La scienza studia l'uomo

L'ingegneria genetica e la creazione naturale di diversità

Piero Morandini

Università degli Studi di Milano

Dip. di Scienze e Politiche Ambientali

In estrema sintesi:

- Una premessa (lunga) necessaria: la domesticazione
- Creazione di (agro-)biodiversità: è naturale?
- Dalla selezione al breeding: benefici e conseguenze
- Ingegneria genetica: colture Bt e HT
- Genome editing e ibridazioni forzate
- Paragone tra metodi

Dimensioni del frutto/parte commestibile: caratteri evidenti

Avena coltivata

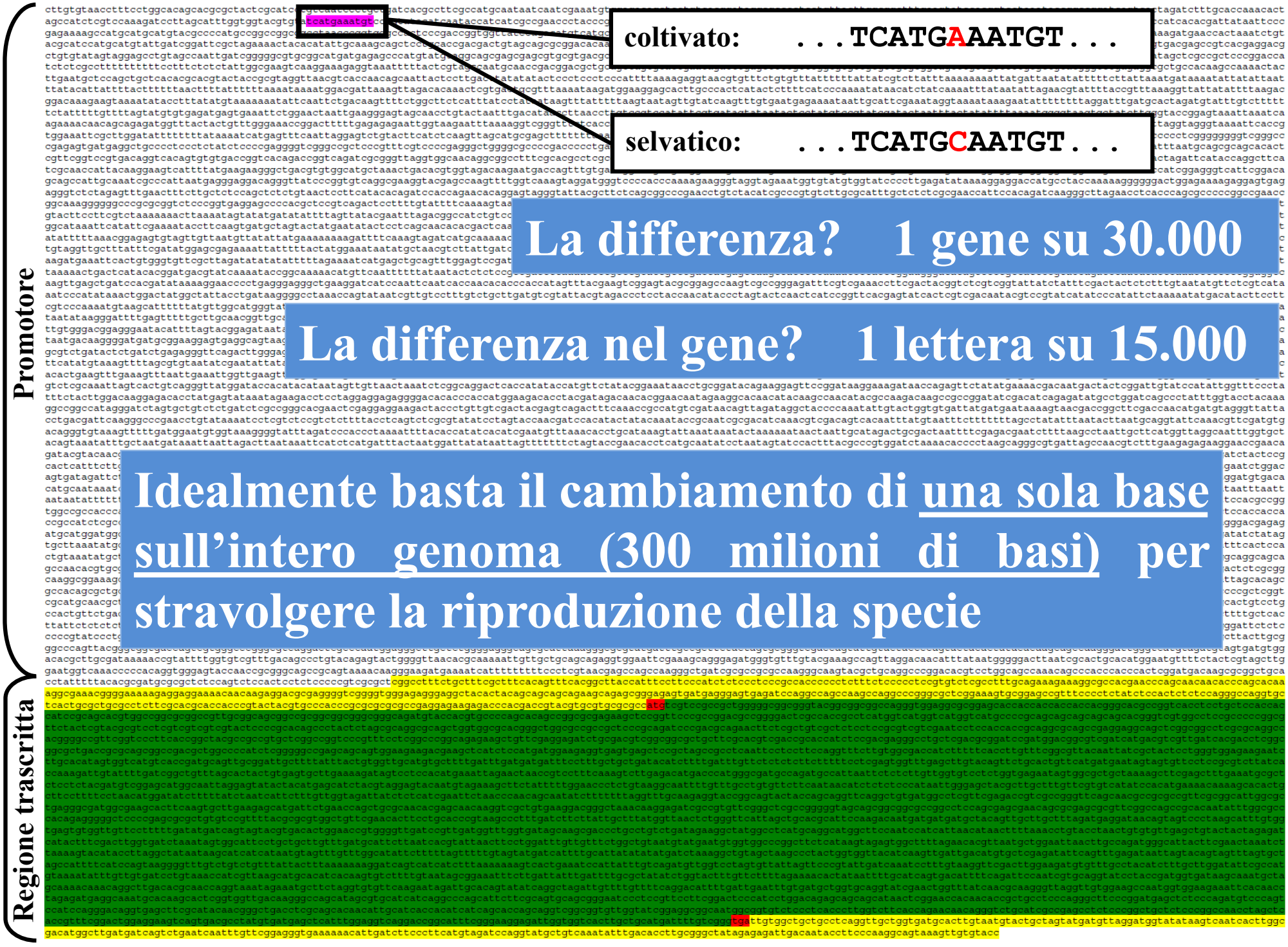
Avena selvatica

Un bel carattere

Naturale: i semi cadono a terra entro pochi giorni.

Coltivata: i semi rimangono per anni attaccati alla spighetta.
Il distacco richiede un trattamento vigoroso (trebbiatura).

→ DOMESTICAZIONE



La differenza? 1 gene su 30.000

La differenza nel gene? 1 lettera su 15.000

Idealmente basta il cambiamento di <u>una sola base sull'intero genoma (300 milioni di basi)</u> per stravolgere la riproduzione della specie

Conseguenze della sindrome?

Cosa succede quando una spiga di un cereale coltivato cade a terra? (non disperde e dormienza ridotta)

Duplice maledizione:

→ Germinazione al tempo sbagliato

→ Affollamento e competizione

Piante di mais "volontarie" a fine ottobre

Piante di mais volontarie a metà novembre

Alta densità di piante, già danneggiate dal freddo

→ Non hanno alcuna possibilità di contribuire alla prossima generazione

Una conseguenza:
→ rischi per l'ambiente

Quelle che non germinano ma rimangono per terra…

marciscono o sono mangiate

Pianta di mais volontaria in un campo di soia

Sept. 2012, Borgofranco d'Ivrea

Assumendo che in un ettaro siano caduti al raccolto 10 semi/m^2

→Tasso di sopravvivenza spontanea:

≈ 1/100.000

Pianta coltivata = pianta naturale?

Accumulo di mutazioni dannose per la pianta, ma favorevoli all'uomo

→ Seme trattenuto a maturità della spiga (frutto)

→ Riduzione del contenuto di tossine (patogeni…)

Iª conclusione: le piante coltivate non esisterebbero se l'uomo non le avesse selezionate e propagate

→ Dormienza del seme (infestanza, permanenza..)

→ Richieste nutrizionali (fertilizzanti…)

IIª conclusione: domesticazione=modifiche genetiche

Biodiversità

Biodiversità agraria:
ricchezza di varietà
coltivate (cultivar)

Biodiversità tout court:
ricchezza di specie in ambiente
selvatico o antropico

Se le piante coltivate fossero naturali...

Passaggio che richiede molto sudore e tecnologia

Conclusione: le colture scompaiono se l'uomo non se ne cura!!

Passaggio spontaneo

Cosa è naturale?

L'uomo fa parte della natura?

Siamo l'unica specie che si ponga il problema della compatibilità di nuove combinazioni geniche

Da cosa viene la specialità dell'uomo? Su cosa si fonda?

Gli esseri umani e la tecnologia sono una cosa sola?

Sindrome da domesticazione:

Banano (arancia, uvetta…)
→ scomparsa dei semi

Sterilità → propagazione vegetativa

La selezione di caratteri interessanti comporta spesso nuovi problemi

Intraoperative finding of patient no. 4 with a distended ileum proximal to one of the wild banana phytobezoars [Slesak et al., (2011)]

Wild banana phytobezoars from patient no. 4 (maximum diameter 5.0cm)

Slesak et al., (2011) TROPICAL DOCTOR 41:85–90.

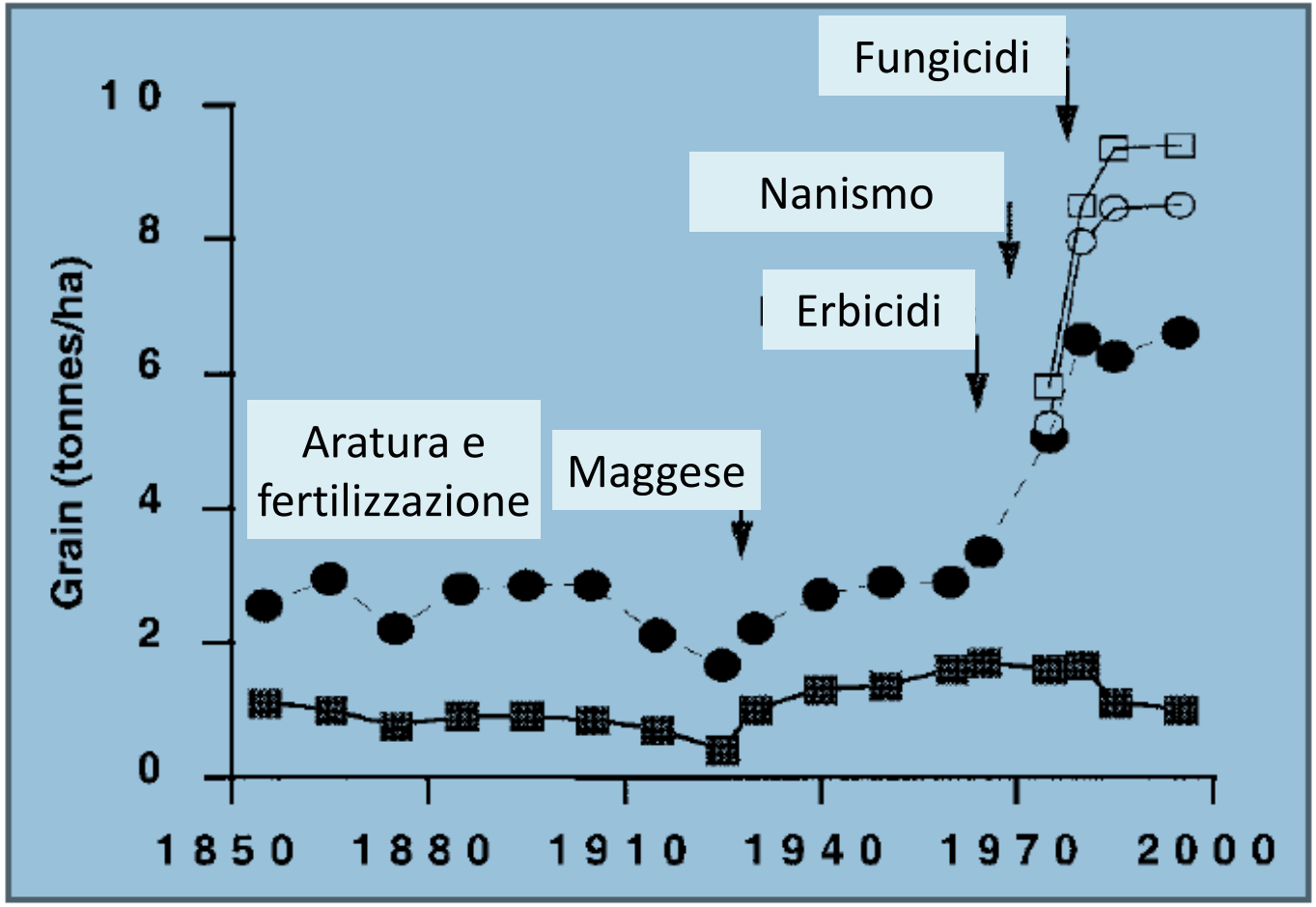


Fig. 1. Yields of wheat in the classical Broadbalk experiment at Rothamsted. The introduction of new technologies is indicated by the arrows. All plots received P and K and the additional fertilizer treatments for the different plots are as follows: (□) wheat grown in rotation and given 96 kg N ha^{-1} plus FYM; (○) wheat grown in rotation and given 144 kg N ha^{-1}; (●) wheat grown continuously and given 144 kg N ha^{-1}; (■) wheat grown continuously with no added N. The figure is adapted from Rasmussen *et al.* (Rasmussen *et al.*, 1998).

