno "*specimen*", cioè un mutante o un ibrido o addirittura un contaminante del seme iniziale. E' su questo esperimento che nel 1936 Lysenko basò la sua partecipazione alla conferenza/dibattito sopraccitata. A seguito poi della conferenza/dibattito del 1939 gli furono messi a disposizione ingentissimi mezzi per produrre varietà di frumento con la capacità di resistere e vegetare durante gli inverni siberiani. Lysenko aveva affermato che per fare ciò occorreva semplicemente esporre i frumenti alle condizioni estreme di quelle terre per ottenere la "*rieducazione*" e acquisire la resistenza necessaria a sopravvivere. Inutile dire che l'iniziativa sfociò in un vero e proprio fallimento.

Tuttavia i fallimenti ripetuti non fecero demordere Lysenko per cui nel 1948 i genetisti del regime affermarono che erano riusciti a trasformare il frumento in segale e viceversa, provando così che si può creare un specie nuova partendo da una specie coltivata allevata in facce in condizioni sfavorevoli. Le teorie di Lysenko non si limitarono al frumento ma coinvolsero anche la patata e alla barbabietola da zucchero. Questi esempi sono la chiara dimostrazione che Lysenko fu uno pseudoscienziato.

In conclusione per 30 anni il miglioramento vegetale in URSS fu bloccato, ma soprattutto furono perseguite ed imposte pratiche agronomiche assolutamente inutili. Vogliamo vedere cosa comportò tutto ciò? Per farlo ripercorriamo la storia dell'evoluzione delle rese in frumento. Nel Medioevo i frati delle abbazie volevano avere un'idea di quanto si poteva prelevare come decima ai contadini sul raccolto di frumento, è qui che apprendiamo che nel 1156 a Cluny si producevano 4 semi per uno seminato. Tra il XII e il XIII sec. le rese erano salite a 5 per 1. Le rese restarono stagnanti o decrebbero per molti secoli per cui si dovette il XVIII sec. per arrivare a produrre 6 contro 1 (vale a dire 9 q/ha). L'URSS non si discostò da queste miserevoli produzioni anche per gran parte del XX sec. e di questo si deve ringraziare Lysenko e il regime che lo ha supportato. Chi invece ha dato credito a Mendel ed a ha applicato le sue leggi è arrivato a produrre 50 per 1 con un incremento costante di 1,25 q/ha/anno tra il 1960 ed il 1990.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna



NAZARENO STRAMPELLI



OVVERO LA GENETICA AGRARIA CHE HA NUTRITO IL MONDO

Luigi Mariani e Tommaso Maggiore



Il "mite" clima italiano è da sempre un serio problema per chi fa agricoltura: talora assai rigido in inverno diventa rapidamente torrido in estate come ci possiamo tutti rendere conto guardando i prati che, in assenza di irrigazione, avvizziscono già dalla seconda – terza settimana di giugno nelle pianure del settentrione, mentre lo stesso accade almeno un mese prima al sud. Se l'erba avvizzisce è perché si sono esaurite le scorte d'acqua nel terreno e di questo problema soffre in misura marcata il frumento, coltura non irrigua e che per questa ragione in Italia dev'essere raccolto non oltre il giorno di San Giovanni (24 giugno). Ben diversa è la situazione nel centro e Nord Europa (Gran Bretagna, Francia del Nord, Germania, ecc.) ove la buona piovosità estiva consente di coltivare varietà di frumento che si raccolgono ad agosto, prolungando la fase di riempimento dei granelli e rendendo così possibili produzioni più rilevanti (oggi negli areali più vocati della Francia e della Gran Bretagna non è infrequente raggiungere produzioni di 10 tonnellate per ettaro, contro le 8 tonnellate come limite per l'areale italiano).

I limiti climatici di cui sopra si rivelavano assai più severi agli inizi del 20° secolo, complici varietà scadenti e tecniche colturali irrazionali e si traducevano in produzioni medie di solo 1 tonnellata per ettaro. Circa le varietà scadenti si pensi che i frumenti d'allora erano alti fino a 180 cm contro gli 80-90 cm delle varietà attuali, il che, oltre a tradursi in "tanta paglia e pochi granelli", predisponeva le piante all'allettamento e cioè al ripiegamento fino a terra per azione del vento o della pioggia, con forti danni alla produzione e gravi difficoltà nella raccolta. Da questo deprimente stato di fatto presero le mosse i primi servizi di assistenza tecnica, detti "*cattedre ambulanti*" poiché i consigli agli agricoltori venivano dati sulle aie da tecnici che si spostavano in bicicletta. Per convincere gli agricoltori a concimare i cereali rendendoli così più resistenti al freddo i tecnici si fermavano in pieno inverno in un campo di frumento ingiallito per "fame d'azoto" e su questo con alcune manciate di nitrato di calcio tracciavano la scritta "asino". In primavera avanzata ripassavano sul posto e chiamavano gli agricoltori a vedere la scritta comparsa sul campo grazie al frumento che, assorbito il nitrato, era "miracolosamente" rinverdito.

Agrarian Sciences

Già all'inizio del 900 si era inoltre attivata l'attività di miglioramento vegetale portata avanti dai cosiddetti miglioratori vegetali (allora non si conosceva la genetica e nemmeno i genetisti, tant'è vero che le leggi di Mendel erano state riscoperte indipendentemente da tre diversi botanici proprio nel 1900). I pionieri di questa benemerita attività di miglioramento (Vilmoren in Francia e Strampelli in Italia) operavano alla ricerca di nuove varietà basando il proprio lavoro sulla selezione massale e cioè perfezionando il lavoro di selezione che in precedenza era stato svolto in modo inconscio dai nostri progenitori.

Nazareno Strampelli, detto Nazareno era nato a Crispiero di Castelraimondo il 29 maggio 1866 e si laureò in agraria a Pisa nel 1892. Dopo essersi dedicato ad attività di laboratorio nel settore della chimica ed all'insegnamento, nel 1903 giunse a Rieti come Cattedratico Ambulante. Qui si rese subito conto che il problema principale da risolvere era quello di migliorare la varietà di frumento tenero Rieti che era di buona qualità e molto diffusa nel Nord Italia, ma soggetta all'allettamento in quanto di taglia alta e alle ruggini in quanto molto tardiva.

La prima operazione che fece fu così quella di collezionare un enorme numero di varietà reperite in tutto il mondo e di studiarle attentamente in un campo catalogo proprio nella piana di Rieti. Il suo obiettivo era di scegliere per gli incroci con il Rieti varietà in grado di conferire le caratteristiche desiderate e quindi di selezionare varietà che al contempo fossero resistenti al freddo (il che lo spinse a creare campi di selezione fin sul Terminillo), resistenti alle malattie fungine (ed in particolare al nemico più temibile, le ruggini), resistenti all'allettamento (tramite l'introduzione di geni in grado di ridurre la taglia) e che infine sfuggissero alla siccità estiva (grazie alla maturazione precoce). Per Strampelli le varietà dovevano avere un ciclo "tardivo-precoce", ossia essere tardive fino alla formazione dei primordi della spiga e precoci successivamente, riducendo a non più di 40 giorni il periodo fra fecondazione e maturazione di raccolta.

In ragione del successo ottenuto (dopo 30 anni di lavoro al Centro Sperimentale di Rieti, l'80% delle coltivazioni di frumento in Italia erano rappresentate dalle varietà selezionate da Strampelli) nel 1929 gli fu assegnato il titolo di Senatore del Regno per meriti scientifici guadagnati nella "battaglia del grano", che il regime fascista aveva promosso per portare il nostro Paese all'autosufficienza alimentare. Parlare oggi di "battaglia del grano" può apparire apologetico; sul piano storico occorre tuttavia considerare che il problema affrontato da Strampelli era di rilevanza globale e sarebbe sfociato qualche anno dopo nella cosiddetta "rivoluzione verde" il cui scienziato simbolo, lo statunitense Norman Borlaug, iniziava la sua attività negli anni 30, in Messico, grazie ad un finanziamento della Fondazione Rockefeller, sfruttando fra l'altro la metodologia di Strampelli: costituzione di un grande campo catalogo e scelta degli individui idonei per gli incroci. Proprio il successo ottenuto nel miglioramento genetico del frumento avrebbe valso a Borlaug un meritatissimo premio Nobel per la pace del 1970, attribuitogli per l'inestimabile contributo dato dalla "rivoluzione verde" alla lotta contro la malnutrizione.

E qui occorre ricordare che a partire dagli anni novanta gli studi di Strampelli sono stati finalmente riconosciuti anche all'estero come base della "Rivoluzione verde", per il fatto ad esempio di aver precorso l'idea di ridurre la taglia dei frumenti utilizzando il gene del nanismo del grano Rht8 ricavato dalla varietà giapponese "Akagomugi". In particolare il genetista inglese Anthony John Worland, in un articolo scientifico pubblicato nel 1999 su Journal of Genetics and Breeding scrive: «Il lavoro di Borlaug nel miglioramento genetico del frumento è



...Per convincere gli agricoltori a concimare i cereali rendendoli così più resistenti al freddo i tecnici si fermavano in pieno inverno in un campo di frumento ingiallito per "fame d'azoto" e su questo con alcune manciate di nitrato di calcio tracciavano la scritta "asino". In primavera avanzata ripassavano sul posto e chiamavano gli agricoltori a vedere la scritta comparsa sul campo grazie al frumento che, assorbito il nitrato, era "miracolosamente" rinverdito...

Speciale Genetica Agraria

oggi universalmente riconosciuto come "la" rivoluzione verde. Molta meno pubblicità è stata data al lavoro pionieristico dei genetisti che operarono su frumento in Italia fra il 1910 e il 1950 e che produsse un progresso tale da poter essere considerato come "la prima" rivoluzione verde. Le ricerche di Strampelli, Orlandi, Todaro e Venturoli sono non solo alla base del miglioramento delle varietà italiane ma anche alle radici del miglioramento genetico mondiale del frumento».

Occorre altresì rammentare che negli anni '30 Strampelli fu chiamato dalla contessa Lydia Caprara ad organizzare a Sant'Angelo Lodigiano un istituto di ricerca sui cereali intitolato al marito, conte Gian Giacomo Morando Bolognini. Questo aspetto spiega il legame con Nazzeno Strampelli del nostro museo di storia dell'agricoltura, che della fondazione Morando Bolognini è ospite.

Bibliografia

Roberto Lorenzetti, 2000. *La scienza del grano. Nazzeno Strampelli e la granicoltura italiana dal periodo giolittiano al secondo dopoguerra*, Roma, Pubblicazioni dell'Archivio di Stato, Saggi 58, Ufficio centrale per i beni archivistici, Ministero per i beni e le attività culturali.

Antonio Saltini, 2008. *I semi della civiltà: frumento, riso e mais nella storia delle società umane*, prefazione di Luigi Bernabò Brea, Bologna, La Nuova terra antica, 2010. ISBN 978-88-96459-01-0.

Sergio Salvi, 2008. *Viaggio nella genetica di Nazzeno Strampelli*, Volume fuori commercio, reperibile gratuitamente presso l'Autore, Pollenza (MC), Tipografia S. Giuseppe.

Sergio Salvi, 2009. *Quattro passi nella scienza di Nazzeno Strampelli*, Volume fuori commercio, reperibile gratuitamente presso l'Autore, Pollenza (MC), Tipografia S. Giuseppe.

Benedetto Strampelli, 1944. *Nazzeno Strampelli come pioniere e scienziato nel campo genetico*, Roma, Istituto Nazionale di Genetica per la Cerealicoltura "Nazzeno Strampelli", Stabilimenti tipografici "Carlo Colombo".

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Sergio Salvi

DAL GENE DI STRAMPELLI UNA MANO ALLA LOTTA AL BRUSONE DEL RISO



Il sintomo
tipico da
brusone
fogliare (fonte:
Università di
Pavia) .

Lr34 è uno dei pochissimi geni di frumento finora individuati e caratterizzati che conferisce resistenza durevole alle ruggini (fogliare, striata e dello stelo, rispettivamente dovute a *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis* e *Puccinia graminis*), ma anche resistenza parziale o tolleranza a diverse altre malattie, come l'oidio (*Blumeria graminis*), la maculatura fogliare (*Bipolaris sorokiniana*) e il nanismo giallo dell'orzo (*BYDV*).

Questo gene espleta la sua particolare azione di resistenza alle ruggini mediante un meccanismo che comporta il rallentamento dello sviluppo dell'agente patogeno prolungandone il periodo di latenza nell'ospite vegetale e riducendone la capacità infettiva. Si tratta di una sorta di "presa in giro" dell'ospite indesiderato da parte del padrone di casa, che prima lo fa accomodare a tavola, ma invece di farlo pranzare gli passa solo l'antipasto, che però dura più del dovuto e non permette mai al patogeno di banchettare come si deve a spese della pianta (una sorta di "contento e coglionato" del mondo vegetale).

Speciale Genetica Agraria

La beffarda azione del gene *Lr34*, verso la quale il patogeno non riesce a prendere delle adeguate contromisure, va avanti da almeno un secolo, ossia da quando Nazareno Strampelli introdusse *Lr34* per la prima volta nel frumento migliorato grazie al famoso "incrocio a tre vie" *Wilhelmina/Rieti//Akakomugi*. Da questo incrocio nacque le celebri "razze elette", alle quali appartenevano anche le varietà Ardito e Mentana, largamente impiegate nei programmi di miglioramento genetico del frumento attuati a partire dal Secondo dopoguerra da tutti i principali Paesi produttori del cereale. In questo modo, *Lr34* è arrivato fino ai nostri giorni nelle varietà "moderne" di frumento e ora, grazie alla transgenesi, se ne sperimenta la capacità di conferire altre forme di resistenza in altre specie vegetali d'interesse agrario.

Così, dopo averne dimostrato la parziale efficacia verso la ruggine e l'oidio nell'orzo, questa volta il "solito" gruppo di ricerca internazionale guidato da Beat Keller (Università di Zurigo) e Evans Lagudah (CSIRO - Australia), che già molti lavori ha pubblicato sulla caratterizzazione genetico-molecolare di *Lr34*, ha mostrato come questo gene, inserito nel genoma del riso, sia in grado di apportare resistenza parziale verso diversi ceppi di *Magnaporthe oryzae*, agente eziologico del temibile brusone (rice blast), affezione tra le più gravi e diffuse in questo cereale.

Il risultato è estremamente interessante perchè dimostra come un gene, che nel frumento conferisce resistenza ad alcune specifiche patologie (peraltro assenti nel riso), possa essere in grado, una volta trasferito in un'altra specie, di rendersi utile nella lotta verso malattie completamente differenti.

Il riso dispone di oltre 90 geni di resistenza specifica al brusone - che però vanno progressivamente perdendo la loro efficacia - e solo di pochissimi geni di resistenza ad ampio spettro. Appare pertanto di fondamentale importanza, per questo cereale, la possibilità di espandere le proprie difese contro il brusone avvalendosi anche di geni provenienti da altre specie.

Bibliografia

Krattinger S.G., Sucher J., Selter L.L., Chauhan H., Zhou B., Tang M., Upadhyaya N.M., Mieulet D., Guiderdoni E., Weidenbach D., Schaffrath U., Lagudah E.S., Keller B., 2015. *The wheat durable, multipathogen resistance gene Lr34 confers partial blast resistance in rice*. Plant Biotechnology Journal, doi: 10.1111/pbi.12491.

Risk J.M., Selter L.L., Chauhan H., Krattinger S.G., Kumlehn J., Hensel G., Viccars L.A., Richardson T.M., Buesing G., Troller A., Lagudah E.S., Keller B., 2013. *The wheat Lr34 gene provides resistance against multiple fungal pathogens in barley*. Plant Biotechnology Journal, vol. 11, pp. 847-854.

Salvi S., Porfiri O., Ceccarelli S., 2013. *Nazareno Strampelli the prophet of the green revolution*, The Journal of Agricultural Science (Cambridge),



OTTAVIO MUNERATI UN GENETISTA DELLA BIETOLA DA ZUCCHERO DI FAMA MONDIALE, MA PRESSOCHÉ SCONOSCIUTO IN PATRIA



Alberto Guidorzi



La nascita dell'industria saccharifera italiana

Credo che prima di parlare della figura di Ottavio Munerati, che nacque a Costa di Rovigo nel 1875 e morì a Rovigo nel 1949, occorra fare un breve excursus su come è nata la coltura della barbabietola da zucchero e la relativa industria.

La canna da zucchero in circa 1500 anni si era trasferita dal lontano Oriente alle colonie tropicali del Nuovo Mondo, passando per il Mediterraneo. Nel XVIII sec. era la sola pianta che riforniva l'Europa di zucchero, una derrata preziosa da sempre per la valenza medicamentosa allora attribuitagli ed i cui consumi stavano aumentando per la diffusione di bevande zuccherate (the e caffè). Chi non possedeva colonie in zone tropicali dipendeva praticamente dalla sola Inghilterra per il fatto che essa dominava in parte la produzione ma soprattutto i trasporti. Il primo che pensò di dotare il suo paese di una pianta saccharifera indigena fu Federico Guglielmo III di Prussia, seguito da Napoleone I, quando decise il blocco dei porti europei all'attracco delle navi inglesi nel 1806. Con Napoleone si cominciò a parlare di industria saccharifera anche in Italia (il primo zuccherificio sorse a Borgo San Donnino, l'attuale Fidenza, nel 1811).

Con la caduta dell'imperatore tutto si fermò anche se si registrarono tentativi di riprendere la coltura nella vicinanza delle più popolose città (Roma e Napoli) nel decennio 1850/60. Si commise però l'errore di copiare il ciclo biologico che la pianta svolgeva nei climi temperati del Centro Europa, mentre le nostre condizioni pedoclimatiche non lo permettevano (crisi di estivazione che faceva perdere lo zucchero accumulato in precedenza e terreni argillosi, inadatti agli escavi autunnali che avvenivano in coincidenza con il massimo precipitativo annuale). Per inciso si ricorda che la bietola da zucchero è una pianta resa biennale che nel primo anno ingrossa la radice mentre nel secondo produce lo scapo florale, per cui lo sfruttamento industriale della radice avviene alla fine della vegetazione del primo anno di coltivazione. Il primo tentativo riuscito di trasformazione industriale fu a Rieti nel 1875 e da qui si comprese che l'Italia, ormai stato unitario, non poteva rinunciare ad una pianta in grado di dare origine alla prima agroindustria e relativo indotto e che inoltre poteva rimpinguare le casse dello Stato con l'applicazione di accise sul consumo dello zucchero. Infatti, il primo nucleo sostanzioso di zuccherifici venne costruito in pianura padana a cavallo del XIX e XX sec. ma i succitati problemi tecnico-agronomici rimasero purtroppo tutti irrisolti.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna



OTTAVIO MUNERATI

**Costa di Rovigo, 18 aprile 1875 –
Rovigo, 18 giugno 1949**

L'opera di Munerati

E' in questo contesto che Ottavio Munerati (vedi foto), laureatosi in agraria a Portici nel 1900, viene chiamato alla cattedra ambulante di Rovigo (in precedenza tenuta da Tito Poggi) ed è qui che ha il primo contatto con la barbabietola da zucchero e che intuisce il grande contributo che la coltivazione di questa pianta poteva apportare al progresso tecnico, economico e sociale del mondo agricolo di quel tempo. Già nel 1908 pubblica la "coltivazione della bietola zuccherifera italiana" che rimarrà come manuale consultato per molto tempo. Egli si rese conto ben presto che al fine di mantenere una "sarchiata" come la bietola negli ordinamenti colturali del tempo era essenziale l'azione di miglioramento genetico della pianta, che fu intrapresa contemporaneamente alla fondazione della Stazione di Bieticoltura. Per inciso tale stazione non aveva una sede ad hoc, quella che noi vediamo ora entrando in Rovigo dalla statale polesana e che, costruita nel 1951, versa ormai in completo disuso e abbandono. La sede di Rovigo fu infatti costruita postuma rispetto al professor Munerati e grazie ai fondi del piano Marshall, che i genetisti statunitensi vollero venissero stanziati in omaggio e riconoscimento al professore per la collaborazione disinteressata offerta agli istituti di ricerca americani durante la sua fervente attività.

Ho parlato di disuso e abbandono della stazione, ma ciò che più mi preme far conoscere è l'incuria in cui è lasciata la ricchissima biblioteca che il professore aveva accumulato nel suo quasi mezzo secolo di attività scientifica e che testimonia i contatti

con tutte le nazioni dove si coltivava la chenopodiacea da cui attinse pubblicazioni originali e poté procurarsi altresì i migliori libri di agronomia e tecnologia del tempo.

I problemi che interessavano la coltivazione della bietola in Italia erano la tendenza all'annualità della bietola e quindi il non poter sfruttare l'accumulo di zucchero nella radice al primo anno, e una malattia, la Cercospora beticola che, defogliava la pianta ancora in vegetazione. Ma, adesso dobbiamo attribuire al professore anche il merito di avere selezionato del materiale che già includeva dei geni che in seguito contribuirono alla trasformazione del seme della bietola da plurigerme a monogerme e a renderla resistente ad una malattia virale conosciuta sotto in nome di "*rizomania*", perché si caratterizzava per la proliferazione di una abbondante capillizio radicale e per contenuti zuccherini percentuali della radice molto bassi.

Per descrivere ciò che Munerati studiò e selezionò mi avvarrò qui di seguito dei brani tratti da uno scritto di Enrico Biancardi, ultimo direttore della Stazione di Rovigo, diventata da tempo sezione staccata dell'Istituto delle piante industriali di Bologna.

Resistenza alla cercospora

Non è dato sapere quando iniziò il lavoro di selezione e su quali basi, infatti il Professore ha lasciato delle pubblicazioni ancora attuali, ma poco si è saputo dai suoi appunti e annotazioni di campagna che furono dispersi durante l'ultima guerra; è però sicuro che già nel 1925 egli possedesse delle linee resistenti alla malattia il cui seme mise a disposizione per prove sperimentali negli USA. Sicuramente l'origine era quella di progenie d'incrocio con la bietola selvatica *Beta maritima* che cresceva spontanea, ed ancora cresce, lungo l'argine del Po di Levante. Aveva capito l'importanza di appropriarsi di geni presenti nella specie spontanea ed ecco la ragione per



Fonte: <http://www.abicisac.it/Munerati2/MUNERATI.htm>

eliminare le caratteristiche selvatiche (radice poco fittonante e tendenza all'annualità). Fu un lavoro certosino per le conoscenze di allora, ma in qualche modo Munerati riuscì ed ottenne linee coltivabili seppure tardive, con contenuto zuccherino più elevato e che resistevano alla cercospora, al secco ed al mal del cuore. Fu talmente interessante questo lavoro che con il seme inviato in USA in pochi anni riuscirono a migliorare le rese in California, dove imperversava il *Curley top* o mal del cuore, in Colorado e in Michigan. Degno di nota è che il professore nel 1946 in uno scritto sminuì questi risultati ascrivibili a lui, dicendo che era solo un "*modesto contributo*" mentre noi ora sappiamo che dopo 80 anni è il solo contributo esistente per la resistenza alla cercospora. Considerando modesto il contributo egli consigliò sempre anche di trattare chimicamente, ma ora noi possiamo dire che aveva già intuito il concetto di lotta integrata.

Resistenza alla prefioritura

I suoi lavori innanzitutto evidenziarono la base genetica del fenomeno, ma anche l'influenza delle pratiche agronomiche (epoca di semina e concimazione). Egli cominciò a delineare anche il bisogno di vernalizzazione per ottenere la salita a seme. Tra il materiale a sua disposizione osservò linee che non salivano a seme anche dopo tre anni, anche se poi perdevano questa caratteristica; tuttavia da ciò ne dedusse la possibilità di poter seminare la bietola in autunno e approfittando della selezione naturale dell'anno 1928 che mandò a seme al primo anno il 30% delle bietole seminate, ritrovò alcune linee che invece avevano prefiorito solo per il 2 o 3%. Fissò i caratteri con la selezione e proprio queste linee servirono per le prime prove sperimentali di semina autunnale nel 1952 nel Sud dell'Italia e incentivarono gli investimenti per creare una bieticoltura ed una industria meridionale.

Monogermia genetica

In natura la bietola contiene un seme (glomerulo) che contiene 3,4 o più embrioni che alla germinazione sviluppano piante addossate le une alle altre. Ciò faceva sì che dopo qualche tempo dall'emergenza occorresse percorrere in ginocchio e fila per fila i seminativi per eliminare le piante in eccesso. Munerati dedicò molta attenzione ad alleviare la penosa pratica del diradamento selezionando piante che portavano glomeruli con meno embrioni. Inoltre, seguendo l'evoluzione della problematica nei vari Stati bieticoli, nel 1946 venne a sapere dei lavori di Victor Savitsky che già dal 1934 aveva cominciato a selezionare la monogermia genetica in Russia. Subito dopo la guerra il genetista russo lasciò la Russia ed emigrò in America ma evidentemente lasciò il frutto del suo lavoro nel paese natale, e quindi ricominciò la ricerca nella nazione di adozione. Savitsky conosceva bene il materiale del genetista italiano e quindi andò a cercare il gene della monogermia nelle selezioni derivate dal materiale italiano e precisamente nella varietà *Michigan Hybrid 18*, ricavata da una varietà polacca e portatrice della resistenza alla cercospora di origine italiana. Trovò infatti 5 bietole con buone percentuali di fiori isolati e dalla bietola siglata *SLC 101* è derivata la monogermia genetica che ha cambiato la coltivazione introducendo la semina di precisione e la meccanizzazione completa della coltivazione, un'innovazione questa che ha salvato la coltura nel mondo. Noi italiani dopo la morte del professore lo collocammo nell'oblio, mentre gli americani inviarono a Rovigo già nel 1950 ed a riconoscimento dei meriti del genetista italiano un campione di semi della linea monogerme suddetta. Ma noi non ne approfittammo per nulla anche se avremmo avuto la priorità.

