

MUSEO DI STORIA DELL'AGRICOLTURA



FONDAZIONE MORANDO BOLOGNINI



SOCIETÀ AGRARIA DI LOMBARDIA

Atti del seminario

10 ottobre 2025

Castello Bolognini - Sant'Angelo Lodigiano

Piante, animali e società

L'AMERICA PRECOLOMBIANA E L'AGRICOLTURA EUROPEA

a cura di

Anna Sandrucci e Osvaldo Failla



CON IL PATROCINIO DI



ACCADEMIA DEI GEORGOFILI
Sezione Nord-Ovest



ASSOCIAZIONE MILANESE LAUREATI IN
SCIENZE AGRARIE E IN SCIENZE FORESTALI



ORDINE
DEI DOTTORI AGRONOMI
E DEI DOTTORI FORESTALI
DI MILANO



Province di Milano, Lodi, Monza e Brianza, Pavia

Ministero della Giustizia

A CURA DI

Anna Sandrucci

Consigliera del Museo di Storia dell'Agricoltura

Professoressa ordinaria di Zootecnia speciale - Università degli Studi di Milano

Osvaldo Failla

Presidente del Museo di Storia dell'Agricoltura

Professore ordinario di Arboricoltura generale e Coltivazioni arboree - Università degli Studi di Milano

EDITORE



Museo di Storia dell'Agricoltura e Centro Studi e Ricerche per la Museologia Agraria ETS
Via Celoria 2, 20133 Milano

6 gennaio 2026

© Museo di Storia dell'Agricoltura e Centro Studi e Ricerche per la Museologia Agraria ETS

www.mulsa.it

ISBN 978-88-947927-9-9

LA PATATA: DAL TUBERO ANDINO ALLA RIVOLUZIONE GENOMICA

Carlo Pozzi¹

Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali



Riassunto

La patata, oggi cardine della sicurezza alimentare globale, ha una storia complessa che unisce evoluzione, cultura e biotecnologia. Originaria delle Ande, dove era coltivata e venerata dalle civiltà indigene, fu domesticata tramite la selezione di varietà meno tossiche e tecniche di conservazione come il chuño. Introdotta in Europa nel XVI secolo, venne inizialmente rifiutata per sospetti medici e culturali, trovando larga adozione solo nel Settecento grazie a figure come Antoine Parmentier e alle ricorrenti carestie. Il suo ruolo nel sostegno alla crescita demografica e industriale europea fu enorme, ma la dipendenza da poche varietà clonali contribuì alla devastante carestia irlandese. Dal punto di vista biologico, la patata coltivata è prevalentemente tetraploide, caratteristica che rende difficile il miglioramento genetico. Studi genomici recenti hanno riscritto la sua origine, mostrando che il tubero nacque da un'ibridazione antica tra un antenato del pomodoro e *Solanum etuberosum*, evento che portò alla cooptazione di geni come StSP6A e StIT1, fondamentali per la tuberizzazione. La propagazione clonale, pur garantendo uniformità varietale, ha però congelato l'evoluzione della coltura favorendo l'accumulo di mutazioni deleterie. Il sequenziamento del genoma ha evidenziato un forte carico genetico nascosto, che emerge quando si tenta di creare linee pure, causando grave depressione da inbreeding e ostacolando la selezione. La soluzione innovativa oggi in sviluppo è il passaggio a una patata diploide propagata da seme (TPS), che permette di “ripulire” il genoma e produrre ibridi F1 vigorosi. Questo approccio offre vantaggi agronomici, logistici e sanitari, riducendo la dipendenza dalla propagazione clonale e apre la via a varietà più resistenti. Dopo millenni, la patata sta entrando in una nuova fase evolutiva guidata dalla genomica, promettendo maggiore sostenibilità e sicurezza alimentare globale.

Abstract

The potato: from Andean tuber to genomic revolution

The potato, now a cornerstone of global food security, has a complex history shaped by evolution, culture, and biotechnology. Originating in the Andes, where it was cultivated and revered by Indigenous civilizations, it was domesticated through the selection of less toxic varieties and preservation techniques such as *chuño*. Introduced to Europe in the 16th century, it was initially rejected due to medical and cultural suspicions, gaining widespread adoption only in the 18th century thanks to figures like Antoine Parmentier and recurring famines. Its role in supporting Europe's demographic and industrial growth was immense, though dependence on a few clonal varieties contributed to the devastating Irish Potato Famine. Biologically, the cultivated potato is predominantly tetraploid, a feature that complicates genetic improvement. Recent genomic

