

Salvatore Ceccarelli

Stefania Grando

# Miglioramento genetico evolutivo: una guida per agricoltori

**I vantaggi e i diversi metodi  
per produrre i propri semi e gestire  
le popolazioni evolutive**

**TerraNuova**



Salvatore Ceccarelli    Stefania Grandò

# **Miglioramento genetico evolutivo: una guida per agricoltori**

**I vantaggi e i diversi metodi  
per produrre i propri semi  
e gestire le popolazioni evolutive**

Terra Nuova

Direzione editoriale: Mimmo Tringale e Nicholas Bawtree

Autori: Salvatore Ceccarelli e Stefania Grando

Progetto grafico, impaginazione e copertina: Daniela Annetta

Le fotografie presenti nel libro sono degli autori, se non specificato diversamente.

©2025, Editrice Aam Terra Nuova, via Ponte di Mezzo 1  
50127 Firenze tel 055 3215729 - fax 055 3215793  
libri@terranuova.it - www.terranuovalibri.it

I edizione: gennaio 2025

Ristampa

IV III II I 2029 2028 2027 2026 2025

Collana: Coltivare secondo natura

Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in un sistema di recupero dati o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, inclusi fotocopie, registrazione o altro, senza il permesso dell'editore. Le informazioni contenute in questo libro hanno solo scopo informativo, pertanto l'editore non è responsabile dell'uso improprio e di eventuali danni morali o materiali che possano derivare dal loro utilizzo.

Stampato nel gennaio 2025 da LegoDigit S.r.l.

# Indice

<b>1 - INTRODUZIONE</b>	9
<b>2 - IL MIGLIORAMENTO GENETICO PARTECIPATIVO E DECENTRALIZZATO</b>	19
2.1. IL MIGLIORAMENTO GENETICO	20
2.2. IL MIGLIORAMENTO GENETICO PARTECIPATIVO	22
2.2.1 Perché la partecipazione degli agricoltori è ancora marginale?	23
2.3. TEORIA DELLA SELEZIONE: DALLA SELEZIONE CENTRALIZZATA A QUELLA DECENTRALIZZATA	25
2.4. RISPOSTA ALLA SELEZIONE ED EFFICIENZA DEL MIGLIORAMENTO GENETICO	27
<b>3 - LA SCIENZA DEL MIGLIORAMENTO GENETICO EVOLUTIVO</b>	31
3.1. DEFINIZIONI	32
3.2. LA RICERCA SU MISCUGLI E POPOLAZIONI EVOLUTIVE	33
3.2.1. Popolazioni evolutive e altezza delle piante	36
3.2.2. Popolazioni evolutive ed epoca di fioritura e di maturazione (fenologia)	37
3.2.3. Popolazioni evolutive e resa	38
3.2.4. Popolazioni evolutive e resistenza alle malattie	43
3.2.5. Popolazioni evolutive e controllo delle infestanti	48
3.2.6. Popolazioni evolutive e stabilità delle rese	50
3.2.7. Sviluppi recenti del miglioramento genetico evolutivo	53
3.3. L'ECOLOGIA E LE POPOLAZIONI EVOLUTIVE	61
3.4. LA SCIENZA DEL MIGLIORAMENTO GENETICO EVOLUTIVO: CONCLUSIONI	64
<b>4 - COSTITUZIONE E GESTIONE DI MISCUGLI E POPOLAZIONI EVOLUTIVE</b>	71
4.1. PRINCIPI GENERALI	72
4.1.1. Quanto tempo ci mette una popolazione o un miscuglio ad adattarsi?	75
4.1.2. Una popolazione evolutiva perde diversità nel tempo?	76
4.2. COSTITUZIONE DI MISCUGLI E POPOLAZIONI EVOLUTIVE DI SPECIE AUTOGAME	77
4.3. COSTITUZIONE DI MISCUGLI E POPOLAZIONI EVOLUTIVE DI SPECIE ALLOGAME	78
4.4. COSTITUZIONE DI MISCUGLI E POPOLAZIONI EVOLUTIVE DI SPECIE A PROPAGAZIONE VEGETATIVA	79
4.5. LA GESTIONE AGRONOMICA DELLE POPOLAZIONI EVOLUTIVE	79
4.6. LA PRODUZIONE DI SEME DELLE POPOLAZIONI EVOLUTIVE	81

<b>5 - COME USARE LE POPOLAZIONI EVOLUTIVE</b>	87
5.1. LA POPOLAZIONE EVOLUTIVA COME LA COLTURA DELL'AGRICOLTORE	88
5.2. SELEZIONE ALL'INTERNO DI UNA POPOLAZIONE EVOLUTIVA O DI UN MISCUGLIO DINAMICO	89
5.2.1. Selezione entro popolazioni evolutive di specie autogame	91
5.2.2. Selezione entro popolazioni evolutive di specie allogame	95
5.2.3. Selezione entro popolazioni evolutive di specie a propagazione vegetativa	97
5.3 DIVERSITÀ NEL CAMPO, UNIFORMITÀ NEL MERCATO	97
5.4 MISCUGLI CHE NON EVOLVONO (MISCUGLI STATICI)	99
5.5. MIGLIORAMENTO GENETICO PARTECIPATIVO-EVOLUTIVO E SISTEMI SEMENTIERI	100
5.6 ESEMPI DI POPOLAZIONI EVOLUTIVE E DELLA LORO UTILIZZAZIONE	102
<b>6 - DISEGNI SPERIMENTALI E ANALISI STATISTICHE</b>	109
6.1. PERCHÉ DISEGNI SPERIMENTALI E ANALISI STATISTICHE	110
6.2. INTERVALLO DI CONFIDENZA	112
6.3. NON SOLO I VALORI DI P?	112
6.4. PARAMETRI E STIME: MEDIA, DEVIATIONE STANDARD E GRADI DI LIBERTÀ	114
6.5. UN ESPERIMENTO SEMPLICE (IL TEST T)	115
6.6. IL CALCOLO DELL'INTERVALLO DI CONFIDENZA	117
6.7. CORRELAZIONE E REGRESSIONE	117
6.7.1 Il coefficiente di correlazione	119
6.7.2 Il coefficiente di regressione	120
6.8. L'ERRORE SPERIMENTALE	125
6.9. LA REPLICAZIONE	126
6.10. LA RANDOMIZZAZIONE	126
6.11. SOFTWARE PER LA RANDOMIZZAZIONE	127
6.12. DISEGNI SPERIMENTALI	127
6.12.1 Il disegno a blocchi randomizzati completi (RCBD)	128
6.13. ESPERIMENTI IN MOLTI AMBIENTI (MET)	129
<b>7 - CONCLUSIONI</b>	135
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>	137