“...Analisi del DNA permisero di scoprire che sia la resistenza di tipo Rizer che quella di tipo Holly portavano ambedue a materiale selezionato da Munerati...”

Resistenza alla rizomania

Già nel 1915 Munerati fotografò una bietola con una radice avvolta da una abbondante peluria ed a questa malformazione diede il nome di "rizomania". Si trattava di una gravissima malattia il cui patogeno, scoperto 40 anni dopo, era il *virus BNYPV*, trasmesso dal fungo del terreno *Polymyxa betae*. E' stata una malattia che nel dopoguerra rivoluzionò il bacino importantissimo della bieticoltura veneta, dove maggiore era stata l'intensificazione

Agrarian Sciences

e che poi man mano si sparse in tutta la pianura padana, in Europa ed in altre plaghe bieticole del mondo. Con la malattia la produzione ponderale era compromessa e il contenuto zuccherino nelle radici era fortemente diminuito al punto da renderne impossibile l'estrazione. Essendo un virus, solo la resistenza genetica poteva debellare il flagello e quindi iniziò la corsa alla sua ricerca. La prima resistenza fu trovata nel materiale Alba della ditta sementiera italiana omonima e che aveva attinto molto materiale dalla Stazione di Rovigo e, nei primi anni '80 venne realizzata la prima varietà italiana veramente resistente da parte del Dr. De Biaggi, la varietà "*Rizor*", che fu commercializzata ovunque fosse presente la malattia. Qualche anno più tardi negli USA venne scoperta un'altra resistenza, che per distinguerla da quella di tipo Alba venne denominata "*tipo Holly*" e si dimostrò molto simile a quella del *Rizor*. Successive analisi del DNA permisero di scoprire che sia la resistenza di tipo *Rizor* che quella di tipo *Holly* portavano ambedue a materiale selezionato da Munerati.

Considerazioni conclusive

Questa grande eredità lasciataci da Munerati è riconosciuta ovunque all'estero, mentre in Italia l'uomo, seppure alla memoria, non è stata mai adeguatamente riconosciuta. Avendo svolto gran parte della mia attività nel settore bieticolo-saccarifero come agente di ditte sementiere estere, posso testimoniare che gli stranieri che ho accompagnato in Italia mi hanno sempre chiesto di poter visitare la stazione di Rovigo al fine di omaggiare la figura di una persona da loro reputata un grande scienziato. Noi in Italia abbiamo atteso il 1999 (cinquant'anni dopo la morte) per apporre una targa commemorativa sul frontespizio della porta di entrata della casa natale di Munerati a Costa di Rovigo ed il padrino fu uno straniero che ben volentieri accettò di farlo per omaggiare il genetista italiano.

Occorre a questo punto dire che, eccezion fatta per la succitata varietà *Rizor*, le nostre tre ditte sementiere specializzate in miglioramento della barbabietola da zucchero e che erano di proprietà delle tre più importanti società saccarifere, non hanno saputo convenientemente sfruttare i materiali della stazione di Rovigo, cui avevano accesso in via prioritaria. Ciò spiega a mio avviso il fatto che tali ditte sementiere non siano sopravvissute alla successiva debacle del settore bieticolo saccarifero italiano, avvenuta nel 2005.



LA SCIENZA E LE BIOTECNOLOGIE VEGETALI SARANNO PRONTE PER ASSICURARE ALIMENTI ALLA POPOLAZIONE MONDIALE DEL 2050?



A. Michele Stanca



Nella foto Norman Borlaug , premio Nobel per la Pace 1970, mentre esamina una spedizione di semienti di grano per l'India dal Messico. Fonte: <https://borlaug100.org/>

A partire dagli anni 60, la rivoluzione verde ha aumentato le rese agricole in Asia e in America latina con nuove varietà migliorate di colture, più fertilizzanti irrigazione e macchine agricole. Bisogna ora intervenire nelle aree meno produttive in Africa, America latina ed Europa orientale, dove ci sono "buchi" tra i livelli di produzione attuali e quelli possibili. L'utilizzo delle biotecnologie per ottenere piante più efficienti e produttive e approcci mutuati dall'agricoltura biologica e conservativa potrebbero aumentare in maniera considerevole le rese in questi luoghi.

Introduzione

In cinque grandi centri di origine, 12.000 anni or sono, intorno a orzo, frumento, mais, riso, la specie umana inventa la più importante attività che ci ha accompagnato nella nostra storia evolutiva e ci accompagnerà all'infinito: l'agricoltura. Cosa era successo in quel preciso momento? C'è stato un passaggio di era, dal tardo paleolitico (uomo cacciatore-raccoglitore) al neolitico, durante il quale l'uomo/donna mette a punto la tecnologia per coltivare piante che già usava nella sua dieta, perché presenti nell'ambiente circostante, si nutre dei loro prodotti ed evita così di esercitare esclusivamente l'attività pericolosa della caccia. È interessante che questa innovazione si sia sviluppata indipendentemente nei diversi centri di origine e probabilmente determinata da un unico evento: si stava concludendo l'ultima glaciazione. Mano a mano che i ghiacciai si ritiravano, nuove specie erbacee e arboree si svilupparono e le abitudini alimentari cambiarono radicalmente. Le graminacee progenitori di orzo, frumento, mais e riso diventarono le più frequenti nella flora spontanea e vennero usate dal cacciatore-raccoglitore tal quali prima e coltivate poi. La disponibilità di cibo e di nuove terre a seguito del ritiro di ghiacciai favorirono l'espansione della popolazione umana, che raggiunse circa 5.000.000 di persone su tutto il pianeta (Cavalli Sforza 2005). Per praticare l'agricoltura l'uomo addomestica la specie che più gli assicura il maggior rendimento, e da quel momento la protegge dalla competizione con le altre specie: la sottrae quindi alla selezione naturale e dà avvio alla Rivoluzione Neolitica. Tutto ciò si realizza nella Mezzaluna Fertile, regione nella quale

Agrarian Sciences

la civiltà compie i primi passi intorno a frumento e orzo e in cui nello stesso tempo vengono applicate tutte le tecnologie innovative via via sviluppate. Nella aree circostanti la Rivoluzione Neolitica non si è ancora diffusa. È stato messo in evidenza che l'assenza di progenitori selvatici di orzo e frumento in Europa ha fatto sì che l'agricoltura raggiungesse i Paesi scandinavi con un ritardo di 4000 anni. La diffusione di questa tecnologia, partendo dalla Mezzaluna, è stata calcolata pari a 1,1 km/anno (Cavalli-Sforza 2005). Anche l'Italia non ha conosciuto un neolitico indigeno, ed è stata colonizzata seguendo due principali vie: il Mediterraneo e il Danubio, attraverso la Svizzera.

L'abbondanza di alimenti stimolò nell'uomo del neolitico la ricerca di un sistema di conservazione dei prodotti agricoli: l'uomo impara a cuocere l'argilla e a costruire i primi grandi vasi di terracotta proprio per la conservazione delle granaglie e dei liquidi. Questa tecnologia, benché nata in ritardo di qualche millennio rispetto all'agricoltura, si sviluppò molto più velocemente tra le diverse popolazioni. Proprio in questa seconda fase si scoprono, casualmente, anche i primi prodotti trasformati: birra e pane. Questa "tranquillità" alimentare favorì ulteriormente l'incremento demografico, che a sua volta ha favorito le migrazioni verso nuove terre sino alla formazione delle prime città. L'orzo e il frumento selvatici a quel tempo coltivati avevano la caratteristica di disperdere i semi: la spiga a maturazione si disarticolava ad ogni nodo del rachide, lasciando cadere i singoli chicchi in posizioni diverse sul terreno, così favorendo la crescita e maturazione delle nuove piante, avvantaggiate in ecosistemi naturali nella competizione con altre specie (Figura 1).

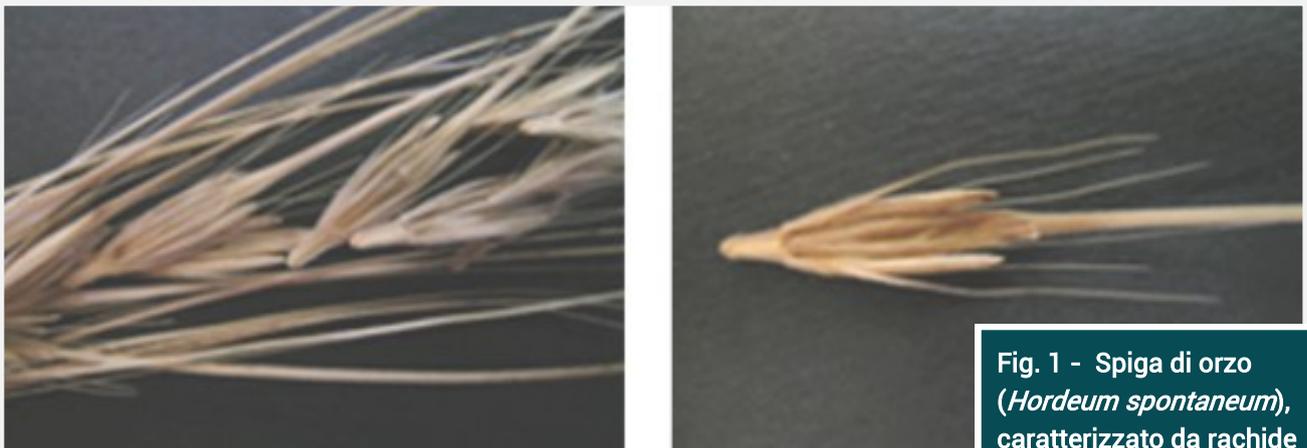


Fig. 1 - Spiga di orzo (*Hordeum spontaneum*), caratterizzato da rachide fragile che, disarticolandosi alla maturazione, consente la dispersione dei semi. Foto: R. Alberici.

Se dal punto di vista evolutivo questa strategia sviluppata dalla pianta rappresentava una valvola di sicurezza per la sopravvivenza della specie, dal punto di vista della produzione di cibo costituiva un punto debole, portando alla perdita totale del raccolto per effetto di improvvise calamità naturali (vento, pioggia). Il più grande salto scientifico-tecnologico si ebbe quando tra le piante di orzo selvatico si scoprì una spiga non fragile. Fu la prima trasformazione genetica utile registrata nella storia, che certo avrà provocato scontri tra le diverse posizioni: progressisti per la "spiga non fragile", conservatori a favore della "spiga fragile".

Vinsero i progressisti, e da quel momento cominciò ad evolversi tutta una nuova tecnologia per la raccolta, la trebbiatura e la conservazione del prodotto. La genetica che sottende questo carattere fondamentale della domesticazione è stata recentemente chiarita. In orzo, i due geni responsabili del carattere "spiga non fragile" sono *Btr1* e *Btr2*, strettamente associati sul cromosoma 3H, mentre in frumento svolgono un ruolo maggiore *brittle rachis 2 (Br-A1)* e *brittle rachis 3 (Br-B1)*, rispettivamente posizionati sul braccio corto dei cromosomi 3A e 3B. Nell'insieme, sembra che in tutte le Triticeae siano presenti questi geni come gruppo di orologi che controllano la disarticolazione in diversi punti della spiga. Un altro esempio è il gene *sh4* di riso, che codifica per un fattore trascrizionale responsabile della formazione del tessuto di abscissione alla base del peduncolo che regge il granello sulla pannocchia di riso. Nel riso coltivato la mutazione di un singolo nucleotide, che determina la sostituzione di una Lisina con una Asparagina, è sufficiente per ridurre lo sviluppo del tessuto di abscissione in modo

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

tale da impedire la caduta spontanea dei semi, consentendo tuttavia il distacco dei semi a seguito di sollecitazione meccanica (trebbiatura). Nel processo di addomesticamento una caratteristica tenuta in gran conto è stata la dimensione dei frutti. Uno degli esempi più significativi è la transizione dalla forma selvatica -oleastro- ad olivo coltivato da olio, che si caratterizza per l'incremento notevole delle dimensioni della drupa, processo verosimilmente controllato da poche mutazioni semplici (Figura 2).



Fig. 2 - Frutti e foglie di oleastro (*Olea europaea* sbsp. *sylvestris*) e di varietà coltivate da olio (*Olea europaea* sbsp. *sativa* - varietà Cellina di Nardò).
Cortesia di A.M. Stanca et al.

Una profonda modifica dell'architettura della pianta e della morfologia della spiga del mais è stata causata dal gene *Teosinte branch1* (*Tb1*) che controlla lo sviluppo delle gemme laterali, determinando nel progenitore selvatico del mais (il teosinte) lunghe ramificazioni laterali terminanti con una infiorescenza maschile e numerosi germogli basali, caratteristiche assenti nel mais coltivato. *Tb1* codifica per un fattore trascrizionale che agisce da repressore dello sviluppo dei germogli laterali, imponendo una dominanza apicale. Anche in specie orticole è stato molto evidente l'effetto delle mutazioni su caratteristiche fondamentali dell'architettura della pianta e qualità dei frutti. In pomodoro, significativi sono stati gli effetti di alcuni geni, tra cui *self proning*, che trasforma lo sviluppo della pianta da indeterminato (ininterrotta crescita dell'apice vegetativo) a determinato (la crescita dell'apice vegetativo viene bloccata, ottenendo piante a sviluppo contenuto) e *jointless*, che controlla il sistema di disarticolazione della bacca dal peduncolo. La bacca di pomodoro può assumere una varietà di colorazioni, che vanno dal giallo pallido al viola intenso, sino alla più recente scoperta dei mutanti a bacca nera: responsabili di questo fenomeno sono mutazioni in geni singoli, quali *yellow flesh* (giallo), *dark green* (rosso intenso), *green flesh* (viola), *u* (uniformemente verde). In pisello una mutazione puntiforme al gene *af* determina la trasformazione delle foglie in cirri. La fase di addomesticamento continuò portando in coltura altre specie come pisello, lenticchia, fico, e parallelamente si cominciarono ad addomesticare gli animali come pecore, capre, bovini, suini e successivamente cavalli. Con l'addomesticamento degli animali, la dieta si diversifica completamente e si completa. I binomi cereali-leguminose, cereali-latte e cereali-carne rappresentano la migliore combinazione nutritiva. Oggi sappiamo perché: la cariosside di un cereale mediamente è composta dal 65-75% di amido, 8-20% di proteine, 3,8% di grassi. La proteina però ha un valore biologico scarso perché carente di due aminoacidi, lisina e triptofano, motivo per cui anche nella dieta moderna i cereali si complementano con altri alimenti ricchi

Agrarian Sciences

di proteine nobili. Queste innovazioni tecnologiche provocarono un aumento della quantità di cibo e conseguentemente la crescita della popolazione sulla Terra.

La formazione di *Landraces*

Dopo la fase iniziale di addomesticamento, l'interazione tra la selezione naturale e una selezione antropica empirica ha portato allo sviluppo di popolazioni adattate ai diversi ambienti di coltivazione, note come *landraces*. Si sono selezionate popolazioni con frutti e semi di dimensioni maggiori, vigore dei culmi, sincronizzazione dei tempi di germinazione e maturazione. Si è stabilito quindi un continuum tra le nuove *landraces* e i loro progenitori selvatici, che ha favorito eventi di introgressione, derivati da incrocio casuale e conservazione di caratteri favorevoli, con specie selvatiche imparentate, ma anche eventi di ricombinazione frequenti o sporadici. Tutte le mutazioni accumulate durante la storia evolutiva delle specie selvatiche e addomesticate rappresentano la biodiversità disponibile sul pianeta e quindi un salvadanaio di geni utili. L'importanza della conservazione e valorizzazione del germoplasma vegetale, quale fonte naturale per il mantenimento della biodiversità, è stata definita strategica per il futuro dell'umanità a partire dalla Conferenza Internazionale sulla Biodiversità tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. Grandiosa è stata l'opera di Teofrasto, che ha descritto il mondo vegetale in nove volumi.

L'Impero Romano ha contribuito in modo determinante alla diffusione di un imponente patrimonio biologico nei territori controllati ed ha affinato una moderna tecnologia agronomica di base ed applicata, i cui effetti sono ancor oggi di riferimento; ma è stata la scoperta dell'America a determinare il più importante flusso di specie vegetali a livello planetario che, gradualmente, hanno provocato un radicale cambiamento nella dieta degli europei (mais, patata, pomodoro, fagiolo ecc.) Il tema della biodiversità è perciò da sempre al centro delle attenzioni del mondo scientifico. Il bilancio attuale stima che circa 220.000 siano le specie vegetali rilevanti presenti sul pianeta (mono e dicotiledoni), di cui 5000 usate dall'uomo per i propri fabbisogni e 1500 addomesticate. Solo 150 vengono oggi impiegate in modo significativo, ma ciò che colpisce è che 4 sole specie forniscono il 60% delle calorie alimentari. Di queste quattro specie si dispone presso diversi laboratori di centinaia di migliaia di ecotipi, *landraces*, varietà. L'Italia contribuisce a questo patrimonio naturale con 6700 specie vegetali. La variabilità naturale e le risorse genetiche rappresentano il deposito di geni da cui attingere per raggiungere ulteriori progressi attraverso l'accumulo di alleli utili e l'eliminazione di blocchi di linkage in genotipi superiori. Attraverso la conservazione in situ (cioè negli ambienti naturali dove può essere possibile l'alloincrocio tra la specie addomesticata con le specie selvatiche), on farm (cioè mantenendo in coltivazione le varietà locali) e/o *ex situ* (cioè in ambienti controllati, in cui non esistono gli ancestrali) e valorizzato, in quanto fonte di caratteri utili per il miglioramento varietale. È chiaro come la conservazione *ex situ* sia un processo statico, in cui non c'è ricombinazione genica, mentre nella conservazione in situ è assicurato un processo dinamico di flusso genico. La conservazione *ex situ* (soprattutto di semi, ma anche di tuberi, polline, parti di pianta, spore ecc.) deriva dalla constatazione che la sola conservazione in situ non riesce ad evitare la perdita di biodiversità, a causa delle pressioni antropiche, del degrado ambientale, dei cambiamenti climatici, della competizione con specie più invasive. È questa la forma di conservazione più diffusa: si stima infatti che, a livello mondiale, poco meno del 90% del germoplasma di specie agrarie sia conservato *ex situ*. Recentemente si sono avviate anche attività di conservazione della flora rara, minacciata, endemica e protetta. A questo proposito sono nate e cresciute banche e associazioni per la conservazione del germoplasma, insieme a collezioni particolari disponibili presso vari enti.

Veramente rilevante è il numero di genotipi presenti nelle diverse collezioni a livello mondiale: si stima infatti che la cifra globale sia di circa 7,4 milioni di accessioni, comprendendo specie coltivate e specie selvatiche, affini o non affini alle coltivate. I punti critici della conservazione di semi sono la temperatura e l'umidità. Molte specie presentano infatti semi "ortodossi", che tollerano la deumidificazione fino a livelli del 3-7% e possono essere conservati a temperature basse (tra 0 e -20 °C). Recentemente è stata attivata una nuova struttura per la conservazione "long term" a bassa temperatura nelle isole Svalbard (Norvegia) (Westengen et al. 2013). Circa l'1% delle risorse genetiche è invece conservato in vitro, tecnica utilizzata per specie a propagazione vegetativa o caratterizzate da semi "non ortodossi", impossibili da essiccare e conservare efficacemente a basse temperature. Ancora più rare sono le collezioni conservate a bassissime temperature (-196 °C), incluse le banche di DNA. Per le diverse specie agrarie sono conservate quindi sia "*collezioni di base*", che comprendono la maggior parte

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

della variabilità genetica esistente a livello mondiale, che *Core Collections*, "collezioni di lavoro" immediatamente fruibili. Tra le diverse collezioni di germoplasma presenti sul territorio italiano, spicca senz'altro l'olivo, specie allogama di grande interesse per gli ambienti mediterranei, caratterizzata da una variabilità genetica molto elevata legata al fatto che la specie non ha subito erosione genetica specifica, e che si tratta di una pianta longeva e resistente. Si stima che il numero totale delle varietà di olivo coltivate nel mondo sia di circa 1300, a cui si aggiungono oltre 3000 ecotipi locali e le popolazioni di olivo selvatico presenti lungo tutta l'area subcostiera mediterranea. L'Italia ha uno straordinario patrimonio genetico di questa specie e raccoglie più del 40% dell'intero germoplasma coltivato, oltre a centinaia di varietà minori, ecotipi locali ed esemplari millenari. Altre importanti collezioni di germoplasma sono relative alla vite, con più di 1500 vitigni, e i cereali e le leguminose da granella. Attualmente la genomica utilizza in modo nuovo le risorse genetiche, tant'è vero che le banche del germoplasma spesso affiancano alle loro collezioni banche del DNA. Gli avanzamenti della genomica hanno aperto infatti nuove prospettive alla genotipizzazione delle diverse popolazioni, per l'identificazione di geni che controllano caratteristiche fenotipiche semplici o complesse. La fenotipizzazione del germoplasma e di materiali genetici particolari rappresenta probabilmente una fase critica nel processo di valorizzazione e utilizzo di risorse genetiche. Grande e rinnovata attenzione viene riservata a questa attività, anche attraverso lo sviluppo di sistemi automatizzati -piattaforme- per la valutazione di diversi parametri fisiologici e morfologici in condizioni di alta standardizzazione.

Dalle Landraces a Mendel, Strampelli, Borlaug e oltre

Nella fase premendeliana l'interazione tra la selezione naturale e una selezione antropica empirica ha portato, come già detto, allo sviluppo di popolazioni adattate ai diversi ambienti di coltivazione note come landraces. Tuttavia queste landraces, dal periodo romano agli inizi del 1900, non hanno provocato significativi incrementi produttivi per unità di superficie.

Con la riscoperta delle leggi di Mendel, le prime conoscenze sulla genetica dei caratteri quantitativi e la scoperta dell'eterosi, si è affermata una vera attività di miglioramento genetico, che nel giro di pochi decenni ha radicalmente modificato la capacità produttiva e le caratteristiche qualitative delle piante coltivate. La genetica vegetale, con la riscoperta delle leggi di Mendel, ha consentito di approfondire le conoscenze sulla definizione dell'ereditarietà dei caratteri e nello stesso tempo ha permesso di sviluppare tecnologie nelle piante coltivate capaci di accumulare geni utili, originariamente dispersi nelle popolazioni, in genotipi superiori.

Si avvia così un'intensa attività di miglioramento genetico che ha portato in tutte le specie coltivate allo sviluppo di nuove varietà sempre più produttive e sempre più rispondenti alle esigenze della moderna società. In generale, nell'ultimo secolo nella maggior parte dei Paesi si sono registrati per tutte le specie coltivate incrementi produttivi sorprendenti, ed in particolare per i cereali, grazie a Strampelli prima e a Borlaug dopo, i guadagni produttivi attribuibili al progresso genetico sono compresi tra 20 e 50 kg ha⁻¹ per anno (Garcia Olmedo 2000). Questi cambiamenti sono associati ad importanti modificazioni dell'architettura e della fisiologia della pianta, come evidente in orzo e frumento, in cui la riduzione dell'altezza della pianta, accompagnata da una maggior efficienza nell'assorbimento e nel trasporto, si è rivelata indissolubilmente collegata all'aumento dell'*Harvest Index*.

Nel 1911 Nazareno Strampelli per primo introdusse il carattere bassa taglia nei frumenti usando nei suoi incroci il genotipo giapponese AKAGOMUKI, portatore del gene Rht8 sensibile alle gibberelline. Lo sviluppo di nuovi genotipi a bassa taglia rappresenta il grande successo italiano nel mondo. Le varietà di Strampelli sono state impiegate in quasi tutti i programmi di breeding in tutto il mondo sino a pochi anni or sono. Anche Cesare Orlandi utilizzò un'altra varietà a taglia bassa – SAITAMA 27 – portatrice del gene Rht-B1d insensibile alle gibberelline. Successivamente un'altra varietà giapponese, Norin10(6x), portatrice di un altro gene di bassa taglia Rht-B1b insensibile alle gibberelline, isolata per la prima volta nel 1932, fu introdotta nel 1946 da Orville Vogel nella Washington State University, e nel 1948 fu eseguito il primo incrocio. Norman Borlaug utilizza Norin 10 nel 1955 per gli incroci, e nel 1964 avvia il nuovo programma di miglioramento genetico presso il CIMMYT (Messico), dal quale origina e si realizza la "Rivoluzione Verde", che gli porterà nel 1970 il premio Nobel per la Pace. Va chiarito che il successo di questi nuovi genotipi a bassa taglia non derivò soltanto dall'eliminazione dei danni da alletta-

Agrarian Sciences

mento, ma anche dagli effetti pleiotropici di questo gene. Il guadagno nelle rese, anche con l'uso di dosi massicce di azoto, sarebbe stato pari al 50% del potenziale produttivo, cioè si sarebbero raggiunte rese pari a 3-3,5 t/ha. In pratica la presenza di *Rht-B1b* permette alla pianta di aumentare l'apparato fotosintetico, migliorare la fertilità della spighetta, il numero di spighe per spiga, il numero di spighe/m² e la dimensione della cariosside. Tutto ciò ha portato a un aumento della produzione pari a 4-5 volte il potenziale delle varietà pre-Strampelli (fino a 10-12 t/ha). Il gene *Rht-B1b* è stato battezzato "*a very lucky gene*". Perché? Dal punto di vista genetico e molecolare, il gruppo di Mike Gale a Cambridge ha spiegato il fenomeno in questo modo: *Rht-B1b* è un gene nato da una mutazione a un singolo nucleotide, verificatasi a una tripletta STOP codon. Ma subito dopo questa tripletta di STOP si è assortita una tripletta di START che codifica per Metionina, quindi il gene ha continuato a essere trascritto, producendo una proteina leggermente diversa dal *wild type*.

