



Università Politecnica delle Marche
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea
Scienze Biologiche

**Correlazioni tra genoma, fotosintesi e crescita
cellulare in organismi fotoautotrofi**

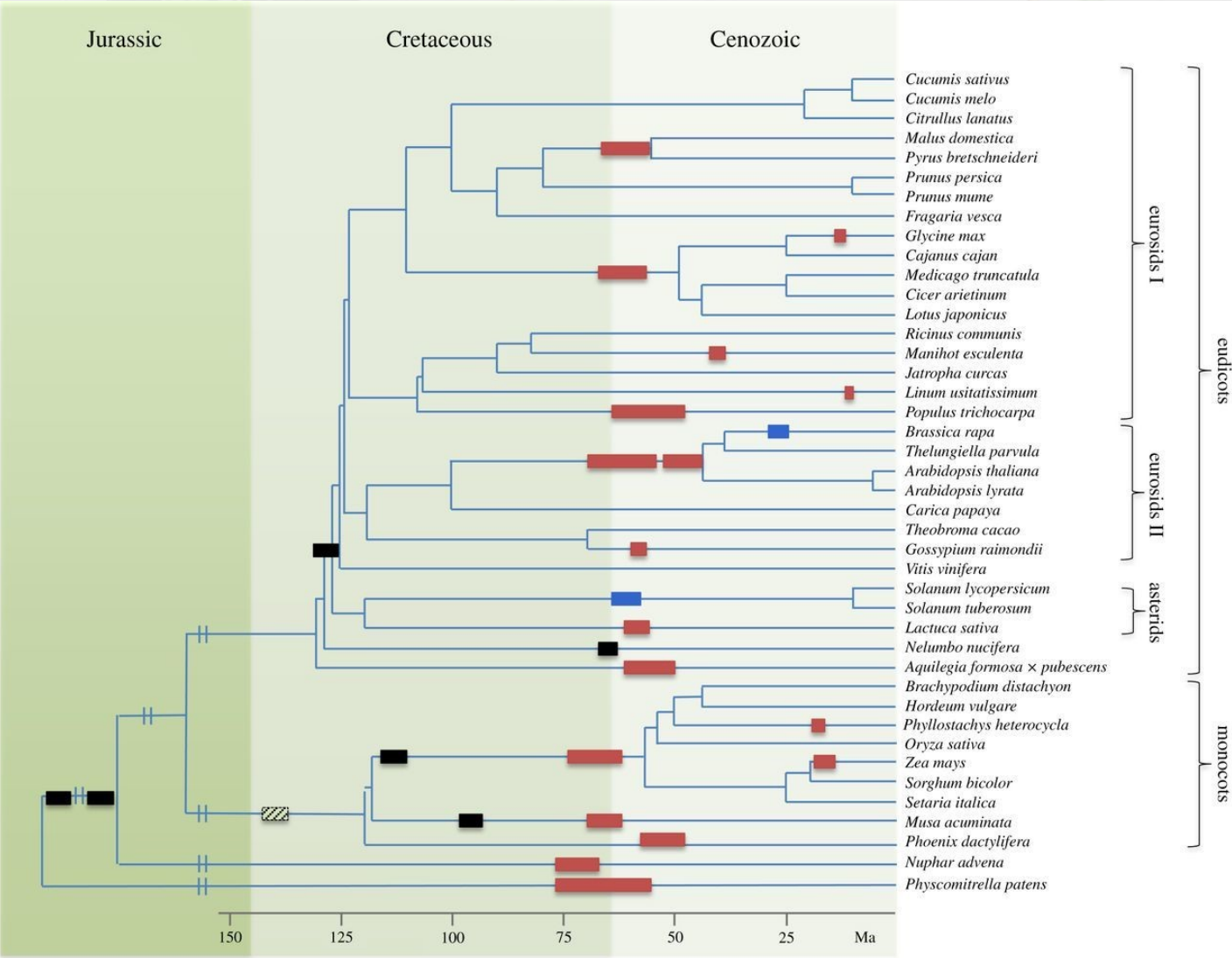
**Correlations between genome, photosynthesis
and cell growth in photoautotrophic organisms**