Miflin(2000)Crop-improvement

Aratura e fertilizzazione

Aratro del Lavagnone
(museo Rambotti di Desenzano del Garda)

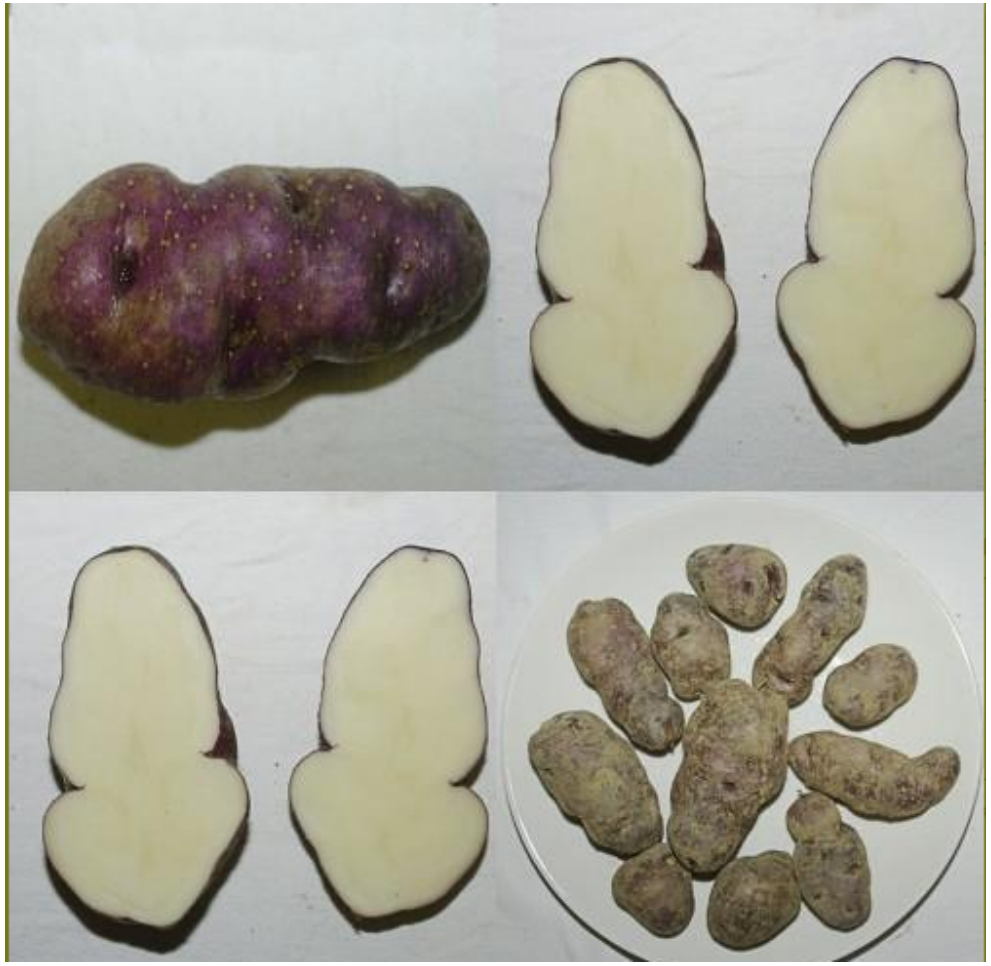
Circa 2000 a.C. !!

- la bure, cioè la parte che permette di attaccare lo strumento al giogo;
- la stegola, una sorta di timone che consente di guidare direzione e profondità dei solchi
- il ceppo-vomere, ovvero il corpo lavorante;

E quando non ci sono animali disponibili…

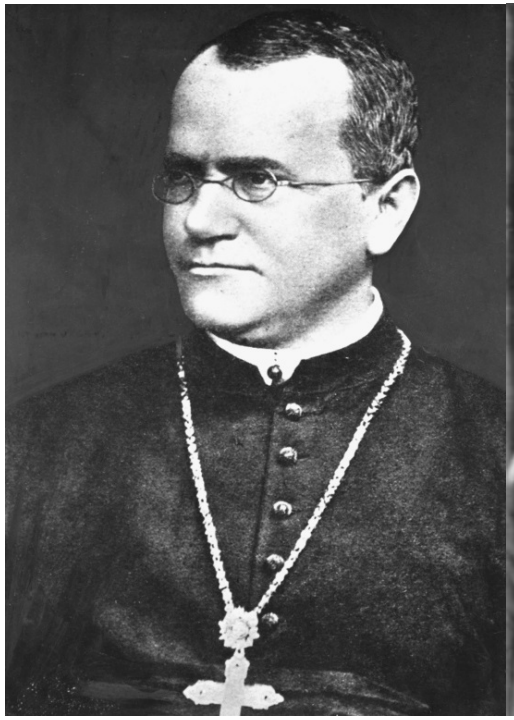
Breeding: incroci mirati e selezione

Sarpo mira
resistente a Ph. i.



