Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
Memorie di Scienze Fisiche e Naturali
133° (2015), Vol. XXXIX, Parte II, Tomo I, pp. 173-193

LUIGI ROSSI* – BASILIO DONINI* – ALESSANDRO BOZZINI*

CNEN/ENEA
Laboratorio Applicazioni in Agricoltura

Premessa

La Conferenza internazionale di Ginevra (1955) *Peaceful Uses of Atomic Energy,* aprì nuovi orizzonti per la ricerca e l'innovazione, non solo nei settori dell'energia e della medicina, ma anche per le applicazioni delle radiazioni in agricoltura. In quel periodo le Facoltà di Agraria erano dedite all'insegnamento ed alla ricerca, unitamente agli Istituti del CNR più impegnati sulla ricerca di base. Le Stazioni Sperimentali del Ministero dell'Agricoltura coprivano tutti i settori della ricerca agraria e quelle del Ministero dell'Industria, la corrispondente parte industriale.

Nuovi approcci della genetica, basati sull'impiego di mutageni (chimici e radiazioni), erano stati sviluppati in USA, Germania, Svezia, Norvegia, Francia ed India. In seguito alla disponibilità di una sorgente di Cobalto-60 (200 Curie) offerta dalla Commissione americana USAEC (Dr. Pearson), fu progettato il «campo gamma» e si avviò (1956) un programma di radio-genetica sui frumenti (grano duro Cappelli e tenero Brescia) presso l'Università di Pisa, guidato dal Prof. Francesco D'Amato.

Nel 1957 il Prof. Vincenzo Caglioti fu incaricato dal CNRN – organismo attivato nel 1952 dal quale nel 1960 nacque il CNEN – di presiedere una Commissione consultiva (segretario scientifico Gian Tommaso Scarascia Mugnozza) per sviluppare in Italia programmi di Applicazioni delle Scienze nucleari in Agricoltura. I risultati corredati dai pareri di esperti nazionali (A. Buzzati-Traverso, C. Polvani, F. D'Amato) ed internazionali, portarono a formulare una proposta per la istituzione in Italia di un Laboratorio di «Genetica Vegetale», che nel 1961 fu trasformato in «Laboratorio per le Applicazioni in Agricoltura». [Biblio: 1].

* Già ricercatori del Laboratorio Applicazioni in Agricoltura CNEN-ENEA.
E.mail: luigirss0@gmail.com

Origine e sviluppo del Laboratorio

Il Laboratorio fu localizzato nel Centro di Ricerche Nucleari Casaccia del CNEN, ora ENEA. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza fu la mente e il motore di quella straordinaria fase storica, così ricca e variegata nell'avvio e nello sviluppo, nonché nella fase evolutiva che seguì, ampiamente documentata. Avendo partecipato alla Conferenza «Peaceful Uses of Atomic Energy» del 1955, in qualità di Consigliere tecnico della delegazione italiana, Scarascia indicò chiaramente su *La Ricerca Scientifica* (Anno 26°, n. 1, 1956) quattro linee di ricerca di interesse per l'agricoltura italiana, e si impegnò per il loro sviluppo nel Laboratorio Applicazioni delle Radiazioni in Casaccia:

– *l'induzione di mutazioni nel migliorare le colture agrarie*;
– *un nuovo mezzo di lotta biologica: la tecnica degli insetti sterilizzati con irradiazione gamma*;
– *l'applicazione del metodo dei radioisotopi allo studio delle relazioni terreno-fertilizzanti-pianta*;
– *l'irradiazione degli alimenti al fine di assicurarne la conservazione.*

Alcuni punti di forza del Laboratorio

Scarascia Mugnozza inserì le attività di ricerca in agricoltura all'interno di un Centro di ricerca multidisciplinare quale era quello della Casaccia, in cui erano riuniti ricercatori con competenze in fisica, elettronica, ingegneria, chimica, biologia, geologia, dosimetria e medicina. Integrò fra loro attività con indirizzi specifici di ricerca di base ed applicata, mirati anche alla soluzione di problemi dell'agricoltura italiana, spesso in collaborazione con Istituzioni di ricerca italiane ed estere e con il settore privato.

L'integrazione tra la ricerca di base e lo sviluppo delle applicazioni, e la collaborazione con le altre attività di ricerca del Centro Casaccia e con il mondo produttivo, particolarmente interessato alle novità provenienti dalla scienza e dalla tecnologia, apparvero subito vincenti. Queste due caratteristiche anticipatrici per l'epoca, la scelta di settori di ricerca innovativi e l'assunzione di laureati provenienti da varie Istituzioni italiane (ben 13 in Scienze agrarie) e di tecnici diplomati qualificati, diedero vita a un «gruppo di ricerca» altamente motivato ed a un laboratorio di eccellenza.

Il «gruppo di ricerca» veniva regolarmente incentivato e stimolato grazie al continuo aggiornamento scientifico (partecipazione a corsi, congressi scientifici e visite presso Istituti di ricerca all'estero) nelle diverse aree di interesse: mutagenesi applicata al miglioramento delle piante agrarie, tecnica dell'insetto sterile per la lotta contro la mosca della frutta, tecnica dei radioisotopi (N, P, K) usati come traccianti per lo studio della fisiologia e la nutrizione delle piante, tecnica della radio-conservazione delle derrate alimentari per il prolungamento della vita di mercato particolarmente di frutta e ortaggi e della radio-conservazione di granaglie e altri prodotti agricoli.

Felice Ippolito ritorna in Casaccia e presenta a Gian Tommaso Scarascia Mugnozza la targa CNEN Laboratorio per le Applicazioni in Agricoltura.

Il «gruppo di ricerca» aveva anche il continuo supporto scientifico da parte di consulenti italiani ed internazionali e disponeva della strumentazione e dei necessari materiali tecnici di avanguardia.

L'approccio multidisciplinare della ricerca e la integrazione delle competenze – di agronomo, cito-genetista, genetista, statistico, biochimico, ecc. – necessarie alla soluzione dei problemi affrontati, vennero collegate da Scarascia Mugnozza alla valorizzazione dei risultati della ricerca in tutti i suoi momenti: nella fase di sviluppo delle conoscenze di base utili al progresso della scienza (confronto e partecipazione a convegni, seminari, ecc), nella messa a punto di tecniche e metodologie innovative, ed infine nella diffusione dei risultati e valutazione dell'impatto economico.

Impianti e strumentazioni

Il Laboratorio fu dotato fin dall'inizio di impianti e strumentazioni di avanguardia.

– *Il «campo gamma» della Casaccia*, costituito nel 1960, comprendeva un appezzamento di terreno a pianta circolare, della superficie di circa mq 6.000, circondato

da un argine e con al centro una unità di irraggiamento, sorgente di Co-60 (al 1960, 180 Curie). Fu l'unico impianto del genere in Europa, dopo quello di Brookhaven negli Stati Uniti e di Omihia in Giappone, indispensabile strumento per ricerche di base ed applicate, per studiare gli effetti delle radiazioni a livello citologico, genetico, fisiologico, evoluzionistico ed ambientale e per valutare la radiosensibilità di molte specie botaniche (circa 600) e di oltre 30 piante agrarie (cereali, orticole, piante da fiore, piante da frutto ed ornamentali).

– La «*cella gamma*», sorgente di Co-60 di 120 Curie, posta al centro di una camera «schermata» e munita di un sistema di controllo automatico di temperatura ed illuminazione, che veniva utilizzata per gli irraggiamenti di semi e piante.

– *L'impianto Agrigamma,* dotato di una sorgente di Co-60 di 180 Curie, concepito per l'irraggiamento di grandi volumi di materiali e prodotti agricoli veicolati con un sistema di trasporto automatico. Questo impianto è stato utilizzato per scopi diversi ma, in particolare, per: (i) inibire la germogliazione di prodotti quali patate, agli, cipolle, (ii) prolungare la vita di mercato di frutta (uva, fragole, pere, arance) e per la radio-sterilizzazione della mosca della frutta e la radio-disinfestazione commerciale di prodotti quali: confezioni di fichi, fragole, fiori recisi, ecc.).

– Una serie di *serre e camere di crescita* moderne. *Campi sperimentali interni al Centro* indispensabili per l'allevamento, la selezione e la valutazione agronomica delle linee in selezione di grani, orzi, pomodori, piselli, peperoni e piante da frutto.

– *Un impianto per l'allevamento massale di mosca della frutta* (*Ceratitis capitata*) che aveva la capacità di allevare settimanalmente 15 milioni di insetti che, dopo la radio-sterilizzazione, venivano rilasciati su aree infestate (esperimenti pilota di Capri, Procida e Pantelleria).