## PREMESSA

Il miglioramento genetico evolutivo (EPB, dall'inglese *Evolutionary Plant Breeding*) e il miglioramento genetico partecipativo delle piante (PPB, dall'inglese *Participatory Plant Breeding*), seppur con nomi diversi, hanno una lunga storia. Infatti, nel caso del miglioramento genetico evolutivo le idee originali risalgono al 1929, mentre ancora prima, nel 1908, Herbert J. Webber, un rinomato professore della Cornell University (Ithaca, New York), scrisse *Plant Breeding for Farmers* (Miglioramento genetico per gli agricoltori). Nella prima pagina si legge: «Nessun agricoltore è tanto povero da non potersi permettere un piccolo appezzamento per il miglioramento di mais, frumento o patate. In effetti, si può dire che nessun agricoltore può permettersi di non avere un tale appezzamento per produrre i propri semi di diverse colture» (Webber 1908). Dieci anni dopo, nel 1917, Henry A. Wallace incoraggiava gli agricoltori a sperimentare l'incrocio di varietà di mais (Wallace 1917) e pensava che l'unico modo per scoprire nuove varietà da parte di chi faceva miglioramento genetico, fosse quello di affidarsi all'esperienza degli stessi agricoltori esperti di mais. Ci sono altri esempi di questo tipo di collaborazione, che curiosamente terminò, per esempio negli Stati Uniti e in Italia, in concomitanza con l'introduzione dei mais ibridi (Fitzgerald 1993).

Negli anni successivi vennero condotte molte ricerche sul ruolo dei miscugli e delle popolazioni evolutive, mentre il PPB quasi scomparve fino a quando fu proposto come ricerca partecipativa da Rhoades e Booth (1982).

In questo libro descriveremo innanzitutto il PPB e le sue basi scientifiche. Introduciamo poi le basi scientifiche dell'EPB e lo illustreremo come una metodologia che, pur beneficiando della partecipazione di un'istituzione, può essere gestita autonomamente degli agricoltori.

I due modelli di miglioramento genetico sono legati concettualmente dal ritorno alla agrobiodiversità e dal riportare il controllo del seme nelle mani degli agricoltori. Pertanto lo scopo del libro è di presentare lo sviluppo, i risultati e i vantaggi dell'EPB e soffermarsi in modo dettagliato sui diversi modi in cui gli agricoltori possono gestire le popolazioni evolutive (che da qui in avanti chiameremo per brevità EP dall'inglese *Evolutionary Populations*) e produrne i semi.

In seguito mostreremo la relazione tra EPB e PPB e come le EP possono generare materiale utile per implementare un programma di PPB, ma anche per creare filiere che già oggi contribuiscono al reddito di cooperative e di singoli agricoltori.

Il libro si chiude con alcuni concetti elementari di statistica sperimentale che sono stati aggiunti unicamente per aiutare la comprensione dei termini usati nel descrivere gli esperimenti su cui si basa la scienza sia del PPB che dell'EPB.

Il libro è destinato ad agricoltori, miglioratori vegetali, tecnici, divulgatori e professionisti con una conoscenza di base della genetica.

## DEDICHE

Questo libro è dedicato al professor Martin Wolfe e alla dottoressa Khadija Catherine Razavi. Martin è scomparso il 10 marzo 2019 all'età di 81 anni mentre Khadija è scomparsa il 15 aprile 2022 all'età di 78 anni.

Martin ha lavorato come patologo vegetale al Plant Breeding Institute di Cambridge, nel Regno Unito, dal 1960 al 1988, anno in cui l'istituto è stato chiuso. Ha poi occupato fino al 1997 la cattedra di patologia vegetale all'Istituto federale di tecnologia di Zurigo (ETH). Dal 1994, ha sviluppato Wakelyns Agroforestry nel Suffolk, che rappresenta uno dei primi centri di ricerca sulla scienza agroforestale nel Regno Unito ed è il centro dove Martin ha svolto un lavoro pionieristico sullo sviluppo delle EP di cereali. Dal 1998, ha contribuito allo sviluppo del programma di ricerca dell'Organic Research Centre prima di diventarne il principale consulente scientifico partecipando ad alcuni progetti.

Nel 2017, è diventato professore di miglioramento genetico per l'agricoltura sostenibile e resiliente all'Università di Coventry.

Martin ha dedicato gran parte della sua carriera scientifica allo studio e alla promozione dell'agrobiodiversità.

Già a metà degli anni '80, il professor Martin Wolfe era una voce molto critica dell'approccio utilizzato nel miglioramento genetico per la resistenza alle malattie basato sull'uso di singoli geni. Di fronte all'obiezione che il problema poteva essere superato combinando diversi geni per la resistenza in una singola pianta, rispose: «state creando le condizioni ideali per un disastro perché il patogeno si adatterà molto rapidamente alla resistenza combinata dell'ospite».

Martin Wolfe fu tra i primi a esplorare il vantaggio dei miscugli nell'allora Europa dell'Est; utilizzò miscugli di orzo da birra

che si diffusero rapidamente su oltre 10.000 ettari in Polonia e in particolare nella Germania dell'Est, dove furono introdotti nel 1984. Questi ebbero tanto successo perché erano stati formulati specificamente per la resistenza all'oidio e per la qualità del malto. Alla fine degli anni '80, i miscugli coprirono quasi tutta la superficie coltivata a orzo primaverile da birra nella Germania dell'Est, mentre l'uso di fungicidi si era ridotto a un solo trattamento su oltre 100.000 ettari. Non vi fu una diminuzione della produzione, mentre la qualità del malto era considerata soddisfacente. Purtroppo, con l'unificazione delle due Germanie, il progetto fu abbandonato a causa della preferenza dei maltatori dell'Europa occidentale per il malto ottenuto da singole varietà anche se trattate con fungicidi!

Anche se quel progetto fu abbandonato, la visione di Martin Wolfe è più viva che mai in un momento in cui, mai come prima, l'idea di tornare a coltivare la diversità è tornata prepotentemente alla ribalta nella ricerca. Le EP di frumento che lui ha aiutato a sviluppare e che ha studiato per molti anni sono coltivate in diversi paesi europei e continuano a generare informazioni sul potenziale della agrobiodiversità vegetale.

L'entusiasmo duraturo e accattivante di Martin continua a vivere nei molti agricoltori e scienziati che è riuscito a convincere della necessità di diversificare.

La dott.ssa Khadija Catherine Razavi ha conseguito la laurea in Biologia presso l'Università Nazionale di Teheran, la laurea in Educazione e Fisiologia, un Master in Economia presso l'Università di Caen in Francia e un dottorato in Scienze sociali e sviluppo rurale presso l'Università Sorbona di Parigi.