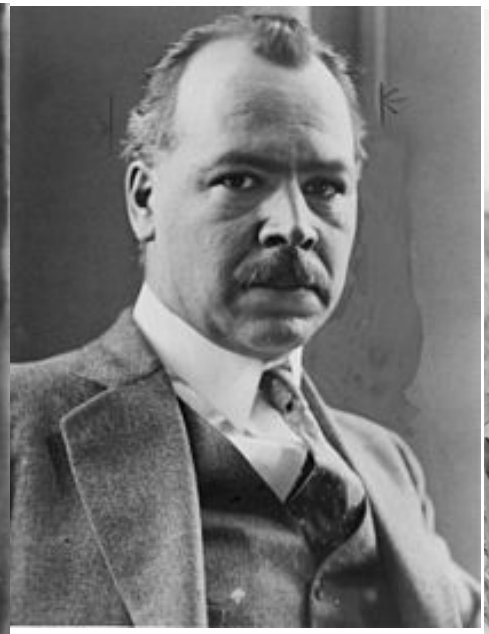
Blaue Bristen
Buccia blu

Sorprese dai figli e dai nipoti

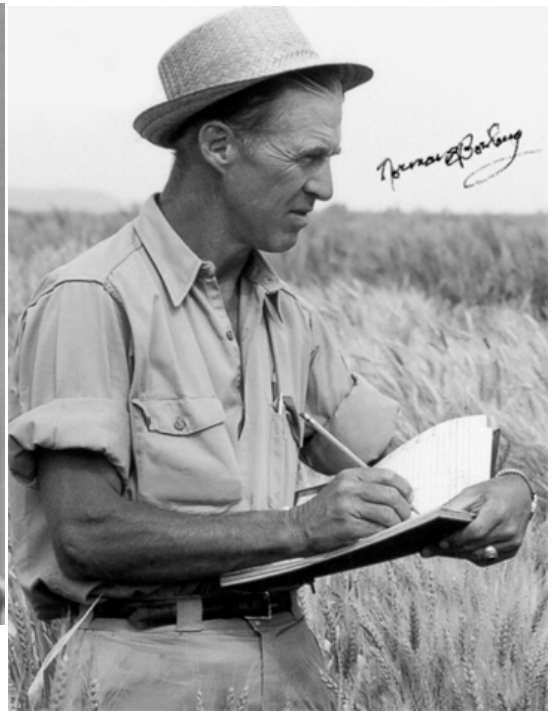


Gregor Mendel
1822 – 1884
Padre della genetica

Nazareno Strampelli
1866 – 1942
Genetista



Nikolaj Vavilov,
1887 – 1943
Botanico e genetista



Norman Borlaug
1914 – 2009
Genetista
Premio Nobel per la pace, 1970

ABBAZIA DI MIRASOLE

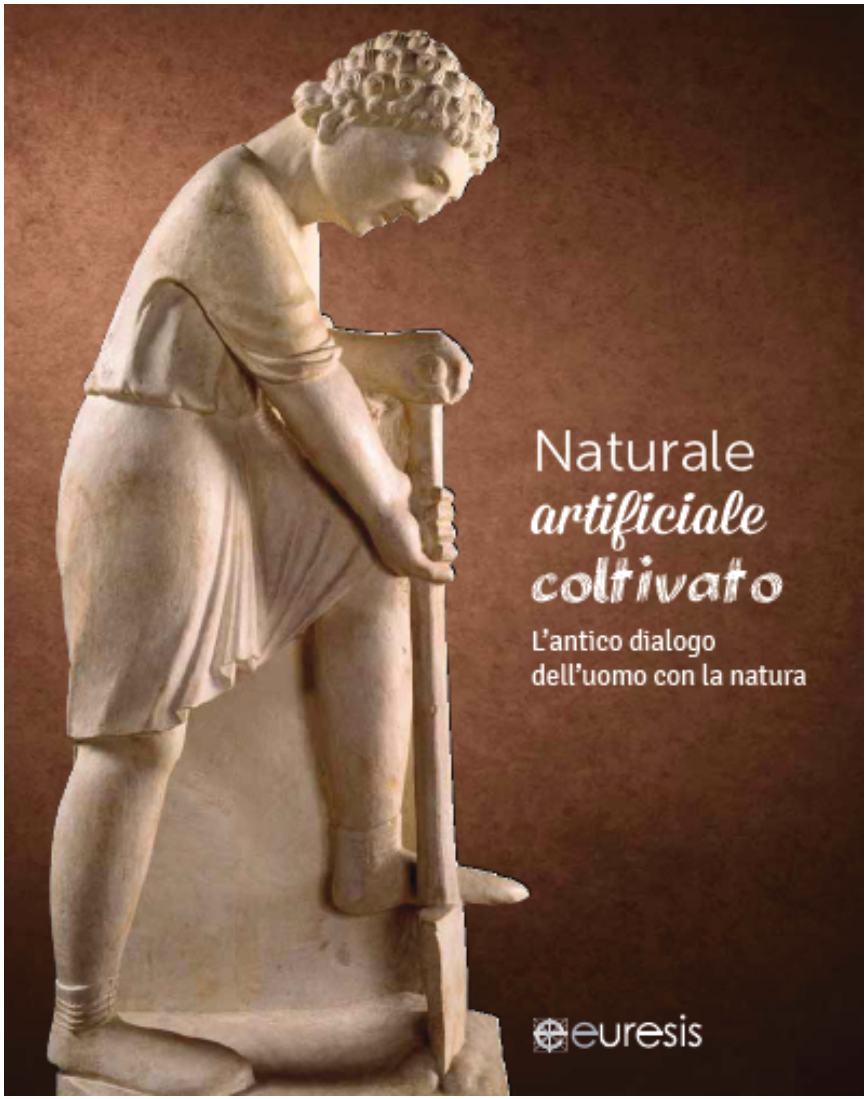
ABBAZIA PROGETTO ATTIVITÀ LITURGI

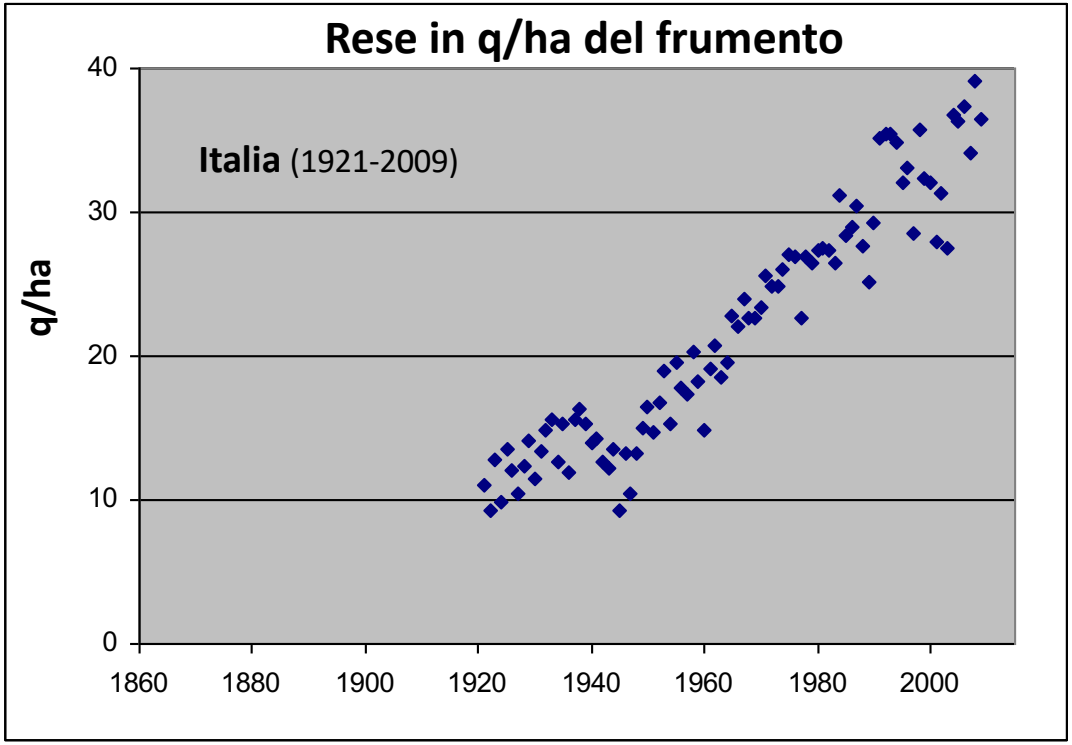
E l'uomo creò le sue piante

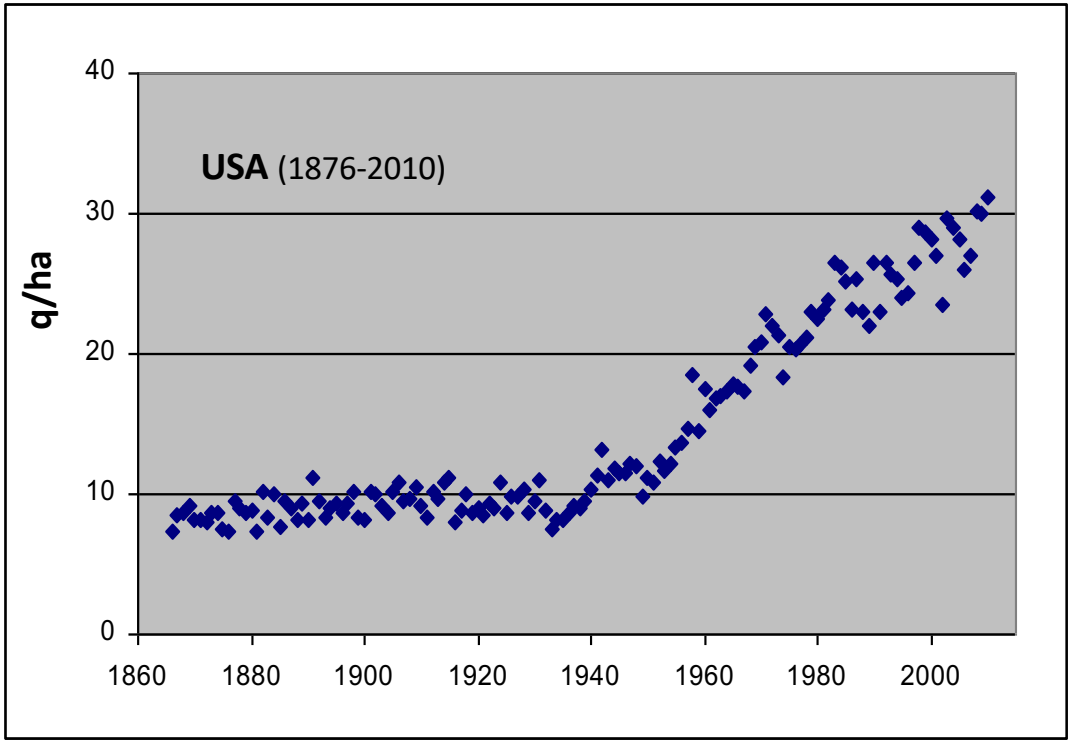
Il percorso espositivo – che ha sede permanente in Abbazia – illustra quando e perché l'uomo è diventato coltivatore, arrivando a mostrare dal vivo numerosi esemplari di piante, nelle loro diverse fasi di domesticazione.

E' una storia cominciata intorno a 10.000 anni fa, se contiamo quante generazioni di antenati ci separano da quel tempo, sono solo 400 generazioni: 400 nonni. Questi nostri antenati, partendo da piante selvatiche, hanno prodotto tutto ciò che oggi coltiviamo e mangiamo.

Mostra permanente nell'abbazia di Mirasole (Opera)







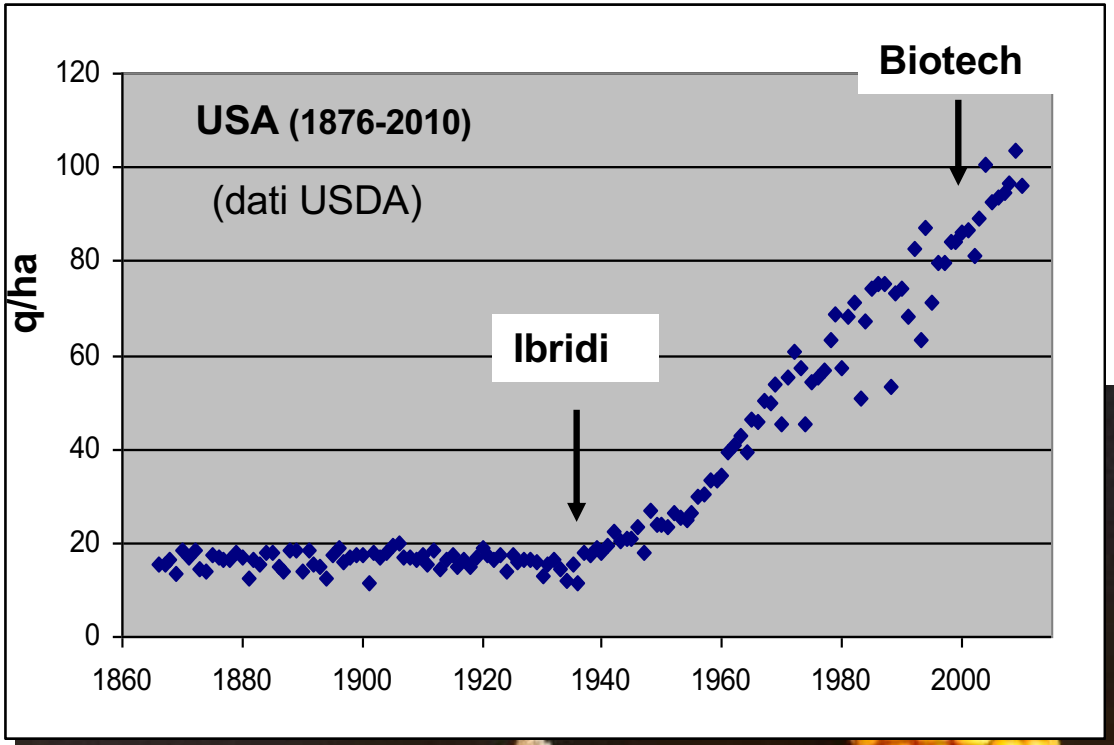
L'aumento della resa è dovuto a:

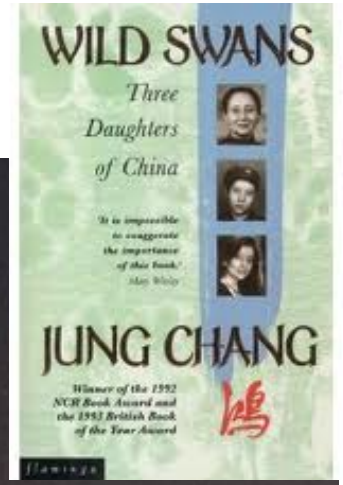
- Genetica (nuove varietà)
- Fertilizzanti
- Pratiche agronomiche (aratura, semina, diserbo…)
- Lavorazioni meccaniche

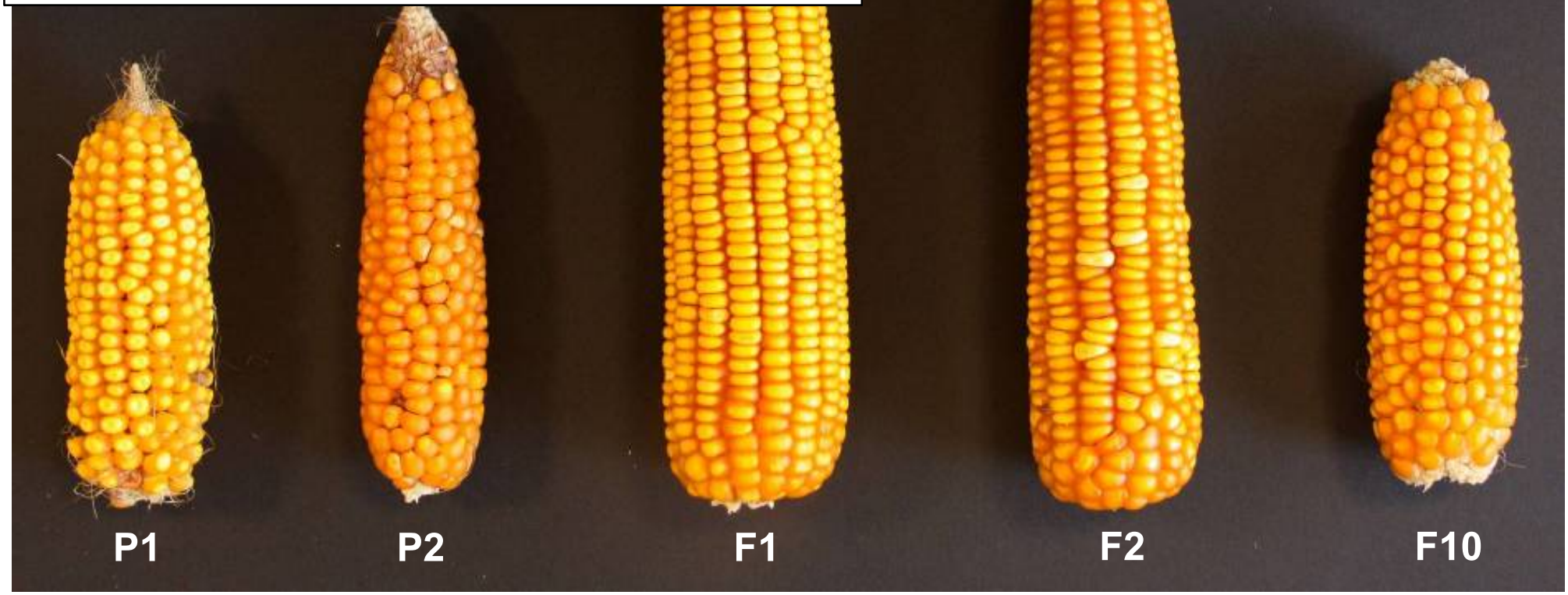
Rivoluzione verde

Grande balzo in avanti

Gli ibridi F1 di mais hanno aumentato notevolmente la produttività







Campo sperimentale: 200m diametro

Sorgente Co-60 al centro 89 TBq

conclusione: molti metodi "innaturali" e "grossolani" sono usati nello sviluppo varietale

Uso di raggi gamma per produrre nuove varietà

Institute of Radiation Breeding
Ibaraki-ken, JAPAN
http://www.irb.affrc.go.jp/

"…nessun organismo scientifico indipendente ha mai escluso ricadute sulla salute di produzioni geneticamente modificate" (risoluz. commis. Agricoltura)

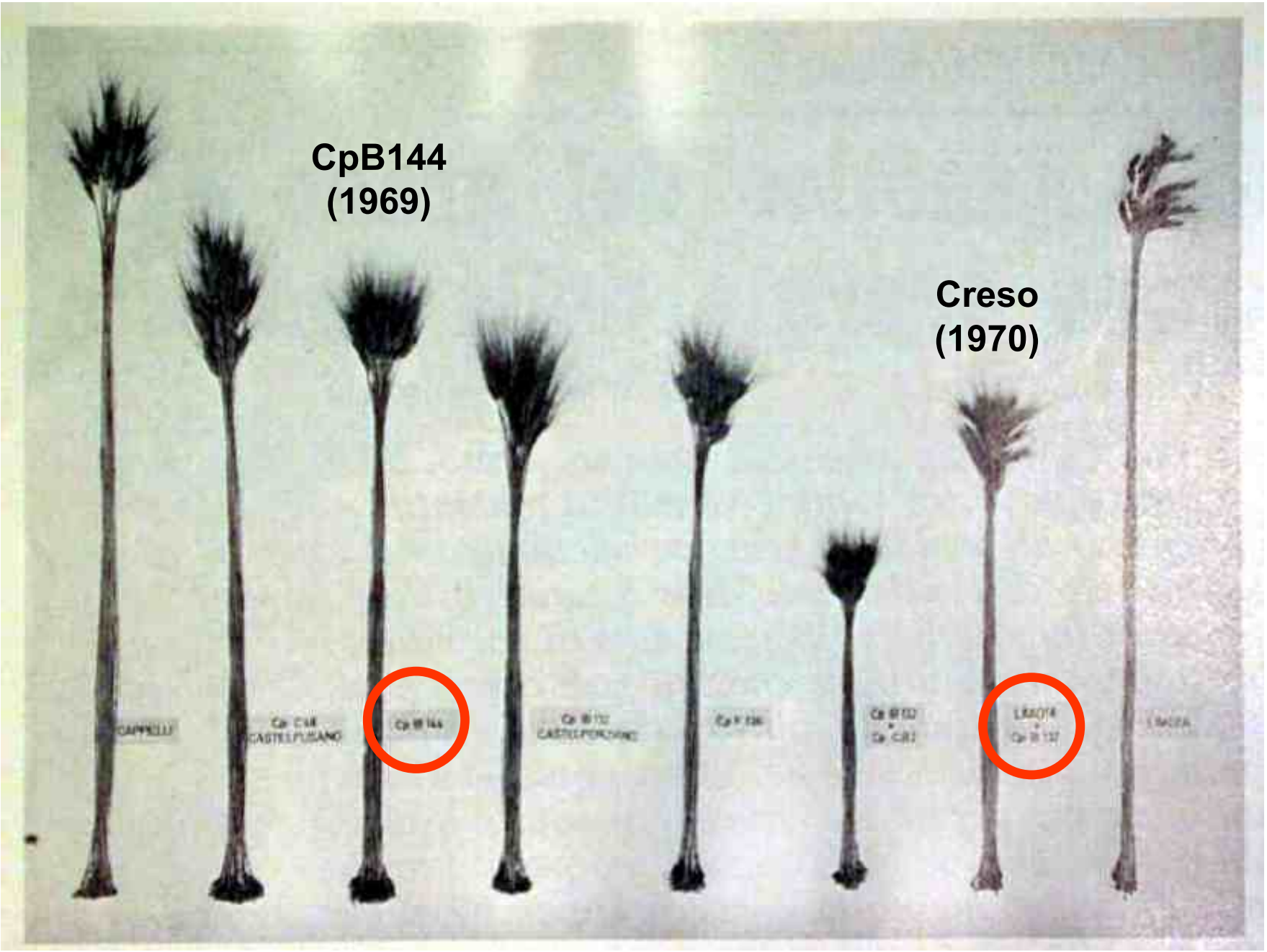

CpB144
(1969)
Creso
(1970)