– *Il citofotometro*, un eccezionale mezzo di avanguardia ed unico (allora) in Italia per la ricerca e la sperimentazione, che consentì di acquisire informazioni preziose sulla biologia delle cellule (singole o popolazioni), sul contenuto in DNA dei nuclei di singole cellule ed in stadi diversi del ciclo mitotico, sulla possibilità di separare cellule singole «marcate» in una popolazione cellulare.

Le collaborazioni scientifiche.

Il Laboratorio per le Applicazioni in Agricoltura del CNEN partecipò dal 1961 alle attività del Gruppo di lavoro del CNR per il miglioramento genetico delle piante coltivate, nonché, in particolare, al Progetto collegiale di prove agronomiche sul frumento duro, inserendo anche i primi mutanti di Cappelli, Russello, Garigliano, Azizia, Grifoni.

Nel 1963 iniziò una collaborazione scientifica con l'Associazione Euratom-Ital (Istituto per le Applicazioni dell'Energia Nucleare in Agricoltura di Wageningen). Altri Paesi (Francia, Belgio, Germania) si aggiunsero successivamente sulle tematiche: (i) messa a punto delle metodologie di irraggiamento, (ii) radiosensibilità delle piante superiori, (iii) radiogenetica e studi sistematici su cariotipi di frumento duro,

compresi i mutanti. Il *modus operandi* di questi Gruppi di ricerca, che annualmente si riunivano per confrontare i risultati, ha anticipato i «network» dei programmi della UE, a partire dagli anni 1990.

Il Laboratorio partecipò nel 1965 ad un programma sul frumento duro guidato dalla Divisione congiunta FAO/IAEA che comprendeva dodici paesi del Bacino del Mediterraneo. Nelle prove agronomiche furono messe a confronto due varietà standard (Cappelli e Capeiti), due varietà locali (per ciascun paese) ed alcuni mutanti di Cappelli e Garigliano ottenuti alla Casaccia.

Consulenti scientifici e ospiti

Il Professor F. D'Amato (Docente dell'Università di Pisa) ha dato un decisivo apporto sia alla impostazione delle attività svolte nel Laboratorio Applicazioni in Agricoltura del CNEN, sia alla supervisione scientifica dei progetti ed alla qualità della ricerca. Il Prof. A. Gustafsson (Svalov, Svezia) è stato il punto di riferimento sulle ricerche di mutagenesi applicate al «breeding».

Altri consulenti di diverse discipline sono stati: dr. H. Gaul Università di Monaco Baviera esperto di Genetica vegetale; dr. Gunnar Armstrong, Università di Stoccolma, esperto in dosimetria e fisica delle particelle, dr. L. Ehrenberg, Università di Stoccolma, esperto in chimica delle radiazioni, dr. M. S. Swaminathan, Chennai, India (esperto di genetica e mutagenesi); dr. C. Borojevic, Jugosalvia, dr S. Bogyo,

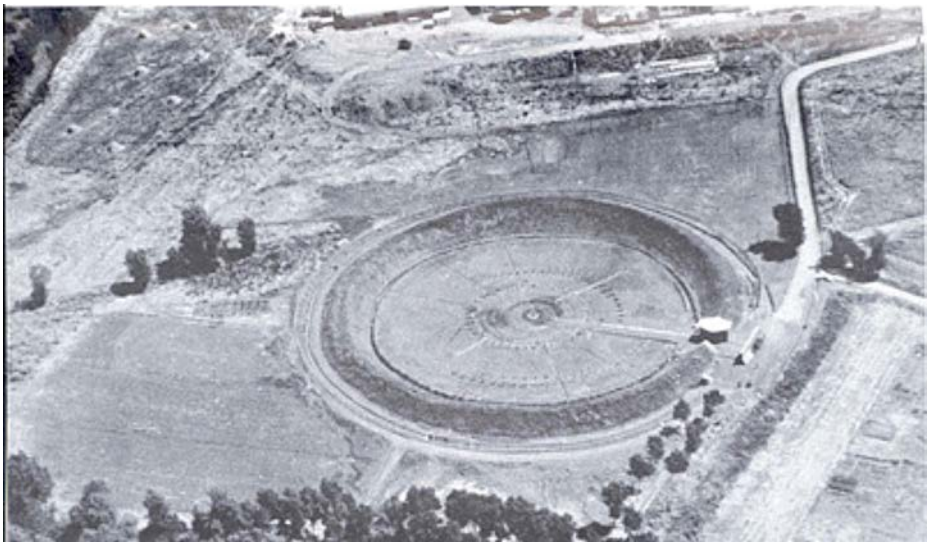


Fig. 1. Campo gamma nel Centro Ricerche Casaccia. Gli esperimenti, inizialmente volti a conoscere la radiosensibilità delle piante, furono ben presto indirizzati allo studio degli effetti genetici delle radiazioni (Radiogenetica), e a determinare, successivamente, mutazioni utili nelle piante agrarie (Mutagenesi).

Università di Washington, dr.ssa S. Avanzi (Università di Pisa), dr. D. de Zeeuw (Wageningen, Olanda), dr. B. Decourtye, Francia, dr. A. Nybon e S. Blixt, Svezia, dr. E.A. Favret, Argentina, dr. A. Micke e dr. G. Lundquist della Divisione congiunta FAO/IAEA di Vienna.

I principali ricercatori italiani e stranieri ospitati alla Casaccia presso il «gruppo agricoltura»: dr. M. Devreux (Euratom), dr. D. de Nettancourt (UE), dr. Sree Ramulu (India), dr. C. Filev (Bulgaria), dr R. Roy (Università di Montreal, Canada), dr. W.A. Farooqi (Pakistan), dr. A. Dassiou (Grecia); dr. Saed Hussein (Pakistan), dr. G. De Stanchina (Stazione San Michele all'Adige), dr. G. Martini (CNR Pisa) dr. essa A. Mariani (Università di Perugia).

Mutagenesi e miglioramento genetico

Le quattro linee di ricerca sopra descritte, si svilupparono molto rapidamente sotto la direzione di Gian Tommaso Scarascia Mugnozza, nel Laboratorio Applicazione delle Radiazioni in Agricoltura del Centro Ricerche Nucleari della Casaccia, e, dalla fine degli anni '50, hanno rappresentato un filo conduttore per le sue attività nel corso degli anni. In particolare, quella di ricerca scientifica relativa all'induzione di mutazioni per il miglioramento di specie di interesse agrario (mutagenesi e miglioramento genetico) si è ampliata e trasformata nel tempo, includendo nuove tecnologie (colture *in vitro* e ingegneria genetica).

L'azione mutagenica dei raggi X e di alcuni agenti chimici su diversi organismi, tra cui molte piante superiori, era stata scoperta a partire dagli anni '20. La possibilità di indurre nelle piante modificazioni del patrimonio genetico e di ottenere in tal modo un ampliamento della relativa variabilità rappresentava per i genetisti uno strumento importantissimo nel miglioramento genetico di specie di interesse agrario.

Obiettivo concreto del Laboratorio fu quello di avvalersi della mutagenesi per indurre variabilità genetica utile al miglioramento di piante autogame (cereali, orticole) ed aumentare la frequenza di mutazioni somatiche in piante a propagazione vegetativa (fruttiferi e piante da fiore). A tal fine furono acquisite molte conoscenze: i) confronto tra agenti mutageni chimici (metansolfonato, dietil-solfato, etilenimmina ecc.) e fisici (raggi X, raggi gamma Co-60, neutroni termici, neutroni veloci); ii) efficacia dei trattamenti combinati (chimico e fisico) rispetto al singolo trattamento nella induzione di mutazioni, nelle frequenze e spettro; iii) definizione delle dosi/ concentrazioni più appropriate per le varie specie trattate (grano duro, pisello, ciliegio, pesco, vite, olivo,ecc); iv) confronto sull'efficacia dei mutageni chimici di indurre mutazioni geniche rispetto ai neutroni termici e veloci che inducono mutazioni cromosomiche; v) confronto fra irraggiamento acuto ed irraggiamento cronico nell'indurre mutazioni. Quest'ultimo (effettuato nel campo gamma) è stato prezioso per gli studi di radiosensibilità delle piante a livello fisiologico e genetico e per aumentare la frequenza di mutazioni somatiche in piante a propagazione vegetativa.

Altri aspetti metodologici che furono messi a punto riguardavano il materiale da trattare: seme, gemma, calli (organi pluricellulari) e zigote, gameti, cellula uovo, polline, microspore, e singole cellule *in vitro*. In particolare, fu stabilito che il trattamento di un organismo pluricellulare conduceva alla formazione di un tessuto chimerico (costituito da cellule mutate e normali). Si osservò, inoltre, che nel tessuto chimerico a seguito delle divisioni cellulari, si creava una competizione tra cellule mutate e normali («selezione diplontica»). L'ampiezza del settore mutato nelle piante M1 (prima generazione) dipendeva, infatti, dal numero delle cellule iniziali che davano origine alla pianta/spiga e l'analisi «topografica» sulle spighe principali e secondarie delle piante M2 (seconda generazione) consentì di stabilire il numero di «cellule iniziali» presenti nel seme irradiato.