Catherine e il suo defunto marito, il dottor Mohammad Taghi Farvar, noto attivista e facilitatore, hanno lavorato a uno dei più importanti progetti di sviluppo rurale negli anni '70 in Iran: il Piano di sviluppo regionale di Alashtar. All'inizio degli anni '80 hanno fondato l'organizzazione non governativa Centro per lo sviluppo sostenibile e l'ambiente (CENESTA), una delle più antiche e attive in Iran.

In qualità di amministratore delegato e presidente del consiglio di amministrazione di CENESTA, Catherine è stata, per oltre quarant'anni, una delle principali attiviste per la protezione dell'ambiente e il rafforzamento delle comunità indigene e locali. Grazie alla padronanza di diverse lingue (persiano, francese, turco, inglese e arabo), i suoi preziosi sforzi a livello nazionale e internazionale, sia per sensibilizzare la popolazione sulle questioni ambientali che per sensibilizzare e risvegliare la coscienza umana a intraprendere azioni pratiche per preservare la Madre Terra e la diversità bioculturale, non saranno mai dimenticati.

A livello internazionale ha svolto un ruolo fondamentale nel Consiglio del Fondo mondiale per l'ambiente e nella Convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta alla desertificazione come sostenitrice dei diritti dei popoli nomadi. Inoltre, ha svolto attività preziose

per quanto riguarda i diritti degli agricoltori e l'aumento del loro accesso alla diversità genetica delle colture. La sua visione era quella di una società basata sulla sostenibilità, con particolare attenzione alle comunità rurali e nomadi, ai piccoli agricoltori e alle famiglie, agli abitanti delle foreste e alle comunità costiere.

Catherine era un'attivista senza pretese che cercava amorevolmente di salvaguardare sia la terra dell'Iran che il suo popolo. Ha guidato molti dei programmi e dei progetti di CENESTA, tra cui *Revival Crop Genetic Diversity*, *Participatory Plant Breeding (PPB)*, *Evolutionary-Participatory Plant Breeding (EPPB)*, *Living with the Desert*, *Highlighting and using indigenous knowledge against desertification and land degradation*. Inoltre, ha svolto un ruolo cruciale nel sensibilizzare l'opinione pubblica sugli organismi geneticamente modificati (OGM) e sulla biosicurezza.

Sarà sempre ricordata come una persona fondamentale nella condivisione delle conoscenze, nella sensibilizzazione di diversi segmenti della società e nella salvaguardia della natura. Tutti noi – amici, conoscenti, colleghi e attivisti per lo sviluppo sostenibile – porteremo con orgoglio il suo nome nei nostri cuori come quello di una madre della natura.



**Generare variabilità in un programma di miglioramento genetico: gli incroci, miglio perla in India**



**1.**  
**INTRODUZIONE**

Oggi le problematiche globali più frequentemente discusse nei rapporti internazionali (WHO/CBD 2015; IPES-FOOD 2016; Development Initiatives 2017; FAO 2016; FAO, IFAD, UNICEF, WFP e WHO 2023) sono il cambiamento climatico, la povertà, la malnutrizione (che include sia la denutrizione che l'obesità), la salute umana, la scarsità d'acqua, la perdita di biodiversità in generale e di agrobiodiversità in particolare. Questi temi sono spesso trattati separatamente anche se sono strettamente interconnessi tra loro; e noi sosteniamo che sono interconnessi attraverso il seme.

Il seme è collegato al cambiamento climatico perché abbiamo bisogno di colture più adatte al clima che cambia.

Il concetto di confini planetari è stato proposto nel 2009 per definire uno spazio operativo sicuro per l'umanità (Rockström et al. 2009). I confini planetari includono il cambiamento climatico, il tasso di perdita della biodiversità, l'esaurimento dell'ozono, l'acidificazione degli oceani, l'interferenza umana con il ciclo dell'azoto e del fosforo, l'uso globale di acqua dolce, il cambiamento nell'uso del suolo, l'inquinamento chimico e il carico di aerosol atmosferico. Quattro dei nove confini, cioè il cambiamento climatico, il tasso di perdita della biodiversità, l'interferenza umana con il ciclo dell'azoto e del fosforo (Steffen et al. 2015) e l'uso globale dell'acqua dolce (Jaramillo e Destouni 2015), sono già stati superati.

I quattro processi elencati influenzano la produttività agricola e in effetti c'è già stato un declino della resilienza delle colture, come dimostrato nel caso del frumento in Europa (Kahiluoto et al. 2019). Tuttavia, l'argomento della resilienza è ancora dibattuto perché il declino sarebbe basato su una interpretazione non corretta dei dati statistici (Piepho 2019). Recentemente è stata proposta una nuova metodologia per stimare la resilienza (Zampieri et al. 2020).

Il cambiamento climatico è un obiettivo complesso per il miglioramento genetico (Ceccarelli e Grando 2020a) perché:

1. i cambiamenti della temperatura e delle precipitazioni possono variare da luogo a luogo (Altieri et al. 2015) e sono ancora in gran parte incerti, con ricerche in corso per quantificare il livello di incertezza (Weaver e Zwiers 2000);
2. il cambiamento climatico non riguarda solo le temperature e le precipitazioni, ma influenza la distribuzione e la diffusione di parassiti (Altieri et al. 2015; Heeb et al. 2019), in particolare lo spettro degli insetti (Zavala et al. 2008; Deutsch et al. 2018) compresi gli impollinatori come i bombi (Kerr et al. 2015), le malattie fungine (Newton et al. 2011; Pautasso et al. 2012; Juroszek et al. 2020; Miedaner e Juroszek 2021) e le erbe infestanti (Ziska e Dukes 2010; Colautti e Barrett 2013; Matzrafi et al. 2016);
3. gli eventi meteorologici estremi possono influenzare le interazioni tra colture e parassiti in modo imprevedibile (Rosenzweig et al. 2001). L'espansione della distribuzione geografica di diversi insetti, erbe infestanti e funghi patogeni è stata documentata negli Stati Uniti (Rosenzweig et al. 2000). Le tempeste tropicali sono un ulteriore evento che può contribuire alla diffusione delle malattie trasportando le spore a distanze notevoli (Campbell e Madden, 1990; Lehmann et al. 2020). Infine, il fatto che la produttività agricola possa variare per oltre il 10% a causa del clima indica che i cambiamenti climatici stanno già esercitando un notevole freno sulla crescita delle produzioni, e come era stato previsto questo ha influenzato anche i prezzi degli alimenti (Lobell et al. 2011).

La diminuzione della stabilità delle rese, ossia l'aumento della variabilità da un anno all'altro, insieme alla riduzione delle rese me-

die, comporta rischi economici e minaccia la sicurezza alimentare. L'aumento della variabilità delle rese è la conseguenza dell'aumento della variabilità tra un anno e l'altro della temperatura, delle precipitazioni e dell'umidità del suolo (Bathiany et al. 2023). Tutte queste prove indicano che il cambiamento climatico è un problema estremamente complesso e in continua evoluzione (Altieri et al. 2015), che richiede una soluzione anch'essa in continua evoluzione.