Tabella 2 - Varietà iscritte dall'Enea, Cre Casaccia, nel Registro varietale del grano

Varietà o mutanti	Data di iscrizione	Varietà o linee parentali	Trattamento mutageno	Caratteri migliorati
Castelfusano . . .	1969	Cappelli	Neutroni termici $1{,}05 \times 10^{13}/cm^2$	Produttività e resistenza all'allettamento
Castelporziano	1969	Cappelli	Neutroni termici $8{,}38 \times 10^{12}/cm^2$	Produttività e resistenza all'allettamento
Cp B 144. . .		Cappelli	Raggi X	Qualità della granella e resistenza all'allettamento
Casteldelmonte .	1969	Grifoni	Neutroni veloci 100 reps	Produttività e resistenza all'allettamento
Castelnuovo . . .	1974	Garigliano	Raggi X 15 Kr	Produttività e resistenza all'allettamento
Creso	1974	Cp B 144 × [(Yt54N10-B)Cp^2-63]Tc^2	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento
Mida	1974	Cp B 144 × [(Yt54N10-B)Cp^2-63]Tc^2	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento
Tito	1975	Castelporziano × Lakota	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento
Augusto	1982	(Castelporziano × Lakota) × Casteldelmonte	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento
Febo	1982	Cp B 144 × [(Yt54N10-B)Cp^2-63]Tc^2	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento
Giano	1982	ND2 × Cappelli	—	Elevata produttività e resistenza all'allettamento

Tabella 9 - Stime relative alla diffusione della varietà di grano duro «Creso» e ai benefici economici ad essa attribuibili

Anni	Superficie (ha)	% della superficie a duro	Totale produzione (000 q)	Valore della produzione (miliardi di L.)	(*) Incremento di produzione stimata (000 q)	Valore stimato dell'incremento (miliardi di L.)
1976	77.250	4,6	2.626	47,3	618	11,1
1977	91.430	7,2	3.109	65,3	731	15,4
1978	187.800	11,2	6.385	153,2	1.502	36,1
1979	260.000	15,7	9.100	245,7	2.080	56,2
1980	330.000	19,2	11.550	323,4	2.310	64,7
1981	380.000	21,6	13.300	425,6	2.660	85,1
1982	410.000	24,2	14.350	545,3	2.870	91,8
1983	430.000	25,1	15.050	632,1	3.010	126,4

(*) ∧ produttivo di 7-8 q/ha dovuto all'impiego del Creso.

Rischi per la salute e l'ambiente?

- Oltre 2000 varietà prodotte per "mutation breeding"
- Migliaia di altre prodotte con tecniche che causano mutazioni
- A queste varietà si <u>devono</u> applicare a maggior ragione le obiezioni mosse alle piante transgeniche
- Dal punto di vista scientifico ha senso discutere sul prodotto, <u>non ha senso discutere sul metodo</u>

L'unica cosa rilevante è il prodotto:
è dannoso per l'uomo? Per quale motivo?
è dannoso per l'ambiente? Per quale motivo?
comporta benefici?

Zucca

http://nonsense123.files.wordpress.com/2008/06/bottle-gourd.jpg

Sedano

http://www.people.cornell.edu/pages/kjc34/distribution.html

Zucchino

http://www.growfruitandveg.co.uk/grapevine/vegging-out/courgettes-doing-my-head_18095.html

Proponenti al 5 maggio 2004

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE, DETTA DEI XL
Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza - Presidente

ANBI – ASSOCIAZIONE NAZIONALE DEI BIOTECNOLOGI ITALIANI
Dott. Francesco Lescai - Presidente

ARNA – ASSOCIAZIONE RICERCATORI NUTRIZIONE ALIMENTI
Prof. Massimo Cocchi - Presidente
Prof. Archimede Mordenti - Presidente Fondatore

ASPA – ASSOCIAZIONE SCIENTIFICA DI PRODUZIONE ANIMALE
Prof. Vincenzo Russo - Presidente

FISV – FEDERAZIONE ITALIANA SCIENZE DELLA VITA
Prof. Jacopo Meldolesi - Presidente

SIB – SOCIETÀ ITALIANA DI BIOCHIMICA E BIOLOGIA MOLECOLARE
Prof. Giampietro Ramponi - Presidente

SIF - SOCIETÀ ITALIANA DI FARMACOLOGIA
Prof. Gianluigi Gessa - Presidente

SIF - SOCIETÀ ITALIANA DI FISIOLOGIA
Prof.ssa Maria Svelto - Presidente

SIFV - SOCIETÀ ITALIANA DI FISIOLOGIA VEGETALE
Prof. Carlo Soave - Presidente

SIGA – SOCIETÀ ITALIANA DI GENETICA AGRARIA
Prof. Michele Stanca - Presidente

SIMGBM - SOCIETÀ ITALIANA DI MICROBIOLOGIA GENERALE E BIOTECNOLOGIE MICROBICHE
Prof.Davide Zannoni - Presidente

SIPAV - SOCIETÀ ITALIANA DI PATOLOGIA VEGETALE
Prof. Giovanni Martelli - Presidente

SITOX - SOCIETÀ ITALIANA DI TOSSICOLOGIA
Prof. Giorgio Cantelli Forti - Presidente

SIV – SOCIETÀ ITALIANA DI VIROLOGIA
Prof. Giorgio Palù - Presidente

SOCIETÀ ITALIANA DI CITOLOGIA
Dott. Pasquale Chieco - Presidente

Sicurezza alimentare e OGM

Consensus Document

glioramento
ca delle pia
ni.
essuna diffe
internazionali h
zzazioni internaz
pubblicata e all'
ture non presen
anno benefici ta
urces-Academie

Proponenti al 15 marzo 2006

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE, DETTA DEI XL
Prof. Gian Tommaso Scarascia Mugnozza - Presidente

ACCADEMIA NAZIONALE DI AGRICOLTURA
Prof. Giorgio Amadei - Presidente

ANBI - ASSOCIAZIONE NAZIONALE DEI BIOTECNOLOGI ITALIANI
Dott. Francesco Lescai - Presidente

ARNA - ASSOCIAZIONE RICERCATORI NUTRIZIONE ALIMENTI
Prof. Massimo Cocchi - Presidente

ASPA - ASSOCIAZIONE SCIENTIFICA DI PRODUZIONE ANIMALE
Prof. Pierlorenzo Secchiari - Presidente

FISV - FEDERAZIONE ITALIANA SCIENZE DELLA VITA
Prof. Jacopo Meldolesi - Presidente

NFI - NUTRITION FOUNDATION OF ITALY
Prof. Rodolfo Paoletti - Presidente

SIB - SOCIETÀ ITALIANA DI BIOCHIMICA E BIOLOGIA MOLECOLARE
Prof. Giuseppe Rotilio - Presidente

SIC - SOCIETÀ ITALIANA DI CHEMIOTERAPIA
Prof. Francesco Scaglione - Presidente

SICI - SOCIETÀ ITALIANA DI CITOLOGIA
Dott. Pasquale Chieco - Presidente

SIF - SOCIETÀ ITALIANA DI FARMACOLOGIA
Prof. Giovanni Biggio - Presidente

SIF - SOCIETÀ ITALIANA DI FISIOLOGIA
Prof.ssa Maria Svelto - Presidente

SIFV - SOCIETÀ ITALIANA DI FISIOLOGIA VEGETALE
Prof. Felice Cervone - Presidente

SIGA - SOCIETÀ ITALIANA DI GENETICA AGRARIA
Prof. Michele Stanca - Presidente

SIMGBM - SOCIETÀ ITALIANA DI MICROBIOLOGIA GENERALE E BIOTECNOLOGIE MICROBICHE
Prof. Davide Zannoni - Presidente

SIMTREA - SOCIETÀ ITALIANA DI MICROBIOLOGIA AGRO-ALIMENTARE E AMBIENTALE
Prof. Bruno Biavati - Presidente

SIPav- SOCIETÀ ITALIANA DI PATOLOGIA VEGETALE
Prof. Felice Scala - Presidente

SISF - SOCIETÀ ITALIANA DI SCIENZE FARMACEUTICHE
Prof. Rodolfo Paoletti - Presidente

SISVet - SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE VETERINARIE
Prof. Eraldo Seren - Presidente

SITOX - SOCIETÀ ITALIANA DI TOSSICOLOGIA
Prof. Giorgio Cantelli Forti - Presidente

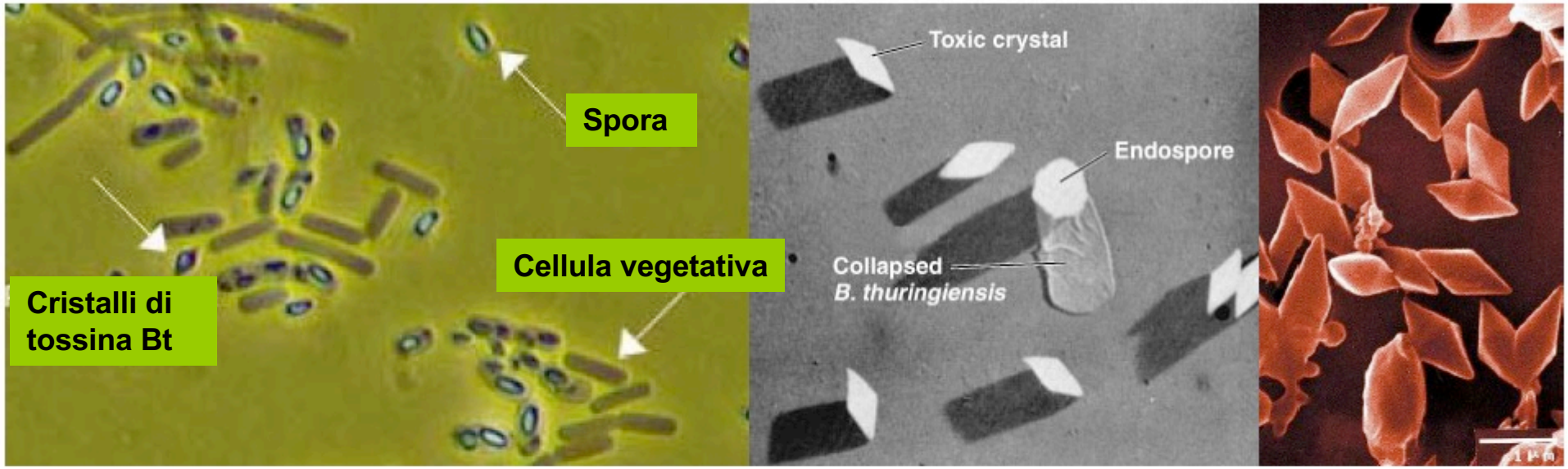
SIV - SOCIETÀ ITALIANA DI VIROLOGIA
Prof. Giorgio Palù - Presidente

Coesistenza tra colture tradizionali, biologiche e geneticamente modificate

Consensus Document

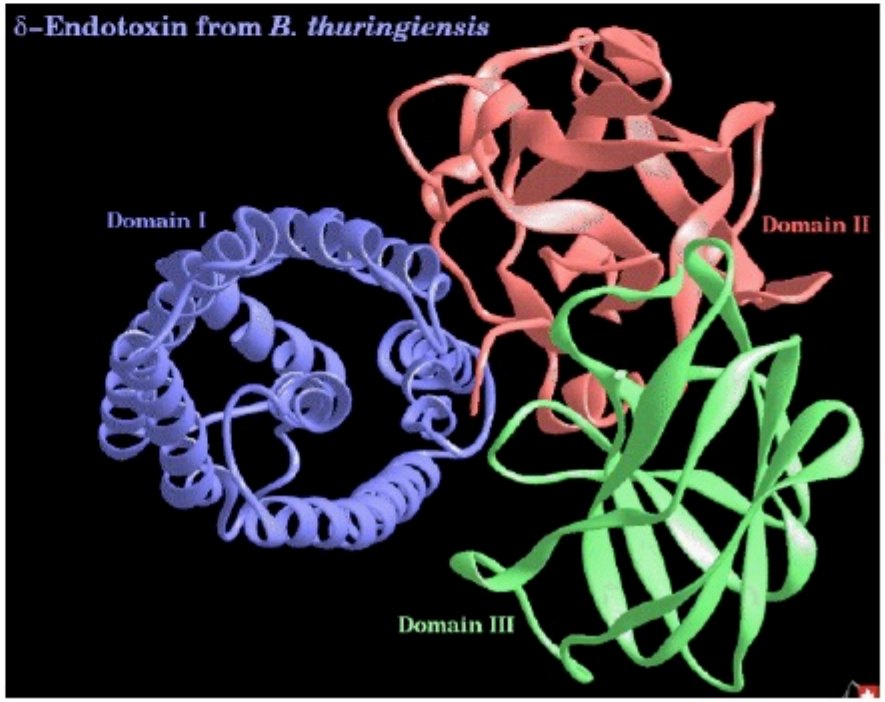
Accademie di: USA, Brasile, Cina, India, Germania, Inghilterra, Messico, Francia, Italia, Terzo Mondo, A. Pontificia delle Scienze