Queste scoperte hanno consentito al Laboratorio Applicazioni, in stretta connessione con il CNEN/ENEA Casaccia, di adottare corretti metodi di selezione nelle generazioni M2 e M3 (selezione spiga, selezione pianta, selezione massale), permettendo di ottenere una maggiore efficacia di risultati.

In quegli anni fu anche dimostrato che il trattamento mutageno applicato ad una singola cellula (es. polline, microspora) non conduce alla formazione della chimera; e questo metodo ha consentito di poter selezionare con maggiore efficienza le mutazioni indotte nella seconda generazione. [Biblio: 2-23].

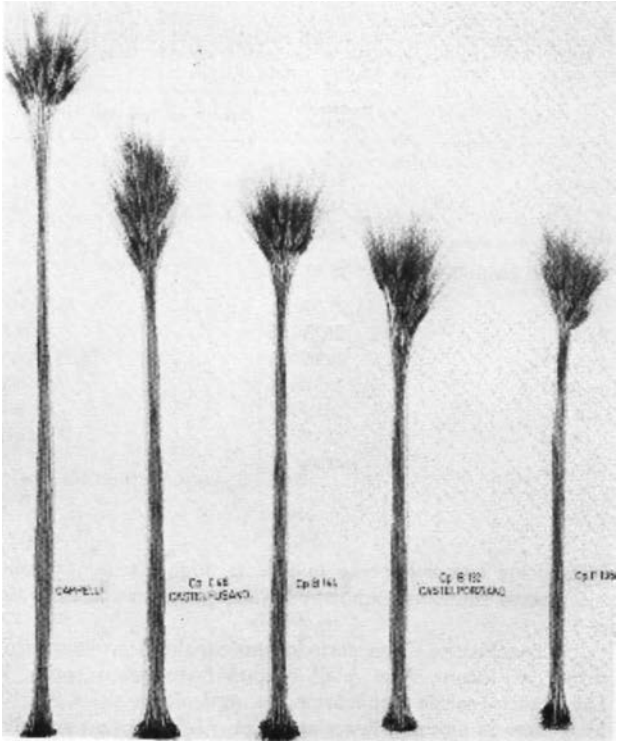
Il miglioramento genetico del grano duro

La scelta del grano duro non era stata casuale. Particolare impegno fu dedicato a tale specie per una duplice motivazione: una di carattere scientifico, in quanto pianta poliploide e quindi interessante per studi di mutagenesi; l'altra di carattere pratico, in quanto pianta mediterranea, fino a quel momento trascurata dal miglioramento genetico.

La coltivazione del grano duro in Italia era limitata sostanzialmente alle aree meridionali, in particolare Sicilia e Puglia ed era sinonimo di ambiente agro-pedoclimatico povero, produttività bassa con forti oscillazioni annuali. Le sementi utilizzate dagli agricoltori non erano certificate per oltre il 90%. Fino agli anni '60 tutte le varietà di grano duro erano caratterizzate da una taglia molto alta, 140-180 cm, che le rendeva fortemente soggette agli allettamenti, cioè al ripiegamento della pianta fino a terra, che arrecava gravissimi danni, sia in termini quantitativi che qualitativi.

Per superare tale grave problema, che non consentiva di adottare alcuna innovazione (l'uso dei fertilizzanti azotati aumentava notevolmente il rischio di allettamento), si erano ricercate possibili fonti genetiche di bassa taglia nelle varie collezioni mondiali, oppure si era tentato di abbassare la taglia delle singole varietà, incrociandole con quelle di grano tenero, con una riduzione della qualità pastificatoria.

Furono scelte le cultivar Cappelli, Garigliano, Capeiti, Grifoni, Russello e si puntò subito all'ottenimento di piante a taglia bassa resistenti all'allettamento. Si considerarono le varie mutazioni indotte: - morfologiche (riduzione di taglia, culmo



Varietà Cappelli e linee mutanti da essa derivate: Castelfusano (Cp C 48), Castelporziano (Cp B 132), Cp B 144 e Cp F 135.

rigido, foglie senza cera, spiga sferococcoide, tipo elimoide, vavilovoide, ecc.; - per pigmentazione (foglie giallo-verdi, antocianiche, glume antocianiche, ecc.; - cromosomiche (traslocazioni, delezioni, duplicazioni, trisomia, ecc.); - gametiche (asinapsis, disinapsis, sterilità maschile, ecc).

Sono state ottenute centinaia di linee nuove, alcune di interesse scientifico, botanico, evoluzionistico, altre di potenziale impiego per il miglioramento genetico. Diverse varietà di frumento duro furono ottenute nel programma di mutagenesi: due linee mutate di Cappelli (Castelporziano (CpB132), Castelfusano (CpC48)), una linea di Grifoni (Castedelmonte Gra145), una di Garigliano (Castelnuovo) oltre alle cultivar Tito, Mida e Creso. Il Castelporziano (Cp B132) è l'unico mutante noto di natura monogenica dominante.

Con la mutagenesi fu possibile selezionare molti tipi a taglia bassa e con caratteristiche agronomiche assai positive. Alcuni furono iscritti nel Registro Nazionale delle Varietà: nel 1969, Castelfusano e Castelporziano, entrambi selezionati tra i mutanti del Cappelli. Esse furono le prime varietà di grano duro a taglia significativamente ridotta ad essere coltivati. Erano resistenti all'allettamento e consentivano

anche di applicare con successo le concimazioni azotate. Furono i primi grani duri ad essere coltivati anche nei terreni fertili.

Per migliorare le caratteristiche dei mutanti e per trasferire i «caratteri mutati» in nuove varietà, fu realizzato un ampio programma di incroci, con successive selezioni genetiche per caratteristiche di interesse agronomico (resistenza all'allettamento, precocità, resistenza alle malattie, produttività) e per caratteristiche qualitative della granella (peso ettolitrico, proteine, capacità pastificatoria).

Il Creso: esempio di innovazione nel sistema agroalimentare

Tra le nuove linee selezionate apparve subito emergere quella FB55, con piante basse e vigorose, spighe molto fertili, resistente alle malattie e in particolare alle ruggini. Fu iscritta con il nome Creso. Selezionata nei laboratori del Centro della Casaccia da un incrocio fra un grano mutante (Cp. B144), radio-indotto dal Cappelli, e una linea del Centro Internacional de Mejoramento de Maize & Trigo (Cymmit, Mexico), si rivelò ben presto di grande interesse agronomico e industriale, per l'elevata produttività in campo e la buona qualità di pastificazione.

Iscritta nel 1974 nel Registro Nazionale delle varietà di grano duro, in pochi anni la nuova varietà del CNEN/ENEA diventò la più coltivata in Italia, facendo raddoppiare la produzione nazionale di grano duro, a parità di superficie. La varietà incontrò subito il favore degli agricoltori più preparati che, impiegando moderne tecniche agronomiche di coltivazione, realizzarono in Italia Centrale produzioni uguali o superiori a quelle del frumento tenero. L'agricoltore fu impressionato favorevolmente dall'aspetto della granella di Creso, dalla adattabilità di tale varietà e dalla risposta positiva ad ogni miglioramento della tecnica colturale.

Per meglio comprendere la rapida ed eccezionale diffusione del Creso si può evidenziare che tale varietà, iscritta nel 1974, aveva già raggiunto nel 1984 oltre il 60% del seme certificato di grano duro in Italia. E' importante sottolineare che, mentre all'inizio degli anni '70 la percentuale di seme certificato, sul totale di quello impiegato per la semina, non superava il 15%, nel 1983 tale percentuale raggiungeva il 29%. Una eccezionale azione di sviluppo del settore sementiero era stata pertanto esercitata dal Creso, che nel 1983 registrava un quantitativo di ben 578.613 quintali di semente certificata dall'ENSE (Ente Nazionale Sementi Elette).

Le industrie di trasformazione (mugnai e pastai) accettarono e apprezzarono la qualità tecnologica del prodotto, che risultò assai elevata sia per le caratteristiche genetiche, sia per le migliorate tecniche colturali. Il Creso si diffuse rapidamente in tutta l'Italia Centrale (Lazio, Toscana e Marche in particolare), nelle zone Adriatiche del Nord a clima non rigidamente continentale e nel Mezzogiorno. Secondo i dati Istat, la superficie coltivata a Creso è passata da poche decine di ettari nel 1973 a 77.000 ettari nel 1976, a oltre 400.000 ha nel 1982. Nel 1983 il Creso era coltivato su 26.971 ha in Emilia Romagna, 31.573 ha in Toscana, 81.782 ha nelle Marche, 46.538 ha nel Lazio, 38.754 nelle Puglie, 22.900 ha in Basilicata, 22.118 in Calabria,

60.000 ha in Sicilia, 9.739 ha in Sardegna, 9.299 ha in Campania, 16.300 ha in Molise, 11.949 ha in Abruzzi, 3.810 in Umbria, 755 ha in Veneto, 788 ha in Lombardia, e anche 8 ha in Friuli Venezia Giulia.