Tesi di Laurea di
Anastasiya Fedorchuk

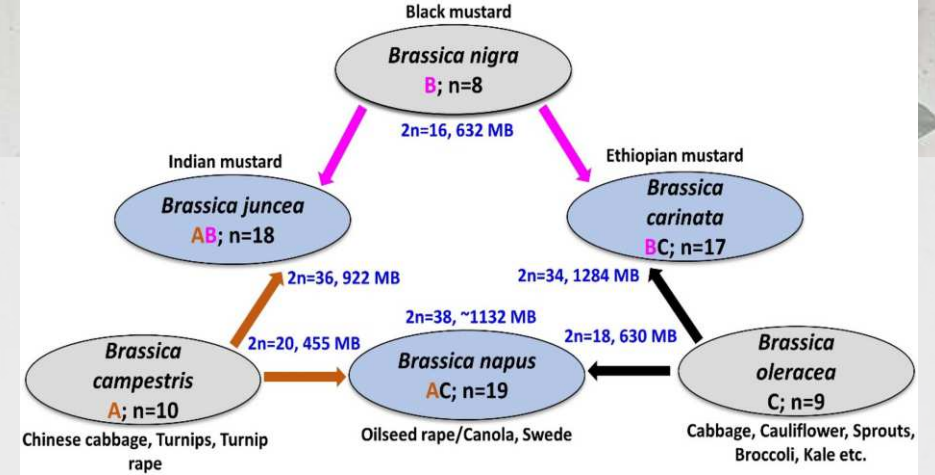
Sessione Autunnale Ottobre 2023
Anno accademico 2022/2023

Docente Referente
Chiar.mo Prof.
Alessandra Norici

La poliploidia e la dimensione genomica

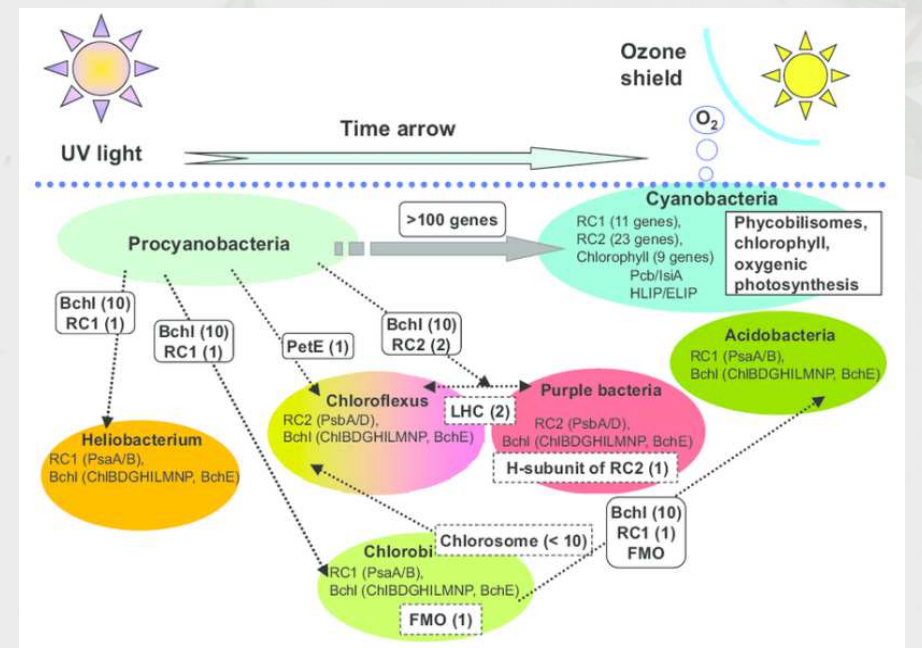


Schema per il WGD (barre) [A]