¹ Professore associato di Generica agraria

studies have rewritten its origin, revealing that the tuber emerged from an ancient hybridization between an ancestor of the tomato and *Solanum etuberosum*, an event that led to the co-option of genes such as StSP6A and StIT1, essential for tuber formation. Clonal propagation, while ensuring varietal uniformity, has frozen the crop's evolution and fostered the accumulation of deleterious mutations. Genome sequencing has exposed a high hidden genetic load, which becomes evident when breeders attempt to create pure lines, causing severe inbreeding depression and hindering selection. The innovative solution now under development is the shift toward a diploid, seed-propagated potato (TPS), which allows for genomic "cleaning" and the production of vigorous F1 hybrids. This approach provides agronomic, logistical, and sanitary advantages, reducing dependence on clonal propagation and enabling the development of more resilient varieties. After millennia, the potato is entering a new evolutionary phase driven by genomics, promising greater sustainability and global food security.

INTRODUZIONE

La patata (*Solanum tuberosum*), oggi un pilastro della sicurezza alimentare mondiale, ha percorso un lungo viaggio. Nata come tubero venerato nelle valli andine, è stata prima rifiutata in Europa, per poi diventare il motore calorico di intere nazioni. Oggi, si trova al centro di studi genomici avanzati. Questo saggio esplora la storia della patata, dalla sua domesticazione alla sua biologia, analizzando le sfide che ne hanno frenato il miglioramento e le innovazioni che ne stanno ridisegnano il futuro.

LA CULLA ANDINA

La storia della patata inizia in Sud America. Evidenze archeologiche in Perù, come nella Caverna delle Tre Finestre (5800 a.C.), testimoniano la sua antichità. Le civiltà andine, in particolare gli Inca, non si limitarono a coltivare le "papas" come alimento base, ma le integrarono nella loro cultura, venerando divinità come l'Axomama.



Figura 1 - Patate trattate col metodo "chuño".

Fonte <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11861431>

La domesticazione fu un processo selettivo. Le patate selvatiche contengono glicoalcaloidi, composti amari e tossici. I primi agricoltori selezionarono varietà più dolci e svilupparono metodi di lavorazione come il "chuño" (Fig. 1). Questo processo di liofilizzazione, che alterna congelamento notturno ed essiccazione diurna, rimuove le tossine e permette di conservare il tubero per anni. A differenza dei cereali, facili da

stoccare e tassare, i tuberi come la patata favorirono forse strutture sociali meno centralizzate, pur fornendo il sostentamento essenziale per l'Impero Inca in un ambiente difficile.

LO SBARCO IN EUROPA

Quando gli spagnoli arrivarono in Perù nel 1532, incontrarono la patata e la portarono in Europa intorno al 1565 (Fig. 2). L'accoglienza fu però carica di diffidenza. Per quasi due secoli, il tubero rimase una curiosità botanica, confinato negli orti.