Lo sviluppo del settore sementiero è la chiave di volta per il passaggio da una coltura povera e primitiva a una ricca e moderna ed è espressione di un sistema produttivo efficiente e capace di gestire anche altre innovazioni genetiche.

L'utilizzo della varietà Creso, accompagnato da una sempre più appropriata tecnica colturale, ha comportato per l'agricoltore evidenti benefici economici, in qualche modo calcolabili. Non è certo facile valutare l'impatto di una innovazione, specialmente se agronomica, in termini economici. Tuttavia il contributo dovuto all'introduzione di una nuova varietà risulta forse più chiaramente definibile di quello di altri fattori (fertilizzanti, erbicidi, fitofarmaci, lavorazione del terreno). Anche perché, una volta note le superfici coperte, le produzioni ottenute e il prezzo del prodotto finito, le conclusioni sono rapportabili a semplici operazioni aritmetiche. Da uno studio effettuato dall'ENEA sulla base di dati ufficiali, pubblicati da organismi preposti al rilevamento (ISTAT e IRVAM) e sulla base di dati forniti da industrie sementiere si constata che dal 1973 al 1982, in soli dieci anni, il grano Creso è passato da 0% a oltre il 25% di tutta la superficie a grano duro in Italia.

La produzione totale ha raggiunto nel 1983 circa 15 milioni di quintali. Il valore in moneta corrente ha superato i 500 miliardi di lire nel 1982 e i 600 miliardi nel 1983. La stima dell'incremento di produzione dovuta alle intrinseche caratteristiche di maggior produttività del Creso rispetto alle varietà preesistenti, è passata dai 600 mila quintali del 1976 ai 3,7 milioni di quintali del 1984.

Poiché il Creso ha sostituito il grano tenero in molte aree del Centro Nord, l'incremento globale in produzione nazionale di frumento duro è stato ben maggiore e tale da annullare, a quel tempo, il grosso deficit dell'Italia in tale settore. Complessivamente gli agricoltori italiani hanno prodotto nei primi dieci anni di diffusione circa 100 milioni di quintali di granella di Creso. L'incremento in produzione lorda vendibile superò nel 1982 e 1983 i cento miliardi annui.

L'ENEA – quale Ente costitutore della suddetta varietà – incassa tuttora (2015) i diritti, le cosiddette «royalties» dalle industrie sementiere concessionarie; fino al 1983 tale introito è stato di 310 milioni di lire. Si tratta di una cifra significativa, sebbene irrisoria rispetto sia al quantitativo certificato e commercializzato (578.613 quintali nel solo 1983), sia ai benefici economici diretti e indiretti determinati in Italia.

Se il Creso si è avvantaggiato dall'adozione di moderne tecniche agronomiche, si può altresì aggiungere che esso ha agito come veicolo di promozione tecnologica (e non solo) presso le aziende agrarie, le Società sementiere e le Industrie di trasformazione. In quegli anni, nei Paesi della CEE la produzione di grano duro si aggirava sui 45 milioni di quintali con una punta di 60 milioni nel 1984, anno nel quale le favorevoli condizioni climatiche determinarono una produzione eccezionale anche in Italia (46 milioni di quintali).

Si può pertanto affermare che il Creso rappresenta il frutto di una intima con-

nessione tra ricerca scientifica e apparato produttivo. Stimolata da quest'ultimo, infatti, l'innovazione si è realizzata per merito delle ricerche in un Centro di alto livello scientifico.

Grazie al fenomeno Creso si è potuto provare come l'innovazione genetica costituisca un fattore estremamente importante di sviluppo e promozione del sistema agro-industriale, che, in tale occasione, ha dimostrato buone capacità di gestire l'innovazione, pur in presenza di carenze strutturali e organizzative. Di queste, l'innovazione può funzionare da «sistema di rilevamento» e può anche favorire il loro superamento.

Dopo 30 anni dalla sua registrazione, il Creso era coltivato nel nostro Paese su un'area superiore al 20% della superficie totale a grano duro. Inoltre, tale varietà è stata utilizzata nei programmi di miglioramento genetico del grano duro anche in molti altri Paesi, dalla Cina all'Australia, all'Argentina, agli USA, al Canada e presso i grandi Centri di Ricerca Internazionali (CIMMYT, ICARDA, CSIRO, ecc.). È impossibile enumerare tutte le varietà di grano duro che sono originate dal Creso, anche se è certo che buona parte della relativa produzione mondiale è ottenuta con varietà da esso derivate.

La varietà Creso è stata determinante per una vera e propria rivoluzione cerealicola in Italia. Ha fatto crescere tutta la coltura del grano duro: da sinonimo di povertà economica, agronomica, varietale, è diventata una coltura ad alta tecnologia: seme certificato, tecniche agronomiche accurate; le nostre industrie molitoria e pastaria sono diventate le prime del mondo.

A fronte dei vantaggi ottenuti dalla varietà Creso occorre considerare che essa – come tutte quelle a taglia bassa ed alta produttività – richiede diserbanti, concimi chimici, tecniche colturali valide; e rappresenta un esempio di forte intensificazione colturale: è paragonabile ad una *Ferrari,* che per esprimersi in tutta la sua potenzialità richiede una pista di Formula Uno. In un virtuale confronto, la tradizionale varietà Cappelli, da cui il Creso è derivato, è paragonabile ad una *jeep* che può viaggiare su strade di ogni genere. [Biblio: 24-39].

Mutagenesi nelle piante orticole

Le piante oggetto di studi di base o di interesse agronomico sono state: pisello, pomodoro, peperone, cece e carciofo. Sono state acquisite conoscenze di base su un numero di mutanti morfologici e clorofilliani (ad esempio nel pisello: afilla, portamento della pianta, foglie variegate, ecc.) che hanno fornito indicazioni citologiche e genetiche. Nel pomodoro è stato osservato che la «selezione diplontica» in piante di prima generazione è molto spinta se l'irraggiamento è stato effettuato sul seme, rispetto a quello sulle cellule madre del polline (PMC) o sul polline. Fonti di resistenza alla *Phytophthora* si possono incorporare nel pomodoro coltivato dal pomodoro selvatico *Lycopodium hirsutum*. Nel pisello, la cv. *Parvus*, mutante indotto per precocità di maturazione, è risultato di natura monogenica recessiva.

Le varietà di interesse agronomico sono state nel pomodoro le cultivars *Sorrento e Vesuvio*. Entrambe, per le loro caratteristiche di maturazione contemporanea dei frutti, qualità simile all'antica varietà San Marzano e buona produttività, sono state utilizzate dall'industria. Nel pisello due nuove varietà, *Esedra e Navona* sono di interesse per l'industria date le caratteristiche tecnologiche (colore e dimensione dei semi). [Biblio: 40-45].

Mutagenesi nelle piante a propagazione vegetativa

Le ricerche effettuate alla Casaccia hanno riguardato: (i) le tecniche di trattamento: l'agente mutageno fisico (raggi X, raggi gamma Co-60), il tipo di irraggiamento (acuto, cronico) e le dosi più appropriate per ciascun materiale, (ii) il materiale da trattare in vivo (gemma, marza, talea) od in vitro (meristema, gemme ascellari, calli, singole cellule), (iii) il meccanismo d'induzione della mutazione somatica, dei settori mutati nella prima generazione «vegetativa», dell'ampiezza della chimera ed infine (iv) i metodi di isolamento delle mutazioni somatiche.

In collaborazione con Istituti italiani di ricerca (Università, Ministero Agricoltura e CNR) sono stati affrontati diversi problemi di interesse pratico economico, per i quali il contributo della mutagenesi poteva essere determinante. Nel ciliegio la riduzione della taglia dell'albero avrebbe consentito una più facile raccolta dei frutti; i risultati ottenuti sul ciliegio con l'Istituto di Frutticoltura di Roma (MAF) e l'Istituto piante da frutto del CNR (Firenze) sono stati l'ottenimento di diversi «mutanti spur» taglia ridotta nelle migliori cultivars italiane di ciliegio: cv. B. Napoleon, B. Burlat, Durona di Vignola e Moreau.