Il seme è associato al cibo in quanto la maggior parte dei nostri alimenti proviene direttamente o indirettamente dalle piante e, attraverso il cibo e la nutrizione dei bambini, è legato alla povertà (Save the Children 2012). Infatti, una nutrizione inadeguata nei primi mille giorni di vita, frequente nelle famiglie povere, può avere un impatto negativo sulle capacità del bambino di crescere e apprendere. Una volta adulto non avrà accesso a lavori adeguatamente retribuiti e non sarà in grado di nutrire in modo sano i propri figli perpetuando il ciclo vizioso della povertà.

Il seme è collegato all'acqua, perché circa il 70% dell'acqua viene utilizzata per irrigare le colture<sup>1</sup>. Pertanto il seme di colture e varietà in grado di produrre una resa economica con meno acqua renderà quest'ultima disponibile per altri usi umani visto che, secondo stime recenti, oltre metà della popolazione umana (4 miliardi e mezzo di persone) non ha accesso ad acqua potabile (Greenwood et al. 2024).

Il seme è associato alla malnutrizione: le tre colture da cui ricaviamo circa il 60% delle calorie e il 56% delle proteine di origine vegetale – ovvero mais, riso e frumento (Thrupp 2000; FAO 2013) – sono molto meno nutrienti di altri cereali come orzo (Grando e Gomez Macpherson 2005), miglio e sorgo (Dwivedi et al. 2011; Boncompagni et al. 2018). Orzo, miglio e sorgo hanno bisogno di meno acqua

di mais, riso e frumento, i quali utilizzano quasi il 50% di tutta l'acqua impiegata per l'irrigazione delle colture.

Infine, i semi sono legati alla biodiversità in generale e all'agrobiodiversità in particolare. A livello di azienda agricola, l'agrobiodiversità si può esprimere sotto forma di coltivazione di diverse colture, di diverse varietà all'interno della stessa coltura e di varietà geneticamente non uniformi. Su poco più di 6.000 specie vegetali coltivate per l'alimentazione (IPK 2017), meno di 200 specie hanno livelli di produzione significativi a livello globale, con solo nove (canna da zucchero, mais, riso, frumento, patata, soia, frutti della palma da olio, barbabietola da zucchero e cassava, nota anche come manioca) che rappresentano oltre il 66% di tutta la produzione agricola mondiale (FAO 2019).

L'agrobiodiversità è importante per la sicurezza alimentare (Cardinale et al. 2012; Hooper et al. 2012; Zimmerer e de Haan 2017), per aumentare il reddito agricolo, per generare occupazione e per ridurre il rischio di perdite di prodotto (Di Falco e Chavas 2006, Pellegrini e Tasciotti 2014; Renard e Tilman 2019). La biodiversità rende i sistemi produttivi più resilienti (FAO 2019) ed è una risorsa essenziale per il miglioramento delle colture, per adattare l'agricoltura a un clima che cambia e alle preferenze dei consumatori (Hufford et al. 2019; van Frank et al. 2020). L'agrobiodiversità è importante anche in relazione ai servizi ecosistemici (Jackson et al. 2007), definiti come i benefici che la popolazione umana trae, direttamente o indirettamente, dalle funzioni degli ecosistemi (Barot 2017). Per semplicità, ci riferiremo al complesso di beni e servizi ecosistemici come "servizi ecosistemici". Questi ultimi includono la regolazione della composizione chimica dell'atmosfera, la regolazione del clima, la regolazione delle perturbazioni, la regolazio-

1. [www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Withdrawal\\_eng.pdf](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Withdrawal_eng.pdf)

ne delle acque, l'approvvigionamento idrico, il controllo dell'erosione e la ritenzione dei sedimenti, la formazione del suolo, il ciclo dei nutrienti, il trattamento dei rifiuti, l'impollinazione, il controllo biologico, il rifugio, la produzione di cibo, le materie prime, le risorse genetiche, la ricreazione e i servizi culturali (Costanza et al. 1997). Una rassegna bibliografica ha confrontato i sistemi agricoli biologicamente diversificati con i sistemi agricoli industriali<sup>2</sup> e ha scoperto che i primi differiscono dai secondi per la maggiore biodiversità, la migliore qualità del suolo, la capacità di sequestrare il carbonio e di trattenerne l'acqua nella parte più superficiale del terreno, l'efficienza nell'uso dell'energia e la resistenza e resilienza al cambiamento climatico; in altre parole, la biodiversità ci fornisce diversi servizi ecosistemici (Kremen e Miles 2012).

Uno studio condotto in Germania dopo l'inondazione del luglio 2013 ha dimostrato che in media le specie vegetali erano meno danneggiate dalle inondazioni se coltivate in parcelle con alta diversità e che la porosità del suolo era risultata più elevata negli appezzamenti con alto numero di specie (Wright et al. 2017). Gli esperimenti condotti dal Rodale Institute negli Stati Uniti<sup>3</sup> hanno dimostrato che i terreni coltivati in biologico con uso di letame assorbono circa tre volte più acqua di terreni coltivati in modo industriale.

L'importanza della biodiversità è confermata da uno studio recente, che ha esaminato 5.160 ricerche originali comprendenti 41.946 confronti tra pratiche diversificate e semplificate mostrando che, nel complesso, la diversificazione migliora la biodiversità, l'impollinazione, il controllo dei parassiti,

il ciclo dei nutrienti, la fertilità del suolo e la regolazione dell'acqua senza compromettere la resa delle colture (Tamburini et al. 2020).

Tuttavia, il miglioramento genetico delle piante, cioè la scienza responsabile della produzione di nuove varietà, è andata, soprattutto negli ultimi settant'anni, verso l'uniformità (Frison et al. 2011; Brumlop et al. 2019). Nel 1950 Frankel scriveva: «Fin dai primi giorni del miglioramento genetico delle piante, l'uniformità è stata perseguita con grande determinazione. Per questo ci sono molte ragioni – tecniche, commerciali, storiche, psicologiche, estetiche» (Frankel 1950). Aggiunge che il concetto di purezza «non solo è stato portato ad estremi inutili, ma può essere contrario al raggiungimento della massima produzione» poiché «riguarda caratteri che sono facilmente visibili ma spesso di scarso significato». Si noti che Frankel non ha mai usato termini come scientifico o biologico.