Il gene R (*wild type*) codifica per una proteina con tre funzioni: la più importante è quella di riconoscere la gibberellina e dirigerla verso i siti d'azione – le pareti delle cellule dell'internodo. Nel mutante, cioè *Rht-B1b*, questa funzione si perde per il segnale di STOP e START a livello molecolare, e quindi la gibberellina continua a essere prodotta dalla pianta, ma non viene veicolata per distendere le pareti cellulari dell'internodo (piante nane) e in più va a colpire organi importanti della riproduzione, come descritto in precedenza. Risultato finale: piante nane con una superiore potenzialità produttiva, sino a oggi ancora in crescita. Nel mondo l'incremento produttivo è stato notevole e si prevedono ancora progressi sostanziali sia in ambienti fertili che in ambienti stressati. L'evidenza di questo fenomeno fu messa in luce con un semplice esperimento, somministrando una soluzione contenente gibberelline a plantule di frumento *wild type* e mutate: ci si aspettava una crescita maggiore del mutante *dwarf* e nessuna crescita del *wild type*. Il risultato fu l'opposto: la varietà a taglia alta continuò a crescere mentre il mutante restò nano, e per questo fu battezzato "insensibile". Con il gene *Rht-B1b* fu possibile descrivere un nuovo ideotipo di pianta, basato sull'*Harvest Index* (HI = biomassa utile/biomassa totale). Di fatto la potenzialità di biomassa totale non è cambiata tra i genotipi non *dwarf* e *dwarf*. È solo cambiato l'HI e ciò dimostra che tutta la genetica dei *dwarf* ha migliorato la relazione *source-sink* ed ha equilibrato il rapporto assorbimento/fotosintesi e trasporto/accumulo nei siti definitivi dei fotosintati. Ricercatori australiani hanno identificato il gene corrispondente a *Rht-B1b* in *Vitis*, dove è responsabile della trasformazione dei cirri in organi fiorali e quindi grappoli. Infatti nella vite il gene omologo a *Rht-1* determina la conversione dei viticci in infiorescenze, che si evolvono nella formazione di grappoli d'uva. Nel normale sviluppo, in presenza della forma *wild type* del gene, i viticci non possono svilupparsi in infiorescenze perché bloccati dall'azione delle gibberelline (Stanca et al. 2014). Il modello di pianta, il cosiddetto "*ideotipo*", nel quale deve instaurarsi un ottimale rapporto tra sorgente di energia "fotosintesi" e siti di accumulo (frutto) è stato esportato ed applicato in altre specie vegetali. Al miglioramento genetico classico si è affiancata la mutagenesi sperimentale per l'ottenimento di nuove varietà.

La mutagenesi indotta nel settore vegetale ha un ruolo di rilievo non solo per lo studio delle funzioni geniche, ma anche, soprattutto in un recente passato, per indurre variabilità genetica da cui attingere nuovi fenotipi di potenziale interesse agrario. Negli anni 1960-70 sono state rilasciate diverse varietà di specie erbacee e arboree. In Italia la varietà di frumento Castelporziano è stata ottenuta direttamente per mutagenesi di Cappelli presso i Laboratori Applicazione Agricoltura del CNEN. La mutagenesi è ancor oggi ampiamente utilizzata nel settore delle piante ornamentali, in cui la richiesta di novità è costante. È stato scritto che il successo economico della genetica sia stato anche lo sfruttamento dell'eterosi, sia in campo vegetale sia animale. Questo fenomeno genetico indica la comparsa di vigore fenotipico nelle progenie ibride rispetto ai parentali omozigoti (Barcaccia et al. 2006). L'eterosi si è dimostrata strategia di grande interesse applicativo non solo nelle piante allogame (nel mais si sono raggiunte 15 t/ha in pieno campo), ma anche nelle autogame. Particolarmente rilevante è l'esempio del pomodoro (specie autogama), in cui lo sfruttamento di questo fenomeno ha spostato le produzioni, negli ultimi 50 anni, dagli iniziali 300 q/ha agli attuali 1200 q/ha in pieno campo e 2200 q/ha in serra. L'interesse verso lo sfruttamento dell'eterosi si è spostato anche su frumento e orzo: quattro ibridi del primo e sei del secondo sono oggi in coltura in Germania (Sreenivasulu and Schnurbusch 2013). In un secolo di applicazioni scientifiche nelle piante coltivate si sono raggiunti risultati straordinari; agli esempi sopra riportati si può aggiungere la barbabietola da zucchero, che è passata negli ultimi 40 anni da una produzione di radici media di 30 t/ha ad oltre 100 t/ha con un indice zuccherino del 15%. Abbiamo raggiunto il plateau?!

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Alimentare 10 miliardi di persone

Con i risultati fin qui raggiunti si può pensare di alimentare il pianeta nei prossimi 40 anni, quando la specie umana supererà i 9 miliardi di individui? Benché la scienza e la tecnologia abbiano fornito in questi ultimi decenni risultati straordinari, e in considerazione del fatto che non possiamo più applicare la regola della messa a coltura di nuove terre, ma che dobbiamo risparmiare il terreno dalle continue razzie antropiche, nasce l'imperativo di dover chiedere all'unità di superficie l'ulteriore sforzo di ospitare, in perfetto equilibrio, nuove piante capaci di garantire il cibo per 10 miliardi di persone.

Alla domanda se ciò sia possibile, la risposta è stata positiva, ma dobbiamo disegnare nuove strategie. Gli obiettivi attuali sono rivolti a convogliare gli sforzi delle diverse discipline scientifiche verso lo sviluppo di tecnologie mature per l'agricoltura del futuro, a garanzia di produzione di alimenti per tutti. Se si analizza lo sviluppo e la crescita di una pianta addomesticata, si evidenzia che anche nelle migliori condizioni ambientali non si è riusciti a ridurre in modo consistente il gap esistente tra la produzione potenziale e quella effettiva raggiunta in azienda. Questo è il primo problema da affrontare. Il secondo è quello di disegnare nei prossimi anni un nuovo modello di pianta capace di innalzare ulteriormente la potenzialità produttiva. Se consideriamo il frumento risulta evidente che le nuove varietà e le nuove tecniche agronomiche, in alcuni Paesi europei, hanno permesso di raggiungere una media nazionale superiore a 8 t/ha con una potenzialità di 12-14 t/ha, cioè sono stati ottenuti circa 20.000 semi/m² di terreno senza intensificare l'uso di prodotti di sintesi (Figura 3).

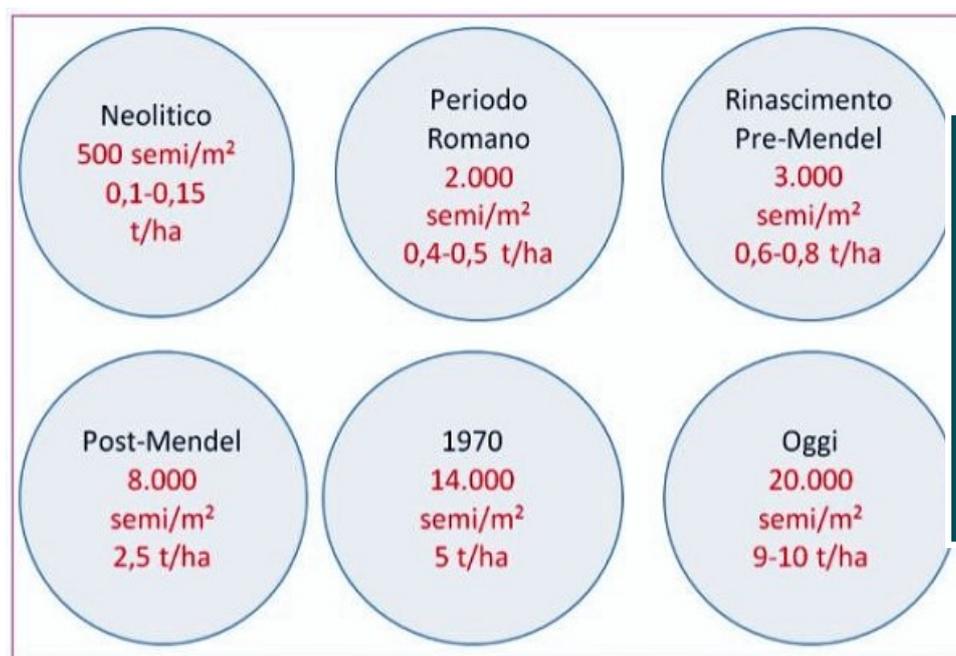


Fig. 3 - Evoluzione della produzione di granella e numero di cariossidi per m² raggiunti dall'orzo (*Hordeum spontaneum*) dal Neolitico a Mendel e da Mendel ai nostri giorni. Cortesia di A.M. Stanca et al .

Oggi si può dire che teoricamente è possibile raggiungere 30.000 semi/m² e superare la barriera delle 15 t/ha. Potenzialmente il frumento, l'orzo e molte specie coltivate programmano molto precocemente il numero di fiori da trasformarsi in frutti per singola pianta, ma eventi sfavorevoli durante il ciclo biologico riducono drasticamente la fertilità e l'allegagione dei fiori e la dimensione dei frutti. Partendo infatti da una situazione ottimale pari a 100 si può avere una perdita dell'80% a causa di eventi negativi ambientali. La sfida è di ottenere una nuova pianta capace di far fronte a queste cause negative tutto il ciclo biologico! Nella Figura 4 vengono descritte tutte le offese che una specie vegetale riceve durante il suo ciclo biologico.

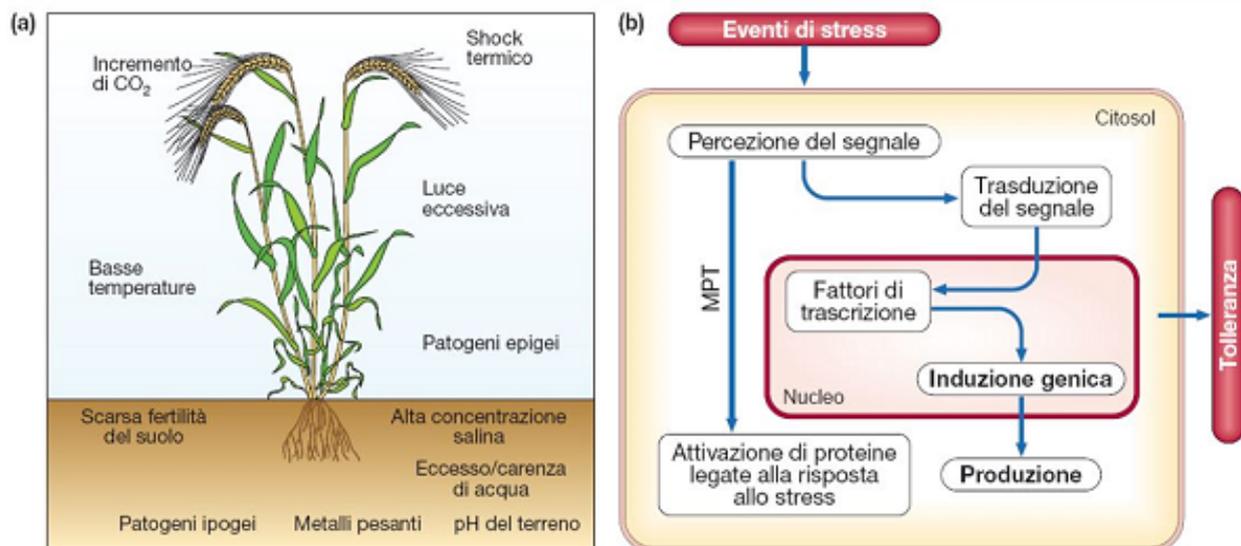


Fig 4 - Eventi di stress con effetti negativi sulla parte ipogea ed epigea della pianta (a); risposte cellulari agli stress e attivazione di meccanismi di tolleranza (b). Nota: MPT = *meccanismi post-traduzionali*. Cortesia di A. M. Stanca et al.

Oggi conosciamo in modo approfondito la tappa metabolica di risposta all'insulto; disponiamo della sequenza del genoma di molte specie, compresa la più complessa, il frumento; presso le banche del germoplasma sono disponibili i passaporti delle singole varietà con la descrizione fenotipico-molecolare delle loro caratteristiche peculiari; sono state disegnate nuove architetture di piante arboree; con l'aiuto della genomica nuove strategie di breeding sono state messe in opera per incorporare più geni in un genotipo superiore (*Pyramiding*); nuove tecniche agronomiche saranno via via disponibili per appiattire sempre più la curva degli input di sintesi. Un esempio molto appropriato riguarda l'architettura della pianta del melo regolata da un gene che controlla il portamento colonnare *Colomnar* (Co) mappato sul cromosoma 10. L'*habitus* di crescita colonnare, scoperto nel melo intorno al 1970, è caratterizzato da internodi corti, ridotta altezza e ramificazione della pianta. Questo modello ottimizza l'intercettazione della luce, permette di aumentare la densità di piante per ettaro come pure la produzione di frutti, riduce al minimo la potatura e facilita la raccolta meccanica (Wolters et al. 2013). Se a tutto ciò aggiungiamo i risultati ottenuti sulle resistenze, è evidente come anche per questa specie esistano già oggi incoraggianti prospettive. È interessante osservare come all'aumentare della produzione di prodotti utili, la curva degli input tecnologici non segua lo stesso andamento in parallelo ma si appiattisce. Come già detto, tutti questi sforzi dovranno seguire un percorso di compatibilità ambientale. Per alcuni aspetti della destinazione d'uso della biomassa, si comincia a sperimentare la coltivazione di piante perennanti al fine di ridurre l'input dei prodotti di sintesi. Nuovamente, alla domanda quindi se la scienza e la tecnologia abbiano gli strumenti per produrre alimenti per 10 miliardi di individui nei prossimi 40 anni, la risposta non può essere che positiva, perché abbiamo già oggi, rispetto a qualche decennio fa, strumenti di conoscenza assolutamente nuovi: siamo nell'era della *Systems Biology*.

L'analisi dei genomi è stata la maggiore conquista della genetica moderna per lo studio della struttura e funzione dei singoli geni e dell'intero genoma degli esseri viventi, fondamentale anche per comprenderne le dinamiche evolutive e sviluppare ulteriori biotecnologie al fine di migliorare specie vegetali per caratteri utili. Sono oggi disponibili le sequenze genomiche ad alta qualità di specie modello quali *Arabidopsis* e *Brachypodium* (oltre a quelle di specie di elevato interesse agronomico quali riso, mais, vite, melo, pioppo, patata, pomodoro, orzo e frumento). I genomi del riso e del *Brachypodium* sono particolarmente importanti perché servono anche da mo-

dello per lo studio dei genomi degli altri cereali, le Poaceae. Tra i genomi di maggiore complessità si annovera quello del frumento tenero (*Triticum aestivum*, $2n = 6x = 42\text{-AABBDD}$), stimato in 17 miliardi di bp, pari a cinque volte il genoma umano e a circa quaranta volte quello del riso. È caratterizzato dalla presenza di elementi ripetuti per circa l'80%. Si stima che soltanto nel cromosoma 5A siano contenuti da cinque a seimila geni (Vitulo et al. 2011). Il primo importante incrocio avvenne tra la specie portatrice del genoma A (*Triticum urartu* AA) e quella portatrice del genoma B (*Aegilops speltoides* BB), incrocio che diede origine a *Triticum turgidum* (AABB), il grano duro tetraploide che utilizziamo per fare la pasta; successivamente, questa specie unì il proprio genoma con quello di *Aegilops tauschii* (DD). Sequenziare il genoma del frumento è un po' come completare un puzzle di migliaia di pezzi, tutti molto simili tra loro. Considerando la qualità dell'assemblaggio, i ricercatori stimano che *Triticum aestivum* possieda qualcosa come 106.000 geni codificanti per proteine, un numero elevatissimo se rapportato ai 25.000 geni umani, ma perfettamente in linea con le dimensioni considerevoli di questo genoma. Ciò che rende davvero speciale il genoma di *Triticum aestivum* è il fatto che esso sia in realtà costituito da tre distinti genomi, costretti dall'evoluzione a convivere all'interno della stessa specie. Nel genoma del frumento si trovano moltissime tracce di questi esperimenti evolutivi: si contano infatti migliaia di geni che mostrano differenze rispetto alla versione originale presente nelle piante selvatiche. Generalmente si tratta di mutazioni senza effetti particolari, ma in alcuni casi l'impatto sulla funzionalità della proteina è stato rilevante. Da queste sequenze ridondanti potrebbero ad esempio originarsi i microRNA (di 20-24 nucleotidi), una categoria di molecole fondamentali per la resistenza agli stress ambientali e agli agenti patogeni (Colaiacovo 2014). Nelle piante, sono particolarmente attivi durante lo sviluppo, ma non mancano esempi di microRNA che controllano la risposta agli stress ambientali, quali la siccità o la carenza di nutrienti nel terreno, e all'attacco di agenti patogeni. Agiscono spegnendo altri geni in modo mirato, controllando in questo modo la sintesi di nuove proteine. Ogni microRNA colpisce un particolare set di geni bersaglio, e gli effetti di questa regolazione possono amplificarsi notevolmente, perché spesso i geni target sono fattori di trascrizione, molecole che a loro volta controllano l'espressione di altri geni. Complessivamente, questi risultati suggeriscono che il frumento possiede un enorme "serbatoio" di microRNA al momento poco utilizzato, che potrebbe però essere attivato a seconda delle necessità (Mayer et al. 2014). Altri genomi vegetali il cui sequenziamento è stato già completato o è ancora in corso comprendono il caffè, la *Medicago truncatula*, la fragola, il pesco, l'arancio, nonché specie cosiddette orfane, di minore rilevanza economica rispetto alle grandi colture, ma comunque con utili destinazioni d'uso. Parallelamente si sta procedendo al sequenziamento del genoma di diversi funghi fitopatogeni, la cui analisi apre la possibilità di meglio comprendere quali siano i meccanismi evolutivi che determinano la patogenicità. Tra le piante da frutto più diffuse, è noto il genoma del melo (*Malus domestica*) varietà Golden Delicious, tra le più diffuse al mondo. I 17 cromosomi ($2n = 34$) contengono 742 milioni di basi e oltre 57.000 geni, tra cui spiccano i fattori di trascrizione (oltre 4.000), e i geni correlabili alle resistenze ai patogeni (circa 1.000), oltre quelli che regolano il portamento colonnare della pianta. Sono inoltre rappresentati in numero estremamente elevato i geni *MADS* coinvolti nello sviluppo del frutto, e i geni del metabolismo basale del pomo, quali ad esempio quelli legati alla sintesi del sorbitolo o glucitolo, lo zucchero tipico delle Rosaceae. Il genoma della vite (*Vitis vinifera*), varietà Pinot Noir, è formato da 475 milioni di basi, tre volte più grande di quello di *Arabidopsis* e sei volte più

“ ...Tra le piante da frutto più diffuse, è noto il genoma del melo (*Malus domestica*) varietà Golden Delicious, tra le più diffuse al mondo. I 17 cromosomi ($2n = 34$) contengono 742 milioni di basi e oltre 57.000 geni, tra cui spiccano i fattori di trascrizione (oltre 4.000), e i geni correlabili alle resistenze ai patogeni (circa 1.000), oltre quelli che regolano il portamento colonnare della pianta...”

controllano l'espressione di altri geni. Complessivamente, questi risultati suggeriscono che il frumento possiede un enorme "serbatoio" di microRNA al momento poco utilizzato, che potrebbe però essere attivato a seconda delle necessità (Mayer et al. 2014). Altri genomi vegetali il cui sequenziamento è stato già completato o è ancora in corso comprendono il caffè, la *Medicago truncatula*, la fragola, il pesco, l'arancio, nonché specie cosiddette orfane, di minore rilevanza economica rispetto alle grandi colture, ma comunque con utili destinazioni d'uso. Parallelamente si sta procedendo al sequenziamento del genoma di diversi funghi fitopatogeni, la cui analisi apre la possibilità di meglio comprendere quali siano i meccanismi evolutivi che determinano la patogenicità. Tra le piante da frutto più diffuse, è noto il genoma del melo (*Malus domestica*) varietà Golden Delicious, tra le più diffuse al mondo. I 17 cromosomi ($2n = 34$) contengono 742 milioni di basi e oltre 57.000 geni, tra cui spiccano i fattori di trascrizione (oltre 4.000), e i geni correlabili alle resistenze ai patogeni (circa 1.000), oltre quelli che regolano il portamento colonnare della pianta. Sono inoltre rappresentati in numero estremamente elevato i geni *MADS* coinvolti nello sviluppo del frutto, e i geni del metabolismo basale del pomo, quali ad esempio quelli legati alla sintesi del sorbitolo o glucitolo, lo zucchero tipico delle Rosaceae. Il genoma della vite (*Vitis vinifera*), varietà Pinot Noir, è formato da 475 milioni di basi, tre volte più grande di quello di *Arabidopsis* e sei volte più

piccolo di quello dell'uomo, e contiene 30.434 geni codificanti per proteine. Una peculiarità di questo genoma è rappresentata dalla presenza di famiglie di geni legati alle caratteristiche organolettiche del vino. I genomi vegetali cambiano più rapidamente di quanto non facciano i genomi animali, portando così a una maggior variazione tra specie anche strettamente correlate e anche all'interno di una stessa specie. Il motivo di questa estrema plasticità è da ricercarsi nelle diverse condizioni di vita e di strategie di sopravvivenza delle piante rispetto agli animali, che sembrano dunque richiedere per le prime la presenza di genomi più "flessibili". Un'importante caratteristica delle piante è che vaste porzioni dei loro genomi sembrano essersi duplicate, ossia interi segmenti di cromosomi con tratti di sequenze geniche quasi identiche si ritrovano in molteplici posizioni del genoma. Ciò suggerisce che, a un certo punto dell'evoluzione, questi genomi siano andati incontro a duplicazione (interamente o in parte) e che in seguito le sequenze duplicate (e quindi ovviamente sia geni che regioni regolative) siano andate in parte perdute e in parte si siano diversificate. Ci sono forti evidenze infatti che indicano come la duplicazione del genoma abbia importanti conseguenze morfologiche, ecologiche e fisiologiche, con effetti sui processi fotosintetici della pianta, sul suo sistema riproduttivo, sulla sua interazione con gli erbivori e gli impollinatori, sulla speciazione. Durante l'evoluzione, la formazione di poliploidi ha giocato probabilmente un ruolo di primo piano nella diversificazione delle angiosperme ed è stata molto rilevante anche nella genesi di importanti piante coltivate, quali il frumento, brassicacee e alcune rosacee. Il sequenziamento del genoma della vite ha suggerito come questa pianta, considerata diploide dalla genetica classica, sia in realtà derivata dalla fusione di tre genomi. Questo arrangiamento ancestrale è condiviso da molte altre dicotiledoni e assente in riso, che è una monocotiledone. La conclusione è, quindi, che questa triplicazione non fosse presente nell'antenato comune alle mono- e dicotiledoni. Il sequenziamento del genoma del pomodoro coltivato e del suo antenato selvatico, *Solanum pimpinellifolium*, ha evidenziato il fenomeno della poliploidizzazione. Come noto, il pomodoro appartiene alla famiglia delle Solanaceae, che comprende sia piante agrarie, quali patata e melanzana, che piante ornamentali e medicinali, quali la petunia, il tabacco, la belladonna e la mandragola. Una peculiarità delle Solanaceae è la loro diffusione in ecosistemi molto differenziati. La sequenza del genoma ha fatto nuova luce sulle basi molecolari di questo adattamento. Si è infatti dimostrato che il genoma di pomodoro si è "triplicato" improvvisamente circa 60 milioni di anni fa, in un momento vicino alla grande estinzione di massa che ha portato alla scomparsa dei

dinosauri. Successivamente, la maggior parte dei geni triplicati sono stati persi, mentre alcuni di quelli superstiti si sono specializzati e oggi controllano caratteristiche importanti della pianta, comprese quelle della bacca, come il tempo di maturazione, la consistenza e la pigmentazione rossa. L'avvento dei marcatori molecolari ha consentito di definire la base genetica dei caratteri qualitativi e quantitativi (*QTL*), di stabilire le relazioni di sintonia tra i genomi, di verificare i meccanismi genetici che controllano l'eterosi in specie quali il mais. La selezione assistita con marcatori molecolari per caratteri qualitativi è una realtà ormai diffusa anche presso le grandi aziende sementiere private. Lo sviluppo di una nuova classe di marcatori molecolari (*Single Nucleotide Polymorphism - SNP*) consentirà di automatizzare ed estendere più di quanto sia stato fatto finora le applicazioni basate sui marcatori molecolari, ad esempio sviluppando approcci di *Whole Genome Association Mapping* (Tondelli et al. 2013). Studi volti all'analisi dell'espressione genica in condizioni di stress e basati su svariate tecnologie di screening hanno permesso l'isolamento di numerosi *stress-related genes*,



... Il genoma di pomodoro si è "triplicato"

improvvisamente circa 60 milioni di anni fa, in un momento vicino alla grande

estinzione di massa che ha portato alla scomparsa dei dinosauri.