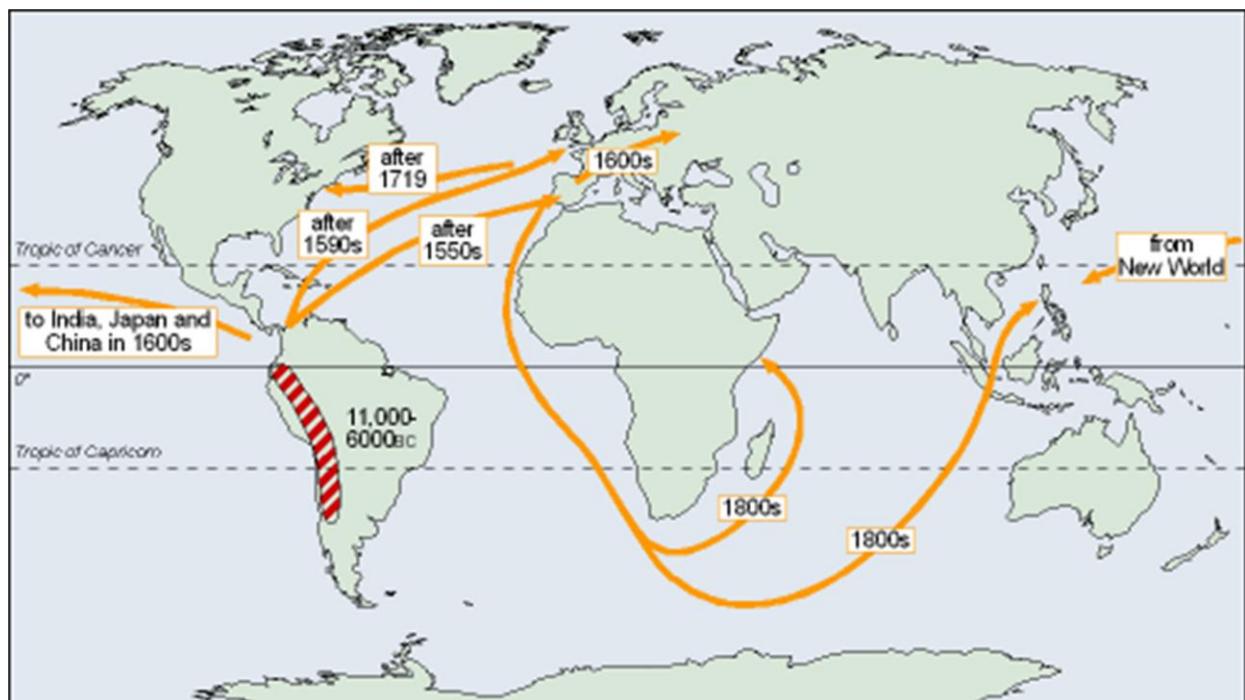


Figura 2 -Le principali tappe della diffusione della patata dalla regione andina. Fonte: <https://katelynajourneythroughenglish.weebly.com/potato.html>

I motivi di questo rifiuto erano diversi. La sua appartenenza alla famiglia delle Solanacee, la stessa di piante velenose come la belladonna, la rendeva sospetta. La medicina dell'epoca, influenzata dalla "dottrina della segnatura", associava la sua forma bitorzoluta alla lebbra, tanto che il parlamento di Parigi ne vietò la coltivazione nel 1748. Inoltre, non essendo citata nella Bibbia, era vista con pregiudizio culturale. Si narra persino che i cuochi di Sir Walter Raleigh, non sapendo come prepararla, servirono le foglie e gli steli tossici, intossicando la corte e gettando i tuberi.

Fu solo nel XVIII secolo, spinta dalle carestie, che la percezione cambiò. L'agronomo francese Antoine Parmentier, che si nutrì di patate durante la prigionia in Prussia, ne comprese il valore. Tornato in Francia, ne promosse la coltivazione con il sostegno di Luigi XVI. La sua adozione permise una crescita demografica in Europa, fornendo le calorie necessarie, secondo Friedrich Engels, a sostenere la Rivoluzione Industriale. Questa dipendenza da poche varietà clonali portò però alla Grande Carestia Irlandese (1845-1852), quando la peronospora distrusse i raccolti.

LA COMPLESSITÀ GENETICA

Il miglioramento genetico della patata è sempre stato un processo lento, e la ragione sta nella sua biologia. La maggior parte delle patate coltivate oggi è tetraploide: possiede quattro copie di ogni cromosoma, per un totale di 48. Esistono anche specie diploidi (24

cromosomi) e con altri livelli di ploidia. Questa struttura tetraploide rende il breeding un rompicapo, complicando il controllo della trasmissione dei caratteri.

L'adattamento all'Europa fu possibile grazie a una selezione specifica. Le patate andine erano adattate ai giorni corti delle regioni equatoriali. Furono le varietà tetraploidi dell'arcipelago cileno di Chiloé, già adattate ai giorni lunghi simili a quelli europei, a prosperare e a diventare la base delle cultivar moderne.

Le più recenti indagini genomiche hanno radicalmente riscritto la storia evolutiva della patata, rivelando che la sua origine non è frutto di una lenta divergenza lineare, bensì di un drammatico evento di ibridazione interspecifica avvenuto tra gli 8 e i 9 milioni di anni fa. I protagonisti di questo incontro genetico furono due linee distinte: l'antenato dell'odierno pomodoro e la specie *Solanum etuberosum* (Fig. 3) (Tang *et al.*, 2022; Z. Zhang *et al.*, 2025).



Figura 3 - *Solanum etuberosum* (a sinistra), progenitore per ibridazione spontanea con il progenitore selvatico del pomodoro, delle specie di *Solanum* capaci di formare tuberi (a destra). Fonte: Agricultural Genomics Institute at Shenzhen/Chinese Academy of Agricultural Sciences (AGIS-CAAS)

Il dato sorprendente risiede nel fatto che nessuno dei due genitori possedeva la capacità di produrre organi di riserva sotterranei. La nascita del tubero rappresenta quindi un caso straordinario di innovazione evolutiva emergente: l'unione di due genomi distinti ha generato una "tempesta perfetta" di riprogrammazione genetica.