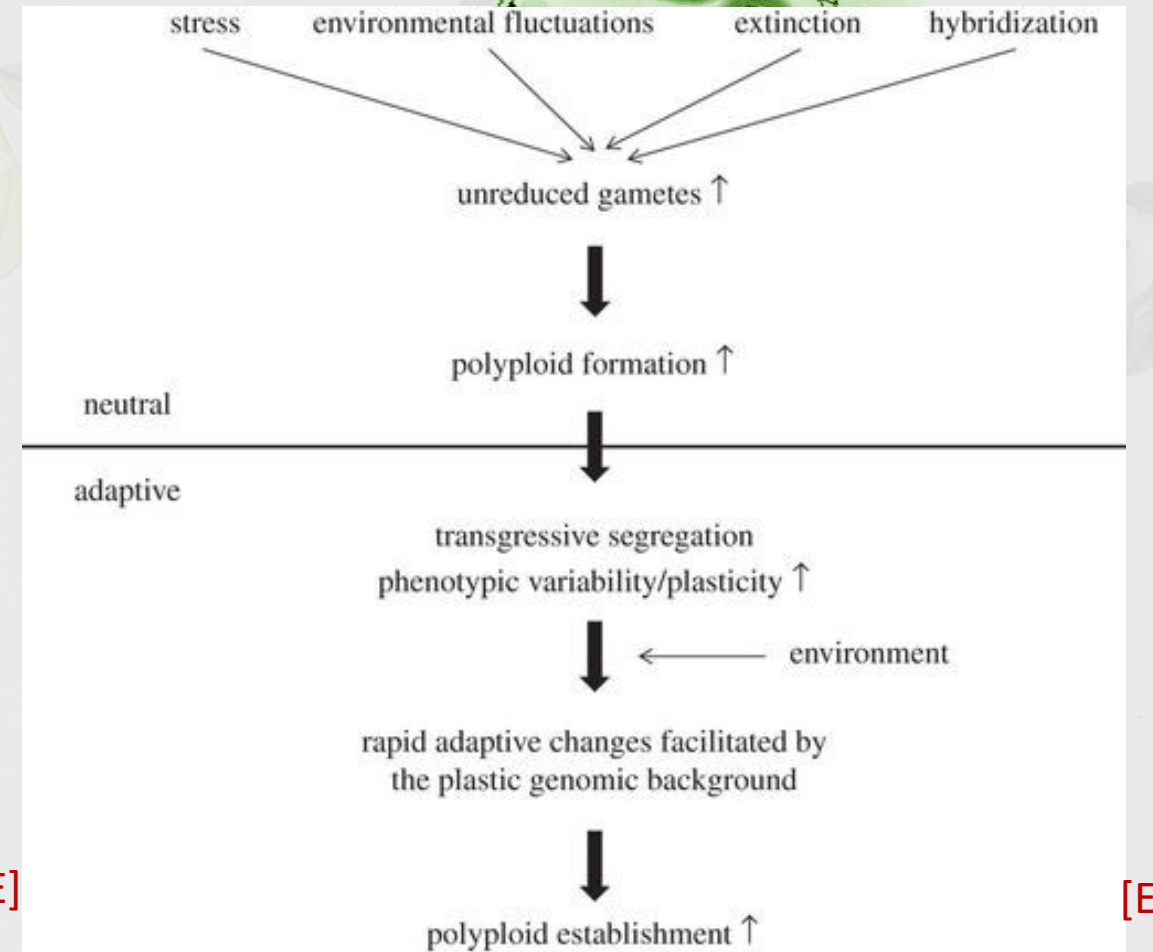
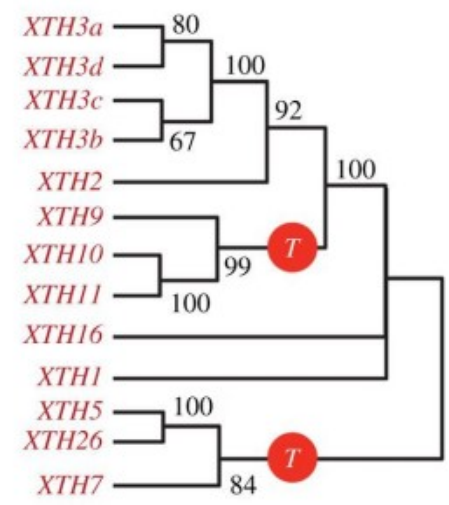