Successivamente, la maggior parte dei geni triplicati sono stati persi, mentre alcuni di quelli superstiti si sono specializzati e oggi controllano caratteristiche importanti della pianta, comprese quelle della bacca, come il tempo di maturazione, la consistenza e la pigmentazione rossa....

coinvolti nei processi metabolici più complessi del ciclo vitale delle piante (sviluppo e crescita, resistenza al freddo, al caldo, alla siccità, alle malattie, maturazione dei frutti ecc. L'identificazione dei recettori dei segnali ambientali o ormonali, dei messaggeri secondari, dei fattori di trascrizione coinvolti nei processi cellulari complessi, nonché lo studio delle interazioni di questi elementi tra loro e con l'ambiente rappresenta la chiave per comprendere il funzionamento globale della cellula e quindi la base molecolare del fenotipo (Cattivelli 2008).

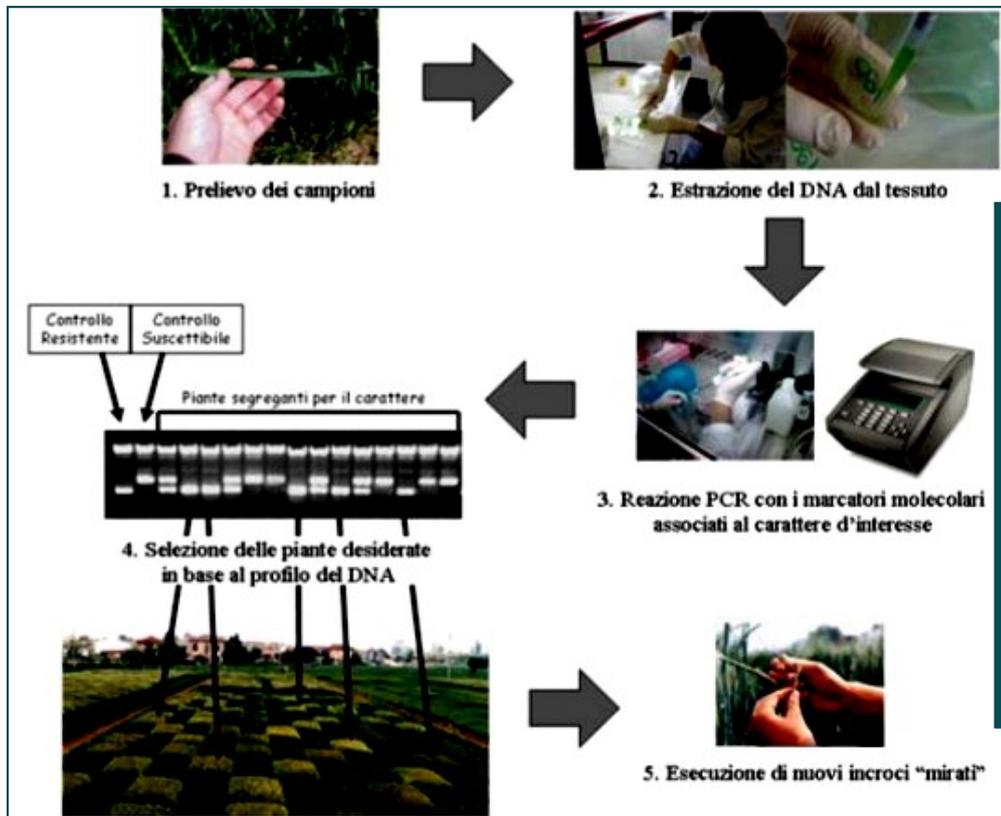
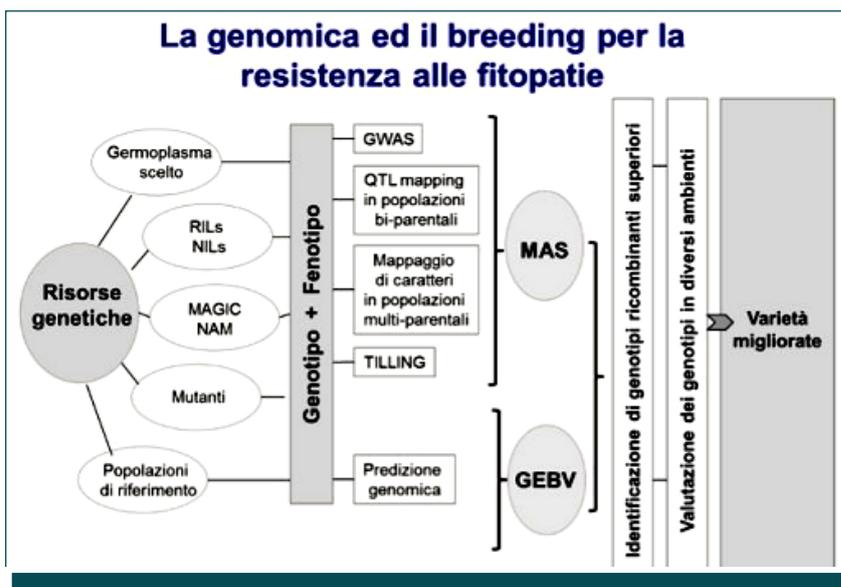


Fig. 5 - Flusso di lavoro in un programma di miglioramento genetico in cui la selezione per un carattere di resistenza ad una patologia viene assistita da marcatori molecolari. Cortesia di E. Francia e V. Terzi

L'analisi su larga scala del trascrittoma ha infatti evidenziato che centinaia di geni sono attivati o repressi in risposta agli stress. I diversi geni individuati, oltre ad avere un ruolo diretto nella protezione delle cellule dai danni causati da stress osmotico, sono coinvolti nell'attivazione di circuiti di regolazione che controllano l'intero network della risposta. I geni coinvolti sono, quindi, generalmente divisi in due categorie: geni funzionali, che includono geni implicati nella sintesi di molecole e proteine con ruolo protettivo di processi cellulari cruciali (proteine protettive, enzimi detossificanti, osmoliti compatibili ed altri), e geni regolatori, codificanti proteine regolatrici coinvolte nella percezione e trasduzione del segnale di stress (putativi recettori, calmoduline, calcium-binding proteins, fosfolipasi, chinasi e fosfatasi, fattori di trascrizione), che modulano l'espressione dei geni appartenenti alla prima categoria. I fattori di trascrizione sono considerati ottimi targets per rendere una pianta tollerante a stress. La vita della pianta, oltre gli stress abiotici, viene tormentata da attacchi anche massicci di parassiti vegetali ed animali. Durante la loro crescita le piante sono costantemente attaccate da patogeni che cercano di invaderle. Questi patogeni accedono all'interno dei tessuti vegetali della pianta tramite meccanismi di penetrazione attivi che forzano gli strati esterni e la parete cellulare, attuati da funghi e nematodi, o attraverso aperture naturali (stomi, idatodi, lenticelle) e ferite nel caso dei batteri, o veicolati da insetti e funghi e da operazioni meccaniche che causano ferite. I patogeni possono invadere tutti gli organi della pianta, dal seme in fase di germinazione fino alle radici, ai fusti, alle foglie e ai frutti. Per rispondere alla presenza di patogeni che cercano di invaderle, le piante non possiedono un sistema immunitario adattativo, come quello presente negli animali, ma hanno a disposizione meccanismi di resistenza basati su un sistema immunitario innato che consente di riconoscere e rispondere all'azione di patogeni specifici. La cosiddetta "immunità" delle piante dipende da eventi dotati di autonomia cellulare: una singola cellula che subisce un tentativo di invasione è, cioè, in grado di at-

tuare tutti i processi che portano a una risposta di resistenza. Alla base di questa serie cruciale di eventi è stato individuato un repertorio molecolare di riconoscimento molto esteso, ed è proprio grazie a quest'ultimo che gli organismi vegetali sono in grado di sopperire alla già menzionata mancanza di un sistema immunitario adattativo. A valle dei fenomeni di riconoscimento le piante infettate possono attivare geni che determinano la sintesi di un'ampia varietà di molecole, tra cui le fitoalessine, piccole molecole ad ampio spettro antimicrobico sintetizzate dalla pianta in tempi brevissimi, e le proteine PR (*pathogenesis related*), a più lenta azione, ma dotate di molteplici funzioni. Queste e altre molecole ancora, rientrano in meccanismi di notevole complessità, quali la risposta ipersensibile e la resistenza sistemica acquisita. Molti funghi e batteri che infettano le piante producono una grande quantità di enzimi che degradano la parete cellulare come, per esempio, le poligalatturonasi, le pectin metilesterasi, le endoglucanasi e le xilanasi. Le piante, a loro volta, hanno sviluppato una serie di risposte di difesa tra cui gli inibitori proteici di questi enzimi, come le PGIP (*polygalacturonase-inhibiting protein*), le PMEI (pectin methylesterase inhibitor), che inibiscono enzimi che degradano la pectina e gli inibitori delle xilanasi che inibiscono enzimi che degradano le emicellulose. Il coinvolgimento di questi inibitori nella risposta di difesa della pianta è stato dimostrato attraverso la produzione di piante transgeniche sovraesprimenti questi inibitori, sottoposte ad infezione con determinati patogeni. Quanto sin qui descritto indica che è possibile tracciare oggi strategie genetico-molecolari per l'identificazione e l'introggressione dei geni di resistenza nel germoplasma coltivato come un valido strumento per costituire nuove varietà resistenti e conseguentemente limitare le perdite produttive imputabili ai patogeni e l'uso di fitofarmaci in agricoltura, con indubbi vantaggi in termini economici e ambientali (Figura 6).



Partendo dalla variabilità genetica esistente in collezioni di germoplasma, mutanti e popolazioni genetiche, caratteristiche fenotipiche d'interesse possono venire associate a caratteristiche genotipiche per individuare marcatori molecolari che, attraverso **MAS** e **GEBV**, possono avere come output finale il rilascio di varietà più produttive e più resistenti agli stress biotici. Cortesia di V. Terzi .

Tuttavia, l'efficacia della resistenza della pianta è sovente limitata nel tempo perché alcuni ceppi patogeni evolvono la capacità di superarla: si tratta di geni resistenza razza-specifica che agiscono in tempo limitato. Da una parte, si sta percorrendo la strada della rincorsa verso la scoperta di nuovi alleli utili nel germoplasma anche selvatico, e dall'altra dell'introduzione della "*durable resistance*" come fonte di difesa che conferisce resistenza completa verso tutti gli isolati del patogeno o mediante introggressione di geni multipli derivanti da diversi germoplasmi attraverso il "*gene pyramiding*" e la selezione di rari ricombinanti tra geni di resistenza strettamente associati (Stanca et al. 2014). Uno degli aspetti di particolare considerazione riguarda la genomica per la qualità e sicurezza alimentare. La qualità delle produzioni agroalimentari rappresenta un concetto particolarmente complesso, coinvolgendo le esigenze spesso differenti dei diversi attori delle filiere, quali i produttori, gli stoccatore, i trasformatori ed infine i consumatori. Innumerevoli sono gli esempi di applicazioni biotecnologiche al miglioramento della qualità in piante

Speciale Genetica Agraria

agrarie, così come ampie sono le prospettive delle biotecnologie applicate alle richieste mutevoli del settore (AA.VV. 2014). Tutto ciò però deve essere dimostrato in qualsiasi tappa della filiera e pertanto il processo necessita di disporre di strumenti inequivocabili di tracciabilità. Con il termine tracciabilità molecolare vengono indicate metodiche genomiche, proteomiche e metabolomiche capaci di dare indicazioni su diverse caratteristiche di una produzione agraria o di un prodotto agroalimentare, quali sicurezza e qualità, origine geografica, valore nutrizionale, autenticità. Il *fingerprinting* molecolare è applicabile a tutti i livelli delle filiere di produzione agroalimentari, partendo dalla caratterizzazione della diversità genetica fino ad arrivare alla tracciabilità delle materie prime nelle fasi di trasformazione, confezionamento e distribuzione degli agro derivati. È perciò oggi possibile utilizzare tecniche di per verificare la presenza in un prodotto finito di specie vegetali potenzialmente allergeniche, ma anche verificare la composizione di una pasta alimentare sia in termini di specie cerealicole presenti, che in termini di varietà. A questo si aggiunge l'importanza di avere a disposizione anche approcci proteomici per la diagnostica di proteine ed enzimi responsabili di caratteristiche desiderabili o, al contrario, indesiderabili. Alla selezione assistita con marcatori molecolari si affianca la tecnologia della trasformazione genetica. I nuovi indirizzi biotecnologici sono rivolti a produrre piante geneticamente modificate prelevando geni da piante filogeneticamente affini -Piante Cisgeniche- oppure da piante filogeneticamente lontane -Piante Transgeniche- (Clive James, ISAAA – *International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications*, www.isaaa.org). I benefici attesi dall'impiego delle Piante Geneticamente Modificate in agricoltura sono stati ampiamente discussi in pubblicazioni internazionali e nazionali nonché con interventi sul sito di società scientifiche come la Società Italiana di Genetica Agraria (www.siga.unina.it/gmo_01.html) o la Società Americana di Biologia Vegetale (<http://tinyurl.com/pfanvcq>). Tra i benefici, sono stati segnalati: il minor consumo di pesticidi chimici, l'incremento percentuale di specifici nutrienti, la maggiore produttività e quindi un minor sfruttamento delle risorse naturali, la possibilità di utilizzare le piante come fabbriche naturali di sostanze industriali o farmaceutiche, individuando così nuovi orizzonti per la produzione agricola, la possibilità di cambiare in maniera mirata e più velocemente, rispetto al tradizionale incrocio, pochi caratteri deficitari in una varietà altrimenti buona, la possibilità di eliminare potenziali allergeni nelle colture, la possibilità di monitorare il livello d'inquinamento nel suolo e di ridurlo rimuovendo i composti inquinanti.

La conoscenza dei meccanismi che regolano l'architettura della pianta, molto spesso mediata da un controllo ormonale, sono fondamentali per i nuovi ideotipi di pianta per il futuro. In genere gli studi sono stati rivolti principalmente a fisiologia, metabolismo e genetica della parte aerea delle piante. Oggi tuttavia una maggiore attenzione viene rivolta alle radici, per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua (*WUE*), dell'azoto (*NUE*), del fosforo (*PUÉ*), alla resistenza al freddo (*cor genes*), alle proprietà fisico-chimiche e biologiche del suolo e al loro impatto sulla resistenza alle malattie, in modo da disegnare un moderno sistema integrato (*IPM: Integrated Pest Management*) per mettere i nuovi genotipi di pianta nella migliore condizione di crescita. Sono in atto in "Open Field" i primi esperimenti di simulazione dell'incremento della CO₂ nell'atmosfera, che passerà dalle 400 ppm (parti per milione in volume) attuali a 600 ppm nel 2050 per verificare l'effetto sulla fotosintesi e qualità dei prodotti. Sulla base di tutto ciò è stata disegnata una nuova pianta di frumento tenero capace di raggiungere una potenzialità produttiva di 20 t/ha nel 2020 partendo dalle attuali 14 t/ha. Non trascurabile è anche il tema che vede il sistema produttivo agrario non più basato sul trinomio Pianta-Atmosfera-Suolo ma piuttosto sul quadriminomio Pianta-Atmosfera-Suolo-Microrganismi che vivono intorno o dentro le radici. Questa nuova visione ha stimolato la nascita di network per monitorare l'evoluzione del metagenoma al variare dei diversi sistemi colturali e degli ambienti, e come questo possa influenzare la vita delle specie agrarie e selvatiche. Si ipotizza già che la performance di specie di piante e di genotipi entro specie dipenderà anche dagli inoculi microbici, specifici per l'esaltazione di determinati caratteri, che interagiscono con gli elementi fisico-biochimici del suolo e con il microbioma naturale in specifiche condizioni (Schlaeppli and Bulgarelli 2015).

Le nuove sfide della moderna agricoltura per alimentare il mondo si baseranno sempre più sulla scienza e l'innovazione tecnologica, in particolare quella derivata dalle discipline "omiche", e sulla velocità con cui queste nuove tecniche raggiungeranno l'azienda agraria.

Bibliografia

- AA.VV. 2014. *La seconda rivoluzione verde*. Le Scienze. pp 143
- Barcaccia G., Lorenzetti S., Falcinelli M. 2006. *Sull'eterosi nelle piante: dall'ipotesi genetica di Jones all'era genomica* -UNIPG- 1-89
- Cattivelli L.; Rizza F.; Badeck, F.; Mazzucotelli E.; Mastrangelo A.M.; Francia E.; Marè C.; Tondelli A.; Stanca A.M. 2008. *Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics*. *Field Crops Res.* 105: 1-2 1-14
- Cavalli Sforza L. e F. 2005. *Perché la scienza. L'avventura di un ricercatore*. Oscar Saggi Mondadori, pp 393
- Colaiacono M. 2014. *Il genoma del grano*. Le Scienze 554: 44-47
- Garcia Olmedo F. 2000. *La terza rivoluzione verde*. Il Sole 24 Ore. Pp 178
- Mayer KFX, J. Rogers, J. Doležal, C. Pozniak, K. Eversole, C. Feuillet, B. Gill, M. Colaiacono, P. Faccioli, A.M. Stanca. L. Cattivelli, et al. 2014. *A chromosome-based draft sequence of the hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) genome*. *Science* 345 (6194), 1251788, 2014
- Morcia C., Rattotti E., Stanca A.M., Tumino G., Rossi V., Ravaglia S., Germeier C., Herrmann M., Polisenska I., Terzi V. 2013. *Fusarium genetic traceability: Role for mycotoxin control in small grain cereals agro-food chains*. *Journal of Cereal Science*, 57: 175-182
- Schlaeppli K., D. Bulgarelli. 2015. *The Plant Microbiome at work*. MPMI (in press)
- Sreenivasulu N., T. Schnurbusch. 2012. *A genetic playground for enhancing grain number in cereals*. *Trends in Plant Science* 17(2): 91-100
- Stanca A.M., A. Marocco, N. Pecchioni, G. Valè, M. Odoardi, P. Faccioli, L. Cattivelli, V. Terzi. -2014- *Genetica Vegetale*, in GENETICA, ed S. Pimpinelli. Casa Editrice Ambrosiana Milano p 155-221
- Stanca A.M., A. Gianinetti, F. Rizza, V. Terzi (in Press) *Barley: An Overview of a Versatile Cereal Grain with Many Food and Feed Uses*. *Encyclopedia of Food Grains* – Elsevier. DOI10.1016/B978-0-12-394437-5.00021-8
- Terzi V., G. Tumino. *Genomica a supporto della difesa* (submitted)
- Tondelli A. et al. 2013. *Structural and temporal variation in genetic diversity of European Spring two-row barley cultivars and association mapping of quantitative traits*. *The Plant Genome* 6: 1-14
- Vitolo Nicola; Hana Simková; Giorgio Valle; Alessandro Albiero; Paolo Bagnaresi; Davide Campagna; Luigi Cattivelli; Moreno Colaiacono; Francesca Dal Pero; Jaroslav Doležal; Primetta Faccioli; Paolo Facella; Claudio Forcato; Giulio Gianese; Giovanni Giuliano; Marie Kubaláková; Antonella Lamontanara; Loredana Lopez; Gaetano Perrotta; Marco Pietrella; Antonio Michele Stanca. 2011. *First survey of the wheat chromosome 5A composition through a next generation sequencing approach*. *PloS one* 6(10):e26421
- Westengen O.T. et al. 2013. *Global ex-situ crop diversity conservation and the Svalbard Global Seed Vault: assessing the current status*. *PloS one* 8(5): e64148
- Wolters P.J. et al. 2013. *Evidence for regulation of columnar habit in apple by a putative 2OG-Fe(II) oxygenase*. *New Phytol.* 200: 993-999.

L'intervento del convegno: "La Terra. Lascito dei genitori o prestito dei figli? Le contraddizioni del processo di evoluzione e trasformazione dell'agricoltura italiana." Biblioteca-Archivio "Emilio Sereni"- Istituto "Alcide Cervi".

A cura di Alessandro Cantarelli .

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



*Alessandro Cantarelli,
Alberto Guidorzi, Francesco Marino*



A. MICHELE STANCA

IN MEMORIA DI UN GRANDE UOMO DI SCIENZA

Giovedì 19 marzo, giornata che la Chiesa Cattolica dedica alla solennità di S. Giuseppe, quel terribile flagello rappresentato da un coronavirus, che in queste settimane si sta manifestando sul mondo intero e con particolare violenza nel nostro Paese, la cui furia devastatrice sta procurando una scia interminabile di lutti, dopo circa un mese di ricovero ospedaliero non ha risparmiato il professor Antonio Michele Stanca.

Scriviamo queste brevi note con il sentimento di chi perde oltre che una Guida autorevole anche un amico.

Genetista di fama internazionale, in quanto autore di oltre 400 pubblicazioni su riviste di settore nazionali ed internazionali, nonché autore di libri, Vice Presidente dell'Accademia dei Georgofili di Firenze, ma anche Presidente dell'Unione Italiana delle Accademie per le Scienze Applicate allo Sviluppo dell'Agricoltura, alla Sicurezza Alimentare e alla Tutela Ambientale (UNASA), President of Union of European Academies for Science Applied to Agriculture, Food and Nature (UEAA), oltre che Socio Emerito della Società Italiana di Genetica Agraria e Presidente Emerito dell'Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie (AISSA). Oltre ad altri importanti e prestigiosi incarichi.

Il Suo fiore all'occhiello era rappresentato da quel Centro di ricerca per la genomica e la postgenomica animale e vegetale di Fiorenzuola d'Arda, in provincia di Piacenza (ora afferente al CREA, in origine ex sede periferica dell'Istituto per la Cerealcoltura con sede a Roma), dove Egli, arrivato dal suo amato Salento nel 1972, aveva diretto con passione fino al 2006, per passare il testimone ad un Suo allievo, il dott. Luigi Cattivelli l'attuale direttore.

Tra gli scriventi vi è chi ha memoria di quegli anni, quando presso la stazione del podere "Cere" (come viene ancora chiamata in gergo dai fiorenzuolani e dagli stessi ricercatori l'attuale Centro posto a poca distanza), il podere ospitava ancora la stalla sperimentale ed il giovane Antonio Michele si applicava con solerzia al lavoro di sperimentatore, con particolare attenzione al miglioramento genetico dell'orzo, secondo le indicazioni dell'allora direttore dell'Istituto per la Cerealcoltura di Roma prof. Angelo Bianchi.

Il dott. Stanca riuscì a creare con grande tenacia, determinazione e lungimiranza un Centro di ricerca internazionale da quella che era, solo nei primi anni settanta del secolo scorso, una riconosciuta ma periferica stazione sperimentale.

Questo Centro rappresenta attualmente, a tutti gli effetti, un riferimento d'eccellenza della scienza e dell'agricoltura nazionali, le cui ricerche trovano riscontro nelle pubblicazioni sulle principali riviste internazionali, come abbiamo avuto modo di darne notizia anche su queste pagine.

Agrarian Sciences

Il "metodo Stanca", costituito da un decalogo di insegnamenti che sarebbe opportuno venissero sempre tenuti ben presenti, poggiava sull'umanità nei rapporti tra le persone, ma anche tra persone ed istituzioni; quindi un ottimismo incrollabile unito alla fermezza negli obiettivi. Per arrivare alla libertà di ricerca, ma anche alla generosità ed ospitalità scientifica (a testimonianza di questo, i tantissimi stagisti accolti nel Centro di Fiorenzuola da tutto il mondo).

Alcuni anni fa il quotidiano di Piacenza Libertà, gli aveva dedicato un'intera pagina in occasione dei suoi 71 anni. Tra gli aneddoti riportati, i modi simpatici con cui era stato appellato per la sua eleganza di modi e d'aspetto, per l'appunto quello di "*signore*", ma anche l'altro di "*ciclone*" per la sua mente esplosiva e la sua capacità di creare occasioni di apertura del Centro alla gente comune.

Agrarian Sciences in questi anni ha avuto l'onore di ospitare alcuni Suoi interventi scritti ed audio (come quello sulla *fish berry*, sempre piacevole ed istruttivo da ascoltare), che sono sempre a disposizione dei lettori (si possono ricercare nella finestra "cerca", digitando "Stanca"), ma per rendere ulteriormente omaggio alla Sua figura, segnaliamo all'attenzione dei lettori l'intervista-video sulla testata Agricoltura.it –il giornale dell'agricoltura italiana-, dall'eloquente titolo "*La ricerca in agricoltura non si può fermare*".

In chi abbia avuto la fortuna di conoscerlo di persona, rimane il ricordo di uno studioso rigoroso ma al contempo persona schietta, che a tratti poteva apparire anche ruvida, ma che sapeva fare scattare nell'interlocutore la molla dell'interesse verso la materia e la scienza. Senza mai mettere in soggezione chi si rivolgeva a Lui, sì proprio Egli che aveva accettato incarichi ed avuto riconoscimenti prestigiosi, anzi era proprio questa una delle Sue riconosciute caratteristiche: era infatti di una rara generosità che si traduceva sia nella trasmissione del proprio sapere, della propria esperienza ai più giovani ricercatori, sia nel buttarsi con passione e letteralmente a capofitto, nell'organizzazione di tutti gli eventi che riguardassero la corretta divulgazione scientifica: in questa attività costantemente supportato dalla moglie prof.ssa Miriam Odoardi a sua volta una carriera di dirigente presso l'Istituto per le colture foraggere di Lodi.

Così come in tanti possono testimoniare che non si è mai tirato indietro per sostenere i propri punti vista, in tutte le sedi.