Analogo problema è stato affrontato nell'olivo con il CNR di Firenze, ed una nuova cultivar a taglia ridotta cv *Briscola* è stata ottenuta dalla cv Ascolana. Mutanti senza polloni sono stati ottenuti nel nocciolo cv Tonda gentile delle Langhe con la Università di Torino. Con l'Istituto di Agrumicoltura di Acireale è stato ottenuto un mutante di arancio senza semi nella cv. Monreale. [Biblio: 46-51].

La tecnica dell'insetto sterile

Nel Laboratorio Applicazioni delle Radiazioni in Agricoltura, il Direttore Scarascia Mugnozza dovette sicuramente sacrificare la sua vocazione iniziale di genetista agrario per dedicarsi alle altre attività che egli stesso inizialmente aveva proposto.

Sulla base dei risultati brillanti di lotta effettuati nelle isole Hawaii nel 1959-60, in Florida (USA) e nel Centro-America negli anni 1962-63, di eradicazione con insetti radio sterilizzati, il Laboratorio del CNEN negli anni 1963-64 ha costituito un gruppo di entomologi per adottare questo mezzo innovativo nella lotta contro gli insetti.

La mosca della frutta (*Ceratitis capitata*) – insieme a quella olearia – era l'insetto più temibile e dannoso per la frutticoltura italiana e mediterranea, difficile da con-

trollare con i parassiti antagonisti negli anni '60 e '70, e con l'impiego di insetticidi. Su questo insetto il «gruppo entomologi del CNEN» rivolse l'attenzione ed iniziò la collaborazione con l'Agenzia FAO-IAEA ed i suoi Laboratorio di Seiberdorf (Vienna), con studi congiunti su biologia dell'insetto, sistema di allevamento, sterilizzazione e prime prove di lancio nell'Isola di Capri e, successivamente, a Procida.

In questa fase numerosi sono stati gli incontri avvenuti alla Casaccia tra «gruppo entomologi del CNEN» ed esperti italiani e stranieri, per confrontare esperienze ed implementare le collaborazioni. Per apprendere questa nuova tecnica, borsisti stranieri ospiti (Cinesi, Pakistani, Egiziani) hanno frequentato il Laboratorio di Applicazioni in Agricoltura della Casaccia che, negli anni 1968-70, ha realizzato l'impianto di allevamento massale della mosca della frutta già menzionato.

All'esperimento pilota effettuato sull'isola di Capri seguirono altri, negli anni 1971 e 1972, condotti in collaborazione con il Ministero dell'Agricoltura, l'IAEA, ed EURATOM sull'isola di Procida, mediante «lanci» di 4-5 milioni di insetti per settimana, con la piena collaborazione degli agricoltori.

I risultati di dette ultime prove sono estremamente importanti perché nell'isola – a seguito dei lanci di insetti sterili – si determinò la totale eradicazione dell'insetto: tutti i tipi di frutta, dalle nespole del Giappone alle pesche precoci e tardive, e tutti gli agrumi risultavano sani e non attaccati. Un trionfo di soddisfazione per gli agricoltori di Procida. L'esperimento ben riuscito ed il successo ottenuto convinsero la Regione Campania a continuare le prove anche sulla terraferma. L'Amministrazione regionale successiva non mantenne gli impegni.

In collaborazione con la Joint Division FAO/IAEA si programmarono anche progetti di lotta con la tecnica dell'insetto sterile in altri paesi del Mediterraneo (Libia, Algeria, Tunisia, Marocco) comprendenti la fase di determinazione dell'entità di popolazione di insetti durante tutto l'anno, la stima dei danni e la formazione del personale. Alla Casaccia furono organizzati corsi per preparare gli addetti al progetto con la partecipazione di tre ricercatori per ciascuno dei Paesi sopra ricordati. La parte applicativa del corso si svolse nell'isola di Pantelleria, con l'esecuzione di lanci di insetti sterili e monitoraggio della loro dispersione. Il progetto attuativo non fu realizzato per conflitti sorti nei paesi interessati. [Biblio: 52-54].

I radioisotopi per lo studio delle relazioni terreno-pianta

La disponibilità di radioisotopi (P, K, N) in Italia – a partire dal primo decennio degli anni 1960 – e di fertilizzanti marcati, ha reso possibile effettuare presso il Laboratorio Applicazioni in Agricoltura del CNEN studi molto accurati di fisiologia e di interazione fertilizzante/pianta.

In collaborazione con l'Istituto di Frutticoltura di Roma, del Ministero dell'Agricoltura, sono state effettuate ricerche sull'assorbimento dei fosfati (marcati con fosforo-32) nella concimazione degli alberi da frutto. Con la Stazione di Risicoltura di Vercelli, sempre del Ministero Agricoltura, il Laboratorio Applicazioni in Agri-

coltura del CNEN ha partecipato ad un progetto internazionale diretto dalla Divisione FAO/IAEA – coinvolgente 10 Paesi – avente come obiettivo il miglioramento della concimazione azotata e fosfatica del riso (quantità, epoca di somministrazione e profondità di distribuzione del fertilizzante), utilizzando fosforo-32 e azoto-15.

Altre ricerche – condotte con fertilizzanti marcati – sul frumento duro (cv. Cappelli, Castefusano e Castelporziano), hanno confermato i vantaggi del solfato di ammonio distribuito nelle primissime fasi di crescita, con incremento dell'accestimento e della produttività. [Biblio: 55-59].

L'irraggiamento per la conservazione delle derrate alimentari

La disponibilità di un impianto pilota industriale «AGRIGAMMA» ha consentito al Laboratorio Applicazioni in Agricoltura del CNEN di avviare nel 1967 un'altra attività di impiego delle radiazioni nella conservazione di alcune derrate: patate, agli, cipolle, fragole, arance, uva e nella radio-disinfestazione di fichi secchi in pacchi, confezioni di fiori (garofani).

Dati disponibili in letteratura avevano riguardato le potenziali applicazioni delle radiazioni nel ritardare la maturazione della frutta, nella radio-disinfestazione di granaglie e farine, nel prolungamento della conservazione delle carni di pollame e uova, nei prodotti ittici e nei mangimi.

Nelle prove di irraggiamento effettuate su tuberi di patate, sono state determinate le dosi appropriate che inibiscono la germinazione, mantengono la consistenza del tubero, impediscono marciumi e calo peso, fino a 150 giorni dal raccolto. Risultati analoghi sono stati ottenuti anche per agli e cipolle, dimostrando che tale tecnica risulta possibile e vantaggiosa. Anche il Ministero della Sanità (anno 1974) ha legiferato, sulla base dei dati forniti dal CNEN, sulla possibilità di usare questo processo ai fini di radio-conservazione di derrate alimentari. Anche per uva, arance e fragole, l'irraggiamento riesce a controllare l'insorgenza di popolazioni microbiche e dei marciumi, accelera il metabolismo respiratorio ed agisce sulla consistenza dell'uva e il suo imbrunimento. [Biblio: 60-62].

Conclusioni

Gian Tommaso Scarascia Mugnozza ha guidato, motivato e gestito l'entusiasmo di un «gruppo di giovani ricercatori», che ha portato a risultati scientifici ed economici di grande rilievo, grazie anche a consulenti scientifici nazionali e internazionali, e mediante l'impostazione e l'attuazione di una densa serie di progetti – in giusto equilibrio tra studi di base e ricerche applicate – e scambi scientifici e collaborazioni con altri gruppi italiani e stranieri, nelle favorevoli condizioni di disponibilità finanziarie allora consentite dal CNEN.

In conformità alle disposizioni degli organi Direttivi il Laboratorio Applicazioni ha indirizzato gli sforzi di ricerca e sviluppo su tecnologie innovative e cioè su appli-

cazioni di tecniche nucleari che consentissero di risolvere problemi concreti nel campo dell'agricoltura e di rilevante interesse economico per il Paese.

Ferma era la convinzione di valorizzare e promuovere i risultati ottenuti (costituzione di una Unità di Promozione «Extension Service») e formulare accordi con operatori del settore. E ciò ha consentito una rapida diffusione delle varietà costituite quali il Creso, a beneficio degli agricoltori e della economia nazionale, nonché la rapida diffusione delle tecniche di difesa integrata applicate dalla Cooperativa Olivicola di Canino, fino all'ottenimento sul mercato di un «prodotto di qualità» certificata.

A seguito della partenza nel 1969 di Scarascia che focalizzò i suoi interessi nel mondo universitario, il «gruppo di agronomi» formatisi nel primo ventennio si avviò verso nuovi sbocchi (Università di Viterbo e di Napoli), Enti internazionali (FAO di Roma, Divisione FAO/IAEA di Vienna, Università in Canada, Centro Euratom di Ispra).

Nella seconda metà degli anni '70, a livello politico fu presa insistentemente in considerazione l'ipotesi di chiudere le linee di ricerca del CNEN nel settore agricoltura, eventualmente trasferendo laboratori e personale ad altre istituzioni, con tutti i traumi e i condizionamenti che ne sarebbero derivati. Fortunatamente non fu così.