Frankel è rimasto in gran parte inascoltato poiché oggi la maggior parte delle varietà moderne sono linee pure<sup>4</sup>, ibridi o cloni a seconda della coltura e della domanda del mercato. Le linee pure si riproducono attraverso l'autofecondazione, i cloni attraverso la riproduzione asessuata o clonazione. In entrambi i casi la prole è identica ai genitori. Gli ibridi sono incroci tra linee pure o cloni. Tutti questi processi riducono drasticamente la diversità genetica. Tuttavia, l'uniformità delle varietà da sola non sarebbe sufficiente a spiegare il declino dell'agrobiodiversità perché il miglioramento genetico delle piante potrebbe averne prodotte molte. Il declino dell'agrobiodiversità è dovuto alla filosofia

2. Con riferimento all'agricoltura useremo il termine industriale perché ci sembra più appropriato del termine convenzionale.

3. <https://rodaleinstitute.org/it/scienza/sperimentazione-di-sistemi-di-allevamento>

4. La linea pura è un insieme di individui che deriva da un capostipite omozigote. Un individuo si dice omozigote quando possiede, per uno o più geni, gli stessi alleli. Si dice allele una delle due, o più, forme alternative di un gene (per esempio il gene per il colore degli occhi ha, tra gli altri, l'allele per il colore azzurro e quello per il colore marrone).

predominante seguita dai miglioratori vegetali sia pubblici che privati, riguardo a due concetti fondamentali, vale a dire l'adattamento, definito come la capacità di una varietà di rendere bene in un dato luogo, e la stabilità, definita come la costanza della resa negli anni (Barah et al. 1981; Lin e Binns 1988; Evans 1993).

La maggior parte dei miglioratori vegetali sostiene che, da un punto di vista pratico, il miglioramento genetico dovrebbe mirare a sviluppare varietà che abbiano sia una resa stabile ed elevata che un adattamento ampio (vedi per esempio, De Vita et al. 2010). Mentre una varietà con un'alta stabilità di rendimento elevato in un dato luogo è ovviamente ciò che ogni agricoltore vorrebbe avere, in particolare in vista delle grandi fluttuazioni meteorologiche da un anno all'altro (Baethgen 2010), un adattamento ampio, vale a dire la stabilità tra luoghi diversi, porta ovviamente a una diminuzione dell'agrobiodiversità ed è solo nell'interesse delle grandi ditte sementiere.

La filosofia dell'adattamento ampio ha trovato la sua espressione internazionale in quella che è conosciuta come la Rivoluzione Verde e che era basata sulla selezione di varietà capaci di eccellere dovunque e sempre, avendo perso la sensibilità al fotoperiodo e l'esigenza di vernalizzazione. Varietà che non risentivano della differenza nel numero di ore di luce e di buio e non avevano bisogno di un periodo di freddo per passare dalla fase vegetativa a quella riproduttiva (cioè formare spighe, pannocchie ecc.). Inoltre queste varietà erano basse, con culmi molto robusti e quindi capaci di sopportare forti concimazioni azotate senza allettare.

L'espressione Rivoluzione Verde fu coniata nel marzo 1968 da William S. Gaud, allora direttore dell'Agenzia degli Stati Uniti per lo Sviluppo Internazionale (USAID), per indicare l'effetto di una strategia di sviluppo basata su:

1. nuove varietà;
2. irrigazione;
3. uso di fertilizzanti;
4. uso di pesticidi;
5. meccanizzazione.

Nell'ambito di tale strategia, le nuove varietà si ottenevano selezionando per adattamento ampio. Questo, oltre a essere esattamente il contrario di ciò che gli agricoltori avevano fatto per millenni, contrastava con la filosofia del miglioramento genetico della prima parte del XX secolo secondo la quale la selezione doveva essere fatta nel luogo dove le varietà dovevano essere coltivate, producendo varietà con adattamento specifico alle condizioni locali. Nel 1954, la Fondazione Rockefeller (la stessa che finanziò la Rivoluzione Verde), scriveva «Nella ricerca agricola è fuori discussione che affinché una varietà abbia successo in una determinata regione, essa debba essere selezionata in quella regione» (Baranski 2022). Inoltre, l'espressione "adattamento ampio" era fuorviante perché si riferiva all'adattamento geografico piuttosto che all'adattamento ambientale (Ceccarelli 1989). Di fatto gli ambienti agricoli in cui queste varietà ad adattamento ampio ebbero successo erano in realtà molto simili (alta piovosità o disponibilità di acqua di irrigazione, e buona fertilità del suolo), anche se geograficamente molto distanti, oppure erano resi simili gli uni agli altri con l'apporto di acqua di irrigazione, di fertilizzanti e di pesticidi.

L'adattamento (specifico o ampio) è ancora oggi uno dei concetti più dibattuti nel campo del miglioramento genetico, eppure l'adattamento per selezione naturale è il principio fondamentale della teoria dell'evoluzione. L'adattamento differenziale delle popolazioni della stessa specie (Hereford 2009), quindi un aumento della diversità all'interno della specie, è un primo passo nel processo di adattamento e diversificazione.

Il declino dell'agrobiodiversità ha aumentato la vulnerabilità delle colture (Esquinas-Alcázar 2005; Hajjar e Hodgkin 2007; Fisher et al. 2018) perché la loro uniformità genetica le rende incapaci di rispondere ai cambiamenti climatici sia a breve che a lungo termine. Uno studio recente mostra che, a livello globale, la variabilità del clima spiega circa un terzo (tra il 32% e il 39%) della variabilità della resa osservata. Nel caso del frumento, una coltura per la quale coltiviamo prevalentemente varietà uniformi, la variabilità climatica spiega dal 31% al 51% della variabilità della resa in Europa occidentale, dal 23% al 66% in Europa orientale, mentre nell'Europa meridionale la variabilità climatica è responsabile dal 15% al 45% della variabilità della resa in Italia e Grecia e di oltre il 75% nella Spagna meridionale (Ray et al. 2015). Inoltre, le colture uniformi forniscono un terreno di coltura ideale per il rapido diffondersi di nuove razze di patogeni resistenti ai fungicidi (Fisher et al. 2018) e a resistenze genetiche. Un esempio estremo, e tra i più noti, delle conseguenze della bassa diversità è l'epidemia di peronospora tardiva della patata e la conseguente carestia nell'Irlanda del XIX secolo (Machida-Hirano 2015).

L'uniformità delle colture ne ha anche aumentato la vulnerabilità nei confronti delle malattie fungine e degli insetti (Keneni et al. 2012) e quindi non c'è da sorprendersi se l'agricoltura industriale che fa largo uso di poche varietà uniformi di un numero limitato di specie sia diventata dipendente dall'uso di pesticidi e, nel caso degli animali, di antibiotici (IPES FOOD 2016).

Un esempio dell'importanza dell'agrobiodiversità viene dal lavoro di Tilman e Dowing (1994) che, in uno studio a lungo termine sui prati naturali, hanno scoperto che le comunità vegetali maggiormente diversificate sono più resistenti alla siccità e da questa si ripren-

dono più velocemente. Questo li ha portati a dire che «la biodiversità genera stabilità». Una ulteriore analisi dei loro dati ha rivelato che questo effetto stabilizzante era il risultato della media statistica tra specie che non cambiavano sincronicamente nel tempo.