Con la passione e lo slancio di un "eternamente giovane", perché persone come Lui ci insegnano che non è tanto l'anagrafe a segnare il tempo, ma come questo tempo lo si intenda "dentro", ed un bravo agronomo e genetista quale Egli era, deve sempre "stupirsi" della vita e della biologia con le sue leggi, sempre in continuo... divenire. Dopo un colloquio con il prof. Stanca si tornava sempre arricchiti, come giustamente hanno osservato in tanti in queste ore.

Maestri come Lui ed il prof. Lorenzoni, entrambi allievi del prof. Angelo Bianchi hanno insegnato a generazioni di agronomi e genetisti che la Scienza nella propria accezione generale, così come la Genetica e le derivate scienze "omiche", sono discipline complesse che non si prestano a semplificazioni di sorta, come purtroppo in questi ultimi lustri una moda corrente ed antiscientifica vorrebbe dannosamente relegarle. Ci continueremo a battere su queste pagine per l'affermazione e la difesa del metodo scientifico, nel solco di questi preziosi insegnamenti.



Antonio Michele Stanca con in mano alcune spighe e mutanti di orzo, mentre spiega le leggi della genetica ad alcuni studenti. Scatto realizzato presso le parcelle sperimentali di cereali del Crea di Fiorenzuola, in occasione del "*Fashionation of plants day*" del 13 maggio 2017. Il Prof. Stanca era stato anche docente universitario presso diverse Università nazionali ed estere; ultimamente era stato docente di genetica presso l'Università di Modena e Reggio Emilia. Foto A. Cantarelli.

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Alberto Guidorzi



A. MICHELE STANCA

IN MEMORIA DI UN GRANDE UOMO DI SCIENZA

Dopo il mio stage in Francia presso la Florimond Desprez dal 1966 al 1968, avrei dovuto rimanere nel Nord francese a cercare di fare il miglioratore vegetale. Situazioni famigliari e il venir meno per la F. Desprez della rappresentanza in Italia, mi hanno, invece, portato ad accettare di divenirne io il rappresentante generale in Italia. A quel tempo erano solo le varietà di barbabietola da zucchero che potevano essere trasferite dalla Francia all'Italia, per il grano tenero era impossibile in quanto le varietà francesi avevano un ciclo troppo lungo anche per gli areali italiani a Nord del Po. Era in parte così anche per gli orzi, ma il ciclo di questa specie era naturalmente più precoce dei frumenti teneri e quindi permetteva, facendo uno screening appropriato, di intravedere delle possibilità di introdurre materiale più adattabile.

Infatti una nostra varietà di orzo sperimentata presso la società Sisforaggera di Bologna, che era un'emanazione della Federconsorzi, aveva dato ottimi risultati. La varietà si chiamava ARMA ed era un orzo esastico. Subito la società bolognese se ne accaparrò l'esclusiva di vendita e di moltiplicazione. Tuttavia esisteva anche altro materiale genetico che poteva essere convenientemente testato per le condizioni italiane e fu allora che mi recai a Fiorenzuola d'Arda e conobbi Michele Stanca. Gli spiegai il mio progetto che consisteva nel cercare introdurre nelle piattaforme sperimentali varietali di enti pubblici e società private che agivano nell'ambito sementiero, delle varietà di orzo distico ed esastico proveniente da vari paesi (io potevo procurare il materiale francese evidentemente). Lo scopo era quello di verificare l'adattabilità ai climi italiani e l'interesse agronomico quantitativo per gli areali nostrani di questi materiali ed al limite usarli come parentali. Dalle risultanze potevano venire proposte nuove da segnalare, per quanto riguardava gli enti pubblici, o da proporre alle società private sotto forma di esclusiva di vendita o, dal confronto, dare impulso alla creazione varietale italiana.

Il risultato fu che l'unico ente pubblico che accettò di includere il materiale francese nelle prove parcellari del proprio autonomo lavoro di breeding fu la Stazione di cerealicoltura di Fiorenzuola d'Arda. Guarda caso questo lavoro di apertura permise alla stazione ed a Michele Stanca di portare a termine programmi di creazione varietale, di cui un esempio fu la creazione da parte della stazione della varietà di successo ARDA, un orzo distico. Per quanto riguarda invece le società private potei collaborare con le più importanti ditte sementiere dell'epoca: Sisforaggera, Produttori sementi di Bologna e APSOV di Voghera con le quali la collaborazione sfociò in vari contratti di esclusiva di vendita. Ciò mi permise anche di conoscere da vicino le varie realtà sementiere private italiane.

E' da questo primo contatto che con Michele si stabilì un rapporto di amicizia vero e di reciproca stima, ciò ci permise, durante gli incontri nei vari congressi e manifestazioni, di scambiare impressioni sugli impieghi della genetica a livello di creazione varietale in Italia. Ci trovammo subito d'accordo che senza una ricerca genetica di

Speciale Genetica Agraria

base fatta dagli enti pubblici e senza che questa fosse poi finalizzata dalle società private, la nostra agricoltura sarebbe sempre stata a rimorchio della costituzione estera, con tutte le conseguenze che ne sarebbero derivate. Ricordo che quando gli spiegai il programma "grano duro" messo in atto dai francesi nel 1985 su iniziativa di Victor Desprez rimase estasiato e la sua amara considerazione fu: "ma perché queste cose non si fanno anche in Italia". Quando poi agli inizi del 2000 gli delineai il progetto "Aker2" sulla genomica della bietola da zucchero organizzato in Francia dalla Società Desprez unitamente a tutta la filiera pubblico-privata, vidi i suoi occhi luccicare, perché si trattava appunto del suo nuovo campo di studio.



Quella della divulgazione scientifica era una vera e propria missione di vita per il prof. Stanca. Qui lo vediamo impegnato assieme ad alcuni studenti presso le parcelle sperimentali di cereali del Crea di Fiorenzuola, in occasione del "*Fashionation of plants day*" del 13 maggio 2017. Foto A. Cantarelli.

Un altro argomento che discuteremo assieme fu quello di quando le multinazionali chimiche facevano incetta di ditte sementiere. Gli spiegai che era inevitabile visto che eravamo in presenza: - di massima indifferenza del potere politico circa la strategicità del mantenere una creazione varietale nazionale; - l'insopportabile aumento dei costi delle innovazioni da apportare al lavoro di costituzione varietale; - infine i prezzi che pagavano queste società della chimica erano di gran lunga superiori al valore obiettivo delle aziende oggetto di offerta d'acquisto. Tuttavia aggiunsi che non vi era di che preoccuparsi per noi italiani in quanto nessuna delle nostre società sementiere purtroppo era appetibile, anzi aggiunsi che in esse la creazione varietale autonoma si sarebbe esaurita per decrepitezza. Quando Syngenta comprò la Produttori Sementi di Bologna ed ebbi modo di incontrarlo mi disse: "avevi ragione, è la fine". La stessa cosa avvenne quando la filiera zucchero italiana si disarticolò e mi dette atto che l'avevo previsto 10 anni prima.

Ho la presunzione di credere che quando in tutte le conferenze Michele affermava che non si poteva far senza la genetica, questa sua convinzione fosse il frutto della sua conoscenze internazionali sulla ricerca genetica, dei suoi studi di scienziato e molto più modestamente dei nostri scambi di idee tra noi due durati più di 40 anni.

D'altra parte era lo stesso Dante ad ammonirci che "*Non sien le genti ancor troppo sicure a giudicar, sì come quei che stima le biade in campo pria che sien mature.*"



PUBBLICATO SU "NATURE GENETICS" IL GENOMA DEL FRUMENTO DURO

Luigi Cattivelli

Un passo fondamentale per sostenere il futuro della filiera nazionale del frumento duro e della pasta

Un consorzio internazionale ha pubblicato sulla rivista scientifica Nature Genetics la sequenza completa dei 14 cromosomi della varietà di frumento duro 'Svevo'.

Il genoma studiato contiene 66.000 geni e la sua analisi ha consentito di identificare decine di migliaia di marcatori molecolari che potranno essere utilizzati per la selezione di varietà migliorate. Un lavoro fondamentale, che costituirà un riferimento per tutta la futura attività di miglioramento genetico e per l'identificazione e la tutela delle diverse tipologie di frumento attraverso tecniche di tracciabilità molecolare.

Il frumento duro, la materia prima della pasta, icona del "Made in Italy" alimentare, è stato selezionato dall'uomo a partire dal farro alcune migliaia di anni fa in Mesopotamia, ma si è diffuso in Italia alla fine del dell'impero romano ed oggi viene coltivato in tutti i continenti. Nel bacino del Mediterraneo è la principale fonte di reddito per molti piccoli agricoltori nelle aree marginali dell'Africa settentrionale e del Medio Oriente, ma deve fare i conti con i preoccupanti cambiamenti climatici in atto e con una forte pressione demografica in grado di provocare tensioni sociali e flussi migratori. Solo una efficace azione di miglioramento genetico potrà consentire di selezionare varietà più produttive ed ecosostenibili in grado di garantire un reddito adeguato in regioni così a rischio.

Nel corso del lavoro, le conoscenze sul genoma sono state utilizzate per comprendere il processo evolutivo che ha portato dal farro selvatico (il progenitore del farro coltivato) al moderno frumento duro e per isolare un nuovo gene capace di limitare l'accumulo di cadmio nei semi, un chiaro esempio di come lo studio dei genomi consente la scoperta di fattori che aumentano ulteriormente la salubrità e la qualità del frumento duro e della pasta.

Lo studio è firmato da oltre 60 autori di 7 diversi paesi coordinati da Luigi Cattivelli del CREA insieme ad un team internazionale costituito da Curtis Pozniak dell'Università di Saskatchewan (Canada), Aldo Ceriotti e Luciano Milanese del CNR, Roberto Tuberosa dell'Università di Bologna e Klaus Mayer dell'Helmholtz Zentrum

München (Germania). Inoltre, tra le altre istituzioni partecipanti vi è un ulteriore contributo italiano rappresentato dall'Università di Bari.

"Il rilascio della sequenza del genoma apre prospettive totalmente nuove per la filiera del frumento duro", afferma Luigi Cattivelli, direttore del CREA Genomica e Bioinformatica, "consente di identificare geni di grande rilevanza pratica come quelli responsabili della resistenza alle malattie o dell'adattamento alle nuove condizioni climatiche e fornisce il background necessario per una tracciabilità molecolare avanzata di tutte le tipologie di frumento duro e farro."

"Con la sequenza del genoma abbiamo il panorama completo dei geni che codificano per le proteine del glutine in una importante varietà di frumento duro. Queste informazioni saranno utili per comprendere i fattori che determinano la qualità tecnologica e nutrizionale delle semole" sottolinea Aldo Ceriotti.

"La disponibilità della sequenza genomica facilita l'identificazione dei geni che regolano la risposta adattativa della pianta alla siccità e la capacità di assorbire acqua e fertilizzanti", precisa Roberto Tuberosa, "consentendo quindi l'utilizzazione della selezione assistita con marcatori per costituire in tempi brevi nuove cultivar più resilienti alle avversità climatiche e più ecocompatibili." Il lavoro ha beneficiato di diversi finanziamenti, tra cui un'importante contributo del progetto *Bandiera MIUR InterOmics*, coordinato da Luciano Milanese. Tutti i risultati delle annotazioni del genoma sono consultabili presso il sito <http://www.interomics.eu/durum-wheat-genome> e nella banca dati scientifica *GrainGenes*. Il lavoro pubblicato in *Nature Genetics* dal titolo "*Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets*" è disponibile a questo link: <http://dx.doi.org/10.1038/s41588-019-0381-3>.

SEQUENZIAMENTO DEL GENOMA DEL FRUMENTO DURO

A T G G C A
G T C C A T
T G C A G G T G T C
C G C C C T G C T C
C T C A A C C T C A T
C G C C T T C G G C
C T C G C C G T C G
C C G C C G A G C A
G C G C C G C A G C
A A G G C A A G C C
C T G C A C C C G C
A C G C C C A G A A
G C C C G C C T G A
T C T C G T G A G T C
G T G A C C G C C C
T G C T G A T C T A A
C T C A C G C G A A
A T G G G G C C T G
C G C A G G C C A C
G G T G A C G C C G

Pubblicazione

Il lavoro dedicato al sequenziamento del genoma del frumento duro è stato realizzato da più di 60 ricercatori appartenenti ad una quindicina di istituzioni scientifiche di sette diversi paesi. L'Italia ha partecipato con CREA (Centro GB e CI), CNR, Università di Bologna ed università di Bari; il lavoro è stato coordinato dal Crea Centro GB. La pubblicazione ha avuto luogo su *Nature Genetics*:

Maccaferri M, Harris NS, Twardziok SO, Pasam RK, Gundlach H, Spannagl M, Ormanbekova D, Lux T, Prade V, Milner S, Himmelbach A, Mascher M, Bagnaresi P, Faccioli P, Cozzi P, Lauria M, Lazzari B, Stella A, Manconi A, Gnocchi M, Moscatelli M, Avni R, Deek J, Biyiklioglu S, Frascaroli E, Corneti S, Salvi S, Sonnante G, Desiderio F, Marè C, Crosatti C, Mica E, Ozkan H, De Vita P, Marone D, Joukhadar R, Mazzucotelli E, Nigro D, Gadaleta A, Chao S, Faris J, Melo ATO, Pumphrey M, Pecchioni N, Milanese L, Wiebe K, Ens J, MacLachlan RP, Clarke JM, Sharpe AG, Koh K, Liang KYH, Taylor GJ, Knox R, Budak H, Mastrangelo AM, Xu SS, Stein N, Hale I, Distelfeld A, Hayden MJ, Tuberosa T, Walkowiak S, Mayer KFX, Ceriotti A, Pozniak CJ, Cattivelli L, 2019. *Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets*. *Nature Genetics*, 08/04/2019.

Principali risultati

Il lavoro ha realizzato il primo sequenziamento completo del genoma del frumento duro (*reference genome*) utilizzando la varietà Svevo.

- **Svevo (1996): CIMMYT line × Zenit**
- **High protein content and high yellow pigment**
- **Quality reference for Italian durum wheat 1996-2010**
- **Parent of many recent Italian durum wheat cultivars**



Sono stati ricostruiti i 12 cromosomi del grano duro per un totale di circa 10,5 miliardi di basi al cui interno sono stati identificati circa 66.000 geni. Il sequenziamento è stato condotto secondo le più avanzate tecnologie ed ha lo stesso livello qualitativo del genoma del frumento tenero pubblicato ad agosto 2019 su Science. Il genoma è stato poi integrato con un'infinità di annotazioni e dati: putativa funzione dei geni, centinaia di migliaia di marcatori molecolari, oltre 2000 loci descritti in letteratura per il loro ruolo nel determinare caratteri rilevanti (dalle resistenze alle malattie agli aspetti qualitativi), ecc.

Tutti i dati sono rilasciati e sono pubblicamente disponibili presso i seguenti siti:

<http://www.interomics.eu/durum-wheat-genome> (accesso con registrazione)

GrainGenes: https://wheat.pw.usda.gov/GG3/jbrowse_Durum_Svevo.

I dati del genoma sono stati poi utilizzati per una serie di applicazioni per dimostrare il valore scientifico e pratico dei risultati ottenuti.

Domesticazione e selezione del frumento duro

Il frumento duro moderno, come la varietà Svevo utilizzata per il sequenziamento, deriva dal farro selvatico attraverso un processo a 3 fasi:

1. la domesticazione del farro selvatico con la selezione delle forme di farro domestico (mezzaluna fertile circa 10.000 anni fa),
2. la selezione delle prime popolazioni locali di frumento duro a partire dalle popolazioni coltivate di farro a partire da circa 3-4.000 anni fa,
3. la selezione dei moderni frumenti duri come conseguenza del lavoro di miglioramento genetico (ultimi 100 anni circa).



Wild emmer (*T. turgidum* subsp. *dicoccoides*) is the progenitor of all tetraploid wheats.

1

Cultivated emmer wheat (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccum*) was domesticated from wild emmer in the Near-Eastern Fertile Crescent ~10,000 years BP, via selection of plants carrying mutations on the two genes conferring the non-brittle rachis phenotype.

2

Durum wheat (*T. turgidum* L. subsp. *durum*) landraces subsequently evolved from cultivated emmer through a process of selection for free-threshing naked forms. The first durum wheat dates ~6,500–7,500 years BP, but durum became established as a prominent crop only ~1,500–2,000 years ago.

3

Plant breeding has selected cultivars first from landraces and then applying genetic knowledge (elite cultivars).

Questi passaggi hanno lasciato tracce sul genoma dei moderni frumenti, tracce che sono state identificate una ad una sfruttando la nuova sequenza del genoma. Questo lavoro ha consentito di:

- definire esattamente la storia evolutiva dei frumenti duri;
- dimostrare come la perdita di diversità genetica inevitabilmente associata alla domesticazione ed alla selezione genetica esiste ma è confinata in specifici tratti del genoma e solo circa il 50% del genoma è stato oggetto di significative perdite di diversità;
- identificare le regioni genomiche che spiegano le differenze tra un farro ed un frumento duro, oppure tra un frumento duro moderno ed una popolazione locale.

Identificazione del gene che controlla l'accumulo di cadmio nel seme

Al contrario del frumento tenero, il duro quando cresciuto su terreni ricchi in cadmio, accumula cadmio nei semi e considerato che il cadmio è un metallo pesante tossico per la salute, questa caratteristica costituisce un potenziale rischio. Va detto che in Italia non sono noti terreni ricchi in cadmio, tuttavia in altre regioni del mondo dove il duro è una importante coltura questo problema è molto sentito.

Utilizzando le conoscenze del genoma è stato possibile isolare in brevissimo tempo il gene responsabile per l'accumulo di cadmio e da oggi in poi sarà possibile selezionare piante che escludono il cadmio dai loro semi. In breve.

Il gene per l'accumulo di cadmio non esiste nei farri selvatici, i progenitori del frumento duro;

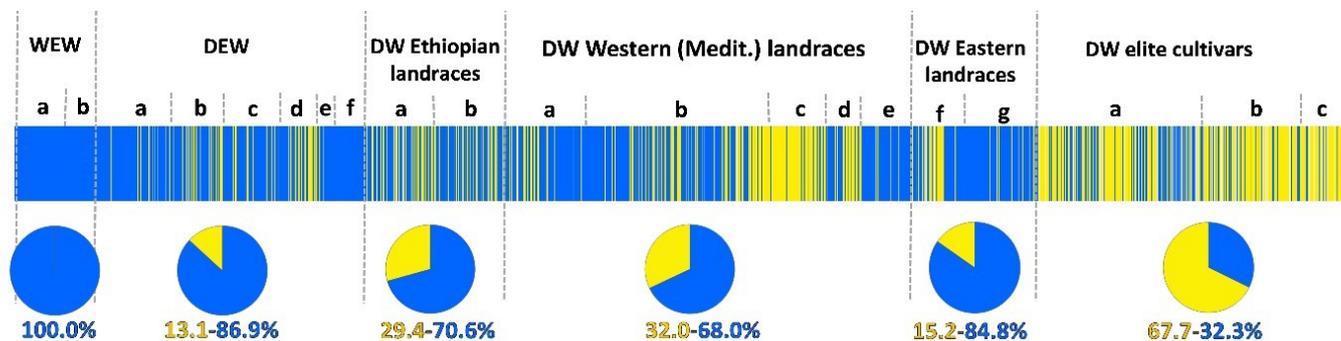
Il carattere si origina a seguito di una mutazione (un'inserzione di 17bp) che distrugge un trasportatore di cadmio e zinco che ha il compito di accumulare questi metalli nei vacuoli delle cellule delle radici, in assenza di questo trasportatore il cadmio diffonde nell'intera pianta ed anche nelle cariossidi;

La mutazione si è generata nei farri domestici ed è stata inconsapevolmente selezionata dall'uomo particolar-

Agrarian Sciences

mente nelle regioni del nord Africa dove la maggior parte delle popolazioni locali di farro e di duro presentano il carattere alto cadmio, probabilmente associato ad una migliore capacità produttiva in terreni poveri di zinco. Considerato che i principali capostipiti dei programmi di breeding moderno derivano da popolazioni locali di origine africana (es Cappelli) è comprensibile come la maggior parte dei duri moderni sia ad alto cadmio.

Il lavoro fornisce il marcatore esatto per la selezione di linee a basso cadmio



Frequenza degli alleli che definiscono l'accumulo di cadmio nel seme (blu basso cadmio; giallo alto cadmio) nei frumenti tetraploidi: farri selvatici (*WEW*), farri coltivati (*DEW*), landraces ed elite cultivar di frumento duro (*DW*); sono stati verificati in totale 1850 accessioni.

Ricadute pratiche

Il rilascio del genoma apre prospettive totalmente nuove per il miglioramento genetico del frumento duro e per la filiera duro-pasta in generale, alcuni esempi:

- consente di definire in modo scientifico la differenza tra le diverse "tipologie" di grani tetraploidi (farri, "kamut", popolazioni locali, grani duri antichi e moderni) e di sfruttare queste conoscenze per tracciare e migliorare ciascuna tipologia di prodotto;
- consente di isolare geni di grande interesse pratico così come è stato fatto per il gene del cadmio, ad esempio geni per la resistenza alle malattie o l'adattamento a cambiamenti climatici, i geni per le intolleranze alimentari, ecc;
- consente di ampliare di molto le attuali potenzialità di marker assisted selection e genomic selection per numerosissimi caratteri: contenuto di cadmio nel seme, resistenze a malattie, aspetti legati alla qualità, adattamento ai cambiamenti climatici, ecc;
- consente di fare genome editing e, anche qualora le piante editate non venissero autorizzate alla coltivazione, fare genome editing permette di comprendere le funzioni dei geni e le stesse mutazioni potranno essere riprodotte con metodi consentiti dalla legislazione.

Prospettive

Il lavoro di sequenziamento del genoma di frumento duro è una tipica ricerca di base, con infinite possibilità applicative a patto che le applicazioni siano perseguite in modo coordinato e supportate finanziariamente.

Lavori di clonaggio dei geni responsabili di specifici caratteri, programmi di marker assisted selection o di genomic selection, introgressione di nuovi caratteri da forme selvatiche a varietà moderne sono solo alcuni esempi di lavori ad alto valore applicativo che si avvalgono delle conoscenze del genoma. Altri paesi si stanno già muo-

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

Speciale Genetica Agraria

vendo in questa direzione, se l'Italia non farà nulla tutto il know-how che è stato sviluppato sarà sfruttato da altri.



Mietitrebbiatura
del grano duro ,
coltura
mediterranea per
eccellenza,
nell'agro di Volterra
(sullo sfondo), in
provincia di Pisa.
Foto: A. Cantarelli

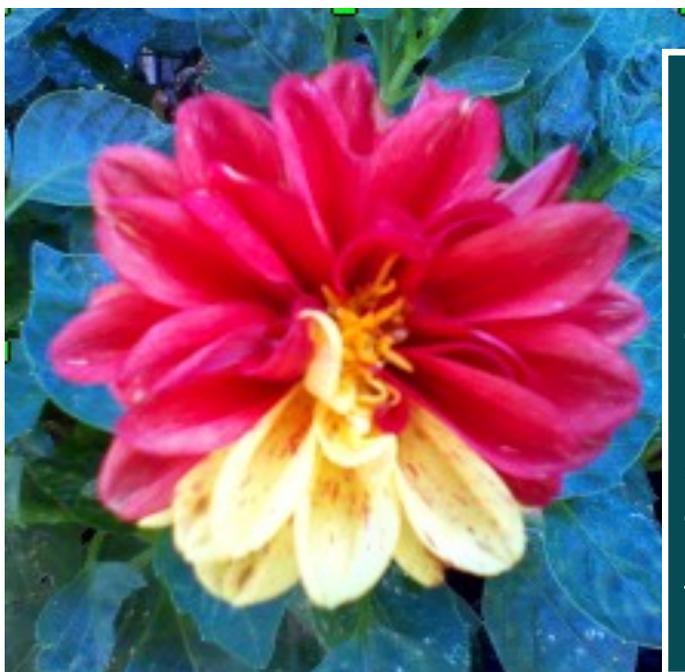
Allo stesso modo qualunque ricerca di base apre nuove prospettive di ricerca, nel caso del frumento duro la prossima frontiera della ricerca genomica è rappresentato dai lavori di risequenziamento e dallo studio del pool genico della specie (tutti i geni della specie che sono molti di più di tutti i geni che sono stati trovati in Svevo). Il lavoro sul genoma di Svevo ha dato alla ricerca Italiana la leadership mondiale in questo settore in un clima di condivisione e collaborazione internazionale. La ricerca di base definisce la leadership scientifica ed una posizione di leadership ha un ritorno di immagine, ma, soprattutto, consente di gestire l'innovazione con un chiaro vantaggio di posizione. Se il Paese vuole mantenere questa condizione deve farsi carico di idonei investimenti.