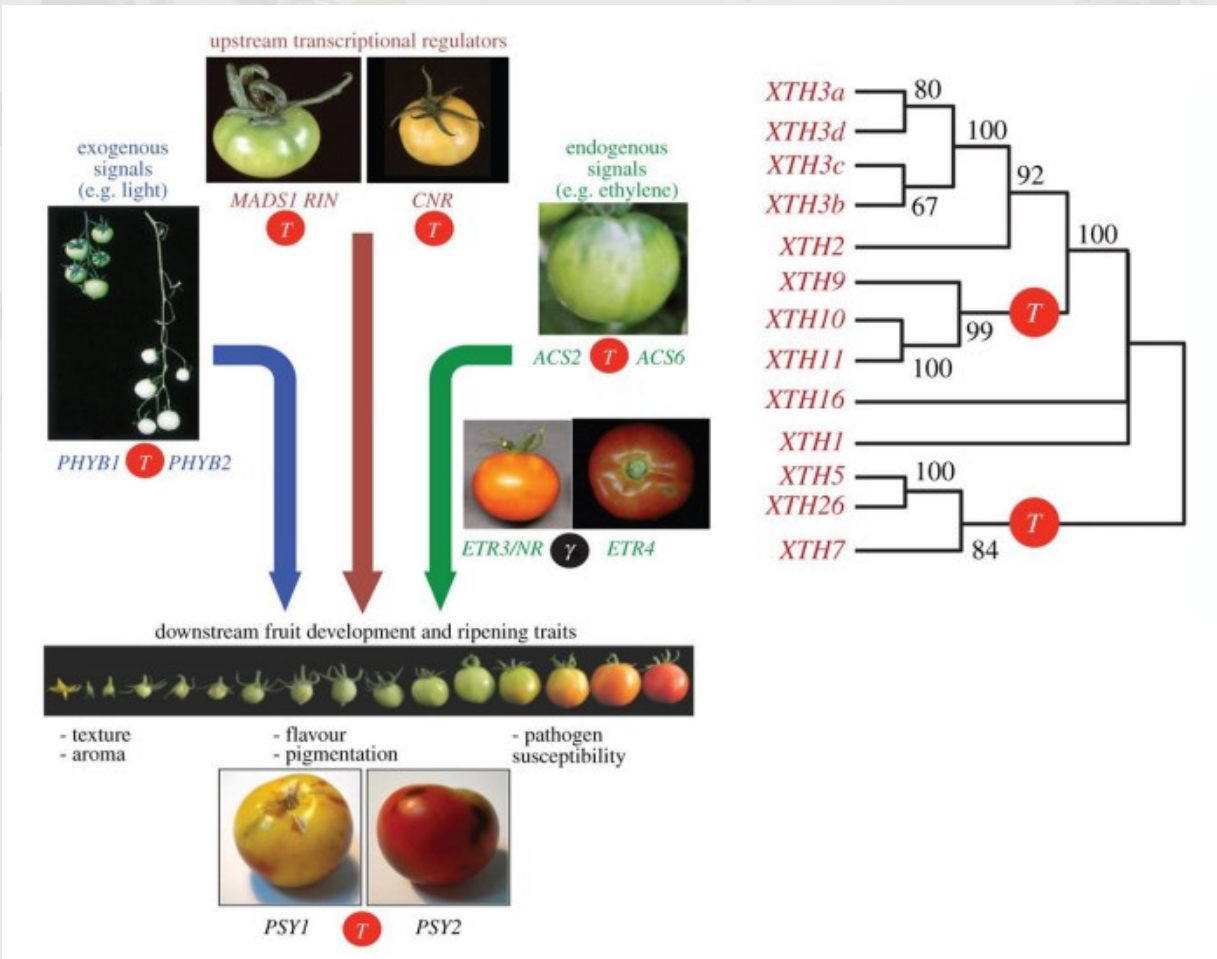
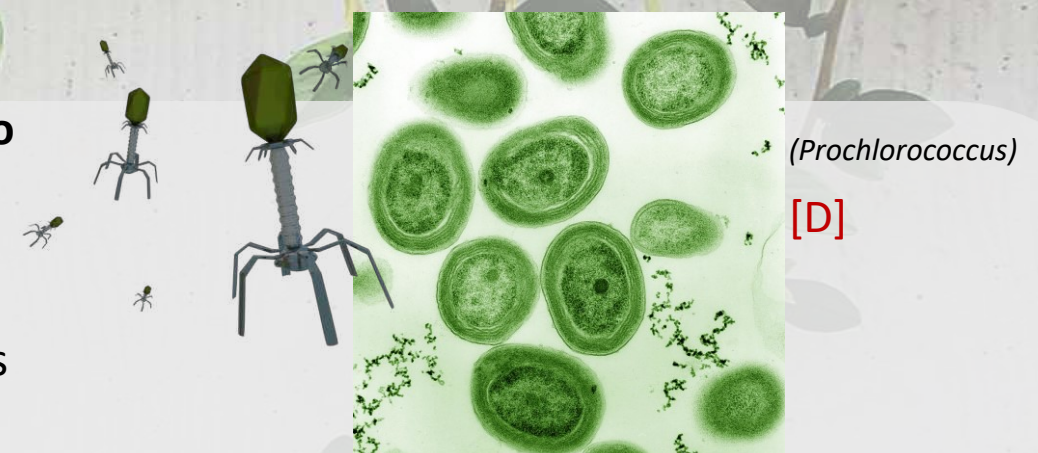
[B]