In un articolo pubblicato nel 1952 Harry Markowitz, utilizzando semplici modelli analitici e grafici, sviluppò la teoria del portafoglio, una teoria matematica che prevede le condizioni per cui la media (o la somma) di variabili casuali e indipendenti sarebbe progressivamente più stabile man mano che più variabili vengono mediate o sommate. La teoria fu usata, ed è ancora usata, per convalidare il valore della diversificazione come strategia di investimento finanziario per ridurre il rischio.

I risultati dei modelli analitici e grafici di Markowitz (1952) sono ben noti ai consulenti finanziari, che consigliano ai clienti avversi al rischio un portafoglio diversificato, che tende a produrre rendimenti più stabili rispetto ai portafogli meno diversificati, nonostante la variabilità dei singoli componenti. Infatti, in un portafoglio ben diversificato è più probabile che i singoli prodotti siano indipendenti o inversamente correlati.

L'ipotesi diversità-stabilità (ovvero, che a una maggiore diversità corrisponde una maggiore stabilità) è stata recentemente testata da Renard e Tilman (2019), che hanno analizzato la produzione di 176 colture in 91 paesi dal 1961 al 2010 (50 anni). La stabilità delle rese nazionali è stata definita come  $S^5 = \mu/\sigma$  in cui  $\mu$  è la resa nazionale media in kcal ha<sup>-1</sup> per un periodo di anni, mentre  $\sigma$  è la variazione temporale standard da un anno all'altro per lo stesso periodo.

Il set di dati è stato suddiviso in 5 periodi di dieci anni ciascuno e  $\mu$  e  $\sigma$  sono stati calcolati per ogni periodo. La diversità è stata calcolata come indice di informazione di Shannon

5.  $S$  è l'inverso del coefficiente di variazione indicato come CV: per le definizioni di  $\mu$  e  $\sigma$  vedi capitolo 6.



(Hill 1973) sia come diversità del gruppo di colture (i gruppi erano cereali, ortaggi, frutta, legumi, colture oleose, colture produttrici di zucchero, stimolanti, spezie) che come diversità delle singole specie.

I dati indicano chiaramente (figura 1) che 1) a una maggiore diversità delle colture a livello nazionale corrisponde una maggiore stabilità (coefficiente di regressione<sup>6</sup> altamente significativo<sup>7</sup> e positivo, in verde nella figura) della produzione delle singole colture nel tempo e 2) l'effetto destabilizzante (coefficienti di regressione altamente significativi e negativi, in rosso nella figura) della variabilità delle precipitazioni e della temperatura sulla produzione di colture. Anche l'irrigazione (seconda colonna in verde) ha ovviamente un effetto stabilizzante sulle rese.

Questa maggiore stabilità si riflette in marcate differenze tra anni con forti perdite di raccolto. Nella figura 2 sono riportate nell'asse delle ordinate le probabilità di perdita di raccolto per diversi livelli di stabilità indicati,

nell'asse delle ascisse, con indici da 5 a 40. In media, in un paese con una stabilità media di 5 (cioè molto bassa), si ha un declino della resa nazionale di oltre il 25% una volta ogni 8 anni, mentre in paesi con stabilità media di 7,5, 10 o 15 (cioè progressivamente più alta), solo una volta ogni 21, 54 o 123 anni, rispettivamente.

È stato dimostrato che la diversità delle colture è altamente benefica soprattutto nel limitare lo sviluppo delle malattie (Zhu et al. 2000; Phillips e Wolfe 2005; Döring et al. 2011; McDonald 2014; McDonald e Stukenbrock 2016) così come la loro evoluzione (Palumbi 2001). Per esempio in Cina l'uso di miscugli varietali ha portato a una riduzione del 94% del brusone, una malattia del riso dagli effetti devastanti, a un aumento delle rese dell'89% rispetto alla monocoltura e ha evitato trattamenti fungicidi nel giro di due anni (Zhu et al. 2000) su oltre 3.000 ettari. Quindi, l'uso recente del *gene editing* per produrre un riso resistente al brusone in Italia (Meldolesi 2024), era stato già superato molti anni prima

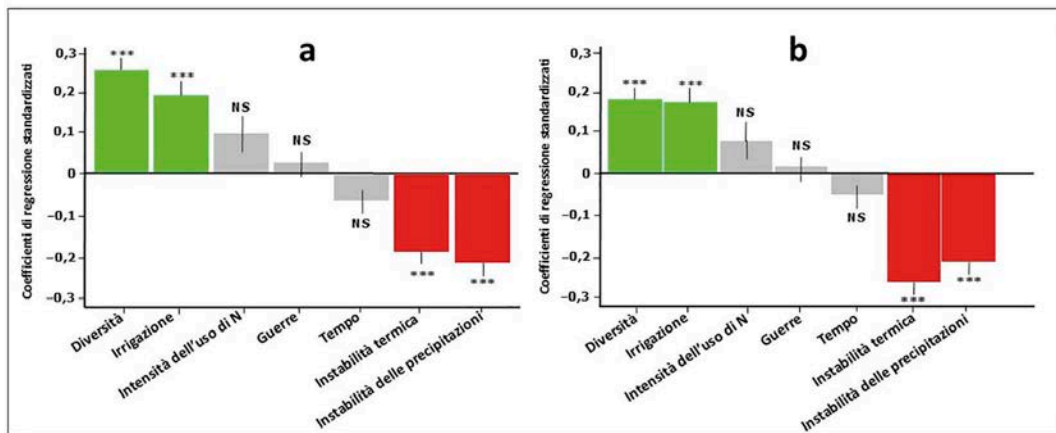


Figura 1. Coefficienti di regressione di diverse variabili in una regressione multipla su  $\log_e$  (stabilità della resa nazionale); a. Diversità a livello di gruppi di specie; b. Diversità a livello di specie (modificata da Renard e Tilman 2019).

6. Il coefficiente di regressione è un parametro statistico per analizzare le relazioni tra due variabili (vedi capitolo 6 per dettagli).