SULLE SPALLE DEI GIGANTI



Sergio Salvi

UNA FACCENDA DI TRASPOSONI: BENEDETTO, NAZARENO E *DAHLIA VARIABILIS*



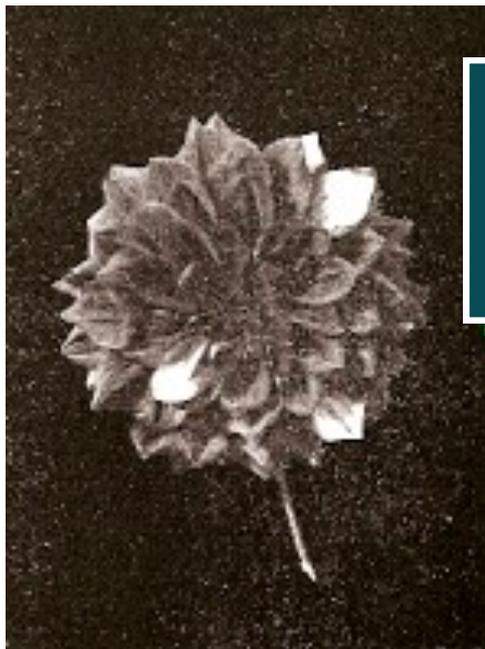
“ Scherzi” di pigmentazione manifestati dalle infiorescenze di dalia erano stati provocati dall'azione dei trasposoni, elementi mobili del genoma la cui esistenza fu dedotta per la prima volta dalla genetista statunitense Barbara McClintock (1902-1992) grazie agli studi sul mais intrapresi a partire dalla metà degli anni '40...

Attività trasposonica in *Dahlia variabilis*.
Foto: S. Salvi.

Nel 1939, in un'intervista rilasciata da Nazareno Strampelli a Silvio Negro, giornalista de "La Lettura - Rivista mensile del Corriere della Sera", il genetista maceratese accenna ad esperimenti d'ibridazione sui garofani compiuti nei primi anni della sua intensa attività di ricerca svolta a Rieti che, come ormai sappiamo, riguardò non solo il frumento ma moltissime altre specie.

Questa dei garofani è una delle tante faccende strampelliane rimaste in sospeso, poiché di prove documentali a suo favore, al momento, non ne abbiamo trovate.

C'è però un curioso link tra gli interessi floreali dichiarati dal genetista e le osservazioni compiute, stavolta sulle dalie, da suo figlio Benedetto (1904-1987), il quale nel 1922, appena diciottenne, fu autore di una brevissima nota dal titolo "*Un nuovo caso di disgiunzione pigmentale in una infiorescenza di Dahlia variabilis*". La nota fu pubblicata nientemeno che negli Annali di Botanica diretti da Pietro Romualdo Pirota (1853-1936), botanico pavese famoso per aver scoperto la presenza in Italia della peronospora della vite (*Plasmopara viticola*) e per i suoi studi di biologia e genetica fiorale.



Infiorescenza di dalia a fiori rosso scarlatti portante alcuni fiori con linguetta bianca. Foto Strampelli B., 1922 .

Nella nota, il giovane Benedetto descrive le osservazioni effettuate nel 1919 su di una infiorescenza di dalia a fiori rosso scarlatti portante alcuni fiori con linguetta bianca.

Prelevati e piantati i tuberi nella primavera successiva, Benedetto ottenne "...due piante con tutte le infiorescenze completamente rosse, una pianta con infiorescenze rosse aventi qualche fiore bianco come l'infiorescenza notata nel 1919, ed infine due piante nelle quali alcuni rami portavano infiorescenze con tutti i fiori bianchi, aventi

però ciascuno una zona della base della linguetta, colorata in rosso, leggermente più marcato nei fiori centrali...".

Il giovane Strampelli chiude la sua breve nota dichiarando di voler "...proseguire nella propagazione per tuberi ed anche per talee, onde fissare la nuova varietà bianco-rosso apparsa...", ed anche "...di seguire la semina degli acheni ottenuti nelle infiorescenze protette per impedire la fecondazione incrociata...".

Ovviamente, né Benedetto né il padre Nazareno potevano immaginare che quegli "scherzi" di pigmentazione manifestati dalle infiorescenze di dalia erano stati provocati dall'azione dei trasposoni, elementi mobili del genoma la cui esistenza fu dedotta per la prima volta dalla genetista statunitense Barbara McClintock (1902-1992) grazie agli studi sul mais intrapresi a partire dalla metà degli anni '40 presso il leggendario *Cold Spring Harbor Laboratory*.

Alcune considerazioni: nel biennio 1919-1920, periodo in cui effettuò le sue osservazioni, Benedetto Strampelli era uno studente liceale che già manifestava evidenti atteggiamenti emulativi della figura paterna. La sua nota, di appena quaranta righe e corredata di due fotografie, lascia immaginare che dietro alla sottomissione ad una rivista autorevole come gli *Annali di Botanica* possa esservi stato lo zampino di Nazareno il quale, forse nel tentativo d'incoraggiare il suo unico figlio maschio a ripercorrere le proprie orme, trovò il modo di garantirgli visibilità su di una rivista specialistica. L'operazione - se di operazione si trattò - evidentemente non sortì gli effetti sperati, visto che il giovane Benedetto non proseguì oltre nelle sue ricerche botaniche ma scelse di seguire - peraltro con notevole successo - la carriera medica, affermandosi come brillante oftalmologo.

Insomma, il "trasposone" della genetica vegetale saltò per un attimo da Nazareno a Benedetto, per poi tornare, subito dopo, da dove era venuto.

Bibliografia

Negro S., 1939. *Nazareno Strampelli inventore di grani*, La Lettura - Rivista mensile del Corriere della sera, n. 9, pp. 814-821.

Salvi S., 2012. *Nazareno Strampelli (1866-1942): un grande fervore di ricerca*, Naturalmente, vol. 25, n. 4, pp. 27-31.

Strampelli B., 1922. *Un nuovo caso di disgiunzione pigmentale in una infiorescenza di *Dahlia variabilis**, *Annali*



VERSO COLTIVAZIONI A RISPARMIO IDRICO: UN APPROCCIO BIOTECNOLOGICO

Antonella Furini



Secondo le stime più attuali la popolazione mondiale raggiungerà i 9 miliardi nel 2050 e sarà necessario aumentare le produzioni agricole per fornire il cibo necessario a tutti gli abitanti del pianeta. Alcuni ricercatori hanno espresso perplessità circa la possibilità di soddisfare la domanda globale di cibo, altri, invece, hanno previsto che l'avanzamento scientifico-tecnologico e/o l'espansione delle terre coltivate porteranno incrementi produttivi sufficienti a soddisfare la domanda globale.

Nel secolo scorso, grazie ad uno sforzo di ricerca internazionale che ha dato origine alla *Rivoluzione Verde*, i programmi di miglioramento genetico hanno permesso di aumentare le rese dei cereali migliorando soprattutto l'indice di raccolta (peso secco dei semi/peso secco di tutta la parte epigea della pianta). L'adozione a livello mondiale delle varietà migliorate ha consentito di raddoppiare la produzione di cereali e di aumentare la sicurezza alimentare (*food security*). Il vertice mondiale sulla sicurezza alimentare (www.fao.org/wsfs/world-summit/en/) del 2009 ha però sottolineato la necessità di incrementare la produzione di cibo nei prossimi anni per soddisfare le necessità della popolazione mondiale in aumento. Un'analisi condotta recentemente sulla produttività dei principali cereali (frumento, riso e mais) indica tuttavia il raggiungimento di un "*yield plateau*" o addirittura una decelerazione del tasso di crescita della produttività (Grassini et al., 2013). Inoltre, i cambiamenti climatici avranno un impatto negativo sulle produzioni agricole, soprattutto per i sempre più frequenti periodi di siccità che colpiscono molte parti del mondo (Lobel et al., 2008).

Il deficit idrico rappresenta uno dei più importanti fattori limitanti la crescita delle piante e la produttività delle specie coltivate (Yoo et al., 2009). La ricerca scientifica, in particolare il sequenziamento dei genomi e le tecniche molecolari, offrono l'opportunità di ingegnerizzare le piante coltivate e renderle più tolleranti a periodi prolungati di siccità e a stress idrici in generale. È possibile, infatti, modificare l'espressione di una proteina di regolazione o indurre l'espressione di proteine che proteggono le membrane cellulari durante il periodo di stress idrico, o ancora produrre dei cambiamenti nel livello di alcuni ormoni che influiscono sulla capacità della pianta di superare lo stress. Pertanto, un approccio biotecnologico che preveda la caratterizzazione della funzione genica e dello studio di espressione del gene in specie modello può costituire il primo passo per l'integrazione del gene di interesse nella specie coltivata al fine di ottenere una varietà tollerante allo stress idrico pronta per la commercializzazione.

Un approccio di genomica funzionale nella specie modello *Arabidopsis thaliana* ha permesso di identificare un fattore di trascrizione della famiglia nuclear factor Y (NF-Y) in grado di conferire tolleranza alle condizioni di stress idrico (Riechmann et al., 2000). Lo stesso fattore sovraespresso in mais coordina la risposta della pianta allo stress idrico indicando una nuova strategia molecolare per aumentare la tolleranza alla siccità in mais.



Fig. 1 - Piante di mais in serra (a sinistra) e in pieno campo (a destra) tolleranti allo stress idrico (Nelson et al., 2007) .

La sovraespressione di un altro fattore di trascrizione appartenente alla famiglia *NAC* in riso ha dimostrato che è possibile indurre la resistenza sia alla siccità che allo stress salino. Rispetto alle piante *wild-type* le piante transgeniche mostravano una maggior responsività all'acido abscissico e perdite di acqua più ridotte a causa di una più rapida chiusura stomatica (Hu et al., 2006). Inoltre, nelle stesse piante transgeniche è stata osservata l'induzione di molti geni che rispondono allo stress idrico e salino: ciò conferma l'utilità di questo approccio per migliorare sia la resistenza alla siccità che all'eccesso di sali.

Un gruppo di ricercatori dell'Università di Davis in California, ha ipotizzato di poter aumentare la tolleranza alla siccità ritardando la senescenza indotta dallo stress idrico. Infatti, posticipare questo tipo di senescenza renderebbe le piante più resistenti al secco con una riduzione delle perdite di produzione. Hanno inoltre dimostrato che è possibile ritardare la senescenza fogliare inducendo un aumento della produzione di citochinina, un ormone chiave della crescita e sviluppo della pianta. Piante di tabacco ingegnerizzate per produrre citochinina sotto il controllo di un promotore indotto dalla senescenza manifestavano una maggior capacità fotosintetica ed una aumentata tolleranza alla siccità (Rivero et al., 2007). Si è quindi successivamente provato ad esprimere lo stesso gene controllato dallo stesso promotore, già testato in tabacco, in piante di riso. I risultati ottenuti dimostrano che la sovraespressione di un gene che porta alla sintesi di citochinina influisce sulla sintesi di altri ormoni contribuendo ad aumentare la tolleranza alla siccità. Poiché lo stress idrico nella fase riproduttiva (fioritura e sviluppo della cariosside) è uno dei principali problemi per le coltivazioni senza intervento irriguo, i test di carenza idrica sono stati condotti durante la fioritura e successiva fase di riempimento del seme. Sia in condizioni di pre-antesi che post-antesi le piante transgeniche manifestavano in ritardo i sintomi della senescenza (arrotolamento fogliare e ridotta attività fotosintetica) rispetto al *wild-type* (Fig. 2). Tutto ciò contribuiva in maniera significativa ad una maggiore produzione di biomassa e granella. In particolare la maggior attività fotosintetica delle piante transgeniche rispetto alle piante *wild-type* conferiva un vantaggio in condizioni di stress idrico tale da giustificare una maggiore produzione (Peleg et al., 2011). Pertanto questo approccio biotecnologico basato sulla posticipazione della senescenza indotta dallo stress idrico potrebbe essere utilizzato per migliorare la tolleranza alla siccità soprattutto durante lo stadio riproduttivo.

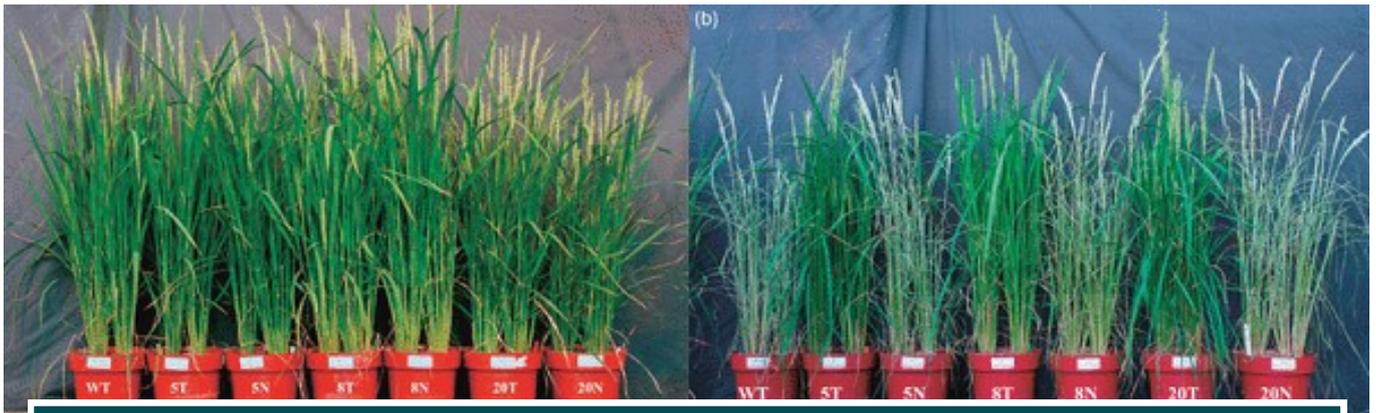


Fig. 2 - Effetto dello stress idrico sulla crescita e produzione. Piante in buone condizioni idriche (sinistra) e dopo lo stress idrico in fase di pre-antesi (destra). Il controllo non trasformato è rappresentato dalla prima pianta a sinistra, le linee 5T, 8T e 20T rappresentano piante transgeniche (Abebe et al., 2003).

Altri esperimenti sono stati condotti producendo piante transgeniche con un più alto contenuto in osmoliti. Per esempio è stato osservato che piante di frumento transgeniche per il mannitolo-1-fosfato deidrogenasi erano in grado di convertire il gene mannitolo-1-fosfato in mannitolo e manifestavano maggiore tolleranza allo stress idrico e salino (Abebe et al., 2003). Infine, l'approccio biotecnologico è da alcuni anni impiegato anche nel tentativo di trasferire le caratteristiche delle piante C4 alle piante C3. Infatti, le piante C4 sono più efficienti nell'utilizzo dell'acqua e dei nutrienti e perciò capaci di crescere in habitat estremi per le C3. Le C4 però presentano caratteristiche morfologiche assenti nelle C3: pertanto sono necessarie ulteriori analisi molecolari per aumentare l'efficienza fotosintetica delle C3. Negli ultimi decenni il sequenziamento dei genomi e le tecniche molecolari hanno permesso di raggiungere dei progressi significativi sulla caratterizzazione della funzione genica, sulle interazioni geniche e dei meccanismi molecolari di trasduzione del segnale in condizioni di stress. Molti esperimenti sono stati condotti in serra o camere di crescita e necessitano ulteriori analisi di campo.

Tuttavia le conoscenze acquisite faciliteranno ulteriormente la creazione di piante transgeniche ad elevato potenziale produttivo sia in condizioni idriche ottimali che sub-ottimali.



LE PIANTE GENETICAMENTE MODIFICATE (PGM) SONO UN PERICOLO?

Amedeo Alpi



Non c'è ragione per la quale gli scienziati della genetica vegetale debbano assistere impotenti ai divieti ai quali la loro attività di ricerca sulla modificazione genetica delle piante viene sottoposta. Troppo tempo hanno in silenzio subito ed è ora che la loro voce sia ascoltata.

Una normativa dell'Unione Europea lascia la scelta agli stati membri di regolare la materia della coltivazione di piante geneticamente modificate nel loro territorio. In Italia il Consiglio di Stato coglie l'occasione per ogni divieto in materia: proibito ricercare, proibito produrre. Tutto questo ora, in queste settimane, mentre da vent'anni le piante transgeniche sono coltivate su scala mondiale in maniera crescente: poco meno di 200 milioni di ettari, ben oltre il 10% delle superfici coltivate del pianeta, vengono ormai destinati annualmente a Piante Geneticamente Modificate, PGM. E questo mentre noi stessi ci nutriamo con derivati da piante GM o di animali che si sono nutriti a loro volta di piante e mangimi GM. Slogan come "accettazione del principio di precauzione" vengono portati a premessa di distruzione delle piante nei campi nei quali si sperimenta (è recente l'abbattimento di piante transgeniche presso l'Università della Tuscia). Questo mentre in tutto il mondo specie più resistenti ai parassiti, meno bisognose d'acqua aprono una concreta possibilità agli affamati e ai denutriti del pianeta.

Ma se noi ricercatori insistiamo nella convinzione che si debba mettere al centro delle nostre riflessioni la coltivazione delle piante e non la ricerca, ciò si basa sulla constatazione che, una volta ottenuto, ma siamo ben lontani, il riconoscimento della libertà di ricerca, sarà durissimo il percorso per l'approvazione delle piante GM in agricoltura. Non possiamo limitarci a chiedere per l'Italia il rispetto per il ruolo della scienza su di un argomento che ha già avuto, nel mondo, un enorme impatto applicativo.

Da ricercatori vogliamo ricordare che da sempre la natura viene studiata per conoscerne le regole ed utilizzarle per il progresso dell'umanità. Le modifiche basate sul trasferimento dei geni sono all'interno di questo continuo processo.

Agrarian Sciences

Partiamo dal confutare alcuni argomenti usati dagli oppositori delle PGM.

Primo argomento: l'asservimento alle multinazionali.

Le piante GM oggi coltivate nel mondo si propagano per seme ed i semi GM sono stati ottenuti da alcune multinazionali. E' ovvio che la forte opposizione alle "multinazionali" in quanto detentrici dei diritti delle varietà coltivate, in virtù dei quali si fanno pagare prezzi elevati agli agricoltori che vogliono coltivarle, denuncia un atteggiamento contrario alle innovazioni. Non si accetta che vi sia un ruolo "terzo" da parte di chi si specializza nella produzione del materiale di partenza (semi, tuberi, bulbi, etc.) ma anzi, rispolverando Lysenko, si ritiene il coltivatore l'unico soggetto accreditato alla proprietà totale della specie che alleva. Questa battaglia che, apparentemente, è a favore dell'agricoltore, può essere fatta in altra maniera, più consona ad un mondo che deve alimentare oltre 7 miliardi di persone. L'obiettivo è di salvare l'innovazione in agricoltura che richiede mezzi finanziari, tecnici e umani di notevole dimensione. D'altra parte l'opposizione alle multinazionali si fa scendendo su di un piano competitivo mettendo a punto tecnologie nuove come stanno facendo Cina e Brasile.

Un secondo argomento degli oppositori è costituito dal principio di precauzione

Applicato al settore degli OGM nulla ha a che vedere con la ricerca scientifica in questo ambito; tale principio è estraneo anche alla coltivazione delle PGM visto che si fa ormai da poco meno di un ventennio senza che nessuna di esse abbia causato problemi quantitativamente e qualitativamente diversi da quelli generati dalle comuni varietà ottenute con metodiche genetiche tradizionali.

Il terzo argomento portato dagli oppositori vede la scienza assurdamente chiamata al banco degli accusati

Sarebbe essa falsamente neutrale nello scontro fra opposte opinioni. La scienza sarebbe non solo alleata alle multinazionali e nemica del cibo, ma sarebbe responsabile della "*profanazione della sacralità*" del cibo stesso. Occorre tuttavia avere la precisa consapevolezza che il centro dello scontro tra le opposte opinioni, non è la scienza, ma esso è rappresentato appunto dalla sua "*sacralità*" profanata da vari "*stregoni*". Ma la biotecnologia può essere invece di grande utilità. Un solo esempio: in questi giorni è stato pubblicato un lavoro, su Plant and Cell Physiology da parte di un gruppo dell'Università di Lund, concernente l'individuazione nella barbabietola da zucchero di una emoglobina non-simbiotica, molto simile all'emoglobina umana. Oltre al dato interessante in termini di fisiologia/biochimica delle piante si potrebbero aprire prospettive biotecnologiche interessanti: C'è da scommettere che l'opposizione sarà forte anche in questo caso, e tale da indurre la politica ad intervenire con l'ennesimo blocco.

Nella imponente letteratura scientifica orientata all'impatto degli OGM troviamo numerose e consistenti affermazioni circa l'assenza di danni e, al contrario, molte affermazioni circa la loro positività. Una recente ricerca esamina 150 pubblicazioni riferite alle varie aree del mondo dove si coltivano piante GM. I risultati confermano una riduzione del 37% per l'uso degli insetticidi, un aumento medio delle produzioni del 22% e un aumento del 68% dei profitti degli agricoltori. I risultati sono maggiori per le specie trasformate con caratteri di resistenza agli insetti rispetto a quelle modificate per la resistenza agli erbicidi. Sia le produzioni che i guadagni degli agricoltori sono maggiori nei paesi in via di sviluppo rispetto ai paesi industrializzati. Questa ricerca potrebbe anche chiudere il lungo dibattito sulle PGM, ma non sarà così. Ad esempio i paesi in via di sviluppo potrebbero anche coltivare le piante GM, ma non lo fanno perché avrebbero forti ostacoli all'esportazione, principalmente nella Unione Europea.

Infine restano da esaminare aspetti di normativa e di comunicazione nei media sul tema

Anche una semplice elencazione delle normative italiane ed europee in materia richiederebbe una trattazione lunga e assai specialistica tale da rendere necessario il contributo di giuristi nell'interpretazione. Si ricorda comunque che gli alimenti modificati possono essere autorizzati nell'Unione Europea dopo aver superato una rigorosa valutazione della loro sicurezza e nel Gennaio 2002 è stata istituita l'EFSA (Agenzia Europea per la Sicurezza Alimentare) incaricata della valutazione del rischio e, quindi, di elaborare pareri scientifici per la Commissione.

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

ne, il Parlamento Europeo e gli Stati Membri dell' Unione. Le valutazioni degli OGM da parte dell'EFSA sono effettuate sulla base dei fascicoli scientifici presentati dai richiedenti e su qualsiasi altra informazione scientifica di pertinenza. Tuttavia dagli ultimi regolamenti e direttive appare evidente una continua " *escalation*" finalizzata ad una chiara " *conventio ad prohibendum*".



...Nella imponente letteratura scientifica orientata all'impatto degli OGM troviamo numerose e consistenti affermazioni circa l'assenza di danni e, al contrario, molte affermazioni circa la loro positività. Una recente ricerca esamina 150 pubblicazioni riferite alle varie aree del mondo dove si coltivano piante GM...

Sulla comunicazione nei media si può dire che è difficile fare fronte all'enorme quantità di informazione disponibile sugli OGM, tanto da auspicare una "ecologia dell'informazione". Ma è doveroso ricordare che si sta etichettando un procedimento, non un prodotto. E qui si dovrebbe aprire un dibattito serio sui fondamenti del diritto e sulla liceità di brevettare la natura.

Portiamoci ad una conclusione. Nonostante il pessimismo diffuso dalle recenti decisioni della politica nazionale ed europea, la comunità scientifica continua a credere nella sopravvivenza di una qualche razionalità. A conforto di tale speranza si registrano, negli ultimi tempi, numerose dichiarazioni in favore della ricerca sulle PGM, come pure per il loro uso in agricoltura. Fra le più significative la dichiarazione dell' EASAC (*European Academies Science Advisory Council*, voce dell'intera comunità scientifica europea), un documento di 20 eminenti scienziati europei di Biologia

molecolare delle piante, vari documenti della comunità scientifica italiana, ed infine la recente presa di posizione della senatrice a vita Elena Cattaneo.

Un documento è in preparazione nel Centro per l'Ambiente Marini Bettolo dell'Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XV., di quale queste considerazioni vogliono essere un'anticipazione.

L'Europa dovrà ragionare oltre che su fattori commerciali ed emozioni anche sui risultati delle ricerche, bandendo finalmente infondate paure.



IL RIFIUTO DEGLI OGM – ESPERIENZE E VALUTAZIONE.

Silviero Sansavini



Intervento-audizione al Senato della Repubblica, Commissione Agricoltura e Produzione Agroalimentare – Roma, 14 luglio 2015.

Soia, mais, cotone sono le colture biotech più coltivate. Fonte: ISAAA, 2019.

La mela cisgenica

Dodici anni fa l'Università di Bologna, Dipartimento di Colture Arboree, insieme al Politecnico di Zurigo, Istituto di Fitopatologia, portò a compimento il progetto di trasformazione genetica del melo, cv Gala, con l'inserimento del gene Vf di resistenza alla principale affezione fungina (*Venturia inaequalis*, agente della ticchiolatura), gene isolato e trasferito da una specie selvatica di melo, *Malus floribunda* 821. Il lavoro, pubblicato sulla rivista americana PNAS dal gruppo italo-svizzero (Belfanti et al., 2004), creò immediatamente un cambio di direzione delle strategie perseguite dai progetti di ricerca internazionali e in particolare americani. Fino ad allora gli OGM noti, cosiddetti di prima generazione, erano stati ottenuti nel campo delle commodities dalle multinazionali delle sementi, propagati per seme e riguardavano soia, mais, colza-canola e cotone, resistenti al diserbante "Round Up" (Glyphosate) e ad alcuni insetti lepidotteri (es. tignola del mais). Queste sementi sono le stesse ancora oggi utilizzate; nel mondo hanno raggiunto quasi duecento milioni di ettari di superficie coltivata.

La nostra realizzazione, invece, prima nel mondo, aprì la strada alla cisgenesi, tecnica di ingegneria genetica alternativa alla transgenesi, storica perché il "costrutto" del vettore plasmidico carica un gene omologo familiare, appartenente allo stesso genere botanico e perciò geneticamente compatibile. Questo costrutto, in una tappa successiva non più italiana, è stato privato del gene promotore virale (35 S) e di quello selettivo all'antibioti-

co kanamicina ("nptII"), due geni esterni necessari nella metodologia tradizionale, oltre ad un eventuale reporter, quale il GUS.