Al contrario, per la lungimiranza e l'impegno del Presidente Umberto Colombo e del Direttore Generale Fabio Pistella, in occasione della trasformazione nel 1982 del CNEN in ENEA, con il compito di sviluppare, oltre all'energia nucleare, quelle alternative, l'uso razionale dell'energia e la diffusione delle tecnologie, le attività in agricoltura furono rilanciate (anche se con alcune dismissioni e razionalizzazioni (per esempio l'Agrigamma fu destinato a programmi tecnologici con finalità industriali e si chiamò Calliope) e la modalità operativa di collaborazione, con altri organismi di ricerca e con le imprese, diventò un modello per altri settori dell'Ente.

La trasformazione in ENEA rese meno limitanti, nelle attività dell'Ente, le conseguenze dell'incidente di Chernobyl (1986) e del referendum del 1987 sull'uso dell'energia nucleare. Con la legge di riforma del 1991 fu sancita, con la denominazione di Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente il ruolo di grande Ente di Ricerca e Innovazione, capace di sviluppare e integrare molteplici scienze e competenze e caratterizzarsi a livello nazionale e internazionale per la sua capacità di guidare e gestire grandi progetti.

Le energie rinnovabili e le biotecnologie, e in particolare i risvolti ambientali, divennero i filoni su cui le attività dell'Agricoltura, inseriti nell'Area Nuove Tecnologie, hanno potuto continuare e rinnovarsi in linea con gli insegnamenti di Gian Tommaso Scarascia Mugnozza.

L'attualità di tali attività è documentata in RICERCA e INNOVAZIONE: attività, prospettive e impegni futuri del Dipartimento BAS (Biotecnologie, Agroindustria e protezione della Salute). http://www.fidaf.it/index.php/ricerca-e-innovazione-del-dipartimento-enea-bas/

Alcune considerazione sulla validità ancora oggi delle applicazioni nucleari in agricoltura sono tuttavia doverose:

– Nel miglioramento genetico delle piante, in caso di mancanza di variabilità genetica naturale, l'induzione di mutazioni risulta al momento l'unica strada da adottare per «individuare» geni utili da utilizzare nel «breeding» o per «rompere» la stretta associazione, spesso esistente, tra un gene positivo e uno negativo. Dalla mutagenesi si è passati alla ingegneria genetica e alle scienze omiche, come illustrato da Eugenio Benvenuto in questo volume.

– L'uso della tecnica dell'insetto sterile mantiene tutta la sua validità perché rispetta l'ambiente e mostra la sua efficacia nel controllo degli insetti. Per attuarla si richiede una forte organizzazione territoriale, mentre l'uso degli insetticidi può essere attuato su singole aziende. Gli sviluppi di tali attività sono illustrati da Maurizio Calvitti in questo volume.

– L'applicazione delle radiazioni per il prolungamento della conservazione delle derrate non ha avuto gli sbocchi possibili per la mancata accettazione da parte dei mezzi di comunicazione; in Italia si preferisce consumare patate, agli, cipolle trattate con sostanze chimiche che impediscono la germogliazione, piuttosto che utilizzare le radiazioni come consentito dalla legge.

– I radioisotopi si usano normalmente in medicina e sono utili per studi di interazione pianta/terreno. Essi hanno consentito lo sviluppo di ricerche sulla fisiologia delle piante (assorbimento degli elementi nutritivi e traslocazione nella pianta con relativo accumulo nei semi) e sulle caratteristiche del terreno agrario. Da qui, successivamente, gli studi e i progetti contro la desertificazione e sulla microbiologia del suolo.

Le linee programmatiche del Laboratorio Applicazioni in Agricoltura si sono dunque rinnovate nel corso degli anni. Dalla radiogenetica alle scienze omiche, dai radioisotopi alla RMN e alla diagnostica avanzata, dalla tecnica dell'insetto sterile alla difesa integrata, dalla radioconservazione delle derrate alimentari alle *mild technologies* dell'industria alimentare, dalla radiobiologia alle applicazioni diagnostiche, terapeutiche e di radioprotezione, fino allo sviluppo delle tecniche di dosimetria e della metrologia delle radiazioni ionizzanti.

Questa visione, continuata in tanti anni e consolidata nell'ambito del Dipartimento BAS nel periodo 2000-2008, ha consentito la realizzazione di uno spazio condiviso di funzionalità e strumenti orientati allo sviluppo delle conoscenze, delle tecnologie di punta (biologiche, agronomiche, fisico-chimiche, informatiche) e al loro trasferimento, favorendo lo sviluppo di sinergie tra mondo scientifico, imprese high tech, Istituzioni e Amministrazioni.

Un patrimonio di esperienze che si concretizza in un approccio metodologico innovativo, dal quale discendono diversi livelli di intervento. La ricerca, ovvero puntare ad ottenere risultati di primaria importanza sul piano conoscitivo attraverso lo sviluppo di metodologie e l'impiego di strumenti sempre più avanzati ad alto contenuto tecnologico e specialistico.

In questo senso il dominio di eccellenza esplorato è ancora costituito dal mondo vegetale, sia per le sue potenzialità di utilizzo in campo alimentare, sia per le oppor-

tunità offerte nelle applicazioni industriali ed agro-industriali. La convergenza delle scienze, per valorizzare oggi l'integrazione e l'impiego sinergico soprattutto delle Infoscienze e Bioscienze, mentre allora erano di genetica, biochimica, fisiologia, tecnologie alimentari, statistica, spettrometria di massa.

Le sfide poste dalla globalizzazione e dalla competizione richiedono un forte impegno di ricerca di base e non possono essere affrontate dal dominio di una singola tecnologia, ma dalla capacità di saper utilizzare in modo fortemente integrato fra loro più tecnologie, quali biotecnologie e bioinformatica.

La convergenza delle competenze, ovvero far operare ed interagire in modo efficace, possibilmente nella stessa sede geografica, persone di culture e specializzazioni diverse, focalizzandone gli sforzi su obiettivi complessi ed avanzati che, per essere conseguiti, necessitano di disponibilità ed interesse alla partecipazione ed al confronto in processi di forte integrazione culturale.

La Casaccia rimane un modello da sviluppare e imitare. L'innovazione, ovvero far derivare dal patrimonio conoscitivo acquisito, metodologie, strumenti e prodotti di avanguardia che possano apportare un contributo significativo nei processi di innovazione utili ai sistemi produttivi di riferimento.

Come già fatto con successo passando dalla radiogenetica alle varietà coltivate, l'integrazione degli aspetti della ricerca avanzata con quelli industriali e dell'innovazione di prodotto e/o di processo sviluppata generalmente in partnership con altri soggetti pubblici e privati.

L'internazionalizzazione della ricerca (voluta sin dall'inizio da Gian Tommaso Scarascia Mugnozza e testimoniata da Andrea Sonnino in questo stesso volume) è stata perseguita con successo. Negli anni 2000-2007, il 69% dei finanziamenti esterni proveniva da Progetti del V, VI e VII PQ dell'UE, con ben 25 Progetti da biotecnologie e agricoltura, inclusi scambi di ricercatori e stage all'estero. Altri Progetti erano finanziati da NATO, CIMMYT, MAE, dal progetto Antartide e tramite le PTE (Piattaforme Tecnologiche Europee).

L'offerta di servizi tecnologici avanzati e specialistici per le imprese e/o per Istituzioni pubbliche e di ricerca: dai servizi di irraggiamento della Casaccia degli anni sessanta alle tecniche di diagnostica avanzata (chimiche, biomolecolari, non distruttive), allo sviluppo e realizzazione di campioni primari nazionali, alla costituzione di materiali di riferimento per prodotti agro-alimentari.

In tutti questi aspetti si ritrova chiaramente una continuazione e una evoluzione tra il passato e la realtà attuale; l'aspetto più significativo che è stato tramandato in questi anni (sono più di 60 anni dalla Conferenza di Ginevra del 1955) è un insegnamento che non si può descrivere: è qualcosa che viene assimilato dalle persone e fatto proprio, condiviso, trasmesso a tanti altri. [Biblio: 63-67].