7. Il concetto di significatività in statistica verrà approfondito nel capitolo 6.

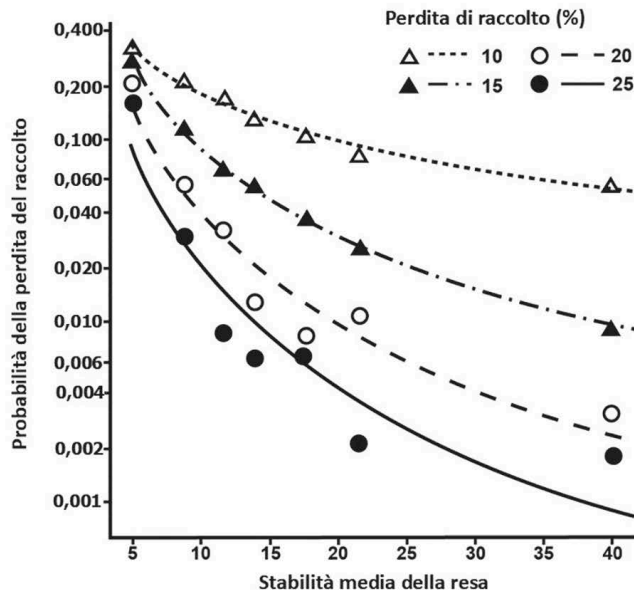


Figura 2. Stabilità della resa nazionale e probabilità di perdite del raccolto (modificata da Renard e Tilman 2019).

con il semplice uso della biodiversità.

Uno degli esempi più notevoli dei vantaggi dei miscugli è la diffusione di miscugli di orzo nell'ex Repubblica Democratica Tedesca fino a 360.000 ettari con una riduzione della percentuale di campi colpiti da gravi epidemie di oidio dal 50% al 10% e una riduzione di tre volte della percentuale di campi trattati con fungicidi (Wolfe et al. 1992).

La relazione tra diversità e stabilità è stata al centro del dibattito tra ecologi (McCann 2000). Prima degli anni '70, gli ecologi credevano che comunità più diversificate aumentassero la stabilità dell'ecosistema. Queste prime idee intuitive sono state messe in discussione dal lavoro di Robert May (1973) che, usando l'analisi di stabilità lineare, ha trovato che la diversità tende a destabilizzare le dinamiche di comunità. Tuttavia, la letteratura più recente indica che la diversità è associata a una maggiore stabilità dell'eco-

sistema. Ciò che è interessante in relazione alle EP, è che la diversità non è il motore di questa relazione; piuttosto la stabilità dell'ecosistema dipende dalla capacità delle comunità di contenere specie, o gruppi funzionali, che sono capaci di una risposta differenziale (McCann 2000).

Il declino della biodiversità è stato associato all'aumento delle malattie infiammatorie negli esseri umani che vanno, per citarne alcune, dalla colite ulcerosa ai disturbi cardiovascolari, dalle malattie del fegato ai diversi tipi di cancro (von Hertzen et al. 2011). A sua volta, l'aumento della frequenza delle malattie infiammatorie è stato legato a una minore efficienza delle nostre difese immunitarie (von Hertzen et al. 2011). Il microbiota – cioè il complesso di batteri, virus, funghi, lieviti e protozoi che si trova nel nostro intestino – è associato con il nostro sistema immunitario e con la probabilità di contrarre malattie in-

fiammatorie (Khamsi 2015). Infine il microbiota influenza anche la salute mentale, in particolare la depressione, l'ansia e più in generale la qualità della vita (Valles-Colomer et al. 2019). La dieta condiziona fortemente la composizione e la diversità del microbiota: un cambio di alimentazione ne modifica la composizione in sole 24 ore. Ci vogliono 48 ore, dopo aver cambiato di nuovo la dieta, prima che il microbiota ritorni alle sue condizioni iniziali (Singh et al. 2017). L'effetto della dieta sulla diversità del microbiota è stato dimostrato da uno studio del 2014 (Schnorr et al. 2014) che ha trovato che il microbiota intestinale di una tribù di cacciatori-raccoglitori, gli Hadza della Tanzania, è molto più ricco e diverso rispetto a quello di italiani che vivono in città. Uno studio più recente (Carter et al. 2023) ha confrontato il microbiota della stessa tribù con quello di un campione di persone in Nepal e un altro in California e ha trovato che il microbiota della tribù contiene oltre 700 specie diverse di microrganismi, quello dei residenti in Nepal circa 400 e quello delle persone in California meno di 300.

Alla luce del ruolo fondamentale del microbiota per la salute e del fatto che sia così fortemente e rapidamente influenzato dalla dieta, è comprensibile che ci siano stati molti studi sull'effetto di varie abitudini alimentari (occidentale, onnivora, mediterranea, vegetariana, vegana, ecc.) sulla sua composizione e diversità (Singh et al. 2017). Risultati recenti dimostrano che la diversità della dieta è di fondamentale importanza per avere un microbiota sano (Heiman e Greenway 2016; Ceccarelli 2019). Ma come possiamo avere una dieta diversificata se l'agricoltura che produce il nostro cibo si basa sull'uniformità? Non c'è quindi da sorprendersi se si registra un aumento globale dei casi di tumore nei primi cinquant'anni di vita, in alcuni casi riconducibili, almeno in parte, al cibo ingerito da giovani (Ledford 2024).

Più recentemente, le espressioni più estreme della perdita di biodiversità, cioè la deforestazione e l'estinzione delle specie, sono state messe in relazione con un aumento del rischio di pandemie come il COVID-19 (Tollefson 2020).

Il declino della biodiversità può essere in gran parte attribuito al modo in cui il miglioramento genetico delle piante è cambiato passando dal sapere degli agricoltori maturato nel corso di millenni agli interessi delle istituzioni pubbliche e, sempre più spesso, delle corporazioni private.

Infatti, una caratteristica peculiare del miglioramento genetico condotto dagli agricoltori era di essere basato sulla selezione per adattamento specifico, e non sarebbe stato possibile altrimenti. Per essere più precisi, avveniva per un adattamento specifico nello spazio, cioè nel proprio luogo, e un adattamento ampio nel tempo, poiché le innovazioni, come i nuovi semi, venivano provate per un certo numero di anni prima di essere adottate.

Inoltre, in assenza di aziende sementiere, gli agricoltori si procuravano i semi per la stagione successiva raccogliendoli da un numero sufficiente di piante selezionate (presumibilmente quelle che avevano caratteristiche desiderabili). Quindi, per necessità, dovevano mescolare i semi delle piante selezionate per ottenerne abbastanza per la semina successiva. Così facendo, mantenevano la diversità all'interno dei loro campi generando ciò che oggi chiamiamo varietà tradizionali, o vecchie varietà, o varietà degli agricoltori, o varietà *heirloom*, o *landraces* o, con un termine poco felice ma molto usato oggi, varietà antiche.

Inoltre, poiché ogni agricoltore selezionava per adattamento specifico alle sue condizioni e ai suoi usi, questo generava anche diversità tra aziende. Tutto ciò è fondamentalmente diverso dal miglioramento genetico moderno delle piante.





# Un mondo migliore è già qui.



## Basta sceglierlo.

Dal 1977  
100 pagine a colori  
per uno stile di vita  
sostenibile.