Il metodo messo a punto dalle Università di Bologna e Zurigo prescindeva dalla trasformazione in quanto tale, ma muoveva da obiettivi ecologici e dalle considerazioni legate agli aspetti applicativi perché alcune varietà di mele, ormai abbastanza diffuse, resistenti alla stessa malattia e portanti il gene Vf, costituite per via genetica tradizionale, cioè sessuata, portavano con sé anche caratteri indesiderati, soprattutto sul piano qualitativo del frutto, che col breeding tradizionale (cioè ibridazione → incrocio → reincrocio e poi processo selettivo in campo per un totale di quindici-venti anni) non sarebbe stato possibile eliminare in tempi brevi.

La nostra metodologia costò alcuni anni di lavoro per la messa a punto del percorso – allora il genoma del melo non era ancora stato sequenziato – al fine di identificare, mappare e isolare il gene responsabile all'interno di un genoma che ne contiene oltre cinquantamila, come il melo. Fu necessario, in particolare, costruire una libreria BAC e analizzare mega-segmenti di DNA (contig), con centinaia di migliaia di paia di basi. Questo nostro metodo si pose anzitutto in antitesi con quello allora ufficialmente seguito negli Stati Uniti, che, nel caso specifico del melo (per ottenere nuove varietà e portinnesti resistenti) utilizzava il trasferimento genetico di resistenze "generiche" indotte da proteine vegetali antibiotiche, quali ad esempio l' "attacina" ed altre, codificate perciò da geni eterologhi (foreign genes) isolati da altri organismi batterici o virali. Alcune di queste, peraltro, non inducevano una resistenza totale (a differenza di quella da noi ottenuta attraverso il gene Vf, del tutto naturale) ma soltanto parziale (veniva solo percentualmente abbassato l'indice di suscettibilità) per cui fu abbastanza logico, per tutti gli Istituti che si occupavano di ingegneria genetica, abbandonare la vecchia strada per la nuova, scelta perciò non solo per ragioni ecologiche.

Fu così che dopo di noi, in Germania, Olanda, Nuova Zelanda ed altri paesi, il nostro metodo fu adottato, sviluppato e implementato per raggiungere obiettivi analoghi (per es. rifacendo il nostro "percorso" e con tempi molto più corti, per vedere se il metodo funzionava) e per raggiungere anche altri obiettivi (per es. aggiungere altri tipi di resistenza o migliorare la qualità del frutto). Noi comunque a Bologna, pur non potendo saggiare in campo le piante di melo ottenute, verificammo "in serra" (cioè in ambiente protetto, condizionato, escluso dai divieti ministeriali) la totale resistenza a ticchiolatura delle tre linee selezionate di "Gala" e procedemmo a successive approfondite indagini scientifiche: l'accertamento del meccanismo di azione a livello cellulare della sequenza del *HcrVf2* (R. Paris et al., 2012) che impedisce alle ife e agli austeri del fungo di penetrare la parete cellulare (resistenza totale) oppure blocca il fungo per reazione di ipersensibilità dopo una iniziale colonizzazione cellulare. L'altro obiettivo raggiunto fu quello della verifica dell'espressione del gene (Paris et al., 2009; Jänsch et al., 2014,) che dimostrò con nostra sorpresa la sovraespressione del gene *HcrVf2* di "Gala" totalmente resistente e che questo corrispondeva, nella trascrizione dell'RNA, ad una molecola omologa del gene di resistenza del pomodoro a *Cladosporium fulvum*, da altri sequenziata. Il nostro apporto si fermò lì. Infatti il Ministero dell'Agricoltura bloccò le ricerche e abrogò i contratti già sottoscritti (per es. il progetto di ricerca del DCA di Bologna per trasformare l'albicocco per la resistenza a *Sharka, Plum Pox Virus*, una pericolosa e distruttiva affezione virale venuta dall'Est), mentre la Commissione Nazionale per le Biotecnologie Vegetali che il Ministero dell'Agricoltura aveva costituito come organo consultivo fu sciolta e al suo posto ne fu costituita un'altra allo scopo di dimostrare che gli OGM non avevano sufficienti credenziali scientifiche per bypassare il "principio di precauzione". Infatti, fin dai primi anni 2000 il nostro governo aveva fatto valere il principio di precauzione, prima per impedire la coltivazione di sementi OGM, e poi anche per impedire l'importazione di prodotti alimentari OGM. L'Università di Bologna quindi, a differenza del partner svizzero di Zurigo, si trovò senza alcun progetto OGM e senza finanziamenti e dovette perciò sospendere le ricerche e quindi non andare oltre la possibilità di verificare in serra le piantine trasformate, fino alla fruttificazione. Le linee sono ora mantenute in vitro. Non si è fermata invece la ricerca internazionale nel campo OGM arboreo. Il nostro materiale è servito per arrivare a completare il processo di cisgenesi, successivamente realizzato dal Politecnico di Zurigo insieme all'Università di Wageningen (Olanda), che hanno eliminato dal genoma contenente l'*HcrVf2*, i due geni esterni, sia il gene promotore, non di melo, sia quello marcatore. Questo processo è stato realizzato in laboratorio con appropriata metodolo-

Agrarian Sciences

gia chimica in Olanda (con l'uso di Dexamethasone o di shock termico in vitro), ma la cisgenesi è stata realizzata anche in Germania, all'Istituto di ricerca di Dresda-Pillnitz con altri obiettivi e in Nuova Zelanda dall'Horticultural Research Council per ottenere mele con polpa rossa, ricca di antociani e polifenoli

Ci risulta che, salvo la Svizzera, il cui governo non è favorevole agli OGM, sia in Olanda sia in Germania e Nuova Zelanda sia stata concessa l'autorizzazione a provare in campo le piante cisgeniche di melo. Nel frattempo, nell'arco degli ultimi dieci anni, a proposito della ticchiolatura del melo è sorto un grosso problema biologico. Le varietà tradizionali di melo, cosiddette TR (ticchiolatura resistenti), coltivate in alcuni paesi del centro Europa (Francia, Belgio, Germania, Olanda, Gran Bretagna) contenenti il gene Vf di resistenza a *Venturia inaequalis* (e ottenute da incrocio di parentali discendenti da *Malus floribunda*) stanno perdendo la resistenza, a causa della co-evoluzione filogenetica dei ceppi del fungo (che sono divenuti capaci di vincere il meccanismo di resistenza basato sull'impedimento della penetrazione delle ife fungine nelle foglie e nei frutti), per cui è ora necessario studiare una nuova strategia, chiamata piramidizzazione, nella fattispecie, delle resistenze a stress biotici. Ciò significa che non basta più il gene Vf per garantirsi la resistenza al fungo, ma conviene demandare questa a più geni (cumulare cioè più resistenze nello stesso individuo) sia resistenze monogeniche sia poligeniche (individuabili, queste ultime, attraverso marcatori QTL, perché distribuite su più loci, e quindi regioni del DNA mappabili anche in distinti cromosomi). Questa strategia può essere attuata sia attraverso il breeding tradizionale, sia attraverso ingegneria genetica, con la stessa cisgenesi, come ha fatto il Politecnico di Zurigo, inserendo insieme in un solo genotipo di melo due geni, Vf e Vb, anche al fine di estendere la resistenza ad altre malattie come ad es. il Fireblight (colpo di fuoco batterico delle pomacee) che andrebbero sperimentate anche in Italia.

I rischi delle piante OGM

Vent'anni di polemiche, per lo più pretestuose, contro i possibili rischi delle piante OGM, non solo hanno indotto il nostro governo, e la stessa UE, ad esprimere dubbi sulla sicurezza e sulla stessa utilità delle sementi OGM per l'Italia, ma hanno lasciato profonde tracce nell'opinione pubblica, divisa sull'accettabilità o meno di questa tecnologia, che in tanti altri paesi, soprattutto occidentali, lascia quasi indifferente l'opinione pubblica, tanto che se ne accettano regolarmente coltivazione e consumo (alimentare e zootecnico), anche senza etichettatura. Sono scomparsi ormai da anni i possibili dubbi sulla sicurezza alimentare o d'uso (es. cotone per il vestiario), salvo episodi isolati e poco credibili di cancerogenesi in ratti (G.E. Seralini et al., 4 2014) (scientificamente contestati e poi ritirati dalla pubblicazione) dei quali si è persa traccia (vedi i cosiddetti alimenti Frankenstein).

Sono rimaste invece alcune temute conseguenze sulla possibile contaminazione genetica dell'ambiente ove questi sono coltivati (es. flusso genico nel suolo) o delle specie selvatiche geneticamente affini presenti in campo accanto o in vicinanza delle colture transgeniche. Entrambe queste possibilità non si possono biologicamente escludere, ma è difficile anzitutto quantificarne la portata e accertarne il conseguente rischio, anche perché in natura lo scambio di materiale genetico fra microrganismi è frequente, se non la regola. Ad esempio, le ricerche condotte in modo molto approfondito dall'ex INRAN di Roma (Cfr. A. Benedetti in G. Monastera, 2006) nella rizosfera del campo sperimentale dell'Università di Viterbo, dove il prof. Rugini, agli inizi del 2000, aveva riunito alberi "trasformati" di ciliegio, olivo, kiwi, non avevano portato all'accertamento, fuori del normale, di tassi di variazione dell'identità della popolazione microbica normalmente verificabile in natura, senza però escludere interazioni con la flora microbica stessa (peraltro rimaste da accertare). Per quanto concerne invece la contaminazione genetica di specie sessualmente compatibili, teoricamente possibile attraverso l'impollinazione, esistono regolamenti già da tempo applicati in vari paesi che hanno accettato le "regole della coesistenza" volute dall'UE. Anche l'Italia, una decina di anni fa, in sede ministeriale, predispose detti regolamenti, specie per specie (chi scrive si occupò della "sicurezza" della messa in coltivazione degli OGM melo) ma le Regioni poi si rifiutarono di accettarli e con questi non accettarono nemmeno le "regole per la coesistenza". Non se ne fece nulla. Le piante arboree però non vanno equiparate al novero delle colture erbacee, sementiere, per il diverso comportamento. Vediamone i motivi:

Speciale Genetica Agraria

- sono propagate vegetativamente, cioè per innesto, per cui, non provenendo da seme, non possono essere contaminate da alcun "lascito" di altra coltura (quella transgenica), compreso lo stesso melo. Infatti il seme delle mele si perde con il consumo dei frutti e non ritorna in alcun modo alla terra, per una eventuale coltivazione;
- le specie arboree da frutto sono innestate in genere su di un portinnesto, dotato di adeguata affinità d'innesto. Questo fa sì che qualsiasi eventuale proteina residua nel suolo (ad esempio tossina lasciata dal *Bacillus thuringiensis*) da parte di una precedente coltura transgenica non possa contaminare la varietà coltivata, propagata per innesto e non per via radicale. Le specie autoradicate per talea o micropropagazione (es. kiwi – actinidia), a questo riguardo, potrebbero essere considerate a parte in un'eventuale regolamentazione;
- c'è infine un altro aspetto applicativo riguardante le piante arboree OGM, e cioè il fatto che ciascuna varietà, nell'ambito delle singole specie da frutto, è come se fosse un'altra specie. In altre parole, il confronto fra piante arboree e piante da seme non si può fare: infatti, nella propagazione per seme, ognuno dei due genitori contribuisce al genoma del seme coltivato in modo diverso. Da quell'incrocio possono derivare anche milioni di semi. Nelle piante arboree si coltiva invece il clone, cioè la linea originaria, idonea a mantenere nel tempo uniformità, stabilità, omogeneità dei caratteri. L'albero, perciò, anche di diverse generazioni, ha sempre gli stessi caratteri, anche nel caso in cui la varietà, come la mela "*Annurca*," risalga al tempo dei romani.

Ciò significa che, nelle piante da seme c'è spazio per la variabilità genetica ad ogni propagazione, in quelle propagate vegetativamente non può esserci variabilità (salvo casi non infrequenti di mutazioni, più spesso regressive).

Il clone, dunque, è un fenotipo stabile della varietà; gli alberi sono identici l'uno all'altro, ma, a causa delle citate mutazioni, possono essere individuati e selezionate varianti fenotipiche e quindi la varietà può avere più cloni. In tal modo può diventare policlonale e ciascun clone può essere anche brevettato, purché distinguibile da tutti gli altri. Per questo, molte varietà sono policlonali. Nel melo ad esempio si conoscono talvolta decine di cloni per ciascuna delle principali varietà (es. *Gala*, *Red Delicious*, *Fuji* ecc.). È chiaro che, per incidere sulla realtà, l'eventuale applicazione di tecnologia OGM, insieme all'inserimento di carattere utile (per es. resistenza) riguarderebbe ciascun clone delle varietà policlonali. La trasformazione della cv "Gala" di melo condotta a Bologna, con un progetto che data ormai da oltre quindici anni, oggi andrebbe rifatta con i cloni di "Gala" che nel frattempo si sono affermati commercialmente, perché la cv "Gala" originaria non è più coltivata (perché poco colorata). Questo significa che, ad esempio, mentre il seme del mais "*Monsanto 810*" è sempre riprodotto, ogni anno, dalla stessa Monsanto usando le stesse linee parentali trasformate originariamente, nel melo, invece, come nelle altre specie arboree, non ce n'è necessità. In teoria, però, si dovrebbero fare tante trasformazioni quante sono le varietà coltivate (nel caso del pesco sono oltre cento!), non solo, ma quanti sono i cloni di successo delle singole varietà. Conclusione: il costo sarebbe altissimo, certamente non sostenibile, se non per varietà di grande diffusione, di forte pregio e monoclonali. Potrebbe però bastare, quale esemplificazione, una eventuale trasformazione delle varietà più importanti, per cercare di immetterle nelle colture biologiche (quale eresia!).

Il costo del disimpegno OGM

Non è certo un esercizio intellettuale addentrarsi in un'analisi economica sulle conseguenze dei divieti via via emessi e confermati dai Ministri dell'Agricoltura, a partire dall'on. Pecoraro Scanio fino a tutti gli altri, on. Martina compreso, che, pur espressi spesso a favore della ricerca sulle biotecnologie, le hanno di fatto impedito di ripartire. Tralascio in questa sede di riferire sui possibili danni provocati all'agricoltura italiana, e che riguardano le perdite dovute ai mancati incrementi di resa, con riduzione di costi e di uso di pesticidi che avrebbero potuto conseguire. Non è il mio campo. Li rimetto alle interpretazioni delle statistiche americane più accreditate. Ci ha comunque pensato il prof. F. Scaramuzzi, Presidente dell'Accademia dei Georgofili di Firenze, il quale in tanti scritti ha ribadito la convinzione che per i danni incalcolabili generati in Italia dai provvedimenti di rifiuto o restrittivi governativi verso gli OGM, qualcuno dovrà fornire spiegazioni accettabili, assumersene la responsabilità,

Agrarian Sciences

rendendone conto. Mi limito ad osservare le gravissime conseguenze verificatesi nel settore della ricerca agraria. Quindici anni fa erano almeno una decina le istituzioni scientifiche che avevano iniziato lo studio degli OGM, spingendosi fino alla creazione di piante geneticamente modificate, non certo per scimmiettare le multinazionali, ma per affrontare di petto problemi di colture, soprattutto ortofrutticole italiane, irrisolvibili con il breeding tradizionale. L'Italia si era posta all'avanguardia in Europa con proposte e soluzioni genetiche per il recupero del pomodoro San Marzano, per l'ottenimento di uve apirene e ortaggi partenocarpici, per la radicazione di piante arboree recalcitranti, per meli resistenti a malattie come la ticchiolatura, per pioppi non più allergenici, fragole e altri frutti auxino-dipendenti, qualitativamente migliori ecc. Altri studi riguardavano cereali, piante oleaginose ed altre ancora. Tutte miglorie che non interessavano le multinazionali, abituate ad operare sui grandi scenari delle commodities di cui si erano appropriate dei brevetti nei processi di trasformazione. Tutto si fermò nel giro di soli due-tre anni. Gli istituti dovettero cambiare rotta. Molti ricercatori si convertirono agli studi di genomica e in particolare dei marcatori e delle tecniche MAS (*Marker Assisted Selection*), utili per accelerare e indirizzare i programmi di miglioramento genetico tradizionale. Ma i problemi irrisolti prima lo sono ancora oggi, con ritardo quindi o arresto nell'evoluzione e innovazione dell'agricoltura. Potevamo essere e rimanere i primi in Europa, mentre siamo scomparsi dalla scena.

Poteva nascere un'industria biotecnologica italiana, forte di brevetti italiani, e invece continueremo ad acquisire a costi talvolta proibitivi i brevetti stranieri nel campo delle sementi, come in quello delle varietà da frutto o ornamentali. Quanto ha perso l'Italia compromettendo il proprio futuro per aver azzerato tutti i programmi e impedito la formazione e l'impegno di due generazioni di ricercatori? Si riuscirà a rimediare, quand'anche dal centro, dalla politica agraria del paese, venissero segni di ravvedimento? Intanto la ricerca negli altri paesi più avanzati è andata avanti in una maniera i cui risultati non si possono ancora apprezzare in profondità, ma saranno sorprendenti e spettacolari. È la medicina, con i suoi straordinari progressi, a indicarci la strada da seguire. In commercio ci sono per ora quasi solo sementi transgeniche di prima generazione, ma sono in osservazione o sotto processo di autorizzazione (faticosissimo e molto oneroso) decine di nuove piante transgeniche utili (Sansavini, 2010) non soltanto per migliorare la produzione, ma anche per finalità ecologiche (resistenti alla siccità, alla salinità dei suoli, a fitopatie, idonee a bonificare acque ed ambienti), per migliorare il valore nutraceutico dei prodotti (quindi la salute e il benessere dei consumatori), per ricavarne farmaci, come si trattasse di biofabbriche (vaccini ed altro) ecc. Ci sono almeno una decina di tecnologie alternative alla prassi attuale, per ottenere OGM, fra queste ne citiamo almeno tre:

1. la cisgenesi (che l'UE non ha ancora accettato). La richiesta olandese di considerarla alla stregua delle mutazioni, fuori dalla regolamentazione OGM, non ha ancora avuto esito;
2. il silenziamento genico;
3. e, da ultimo, il genoma "editing", già entrato nella divulgazione pubblica come tecnica CRISPR (con le varianti Talen e ZFN), che si limita per ora a introdurre mutazioni in sequenze del DNA cancellando, se necessario, i nucleotidi – individuati fra i miliardi costituenti il genoma della pianta – responsabili di uno o più caratteri da eliminare; metodo, questo, alla stregua di una mutazione naturale e di cui quindi non resterà alcuna prova, come si trattasse di mutazione spontanea; questa, invece, indotta artificialmente con la metodologia CRISPR.

Ma vi sono altri tabù, o meglio, artifici dialettici, non dimostrabili, la cui cancellazione dovrebbe rimuovere ostacoli e promuovere l'innovazione biotecnologica, purché sottoposta a severi controlli.

Proviamo ad enumerarne alcuni: - l'affermazione che "con le colture OGM si nuocerebbe alla diffusione commerciale dei prodotti tipici italiani del *Made in Italy*". Proviamo a fare un esempio, che dimostra l'illogicità di questo atteggiamento di paura. Se si ottenesse un Moscato resistente a peronospora o ad oidio (e perciò senza il pressante bisogno di molti trattamenti anticrittogamici), forse che le uve vinificate ad Asti (per farne Moscato DOC) non sarebbero migliori di prima? Questo esito, ancorché di origine biotecnologica, ne giustificherebbe la convenienza? Siete sicuri che i coltivatori non sarebbero i primi a voler sostituire il Moscato comune con quello OGM?; - "*Le colture OGM impedirebbero di coltivare in sicurezza il biologico*". Basta osservare le distanze, come fanno in altri paesi, anche importanti, che hanno sia le une sia le altre e anche aziende di piccole dimensioni; -

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

"Si eroderebbe ulteriormente la biodiversità", ma ci si può chiedere anche se questa non possa migliorare. Esempio: da cinquanta o sessant'anni in Italia si acquistano solo sementi ibride create dalle stesse multinazionali degli OGM; le nostre colture autoctone locali sono state spazzate via da sementi non OGM prodotte dalle multinazionali. I mais OGM, vietati in Italia, cosa potrebbero far scomparire, offrendo già rese tre o quattro volte superiori a quelle preesistenti, poco o nulla del nostro residuo germoplasma? - grazie alle nuove biotecnologie verranno creati nuovi "biopesticidi" che potranno essere di grande utilità per le coltivazioni biologiche, che si servono già dei noti feromoni, del *B. thuringiensis* e di altri mezzi organici. Ora difendono le coltivazioni biologiche per la loro suscettibilità a tante malattie, principi attivi naturali, talvolta nocivi, come ad esempio gli estratti di nicotina o di legno quassio. E se nuovi pesticidi biotecnologici verranno e non saranno nocivi per l'ambiente e la salute, perché dovrebbero essere rifiutati? Questi sono solo alcuni esempi che, se considerati nell'insieme, dimostrano quanto avrebbe potuto fare l'Italia nel campo della ricerca solo fosse stata messa in condizione di farlo. Perché continuare ad ignorare che il mondo biologico sta camminando (biologico molecolare e postgenomico), con una velocità persino superiore a quella dell'informatica, per la quale ogni cinque anni, come è noto, raddoppia la velocità della comunicazione e viene moltiplicata "n" volte la potenzialità della strumentazione? È da prevedere che nell'arco di cinque-dieci anni le biotecnologie rivoluzioneranno di nuovo il mondo agricolo, forse andando oltre gli stessi OGM, con tecnologie migliorative. E l'Italia da che parte sta? Sarà ancora assente?

Quale ricerca e sperimentazione in campo intraprendere?

Non pare ipotizzabile una ripresa della ricerca in campo, se si dovessero riprendere i problemi di un decennio or sono e cioè semplicemente provare in campo, nei laboratori e nelle cliniche colture OGM e tradizionali. Cioè quanto si auspicava applicando il "principio di precauzione", poi implementato dalle "clausole di salvaguardia". Nel mondo sono state recensite già centinaia, migliaia di prove di questo genere, necessarie per ottenere la licenza di "rilascio". Non si può infatti ignorare la ricerca internazionale, oggetto di pubblicazioni scientifiche, di qualificati peer review, già validate da società scientifiche a vari livelli (Sansavini, 2010). In generale, i risultati di queste prove, pur differendo per tanti aspetti, confermano la validità delle piante e delle colture OGM sotto invece tutti i profili che interessano l'Italia, compresi i rischi alimentari ed ecologici. Emerge, nei lavori più accurati, che una coltura OGM non presenta rischi superiori a quelli di una coltura tradizionale, a parità di ogni altra considerazione. Ciò che ostacola il prosieguo delle innovazioni OGM invece sono le onerose procedure di validazione, costosissime in alcuni paesi, come ad esempio Germania e Stati Uniti, al punto che anche le tanto vituperate multinazionali sono costrette a rinunciare, come ha fatto la BASF con la sua patata OGM "*Amflora*", produttrice di amido ed adatta per usi industriali, o l'altra patata resistente a peronospora. Nell'altro versante, quello pubblico, nessuna istituzione, se non dispone di ingenti risorse (si è stimata una somma che sale oltre i cinquecento milioni di euro per costruire, provare, lanciare un nuovo OGM) può permettersi la realizzazione di progetti OGM, a meno che non disponga di un business plan commerciale per avere a breve o medio termine un sufficiente ritorno economico.

Riporto l'esempio di un collega americano, Ralph Scorza, che dopo avere brevettato una varietà di susina transgenica resistente a Sharka (PPV), "*Honey Sweet*", è riuscito anche ad ottenere il rilascio ambientale e l'autorizzazione alla commercializzazione da parte dei tre enti di controllo USA che presiedono insieme la concessione (USDA, FDA, APHIS), dopo vari anni di procedure che hanno dissanguato il suo Dipartimento di Genetica - nella Stazione di Kearneysville in West Virginia. Basta questo esempio per dissuadere chiunque altro in USA a ripetere una tale esperienza. Meglio vanno le cose in Canada, dove un'azienda privata nell'arco di due-tre anni è stata autorizzata a diffondere la mela Arctic (*Golden Delicious*) trasformata col silenziamento di uno dei geni che favoriscono l'imbrunimento della polpa a contatto dell'aria (l'enzima polifenolossidasi). Se si vuole riaprire la ricerca pubblica in Italia occorre ripartire da un unico grande progetto di ricerca nazionale, a coordinamento centrale, orientato allo studio applicativo di nuove tecnologie, quelle ancora da sperimentare in Italia e altrove. Recentemente il prof. M. Morgante dell'IGA di Udine in un colloquio col ministro Martina ha sottolineato la necessità italiana di cimentarsi nella verifica di almeno due tecniche post-OGM: "*cisgenico*" e "*genoma editing*", che possono essere considerate alternative, non invasive, prive di geni estranei, rispetto alla tradizionale trasformazione. Nel campo delle piante arboree l'obiettivo dovrebbe essere quello di costruire alberi idonei a coltivazioni

Agrarian Sciences

organiche a basso impatto ecologico, ma di alta qualità, perché il mercato, come si è visto, non è disposto a tornare indietro (per esempio creando illusioni sulle nicchie di prodotti tipici locali o sui prodotti dei farmer market). Non si risolverebbero i problemi del saper competere a livello internazionale, dove valgono standard qualitativi imposti dalle grandi catene distributive. Occorre dunque combinare l'eccellenza italiana con i nuovi requisiti ecologico-salutistici: resistenza, rusticità, autodifesa, superiori valori parametrici gustativi, sensoriali, nutraceutici, atti ad attrarre categorie personalizzate di consumatori, per genere, età e fabbisogni dietetici nutrizionali.