Bacillus thuringiensis (*Bt*)



PROTEINE *CRY* (CRYSTAL)

fino al 50% delle proteine



Slide by K. Petroni

Bt: bioisetticida "ordine-specifico"

B. thuringiensis	**geni Cry**	**Tossicità**
B.t. kurstaki	*CryIA(a), CryIA(b), CryIA(c)*	Lepidoptera
B.t. aizawai	*Cry1B, Cry1C, Cry1D*	Lepidoptera
B.t. israelensis	*CryII*	Lepidoptera, Diptera
B.t. tenebrionis	*CryIII*	Coleoptera

Slide by K. Petroni

Bt: vantaggi e svantaggi

- ✓ non-tossici per organismi non-target (ordine-specifici)
- ✓ rapidamente degradati da raggi UV (classe III, intervallo sicurezza 3gg)
- ✓ utilizzo consentito in agricoltura biologica

- ✓ specifici: controllo di uno o pochi fitofagi
- ✓ attivi per ingestione: protezione limitata a tessuti esterni parte aerea, difficoltà distribuzione
- ✓ rapidamente degradati: ripetute applicazioni

Perché non incorporarlo <u>dentro</u> alle piante?

→ solo i parassiti che si cibano della pianta sono colpiti
→ nessun bisogno di spruzzare (tecnologia dentro al seme)

Slide by K. Petroni

BT-BRINJAL

Benefici e rischi

Mais convenzionale (a sinistra) con evidenti rosure da piralide e infestazioni di fusarium. Il mais Bt (a destra) risulta più sano.

		Fumonisine (mg/kg)	
Paese	***Anno***	**Mais Bt**	**Conv.**
Italia	*1997*	2,0	19,8
	1998	5,4	31,6
	1999	1,4	3,9
	1997	2,0	20,0
	2005	0,05	6,0
Francia	*2005*	0,3	6,1
	2006	0,4	5,6
Turchia	*2001*	2,5	16,5
	2002	0,7	14,7

Livello di fumonisine in mais Bt e convenzionale in alcune prove sperimentali eseguite in Italia, Francia e Turchia in diversi anni.

Il mais Bt contro la piralide ha dimostrato di poter ridurre la contaminazione da fumonisine

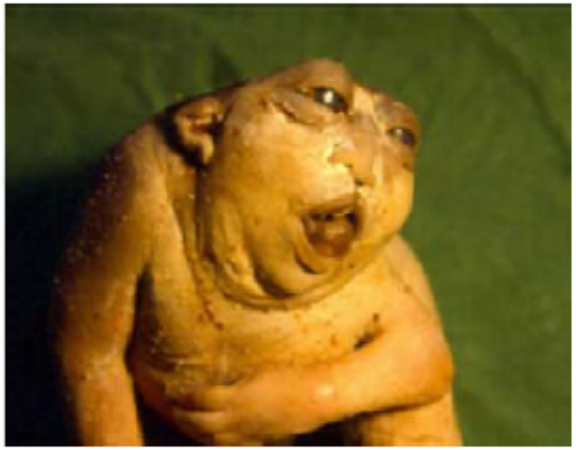
E' sensato focalizzarsi sui rischi conosciuti piuttosto che cercare spasmodicamente di identificare rischi nuovi ed improbabili ...

Le fumonisine sono un ottimo candidato come causa di difetti nel tubo neurale

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spina_bifida_side.jpg

http://neuropathology.neoucom.edu/chapter11/images11/11-2al.jpg

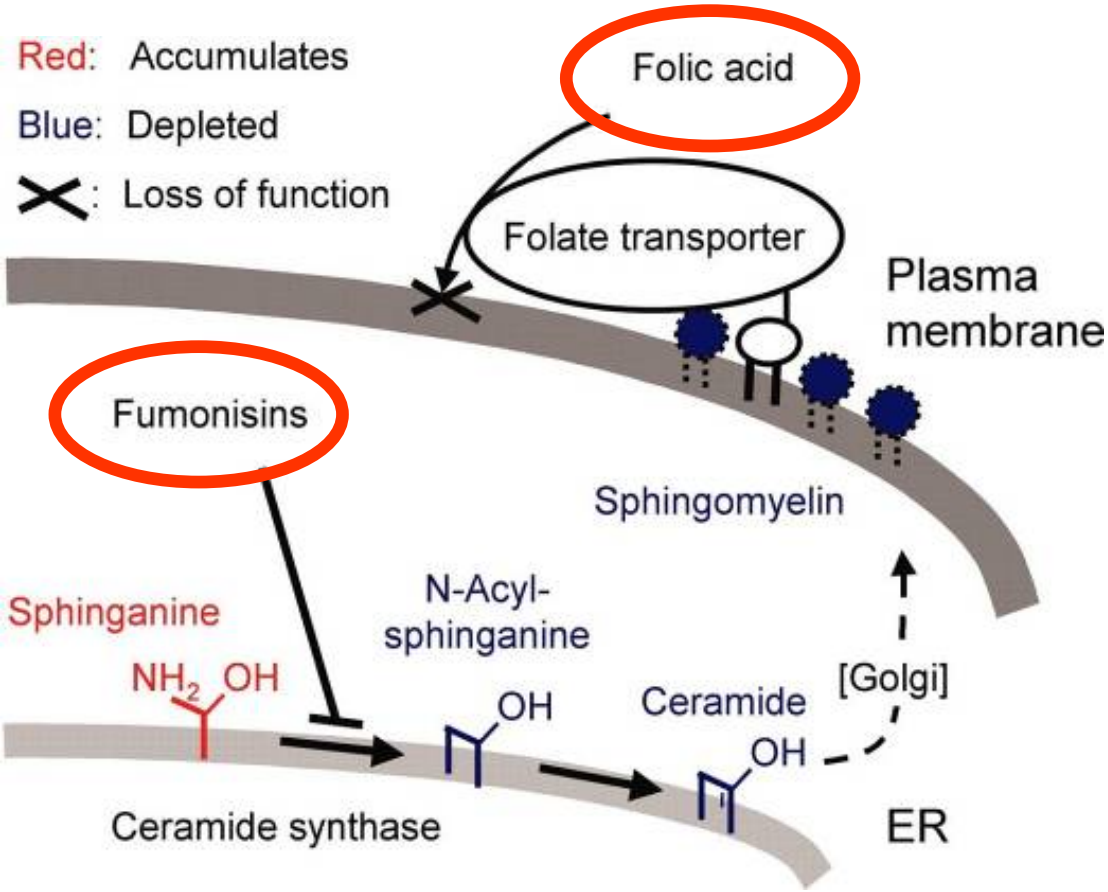
Anencefalia - encefalocele



Esempi di difetti attribuibili alla fumonisina: spina bifida, encefalocele e anencefalia.
Tutti in una sola estate e da un solo ospedale in Guatemala.
Foto cortesia Dr. Julio Cabrera.

Il legame tra fumonisina, deficit di acido folico e la spina bifida è forte dal punto di vista biologico

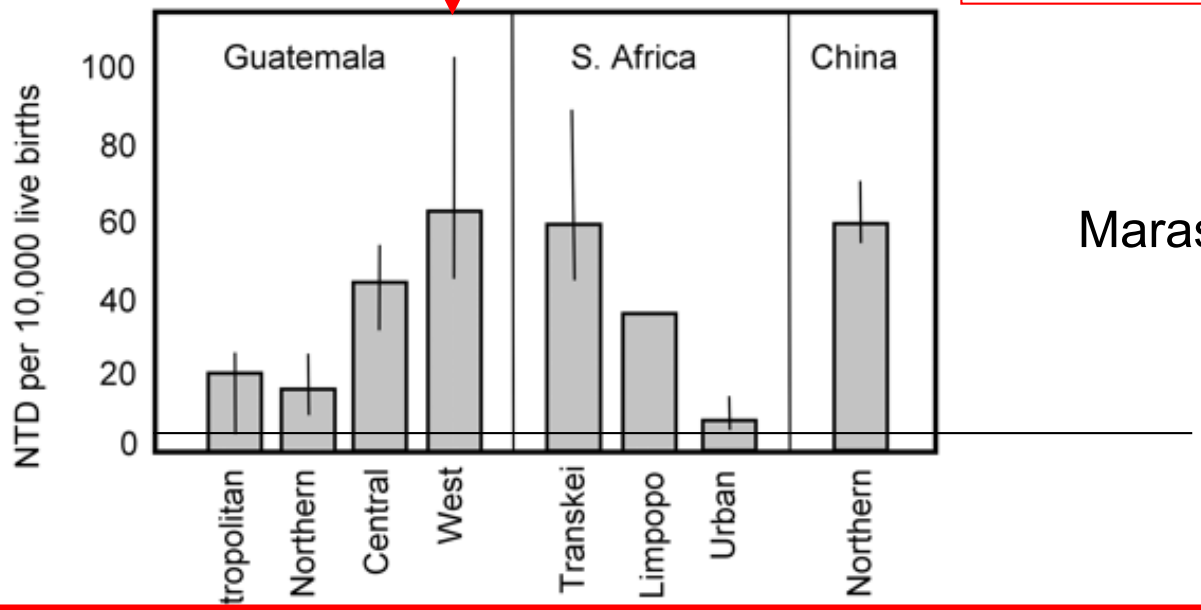
(...c'è anche relazione con alcuni cancri, aumento di trasmissione dell'AIDS, ritardo della crescita…)



Incidenza dei difetti del tubo neurale (NTD per 10,000 nati vivi)

Quetzaltenango has a mostly indigenous population that consumes high amounts of maize as their staple food

General U.S. popul.: <3
Quetzaltenango: 106



Marasas et al. (2004)

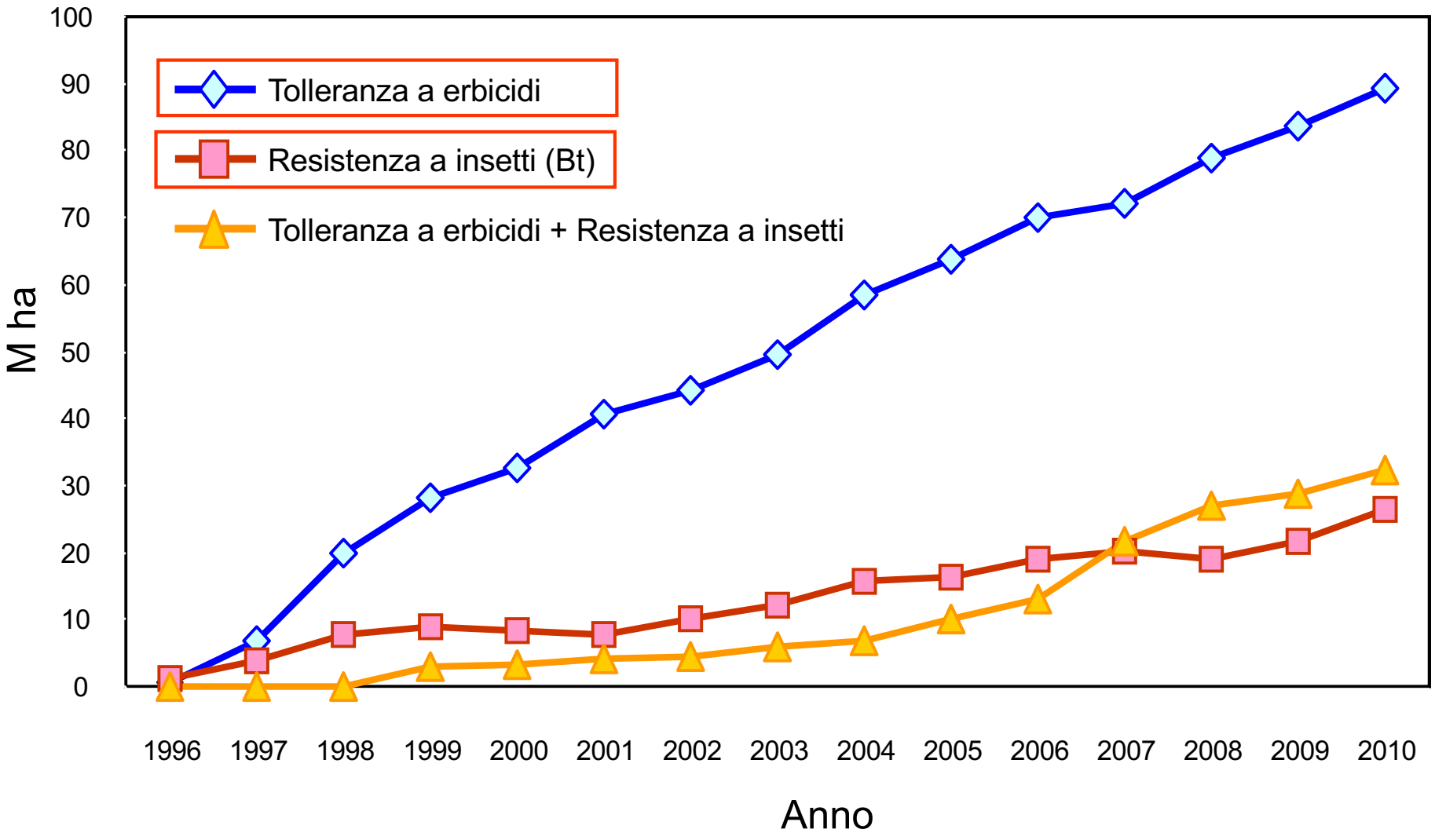
U.S.A.