BIBLIOGRAFIA

[1] G. Paoloni (1992). Dal CNRN al CNEN. Laterza,1992.
[2] Scarascia G.T., Avanzi S., Bozzini A., Cervigni T., D'Amato F., Donini B., Giacomelli M. 1961. Effects of radiations and chemical mutagens in *durum* and bread wheats. Reprinted from «EFFECTS OF IONIZING RADIATION ON SEEDS» International Atomic Energy Agency, Vienna.
[3] Cervigni T., D'Amato F., Donini B., Giacomelli M., Scarascia G.T. Some aspects of sensitivity of higher plants to chronic gamma irradiation. II Intern. Congr. of Radiation Research, Harrogate (U.K.), Abstr. paper, pp. 181, 1962.
[4] Scarascia G.T., Cervigni T., Dassiou C., Donini B., Giacomelli M., Ricerche sugli effetti delle radiazioni in Nicotiana. IV Modificazioni morfogenetiche, citologiche e biochimiche rilevate su 23 specie sottoposte ad irraggiamento cronico gamma. Energia Nucleare in Agricoltura, pp. 221-233, 1963.
[5] Belli M.L., Cervigni T., 1964. Treatment of Seeds with Ethylmethansulphonate and Diethylsulphate. Nature, vol. 204, no 4964, pp. 1199-1200.
[6] Donini B., Scarascia G.T., D'Amato F., Effects of chronic gamma irradiation in durum and bread wheats. Radiation Botany, 4, pp. 387-393, 1964.
[7] Donini B., Studi di radiosensibilità nei vegetali superiori. Giornale Bot. It., 102, (6), pp. 556-557, 1968.
[8] Monti L.M., Donini B., Response to chronic gamma irradiation of twenty-four pea genotypes. Radiation Bot., 8, pp. 473-487, 1968.
[9] Devreux M., Donini B., Scarascia Mugnozza G.T., Chimeric situation avoided by gametophyte irradiation in barley and durum wheat. XII Intern. Congr. of Genetics, Tokyo 1968, Vol. I, pp. 252, 1968.
[10] Donini B., Scarascia Mugnozza G.T., D'Amato F., Genetic effects of chronic gamma irradiation in Durum wheat. Radiation Bot., 8, pp. 49-58, 1968.
[11] Donini B., Monti L.M., Impiego del metodo topografico per lo studio della chimera nei cereali dopo trattamento mutageno. From: XV Convegno della Soc. It. Genetica Agraria, 1971.
[12] Contant R.B., Devreux M., Ecochard R.M., Monti L.M., De Nettarcourt D., Scarascia Mugnozza G.T. and Verkerk. K., Radiogenetic effects of gamma and fast neutron irradiation on different ontogenetic stages of the tomato. Radiation Botany, 1971, Vol. 11, pp. 119-13.
[13] Donini B., Bozzini A., Brunori A., Avanzi S., Scarascia Mugnozza G.T., Cytological and genetic effects of neutron irradiation in Durum wheat. Techn. Reports Series n° 141. From: Neutron Irradiation of Seeds III, IAEA, Vienna, pp. 91-94, 1972.
[14] Devreux M., Donini B., Scarascia Mugnozza G.T., Genetic effects of gametophyte irradiation in barley. II. Frequency and types of mutations induced. Radiation Botany, 12, pp. 87-98, 1972.
[15] Martini G., A. Brunori. Cytophotometric measurements of DNA, total proteins and histone in the nuclei of Triticum dicoccum, Aegilops longissima and their amphidiploi. Caryologia 96, 101-105 (1973).
[16] Bozzini A., Donini B., Monti L.M., Devreux M., Chromosomal and genic markers for chimera evaluation in spike of Graminaceae. FAO/IAEA/EUCARPIA Conf. on Mutation and Poliploidy, Bari, IAEA STI/PUB/359, pp. 27, 1974.
[17] Donini B., Devreux M., Scarascia Mugnozza G.T., Genetic effects of gametophyte irradiation in durum wheat. FAO/IAEA/EUCARPIA Conf. on Mutation and Polyploidy. Bari, IAEA PL- 503/18, pp. 127-138, 1974.

[18] Filev K., Mannino P., Giorgi B., Donini B., Radiobiological studies in Triticum. II. Response to chronic and acute irradiation of 25 ditelocentric lines of wheat cv. Chinese spring. Comptes Rendus de l'Academie Agricole Georgi Dimitrov, Vol. 8, No. 4, pp. 91-95, Sofia, 1975.

[19] Giorgi B., Mannino P., Donini B., Radiobiological studies in *Triticum. I.* Response to chronic and acute gamma irradiation of diploid, tetraploid and exaploid species of *Triticum and Aegilop*s. Comptes Rendus de l'Academie Agricole Georgi Dimitrov, Vol. 8, No. 4, pp. 85-90, 1975.

[20] Filev K., Donini B., Genetic effects induced by gamma rays, fast neutrons and EMS treatment applied at different ontogenetic stages of durum wheat plants. M1 survival, spikelet fertility and M2 seedling mutants. Bulgarian-Swedish Symposium on Experimental Mutagenesis in Plants, Varna, pp. 254-262, 1976.

[21] Filev K., Giorgi B., Donini B., Mannino P., Response of Chinese spring/Cappelle-Desprez substitution lines to chronic and acute gamma irradiation. Comptes Rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Tome 29, No. 7, pp. 1059-1962, 1976.

[22] Donini B., Ancora G., In vitro culture as a rapid tool of isolation and propagation for somatic mutations. IAEA Mutation Breeding Newletter, No. 16, pp. 9-10, 1980.

[23] Rossi L. (2006). Dalle tecniche nucleari alle biotecnologie: dal CNEN all'ENEA per la ricerca e l'innovazione tecnologica. L'uso pacifico dell'Energia Nucleare da Ginevra 1955 ad oggi: il caso italiano. Atti del Convegno, 8-9 marzo 2006, Biblioteca Nazionale Centrale, Roma.

[24] Avanzi S., D'Amato F., Donini B., Scarascia Mugnozza G.T., Impiego di radiazioni ionizzanti nel miglioramento genetico dei grani italiani. Genetica Agraria, XII, N° 3-4, pp. 231-250, 1960.

[25] Scarascia Mugnozza G.T., Avanzi S., Bozzini A., Cervigni T., D'Amato F., Donini B., Giacomelli M., Effects of radiations and chemical mutagens in durum and bread wheats. On Effects of Ionizing Radiation on Seeds, IAEA, Vienna, pp. 387-401, 1961.

[26] Bozzini A., D'Amato F., Monti L., Scarascia Mugnozza G.T., 1962. Mutation in durum wheat induced by radiations and chemicals. Proceedings 2nd Intl. Congress Radiation Research, England, 107.

[27] Scarascia Mugnozza G.T., D'Amato F., Avanzi S., Belli M.L., Bozzini A., Cervigni T., Martini G., Monti L.M., Mosconi C., (1963). Use of radiation and chimica mutagens in the production of mutation in crops of considerable interest to mediterranean agricolture: durum wheat. Science et technique pour les regions peu developpees, pp.353-361, CNR, Roma.

[28] D'Amato F., Scarascia Mugnozza G.T., Bozzini A., Mutanti vitali di frumento duro ottenuti dal Laboratorio per le Applicazioni in Agricoltura del CNEN con impiego di radiazioni ionizzanti e mutageni chimici. Genetica Agraria, Vol. XVIII, Fasc. 1-2: 132-141, Atti IX° Convegno annuale S.I.G.A., Palermo, 1963.

[29] Scarascia Mugnozza G.T., Pacucci G., Bozzini A., Cavazza L., Mosconi C., Valutazione agronomica di nuove linee di frumento duro ottenute per mutazioni ed incrocio: Prove eseguite in Lazio e Puglia nel quadriennio 1961-1964. Atti XI Conv. Soc. Ital. Genetica Agraria, «Genetica Agraria» vol. XX pp. 66-84.

[30] Scarascia Mugnozza G.T., Bagnara D., Bozzini A., (1968). Mutations induced in durum wheat and their significante in genetics and breeding. Procedings of the 3rd Intl. Wheat Syposium, Canberra, pp. 357-370.

[31] Tessi J., Scarascia Mugnozza G.T., Sigurbjornsson B., Bagnara D., (1968). First-year results in the FAO/IAEA Near East uniform regional trials of radio-induced durum wheat mutants. FAO/IAEA, Vienna, Proceedings Symposium.

[32] Bogyo T.P., Scarascia Mugnozza G.T., Sigurbjornsson B., Bagnara D., Bozzini A. 1973, The FAO/IAEA /CNEN Near East Uniform Regional Trials of Radio-induced Durum Wheat Mutants, 1966-1970. Proceedings of the Symposium on Genetics and Breeding of Durum wheat pp. 349-371, Bari, 1973.

[33] Bogyo T.P., Scarascia Mugnozza G.T., Sigurbjornsson B., Bagnara D., Bozzini A. 1973, Bilateral Wheat and Barley programmes in the Near Eastern, North Africa and East Africa Countries-Durum Wheat Yield Performance Nursery. Proc. IVth FAO /Rochefeller Wheat Seminar, Teheran, 26-35.

[34] Bozzini A., Bagnara D., 1974. CRESO, MIDA e TITO, nuovi grani duri del Laboratorio Agricoltura del C.N.E.N. L'informatorio Agrario n° 20: 15869-15871.