Nello specifico, la patata ha cooptato e riadattato funzioni preesistenti dai suoi progenitori per costruire un meccanismo biologico completamente nuovo. Dall'antenato simile al pomodoro, la patata ha ereditato il gene *StSP6A*. Nel pomodoro, i geni di questa famiglia regolano la fioritura in risposta alla luce; nella patata, questo gene è stato "ricabblato" per fungere da segnale mobile che, viaggiando dalle foglie alle radici, innesca l'inizio della tuberizzazione. Tuttavia, il segnale da solo non sarebbe stato sufficiente senza una struttura pronta a riceverlo. Qui entra in gioco l'eredità del secondo genitore, *Solanum etuberosum*, che ha fornito il gene *StIT1* (Identity of Tuber 1). Questo gene agisce come un fattore di identità, istruendo gli stoloni sotterranei a smettere di allungarsi come radici e a iniziare a ingrossarsi, accumulando amido.

Questa sinergia molecolare si rivelò vincente perché coincise temporalmente con il sollevamento della catena andina. La capacità di nascondere le riserve energetiche sottoterra permise alla nuova specie di colonizzare nicchie ecologiche d'alta quota, fredde e ostili, dove altre piante non potevano sopravvivere.

Tuttavia, questa straordinaria biologia ha avuto un prezzo nel contesto agricolo moderno. La facilità con cui la pianta si moltiplica attraverso i tuberi ha spinto l'agricoltura verso la propagazione clonale. Se da un lato ciò ha garantito la stabilità di varietà iconiche come la 'Russet Burbank' (Fig. 4) – che domina il mercato da oltre un secolo mantenendo immutate le sue caratteristiche culinarie – dall'altro ha "congelato" l'evoluzione della coltura. La clonazione impedisce la ricombinazione genetica che avverrebbe con la riproduzione sessuale, bloccando l'innovazione varietale e rendendo estremamente difficile eliminare le mutazioni negative accumulate nel tempo.



Figura 4 - La patata 'Russet Burbank'.

Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Russet_Burbank#/media/File:Russet_potato.jpg

IL PARADOSSO GENETICO

Il sequenziamento del genoma della patata, completato nel 2022, ha rivelato un paradosso. Da un lato, le sequenze di DNA mostrano una diversità interna molto alta, forse a causa di antiche ibridazioni selvatiche. Dall'altro, il numero di "versioni" uniche (aplotipi) di questi geni in circolazione è sorprendentemente basso. Questo suggerisce che la patata subì un forte "collo di bottiglia" genetico prima ancora di arrivare in Europa (Benoit *et al.*, 2025; Sun *et al.*, 2025).

La sfida più ardua che i genetisti e i breeder si trovano oggi ad affrontare nel miglioramento genetico della patata è rappresentata dalla gestione del carico genetico deleterio (*deleterious genetic load*). A differenza di altre colture cerealicole che sono state ottimizzate attraverso secoli di selezione sessuale, il genoma della patata ha accumulato una vasta quantità di errori genetici a causa della sua specifica architettura genomica e delle modalità di propagazione. La ragione per cui queste mutazioni dannose non portano all'immediato collasso della pianta risiede nello stato di eterozigosi. Grazie alla poliploidia, la presenza di una o più copie funzionali di un gene è in grado di compensare, o "mascherare", gli alleli difettosi. Le stime attuali indicano che circa il 97% delle varianti strutturali (SVs) – alterazioni significative nella sequenza del DNA – costituisce un carico nascosto. Questi difetti sono "silenti" nel fenotipo della pianta madre, ma sono onnipresenti nel suo genoma. Il problema emerge prepotentemente quando i breeder tentano di sviluppare linee pure (omozigoti) attraverso l'autofecondazione o l'incrocio tra consanguinei, passaggi fondamentali per la creazione di sementi ibride F1.