Il mais Bt avrebbe immani benefici per alcuni PVS

Mean incidence and range in incidence of various locations within the regions or countries are shown; the bar for Limpopo represents one data point.

"Esortiamo chi è scettico o si oppone all'impiego di colture geneticamente ingegnerizzate e all'applicazione della genetica moderna in generale, a valutare attentamente l'evidenza scientifica connessa e i danni dimostrabili causati dal trattenere questa comprovata tecnologia da chi ne ha più bisogno "

Le erbacce e gli insetti sono un problema → le piante transgeniche in commercio sono tolleranti agli erbicidi e resistenti agli insetti

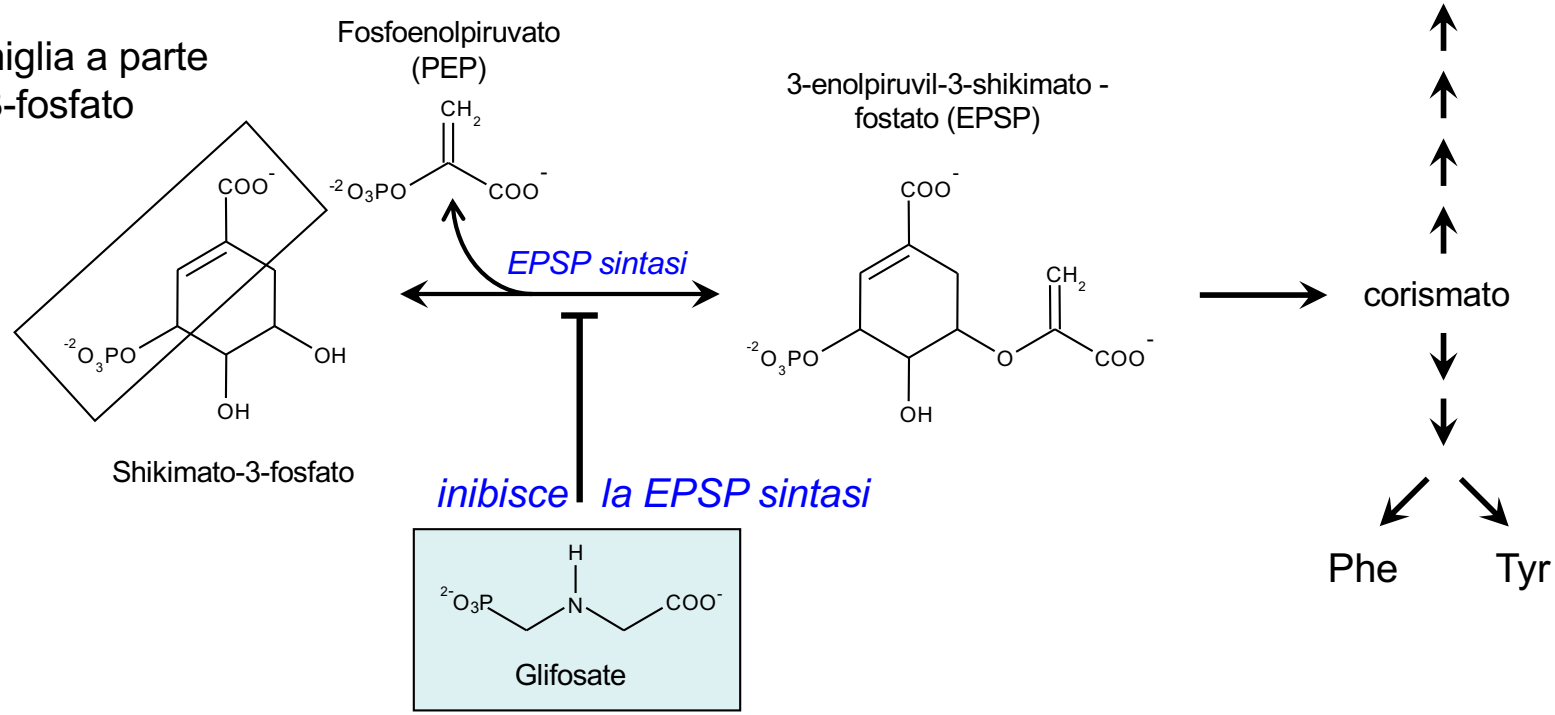


Area coltivata in Mha per i vari caratteri (HT, IR o impilati) nel periodo 1996-2010. Immagine per gentile concessione di C. James, ISAAA.

Reazione della EPSP sintasi

Indispensabile per la sintesi degli aa aromatici

Il glifosate assomiglia a parte dello Shikimato-3-fosfato



Gli erbicidi colpiscono di norma processi <u>specifici</u> delle piante

Interagisce con l'enzima in modo non competitivo e ne riduce l'attività

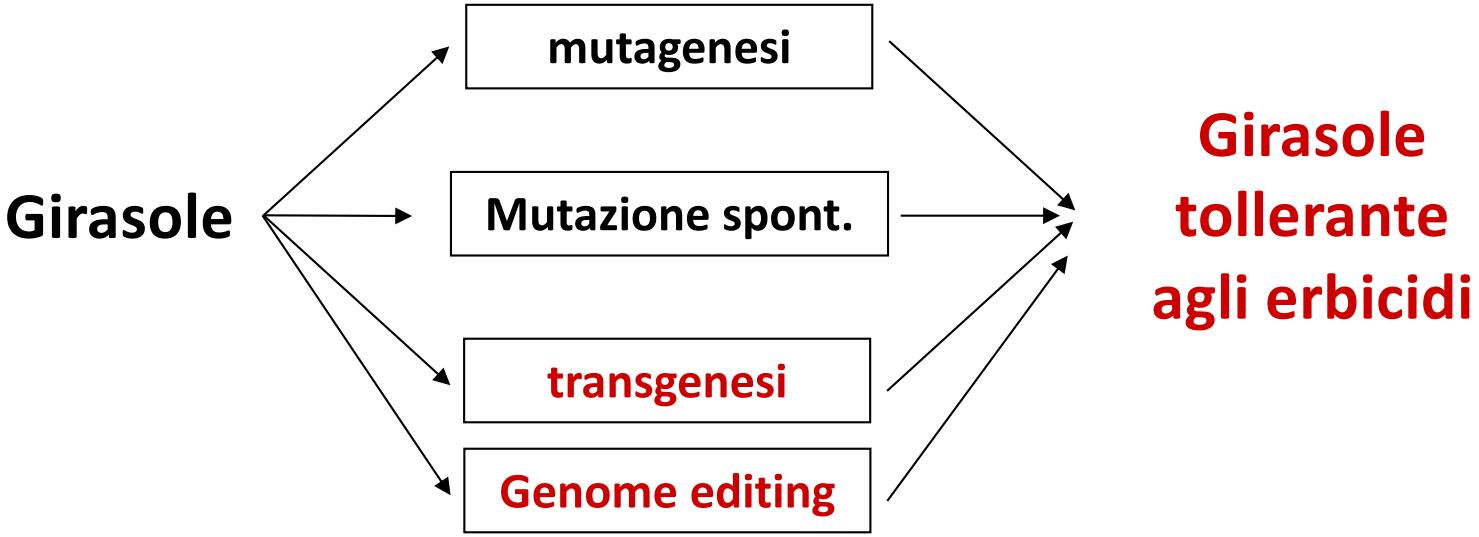
Viene decomposto relativamente velocemente a CO_2, NH_3 e fosfato

Non percola in falda (rimane legato alle particelle del terreno)

Poco tossico ($LD_{50}^{glifosate} >> LD_{50}^{NaCl}$)

Immagine per gentile concessione del Centro Agricolo dell'Università Statale della Luisiana (LS, USA).

Strade diverse, un solo risultato



Se il risultato è uguale, perché una sola via sarebbe pericolosa?

* **Inattivazione di allergeni**
* **Inattivazione di tossine**
* **...**

Stesso discorso ogni volta che c'è perdita di funzione

Dal punto di vista <u>genetico</u> le diverse piante possano risultare indistinguibili, cioè portare lo stesso gene (allele) che conferisce lo stesso carattere

Le biotecnologie agrarie possono fornire prodotti innovativi: es. Golden rice (contiene beta-carotene)

Chicchi di riso convenzionale (a sinistra) e Golden rice (a destra).

Immagine per gentile concessione del prof. I. Potrykus, Svizzera.

Cosa sono le NEW BREEDING TECHNIQUES?

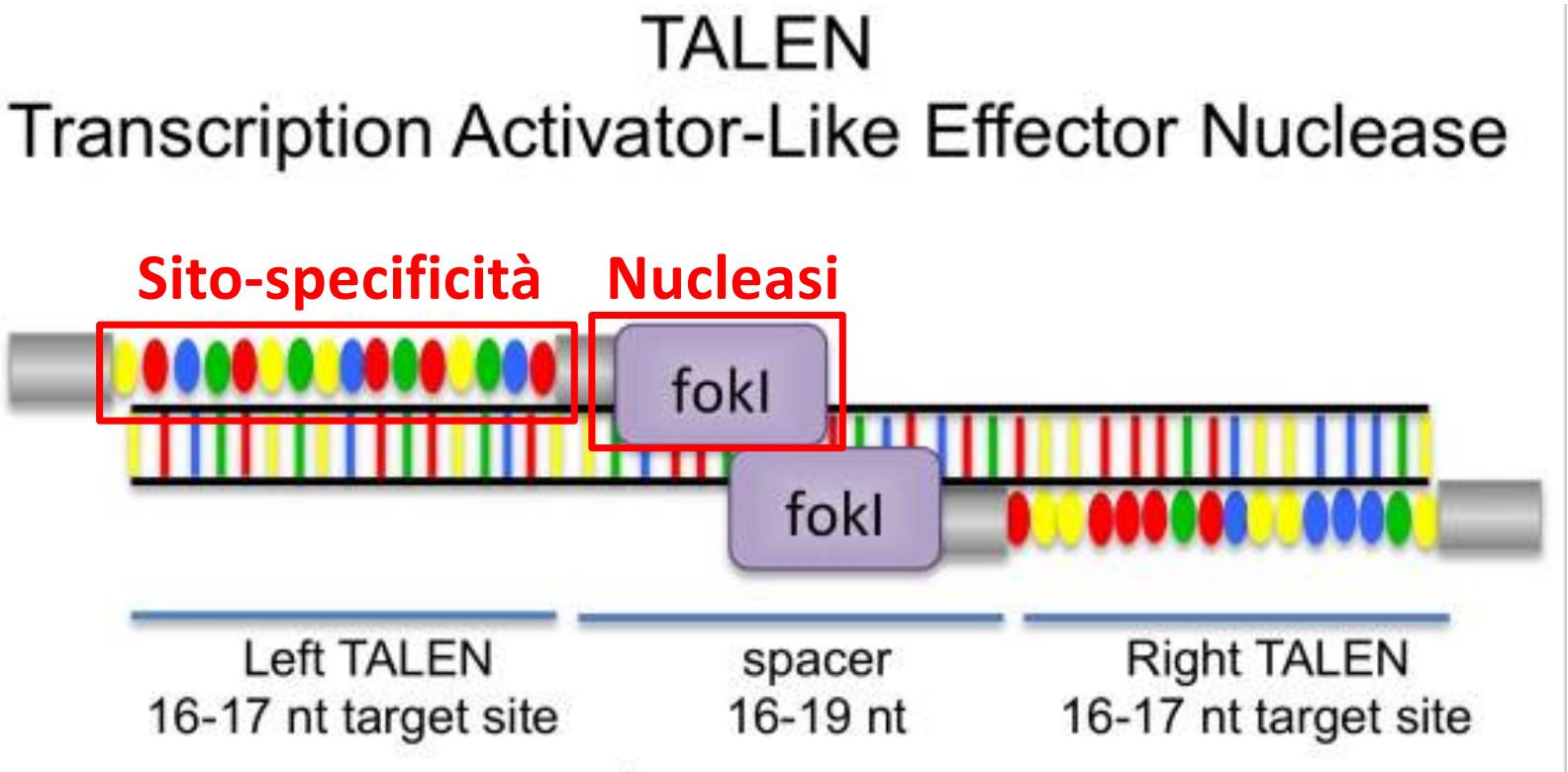
Insieme eterogeneo di tecniche recenti o molto recenti usate anche nel miglioramento genetico (breeding) delle piante