[35] Bozzini A., 1975. Creso: un frumento duro di elevata produttività e larga adattabilità. L'informatore Agrario, n° 35, 20247-20354.

[36] Bozzini A., Mosconi C., 1976. Creso: una nuova varietà di frumento duro caratterizzata da interessanti prestazioni agronomiche. Genetica Agraria, Vol. XXX, Fasc. 2, pp. 153-162.

[37] Rossi L. 1984. Un esempio di innovazione in agricoltura: il grano Creso. Riv. Energia e Innovazione. ENEA, 1984.

[38] Scarascia Mugnozza G.T., D'Amato F., Bagnara D., Belli M.L., Bozzini A., Brunori A., Cervigni T., Devreux M., Donini B., Giorgi B., Martini G., Monti L.M., Moschini E., Mosconi C., Porreca G., Rossi L., Mutation Breeding Programme for Durum Wheat (*Triticum turgidum ss. durum* Desf). Improvement in Italy. International IAEA Symposium on Plant Mutation Breeding for Crop Improvement, Vienna. 18-21 June, 1990. IAEA Vol. I, pp 95-109, 1991.

[39] Rossi L. (2010). Il miglioramento genetico del grano duro. Il caso Creso. ENERGIA AMBIENTE E INNOVAZIONE. 6/2010.

[40] Monti L.M., Scarascia Mugnozza G.T., (1964). Effetti mutageni del dietilsulfato nel pisello. Atti Assoc. Genet. Ital. 115-125.

[41] Monti L.M., Scarascia Mugnozza G.T., (1967). Mutazioni per precocità e ramosità indotte in pisello. Genetica Agraria, 21:301-312.

[42] Monti L.M., Saccardo F., 1969. Mutations induced in pea by X-irradiation of pollen and the significance of induced unstable chromosomes in mutagenic experiments. Caryologia 22, 81-96.

[43] Monti L.M., Scarascia Mugnozza G.T. (1970). Impiego di una mutazione per precocità in un programma di incrocio per il miglioramento genetico del pisello da industria. Genetica Agraria, 24:195-206.

[44] Saccardo F., (1971). Behaviour of dicentric chromosomes in peas. Caryologia, Vol. 24, n. 1:71-84, Monti L.M., Scarascia Mugnozza G.T. 1972. Ricerche per il miglioramento genetico per precocità in pisello. Genetica Agraria Vol. XXVI Fasc. I-II, pp. 119-127.

[45] Monti, L.M., Saccardo F., Vitale. P, 1976. «Vesuvio» e «Sorrento» due nuove varietà di pomodoro da industria. L'informatore agrario, 23: 23007-23008.

[46] Donini B., Veglio P. Impiego della mutagenesi per il miglioramento delle piante da frutto. Serie Simposi, Comitato Nazionale Energia Nucleare, Atti delle giornate di Studio sull'uso di tecniche nucleari per il miglioramento delle piante a moltiplicazione vegetativa (fruttiferi e piante da fiore), 1974, pp. 13-55.

[47] Roselli, G., Donini, B., «Briscola» nuova cultivar di olivo a sviluppo compatto, Riv. Ortoflorofrutt. It., 66, pp. 103-114, 1982.

[48] Starrantino A., Mannino P., Russo F., Donini B. Impiego della mutagenesi nel miglioramento genetico degli agrumi. Serie Simposi, ENEA. Atti della giornata di Studio sull'uso di tecniche Nucleari per il miglioramento genetico dei fruttiferi, 1982, pp. 93-101.

[49] Fideghelli C., Mannino P., Dellastrada G., Donini B., Albertini A., Quarta R., Rivalta L., Pennone F., Selezioni «compatte» avanzate di ciliegio dolce ottenute mediante radiazioni ionizzanti. Atti Giornate di Studio sull'uso di tecniche nucleari per il miglioramento genetico dei fruttiferi, ENEA Serie Simposi, pp. 141-150, 1982.

[50] Donini B., Petruccioli G., Mannino P., Pannelli G., Filippucci B., Mutanti radio-indotti nell'olivo cvs. Frantoio e Leccino. Atti Giornate di Studio sull'uso di tecniche nucleari per il miglioramento genetico dei fruttiferi, ENEA Serie Simposi, pp. 79-92, 1982.

[51] Donini B., Mannino P., Ancora G., Sonnino A., Fideghelli C., Della Strada G., Monastra F., Quarta R., Faedi W., Albertini A., Rivalta L., Pennone F., Rosati P., Calò A., Costacurta A., Cersosima A., Cancellieri S., Petruccioli G., Filippucci B., Panelli G., Russo F., Starrantino A. Mutation Breeding Programmes for the Genetic Improvement of Vegetatively Propagated Plants in Italy. Proc. International IAEA Symposium on Plant Mutation Breeding for Crop Improvement, Vienna 18-22 June, 1990. IAEA, Vol. I pp. 237-255, 1991.

[52] Cirio U., De Murtas I., 1974. La lotta contro la «*Ceratitis capitata*» con la tecnica dell'insetto sterile. Italia Agricola Anno 111. N. 5 pp. 113-125.

[53] Cirio U., Prospettive e problemi del controllo della mosca della frutta (*Ceratitis capitata*) in Italia. (1974) CNEN, Serie simposi, Atti giornate di Studio CSN Casaccia, pp. 7-20.

[54] De Murtas I., Metologie nucleari nella lotta contro la mosca della frutta (1974). Atti giornate di Studio CSN Casaccia, pp. 21-34.

[55] Magaudda G., E. Inghilesi M.L. Belli Donini, Indagini microbiologiche e fisiologice su uva Ohanez dopo irraggiamento gamma: Rivista 2, STA, Anno III, n° 4, luglio-agosto, 1973.

[56] Inghilesi E., (1974). Considerazioni generali sull'irraggiamento di alimenti come nuova prospettiva di conservazione. CNEN, Serie simposi, Atti giornate di studio CSN Casaccia, pp. 7-14.

[57] Baraldi D., (1974). Problemi economici e tecnologici relativi alla inibizione della germogliazione delle patate, cipolle ed aglio. CNEN, Serie simposi, Atti giornate di studio CSN Casaccia, pp. 61-74.

[58] Farooqi W.A., Donini B., (1976). Effects of gamma irradiation on onion sprouting.. Influence of dose rate and post -harvest period of treatment. Scienza e Tecnica della Alimentazione,VI, No. 5/6, pp. 301-303.

[59] Belli M.L. and Baraldi D., 1977. Relationship between peel damage and the accumulation of limonene in four varieties of irradiated oranges. Environmental and Experimental Botany, Vol. 17, pp. 161-165, Pergamon Press Printed in U.K.

[60] Picciurro G., Piacco R., (1969). Evaluation of the efficiency of different nitrose fertilizers in rice cultivation. Estratto da Rivista IL RISO Anno XVIII, n° 2, pp. 121-134.

[61] Brunetti N., Picciurro G., Boniforti R., (1967). Uptake of 15 N-labelled NR4 + in excised root of a *durum* wheat mutant line compared with durum bread wheat: Isot. In Plant Nutrition and Physiol Intern: Atom. Eergy Agency, Vienna.

[62] Picciurro G., Brunetti N., Ferrandi L., (1971). Efficienza del (NH4)2-N15 nella coltura di *triticum durum* cv Cappellli, castefusano, Casteporziano. Pubbl. n° 293 del Laboratorio per le Applicazioni in Agricoltura del CNEN, Roma.

[63] Rossi L. (2008). Ricerca e Innovazione del Dipartimento ENEA BAS (Biotecnologie Agroindustria Protezione della Salute) Edizioni ENEA, 206 pagine. http://www.fidaf.it/wp-content/uploads/2016/01/dip_bas_2008.pdf

[64] Pistella F., (1985). Intreccio a spirale: la ricerca è funzionale all'innovazione e viceversa ed entrambe si muovono in un contesto di pronunciato policentrismo decisionale. Articolo su Sistema Ricerca, N. 0, novembre 1985.

[65] Pistella F., (1991). Le nuove tecnologie per un'agricoltura competitiva e ambientalmente compatibile. Convegno organizzato da Agrisiel, BNA, CNR, ENEA Federconsorzi sul tema «Ricerca agricola: le esigenze del sistema agricoltura, le risposte delle istituzioni» Roma, 29 gennaio 1991.

[66] Pistella F., (1992). Il modo di operare dell'ENEA in «Energia, ambiente, innovazione dal CNRN all'ENEA» a cura di Giovanni Paoloni, Laterza, 1992.

[67] «A colloquio con Gian Tommaso Scarascia Mugnozza» in «Energia, ambiente, innovazione dal CNRN all'ENEA» a cura di Giovanni Paoloni, Laterza, 1992.