Bibliografia

Belfanti, E., E. Silfverberg-Dilworth, S. Tartarini, A. Patocchi, M. Barbieri, J. Zhu, B.A. Vinatzer, L. Gianfranceschi, C. Gessler, S. Sansavini (2004). *The HcrVf2 gene from a wild apple confers scab resistance to a transgenic cultivated variety*, PNAS, January 20, vol. 101, January 2004: 886-890.

Jänsch, M., Paris, R., Amoako-Andoh, F., Keulemans, W., Davey, M. W., Pagliarani, G., Tartarini S., Patocchi, A. (2014). *A phenotypic, molecular and biochemical characterization of the first cisgenic scab-resistant apple variety 'Gala'*. Plant molecular biology reporter, 32(3), 679-690

Paris, R., Dondini, L., Zannini, G., Bastia, D., Marasco, E., Gualdi, V., Rizzi V., Piffanelli M., Mantovani V., Tartarini, S. (2012). *7 dHPLC efficiency for semi-automated cDNA-AFLP analyses and fragment collection in the apple scab-resistance gene model*. *Planta*, 235(5), 1065-1080.

Paris, R., V. Cova, G. Pagliarani, S. Tartarini, M. Komjanc, S. Sansavini (2009) *Expression profiling in HcrVf2-transformed apple plants in response to Venturia inaequalis*, «TREE GENETICS & GENOMES», 2009, 5, pp. 81 – 91.

Sansavini, S. (2009) *Le biotecnologie per migliorare l'ortofrutticoltura*. L'Informatore Agrario, 5:6367.

Sansavini, S. (2010) *Cisgenesi invece di transgenesi per superare l'avversione alle piante OGM?*, Riv. Frutticoltura, 2010, 12:86-95.



I LOVE GMO_S: QUANDO L'INGEGNERIA GENETICA PIACE

Luigi Mariani



Questa mattina (1 febbraio 2018) alle 6.10 su RAI Radio 1 il giornalista che conduce la trasmissione del primo mattino ha intervistato un genetista dell'università di Trento afferente all'equipe che ha messo a punto una terapia genica che nei prossimi anni consentirà di intervenire contro malattie genetiche importanti come la talassemia o la fibrosi cistica, pubblicando i risultati in un articolo uscito su Nature biotechnology [qui](#)).

Il giornalista esprimeva orgoglio di fonte a una scoperta tanto importante. Ricordo anche che da anni con tecniche di ingegneria genetica (geni umani che sintetizzano particolari proteine trasferiti in batteri come *Escherichia coli*) si producono medicinali essenziali come l'insulina, superando così i problemi che davano in passato gli stessi medicinali prodotti da animali domestici come il maiale.

Pare che questa forma di ingegneria genetica piaccia e nessuno si sognerebbe di ostacolarla come dimostra l'atteggiamento del giornalista esprimeva grande apprezzamento per le nuove conquiste della tecnologia umana. Ma temo che se qualche ricercatore italiano o europeo avesse messo a punto un nuovo OGM vegetale e avesse pubblicato la scoperta su Nature Biotechnology l'atteggiamento del giornalista sarebbe stato totalmente diverso e magari si sarebbe parlato di "attentato alla salute pubblica". Ma non preoccupatevi: nessuno da anni finanzia queste ricerche "diaboliche" e i nostri ricercatori più brillanti saranno ormai migrati in lidi più accoglienti o avranno cambiato mestiere.

In questo paese si è infatti lasciato campo aperto a oscurantisti come i Coldiretti o come Mario Capanna e la sua fondazione per i diritti genetici. Questo è il paese in cui se semini un mais o una soia OGM arrivano i carabinieri. Questo è il paese che ha messo in croce un agricoltore (Giorgio Fidenato) che ha provato a far valere la propria libertà di imprenditore coltivando *mais BT*, non attaccabile da parte della piralide e dunque privo delle terribili tossine di origine fungina (aflatossine) di cui l'insetto promuove la produzione e che rendono il mais cancerogeno per uomini ed animali che se ne cibano.

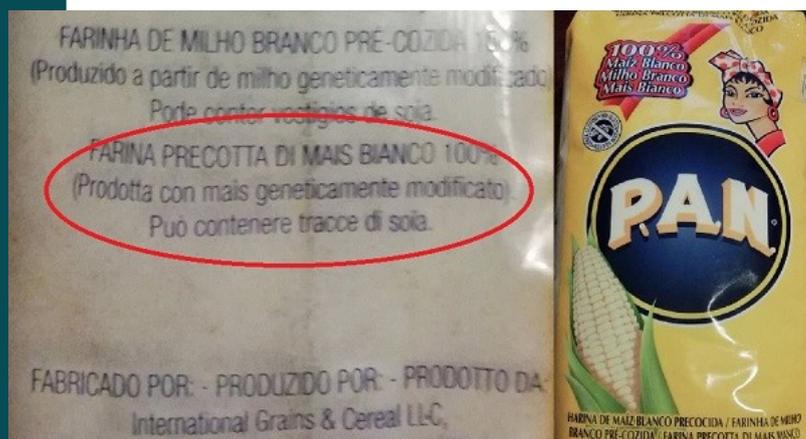
Il genetista dell'università di Trento ha detto che l'uomo ha imitato la natura (quel che i batteri fanno nei con-

Agrarian Sciences

fronti dei virus batteriofagi) per ideare la tecnica che a Trento è stata migliorata. Anche nell'ingegneria genetica al servizio dell'agricoltura si imita la natura nel senso che si imita l'attività del batterio *Agrobacterium tumefaciens*, il quale trasferisce geni da una specie vegetale all'altra. Ma in questo caso nell'opinione pubblica - pur a fronte di controlli che attestano la totale innocuità dei prodotti dell'ingegneria genetica (penso ai mais BT o ai mais e alle soie resistenti al Glyphosate) - è stato inculcato un rifiuto preconcepito. Tale rifiuto è peraltro contraddittorio in quanto i prodotti di piante OGM (mais e soia) sono sul nostro mercato da decenni come alimenti per gli animali o come cotone per i nostri abiti e non hanno mai prodotto alcun danno alcuno.



...Perché non lasciare libero l'imprenditore agricolo di scegliere se produrre mais e soia tradizionali ovvero gli stessi mais e le stesse soie OGM i cui prodotti vengono oggi importati dall'estero? ...



Certo, i demagoghi impazzano e ci dicono che possiamo fare a meno degli OGM in nome delle nostre eccellenze. Ma di che eccellenze stiamo cianciando? Dei mais imbottiti di aflatossine e che ci spingono periodicamente a buttare il latte? Stiamo parlando di rese, per restare al mais, che oggi in Italia sono sensibilmente più basse di quelle offerte dai mais geneticamente modificati nei paesi del mondo che consentono queste tecniche (USA, Canada, Brasile, Argentina, ecc.) incrementando sempre più il deficit della nostra bilancia commerciale agricola (oggi importiamo il 35% dei mangimi zootecnici con cui produciamo i nostri principali prodotti da esportazione e cioè i due grana e i prosciutti crudi).

Perché non lasciare libero l'imprenditore agricolo di scegliere se produrre mais e soia tradizionali ovvero gli stessi mais e le stesse soie OGM i cui prodotti vengono oggi importati dall'estero? Domande senza risposta e dalle quali non possiamo attenderci alcuna risposta razionale dai politici impegnati in campagna elettorale, perché se la dessero rischierebbero di non essere eletti.



SVELATI I SEGRETI DEL "GRANO DEL MIRACOLO"

Sergio Salvi



...Il Grano del Miracolo. appartiene al gruppo dei frumenti duri/turgidi (nome scientifico: *Triticum turgidum convar. compositum* (L. f.) Filat.), il cui assetto genomico è AABB...

Era chiamato *Triticum ramosum* da Plinio, *Triticum spica multiplici* da Bavino, *Fruentum racemosum* da Anguillara e *Triticum typhinum multiplici spica* da Tabernamontano, e da alcuni, più volgarmente, Grano di Smirne, Grano d'Egitto o, ancora, Grano del Gaspo o del Grappolo, ma oggi per tutti è il Grano del miracolo (nella foto), una forma di frumento che da sempre ha colpito l'immaginazione dell'uomo agricoltore nella speranza di poter conseguire raccolti - per l'appunto "miracolosi" - di grandi quantità di granella.

Qualcuno chiamava questo frumento dalla spiga ramificata Mazzocchio, ma secondo il botanico Saverio Manetti (1723-1785) commettendo un errore, perché, come egli scriveva nel lontano 1766, "...sotto il nome di Mazzocchio s'intende comunemente un'altra specie di Grano". Il Manetti aveva ragione, tanto che in seguito il grande Emanuele De Cillis (1866-1950), nella sua opera "I grani d'Italia" (1927), classificò il Mazzocchio (all'epoca ancora confuso con il vero Grano del miracolo) come frumento tenero, mentre oggi sappiamo che il Grano del miracolo propriamente detto appartiene al gruppo dei frumenti duri/turgidi (nome scientifico: *Triticum turgidum convar. compositum* (L. f.) Filat.), il cui assetto genomico è AABB.

Una ricerca appena pubblicata sulla rivista *Genetics*, svolta da un gruppo internazionale del quale hanno fatto parte anche ricercatori italiani del Parco Tecnologico Padano di Lodi e delle Università di Bologna e Milano, ha caratterizzato a livello genetico-molecolare la mutazione responsabile di questo particolare fenotipo della spiga di frumento.

I ricercatori, infatti, hanno scoperto che alla base della ramificazione della spiga del Grano del miracolo vi è una specifica mutazione che interessa un dominio particolare all'interno del gene TtBH-A1, la quale comporta la sostituzione dell'aminoacido leucina con un altro aminoacido, la prolina, nella posizione 96 della proteina codificata dal gene in questione (mutazione L96P).

L'aspetto interessante di questa scoperta è che altre mutazioni del gene *TtBH-A1*, diverse da *L96P* (anche indotte artificialmente), non provocano mai il fenotipo ramificato "classico", nemmeno quando esse colpiscono il dominio specifico entro il quale cade la mutazione *L96P*. Ma non solo: i ricercatori, effettuando il resequencing di numerose accessioni di Grano del miracolo, hanno sempre e solo trovato la mutazione *L96P* associata al fenotipo ramificato. Inoltre, essi hanno anche potuto dimostrare che la manifestazione della spiga ramificata non dipende mai dal gene corrispondente (detto omeologo) presente sul genoma B (*TtBH-B1*), mostrando, pertanto, che il fenotipo ramificato è una prerogativa unica del gene presente nel genoma "A" il quale, insieme al "B", è comune anche al frumento tenero (*Triticum aestivum* L., genoma AABBDD). Questo lascia supporre che il gene *TtBH-A1* possa essere coinvolto anche nella ramificazione della spiga osservata in quel grano Mazzocchio che, in passato, veniva scambiato per il Grano del miracolo originale.

In conclusione, gli autori dello studio hanno potuto portare una prova a favore dell'ipotesi che un singolo evento di selezione, avvenuto durante il processo di domesticazione del frumento duro, abbia portato all'isolamento di questa mutazione la quale, attraverso la propagazione del "mito" della produzione miracolosa attuata nel corso dei millenni, è giunta fino a noi per rivelare i propri segreti ai ricercatori impegnati nei moderni laboratori di genetica molecolare.

Resta, invero, un unico segreto ancora da rivelare sul Grano del miracolo, ossia quello delle sue origini nel tempo e nello spazio. Quel che però è certo è che oggi abbiamo a disposizione nuove informazioni che forse, un giorno, permetteranno di concretizzare l'atavico sogno dell'umanità di poter disporre di pane in abbondanza per tutti.

Bibliografia

De Cillis E., 1927. *I grani d'Italia*, Tipografia della Camera dei Deputati.

Manetti S., 1766. *Delle specie diverse di frumento e di pane siccome della panizzazione*, Antonio Zatta, Venezia.

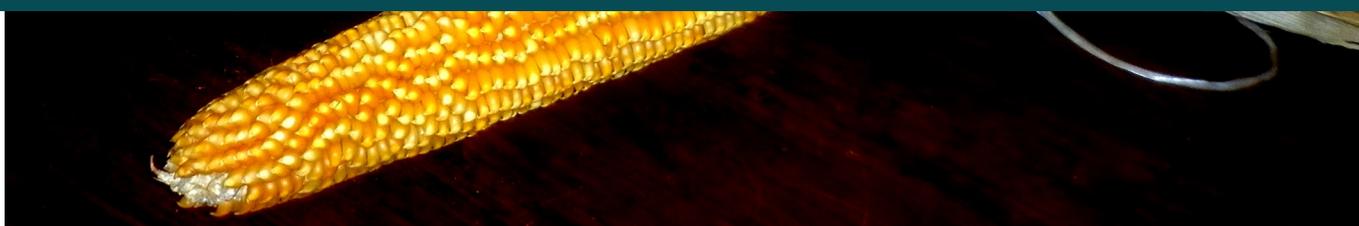
Poursarebani N., Seidensticker T., Koppolu R., Trautewig C., Gawroński P., Bini F., Govind G., Rutten T., Sakuma S., Tagiri A., Wolde G.M., Youssef H.M., Battal A., Ciannamea S., Fusca T., Nussbaumer T., Pozzi C., Börner A., Lundqvist U., Komatsuda T., Salvi S., Tuberosa R., Uauy C., Sreenivasulu N., Rossini L., Schnurbusch T., 2015. *The Genetic Basis of Composite Spike Form in Barley and 'Miracle-Wheat'*, *Genetics*, Vol. 201, pp. 155-165.



TEA E TRANSGENESI SONO TECNICHE CHE SI CONTRAPPONGONO?



Alberto Guidorzi



Per scrivere questo report mi sono avvalso di una intervista rilasciata da Agnès Ricoch (docente presso *Agro-ParisTech*) assieme a Marcel Kuntz (direttore presso il *CNRS* di Grenoble); che appunto sono gli autori di uno studio sulle innovazioni varietali vegetali. Successivamente analizzerò un altro articolo che in sostanza dice che lo stallo dell'Europa sull'applicazione di queste tecniche è l'incertezza giuridica. In questo contesto ciò significa che la giurisprudenza è inadeguata e che occorrerebbe quindi adeguarla. A consuntivo si vedrà che l'impatto ha determinato un tale ritardo dell'UE che sarà difficile colmare e che si pagherà caro.

Le TEA, spesso presentate come un'alternativa alla transgenesi, non intendono sostituirla

Come sono arrivati a questa conclusione?

Essi hanno preso in considerazione tutte le innovazioni varietali realizzate nel mondo dal 2015 ad oggi approvate almeno in un paese e ciò significa che sono commercializzabili, a queste vi hanno aggiunto quelle che hanno fatto oggetto di un deposito di brevetto. Le innovazioni sono state distinte in due categorie: quelle "vecchie" che hanno usato la transgenesi (vecchie perché le tecniche datano 40 anni fa e perché sono coltivate estesamente da 25 anni) e quelle "nuove" (tutte frutto dell'editing genetico). La distinzione vuole appunto mostrare se le TEA hanno sostituito la transgenesi. Infatti l'avvento delle TEA aveva fatto sperare che nell'UE si potesse ovviare al divieto di ottenere innovazioni vegetali transgenetiche, solo che la loro analisi dei dati ha mostrato che le TEA sono più un complemento alla transgenesi che una sostituzione, infatti le vecchie società dedite alla transgenesi sono state affiancate da altre come ad esempio *Cibus*, *JR Simplot Company*, *Evogene*, *Calyxt*, *Nexgen Plants Pty Ltd*, *Soilcea*. Certo ciò ha moltiplicato le costituzioni create con l'editing genetico, però nel 2020 il 70% dei tratti genetici che hanno ottenuto l'autorizzazione, o sono stati commercializzati dal 2015, provengono dalla transgenesi. Ci si sarebbe aspettati che i brevetti concessi all'editing genetico avessero preso il sopravvento, invece non è così, essi rappresentano solo il 14% dei brevetti mondiali. Insomma, quando si tratta di aggiungere un gene, la transgenesi resta d'attualità (in particolare per via dei suoi protocolli consolidati), mentre quando si vuole modificare un gene per apportare modifiche specifiche, l'editing del genoma si impone rapidamente come lo strumento più adatto. L'editing genetico è stato molto applicato per modificare varietà già coltivate e questi cambiamenti riguardano il 74% (resistenza a parassiti e malattie, la tolleranza a stress come la siccità, è il caso del grano *HB4* dove la Florimond Desprez residente in Francia ha dovuto pre-

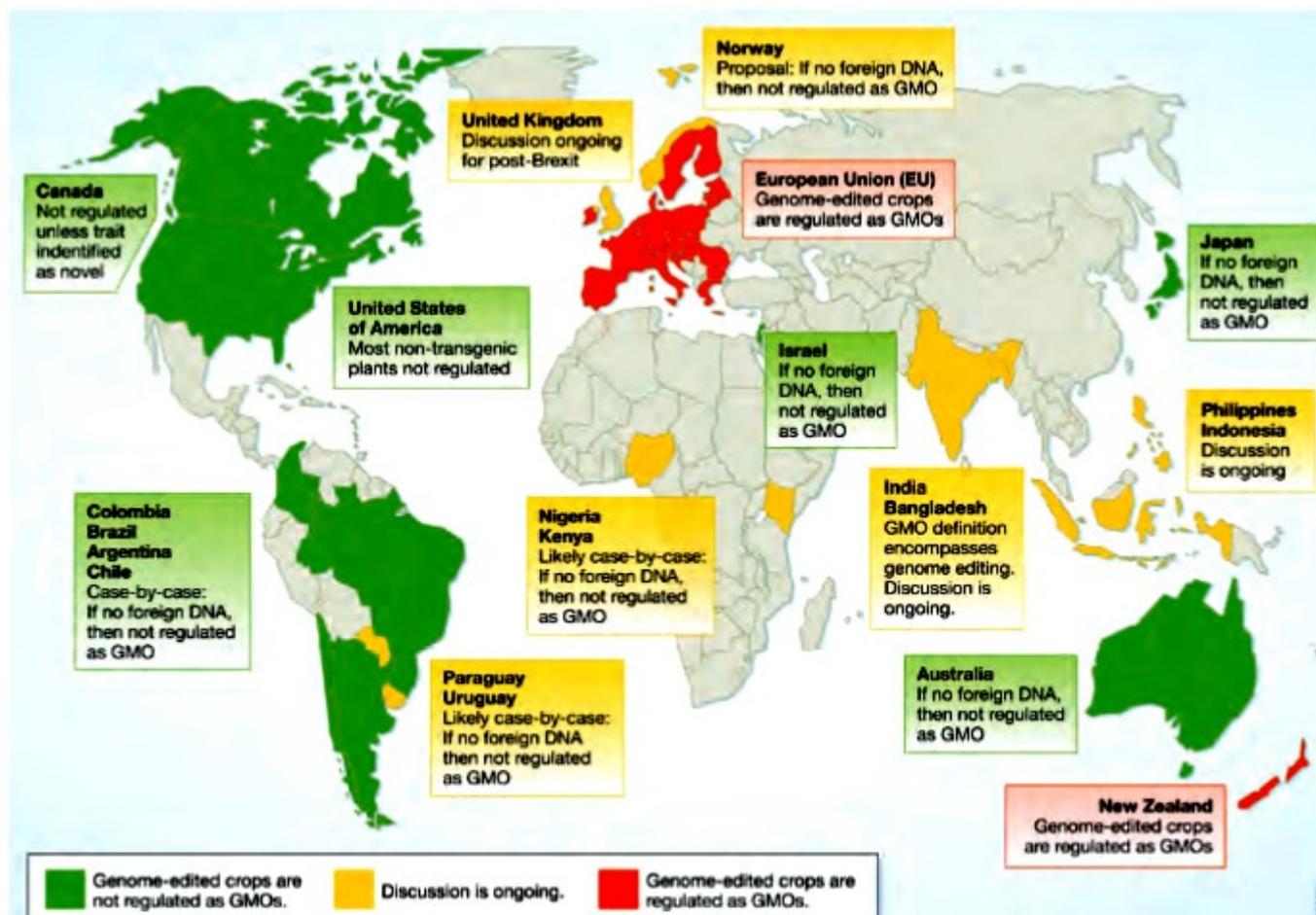
Agrarian Sciences

stare ad una società argentina (Bioceres) le sue varietà di grano per essere modificate. Oggi sono coltivate su larga scala in Argentina ed il Brasile ha dato l'ok per l'importazione dall'Argentina di grano geneticamente modificato). Non si può dimenticare l'ottenimento anche di tratti terapeutici – ad esempio i vaccini contro il Covid-19 ottenuti per transgenesi.

In conclusione: Il trasferimento genico per transgenesi convenzionale rimane quindi oggi il metodo più utilizzato al mondo (75% dei brevetti compilati), mentre CRISPR-Cas è stato utilizzato nel 14% di questi brevetti e RNAi è rappresentato nell'11%.

È interessante anche vedere come queste percentuali si spalmano nei vari paesi e continenti

La Cina è molto avanti, con oltre il 90% dei brevetti elencati per applicazioni che coinvolgono le piante. Inoltre il suo settore pubblico domina in modo schiacciante il panorama dei brevetti. I brevetti riguardanti la tecnica CRISPR-Cas, infatti, sono stati depositati principalmente dalla Cina (92,5% per 235 famiglie di brevetti), seguita dagli Stati Uniti (4% per 10 famiglie di brevetti). Segue l'Europa con un modesto 2,4% per 6 famiglie di brevetti. Il riso è la coltura dominante con il 36% di questi brevetti, seguito da mais (11%), tabacco (11%, di cui la metà riguarda il tabacco come pianta modello), soia (8,6%), cotone (8%), grano (6%), pomodoro (5,1%) e Brassica (tutte le specie, 4,6%). Qui bisogna ricordare che depositare brevetti è un modo per proteggere preventivamente il mercato interno, infatti, per il momento, questa egemonia non si è tradotta in prodotti immessi sul mercato, o autorizzati ad esserlo; in questo campo resta ancora rilevante il dominio degli Stati Uniti con il 76% di prodotti immessi sul mercato.



Approcci normativi per il genome editing nei diversi paesi (*Schmidt et al., 2020*).

Fonte: ISAAA 2021.

L'UE è perdente in ambedue le categorie perché ha una normativa obsoleta e inadeguata La colpa è delle normative ancora in essere (leggasi Direttiva sugli OGM 18/2001).

I dati confermano appunto che le normative hanno scoraggiato molti sviluppatori, compreso il settore pubblico, e questo include le prove sul campo. A tutto ciò si è aggiunta la sentenza della Corte di Giustizia Europea del 2018 che interpellata sulle TEA ha detto che, stante la normativa vigente, le tecniche di editing del genoma venute dopo la direttiva europea sugli OGM del 2001 dovevano essere assoggettate a tale direttiva, elemento molto dissuasivo per il loro utilizzo. L'iniziativa che ha originato il permanere in questa situazione di stallo molto penalizzante è stata presa dal Consiglio di Stato francese che interpellato ha passato la patata bollente alla Corte di giustizia europea, riconoscendo così che trattasi di interpretazioni da dirimere in sede europea e non a livello di stato membro (cosa che io ho sempre sostenuto visto che le sementi sono solo materia comunitaria e tutti gli stati membri che hanno legiferato in merito, contravvenendo alla direttiva sulle sementi, sono stati stoppati dalla Commissione dell'UE, vedi gli interventi dei ministri Zaia e Pecoraro Scanio). Comunque sia, e cito solo il dato francese: il 38% delle piccole e medie aziende sementiere ha cessato o ridotto il lavoro di R&S relativo alle TEA. In Italia le poche imprese sementiere che si potevano cimentare in questo campo sono praticamente scomparse e quindi resta solo il settore pubblico, ma a questo sono praticamente negati i finanziamenti. Senza dimenticare che chi si cimentasse comunque in questo campo rischia di vedersi vandalizzato da sedicenti "guardiani dell'ambiente" sia l'istituto che le installazioni, grazie anche ad una giustizia che cavalca le mode e non usa i codici.

Interessante sarebbe anche sapere quanto tempo occorrerebbe per vedere varietà vegetali frutto dell'applicazione delle TEA immesse sul mercato se le normative europee cambiassero.

Per rispondere devo fare ricorso ad una ricerca di *Euroseeds* che ci dice che tra il 17 e il 30% delle aziende punta a portare i prodotti sul mercato nei prossimi cinque anni. Una quota che raggiunge il 67% per le grandi imprese nei prossimi cinque-dieci anni, e il 50% per quelle medie oltre i dieci anni. Infatti, il 47% delle piccole imprese ha già attività di ricerca e sviluppo legate agli NBT. Questo vale anche per oltre l'86% delle medie imprese e il 100% delle grandi imprese. L'indagine si è concentrata anche sulle direzioni principali di questa ricerca: il 25% della R&S è dedicato a questioni legate al valore agronomico, come l'aumento della resa; per il 23% si tratta di lavori sulla resistenza agli stress biotici (parassiti e malattie, ad esempio); per il 18%, la qualità degli alimenti per l'uomo e gli animali; per il 15%, resistenza agli stress abiotici (siccità, caldo); e molto indietro vengono gli scopi industriali, come la tolleranza agli erbicidi o la produzione di amido, ad esempio, con rispettivamente il 5 e il 9%.



Speciale Genetica Agraria

L'inarrestabile marcia dell'agricoltura moderna

<https://www.agrariansciences.it/>

No. 2 - 2022