- Nucleasi a dita di Zinco (ZFN), meganucleasi & tecnologie TALEN
- Mutagenesis mediata da Oligonucleotidi (ODM)
- Cisgenesi and intragenesi
- Metilazione del DNA mediata da RNA (RdDM)
- Innesto (su portainnesto transgenico)
- Miglioramento “inverso” (reverse breeding)
- Agro-infiltrazione ("sensu stricto", agro-inoculazione, floral dip)
- Genomica sintetica

- **CRISPR/Cas9**

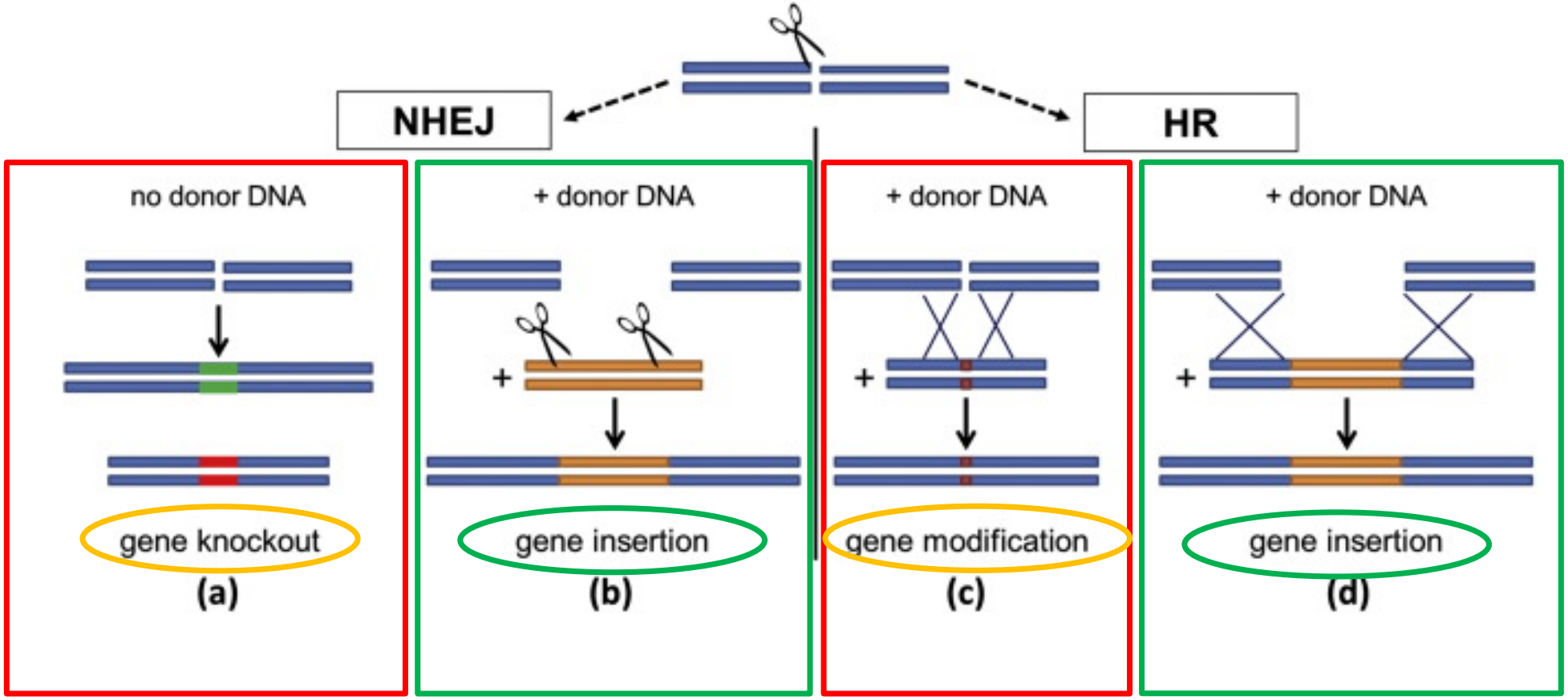
→ per “*genome editing*” (revisione genomica): prevedibilmente la tecnica con maggior impatto

Mutagenesi di precisione: due ingredienti



→ **Piante con il genoma "rivisto" ma senza transgene**

Destini dopo rottura del DNA da parte di nucleasi

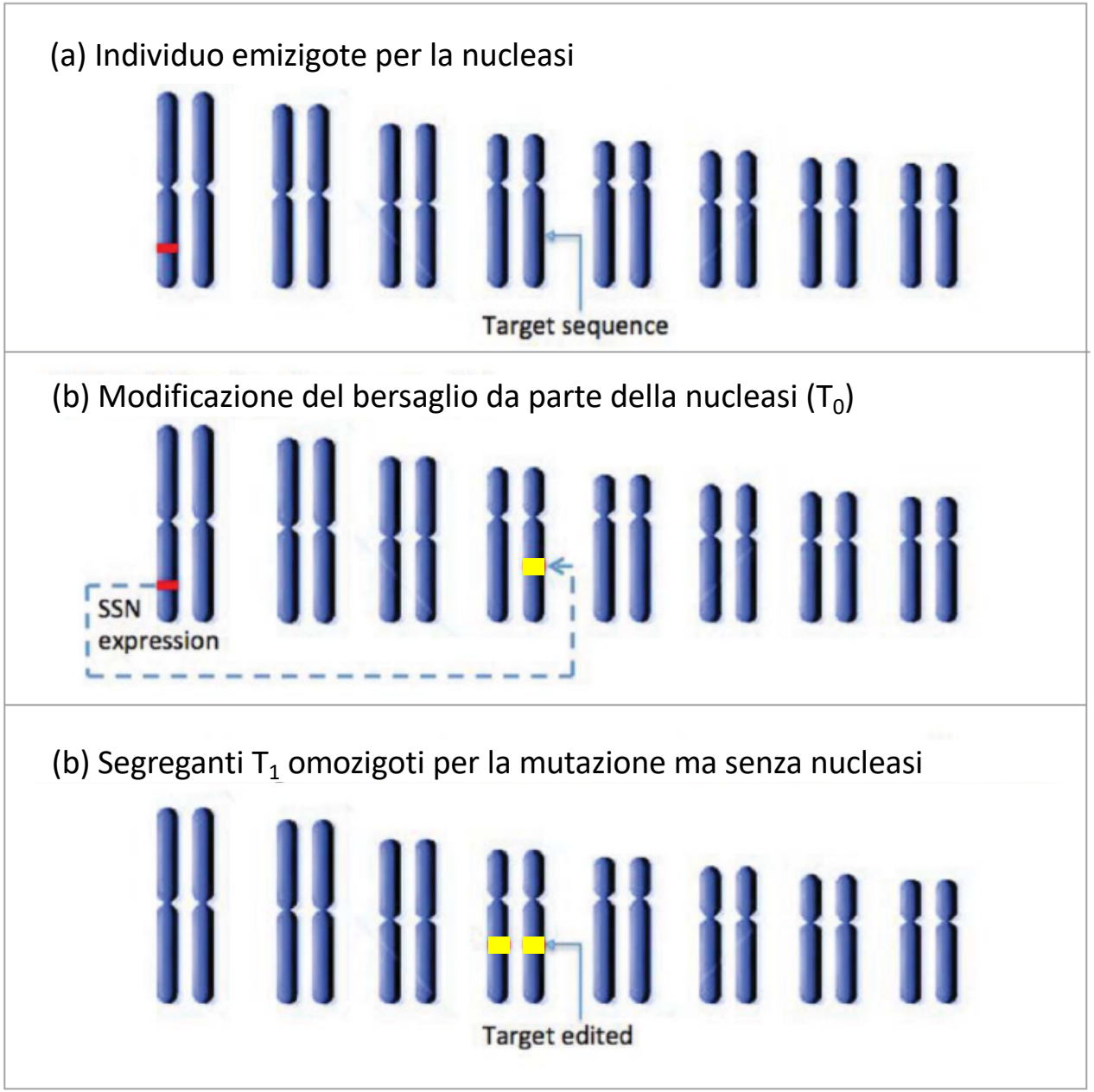


La rottura del DNA è riparata tramite i meccanismi generali di riparazione:

1. Saldatura delle estremità (Non-Homologous End Joining, NHEJ): efficiente ma con errori

2. Riparazione tra regioni omologhe (Homology Directed Repair, HDR): poco efficiente ma precisa

Bortesi, 2015



il costrutto che esprime la nucleasi (SSN) viene inserito nel DNA della pianta

la nucleasi agisce nel DNA della pianta in modo sito specifico introducendo una mutazione

Dopo la meiosi, 1/4 della progenie sarà senza costrutto per la nucleasi. 3/4 avranno la mutazione in omozigosi o eterozigosi.

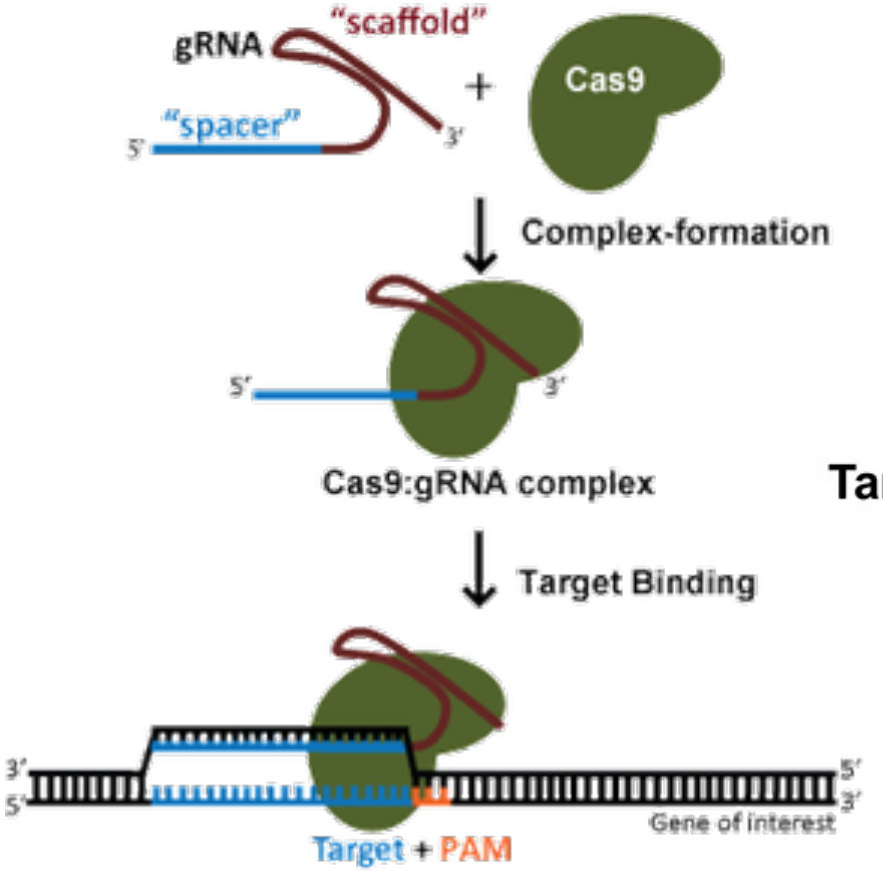
In molti casi il prodotto finale (pianta) non è più transgenico → problema

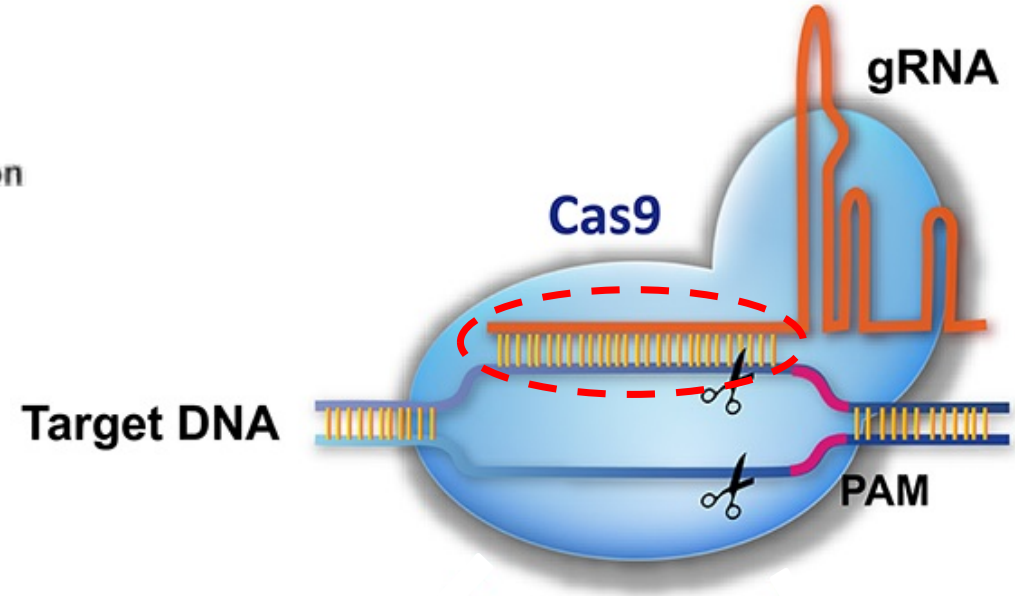
Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (**CRISPR**):
Un **sistema immunitario batterico** modificato per il genome editing (engineering)

CRISPR richiede **due componenti**: un RNA "guida" (**gRNA**) e la proteina non-specifica **Cas9** (CRISPR-associated endonuclease)

La sequenza dell'RNA guida determina il bersaglio

cambiando gRNA (2-3 €)
→ si cambia bersaglio!