Ogni mese a casa tua, in cartaceo o digitale

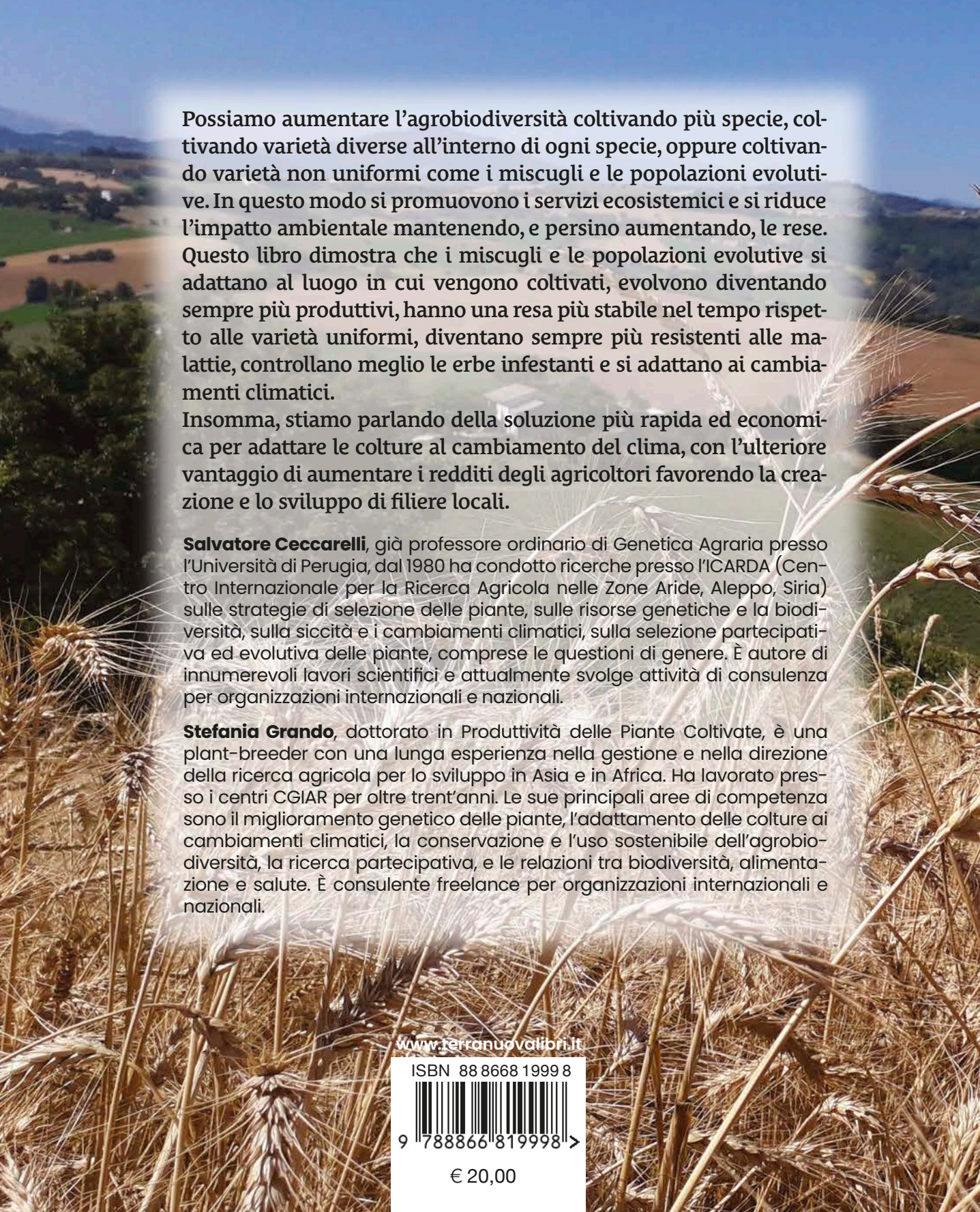
- alimentazione naturale • medicina non convenzionale • agricoltura biologica
- bioedilizia • ecovillaggi e cohousing • cosmesi bio • ecoturismo • spiritualità
- maternità e infanzia • prodotti a confronto • energia pulita • equo&solidale
- ricette • finanza etica • lavori verdi • esperienze di decrescita felice • ecotessuti
- ecobricolage • fumetti • animalismo

Terra Nuova è in vendita nei centri di alimentazione naturale e nelle principali librerie o su abbonamento.

**Richiedi una copia omaggio su [www.terranuova.it/copiaomaggio](http://www.terranuova.it/copiaomaggio)**

Terra Nuova, via del Ponte di Mezzo 1, 50127 Firenze • tel 055 3215729 • [www.terranuovalibri.it](http://www.terranuovalibri.it)





Possiamo aumentare l'agrobiodiversità coltivando più specie, coltivando varietà diverse all'interno di ogni specie, oppure coltivando varietà non uniformi come i miscugli e le popolazioni evolutive. In questo modo si promuovono i servizi ecosistemici e si riduce l'impatto ambientale mantenendo, e persino aumentando, le rese. Questo libro dimostra che i miscugli e le popolazioni evolutive si adattano al luogo in cui vengono coltivati, evolvono diventando sempre più produttivi, hanno una resa più stabile nel tempo rispetto alle varietà uniformi, diventano sempre più resistenti alle malattie, controllano meglio le erbe infestanti e si adattano ai cambiamenti climatici.

Insomma, stiamo parlando della soluzione più rapida ed economica per adattare le colture al cambiamento del clima, con l'ulteriore vantaggio di aumentare i redditi degli agricoltori favorendo la creazione e lo sviluppo di filiere locali.

**Salvatore Ceccarelli**, già professore ordinario di Genetica Agraria presso l'Università di Perugia, dal 1980 ha condotto ricerche presso l'ICARDA (Centro Internazionale per la Ricerca Agricola nelle Zone Aride, Aleppo, Siria) sulle strategie di selezione delle piante, sulle risorse genetiche e la biodiversità, sulla siccità e i cambiamenti climatici, sulla selezione partecipativa ed evolutiva delle piante, comprese le questioni di genere. È autore di innumerevoli lavori scientifici e attualmente svolge attività di consulenza per organizzazioni internazionali e nazionali.

**Stefania Grandò**, dottorato in Produttività delle Piante Coltivate, è una plant-breeder con una lunga esperienza nella gestione e nella direzione della ricerca agricola per lo sviluppo in Asia e in Africa. Ha lavorato presso i centri CGIAR per oltre trent'anni. Le sue principali aree di competenza sono il miglioramento genetico delle piante, l'adattamento delle colture ai cambiamenti climatici, la conservazione e l'uso sostenibile dell'agrobiodiversità, la ricerca partecipativa, e le relazioni tra biodiversità, alimentazione e salute. È consulente freelance per organizzazioni internazionali e nazionali.

[www.terranuovalibri.it](http://www.terranuovalibri.it)

ISBN 88 8668 1999 8



9 788866 819998 >

€ 20,00