Questo processo rimuove la diversità genetica che fungeva da scudo: man mano che il genoma diventa omozigote, gli alleli deleteri perdono la loro controparte funzionale e vengono "smascherati". Il risultato è una severa depressione da consanguineità (*inbreeding depression*), che si manifesta con una drastica riduzione del vigore, scarsa fertilità e una progenie debole. Questo meccanismo agisce come una barriera biologica che rende estremamente difficile applicare alla patata le tecniche di miglioramento genetico usate con successo nel mais o nel riso. Recenti analisi genomiche hanno evidenziato un fattore aggravante, descritto dai ricercatori come "effetto finestra rottta". Si è osservato che la distribuzione delle mutazioni non è casuale: le alterazioni genetiche più piccole (come i polimorfismi a singolo nucleotide, o SNPs) tendono ad accumularsi e raggrupparsi proprio in prossimità dei grandi difetti strutturali (come inversioni o traslocazioni cromosomiche). Queste grandi varianti strutturali sembrano sopprimere la ricombinazione genetica nelle loro vicinanze, creando delle "isole" genomiche dove le piccole mutazioni deleterie possono accumularsi indisturbate, rendendo quasi impossibile per i breeder "ripulire" quelle specifiche regioni del DNA.

IL FUTURO: LA PATATA IBRIDA DA SEME

Per superare questi ostacoli, è in atto una trasformazione che ha l'obiettivo di convertire la patata da coltura tetraploide clonale a diploide propagata tramite seme (True Potato Seed - TPS)(Cheng *et al.*, 2025; C. Zhang *et al.*, 2021)

Questa strategia si basa sull'abbandono della tetraploidia per lavorare a livello diploide, dove è più semplice "ripulire" il genoma dal carico deleterio. L'intuizione chiave è controintuitiva: per creare linee parentali valide, è meglio partire da individui diploidi che appaiono "più deboli" ma sono "onesti" (con difetti già visibili) piuttosto che da individui vigorosi che nascondono molti difetti. Incrociando due linee diploidi "pulite", si ottengono semi ibridi F1 vigorosi e uniformi (Fig. 5).



Figura 5 - Shelley Jansky, genetista dell'ARS - Agricultural Research Service del U.S. Department of Agriculture, che mostra delle patate ibride raccolte nel Wisconsin centrale. Foto A. Hamernik. Fonte <https://www.ars.usda.gov/oc/images/photos/may20/d4342-1/>

I vantaggi di questo approccio sono significativi. Dal punto di vista logistico, 25 grammi di semi ibridi sostituiscono circa 2.500 kg di tuberi-seme, riducendo i costi di trasporto e stoccaggio. Dal punto di vista sanitario, i semi sono liberi dai virus che si accumulano nei tuberi. Aziende pioniere stanno già commercializzando queste innovazioni.

La patata, un tubero che ha sostenuto imperi e alimentato popolazioni, sta vivendo una nuova fase della sua evoluzione. Dopo millenni di domesticazione, la genomica sta sbloccando i segreti del suo DNA. La transizione verso una patata ibrida diploide, propagata da seme, promette di accelerare la creazione di varietà resistenti alle nuove sfide climatiche e alle malattie, rendendo questa coltura fondamentale più sostenibile e accessibile a livello globale.

BIBLIOGRAFIA

- Benoit, M., Jenike, K. M., Satterlee, J. W., Ramakrishnan, S., Gentile, I., Hendelman, A., . . . Lippman, Z. B. (2025). Solanum pan-genetics reveals paralogues as contingencies in crop engineering. *Nature*, 640(8057), 135-145. doi:10.1038/s41586-025-08619-6
- Cheng, L., Wang, N., Bao, Z., Zhou, Q., Guerracino, A., Yang, Y., . . . Huang, S. (2025). Leveraging a phased pangenome for haplotype design of hybrid potato. *Nature*, 640(8058), 408-417. doi:10.1038/s41586-024-08476-9
- Sun, H., Tusso, S., Dent, C. I., Goel, M., Wijfjes, R. Y., Baus, L. C., . . . Schneeberger, K. (2025). The phased pan-genome of tetraploid European potato. *Nature*, 642(8067), 389-397. doi:10.1038/s41586-025-08843-0
- Tang, D., Jia, Y., Zhang, J., Li, H., Cheng, L., Wang, P., . . . Huang, S. (2022). Genome evolution and diversity of wild and cultivated potatoes. *Nature*, 606(7914), 535-541. doi:10.1038/s41586-022-04822-x
- Zhang, C., Yang, Z., Tang, D., Zhu, Y., Wang, P., Li, D., . . . Huang, S. (2021). Genome design of hybrid potato. *Cell*, 184(15), 3873-3883 e3812. doi:10.1016/j.cell.2021.06.006
- Zhang, Z., Zhang, P., Ding, Y., Wang, Z., Ma, Z., Gagnon, E., . . . Huang, S. (2025). Ancient hybridization underlies tuberization and radiation of the potato lineage. *Cell*, 188(19), 5249-5265 e5215. doi:10.1016/j.cell.2025.06.034