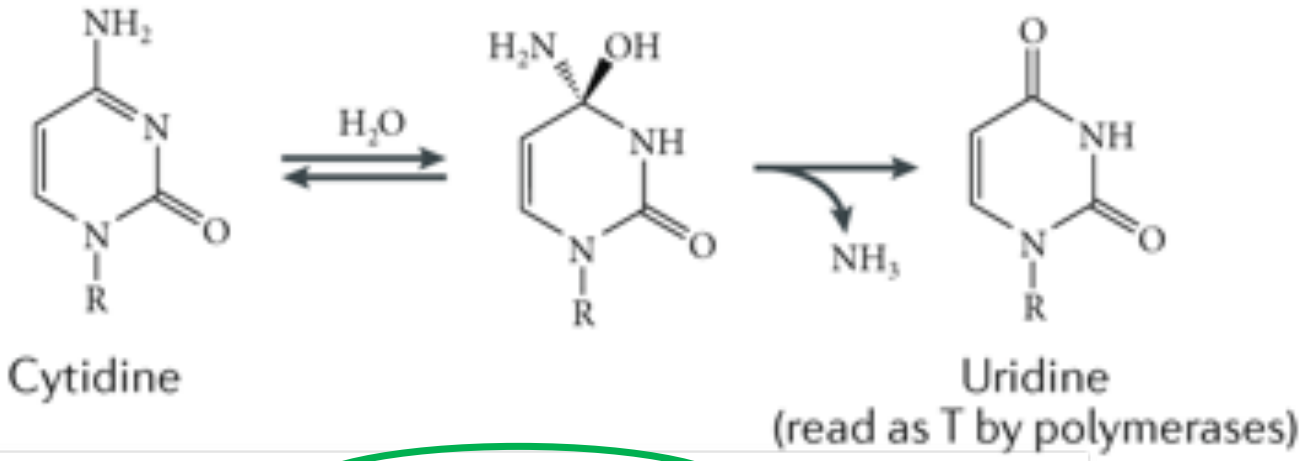


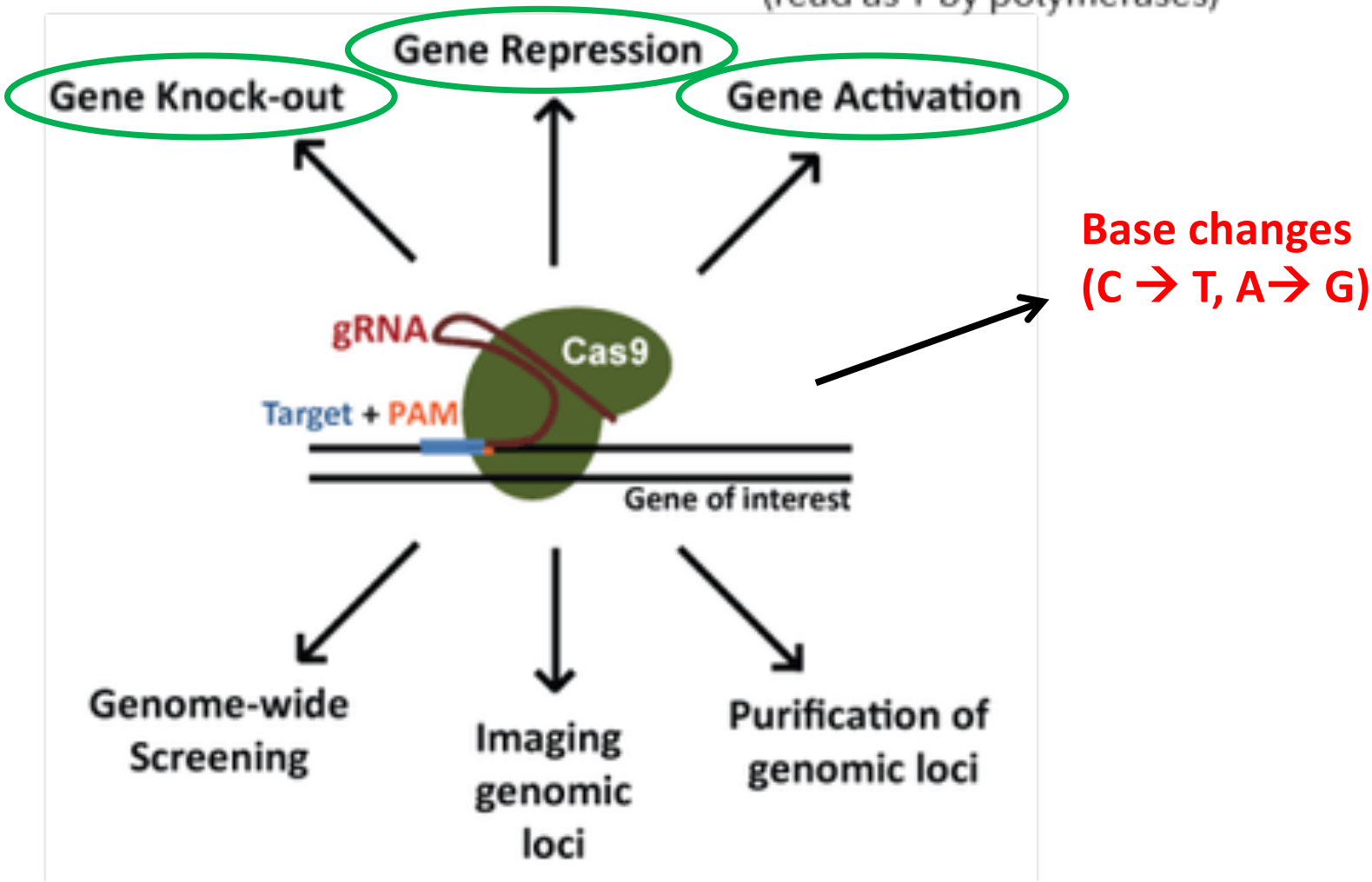


→ un cambiamento dove volete!

Spesso il cambiamento che volete!

http://www.addgene.org/crispr/guide/


NH2
N
N
O
R
H2O
H2N
OH
NH
N
O
R
NH3
O
NH
N
O
R
Cytidine
Uridine
(read as T by polymerases)


Gene Repression
Gene Knock-out
Gene Activation
gRNA
Cas9
Target + PAM
Gene of interest
Base changes
(C → T, A→ G)
Genome-wide
Screening
Imaging
genomic
loci
Purification of
genomic loci

Molte specie di piante sono state "editate"

Slide by F. Fornara, unimi

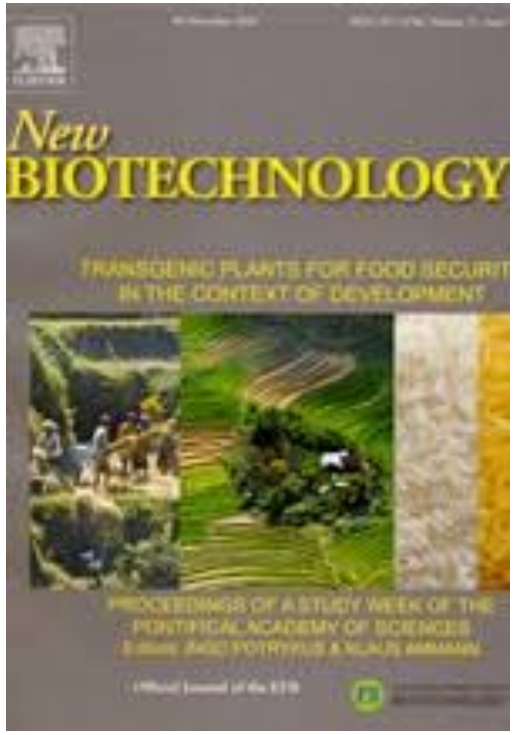
Year	Company	Species	Tool	Trait
2019	Chinese Ac. Sci.	Rice	CRISPR	Apomixis (Xie et al. JIPB, Wang et al, Nat. Biotech.)
……	……..	……	……	……
2017		????	CRISPR	???????????
2016	Cibus	Flax	CRISPR	Glyphosate resistant Flax
2016	SIMPLOT Plant Sci.	*Potato*	TALEN	*PPO* knockout, reduced bruising and browning
2016	Calyxt	*Potato*	TALEN	*PPO* knockout, reduced bruising and browning
2016	DuPont/Pioneer	*Maize*	CRISPR-Cas	*WX1* knockout, amylopectin corn
2016	Calyxt	*Wheat*	TALEN	*MLO* knockout, improved powder mildew resistance
2015	Agrivida	*Maize*	Meganuclease	Unknown gene alteration
2015	Iowa State Univ.	*Rice*	TALEN	*OsSWEET11* / *OsSWEET14*, disease resistance rice
2015	Calyxt	*Soybean*	TALEN	*FAD3A* / *FAD3B* knockout, low-linoleic acid soybean
2015	Benson Hill	Maize	Meganuclease	BHB high yield maize, improved photosynthesis
2015	Calyxt	*Soybean*	TALEN	*FAD2A* and *FAD2B* knockout, high-oleic soybean
2014	Cellectis	*Potato*	TALEN	Low-acrylamide potato
2010	Dow AgroScience	*Maize*	ZFN	Low-phytate corn

Pacher & Puchta, 2017

Come si paragona l'ingegneria genetica e la variazione naturale?

W. Arber (2010) **Genetic engineering compared to natural genetic variations**
TRANSGENIC PLANTS FOR FOOD SECURITY IN THE CONTEXT OF DEVELOPMENT
PROCEEDINGS OF A STUDY WEEK OF THE PONTIFICAL ACADEMY OF SCIENCES

By comparing strategies of genetic alterations introduced in genetic engineering with spontaneously occurring genetic variation, we have come to conclude that both processes depend on several distinct and specific molecular mechanisms. These mechanisms can be attributed, with regard to their evolutionary impact, to three different strategies of genetic variation. These are local nucleotide sequence changes, intragenomic rearrangement of DNA segments and the acquisition of a foreign DNA segment by horizontal gene transfer. Both the strategies followed in genetic engineering and the amounts of DNA sequences thereby involved are identical to, or at least very comparable with, those involved in natural genetic variation.



https://www.sciencedirect.com/journal/new-biotechnology/vol/27/issue/5

Therefore, conjectural risks of genetic engineering must be of the same order as those for natural biological evolution and for conventional breeding methods.

The way forward: come districarsi tra tecnocrazia e cattiva politica

Il costo della menzogna

di Mario Silvestri

Italia nucleare 1945-1968

Einaudi

Nessuna <u>tecnocrazia</u>, ma educazione!

…e qualche accorgimento:

…es. cercare di conoscere la posizione delle società scientifiche

«Non era la prima volta, e non fu l'ultima, che i nostri parlamentari, assai male documentati e peggio consigliati, caddero nell'equivoco, facendosi promotori di mozioni insensate.»

Mario Silvestri, "Il costo della menzogna"
Einaudi, 1968

La P38 e la mela

Un desiderio vero, quando non fa i conti con la realtà, ma imbocca la strada dell'utopia irrazionale, diventa menzogna, e non può che condurre alla follia omicida e all'autodistruzione.

S. Allevato e P. Cerocchi (2009) "La P38 e la mela", ed. ITACA, p.173

RESEARCH INSTITUTE
UNANSWERED QUESTIONS
UNQUESTIONED ANSWERS