La poliploidia ha posto la base per la speciazione in molte piante e la sua più alta frequenza appartiene al tardo Cretaceo. Ha permesso sotto-specializzazione di geni e lo sviluppo del PSI e PSII.



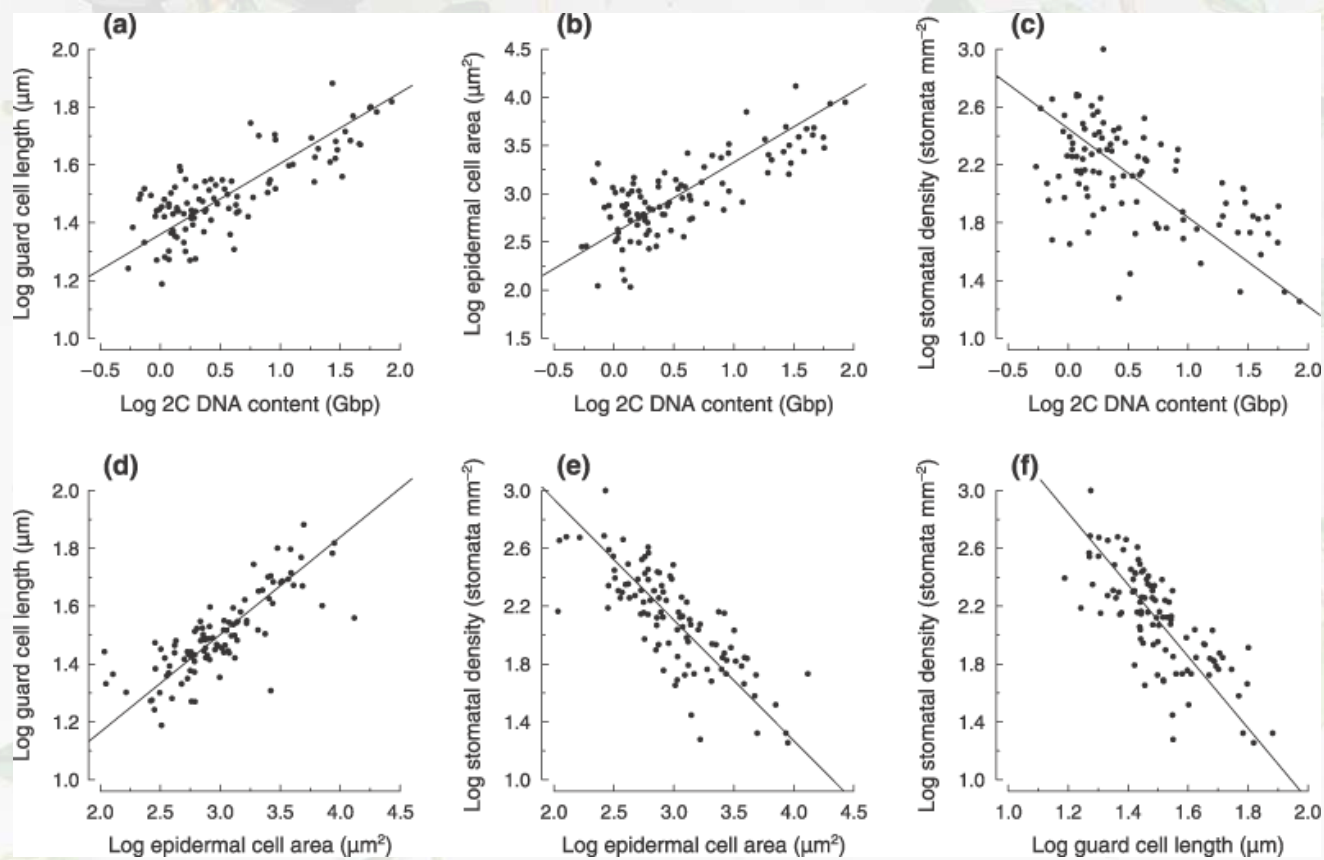
[C]

L'aumento delle dimensioni genomiche può portare al suo **rinnovamento funzionale**, contribuendo a **velocizzare processi di mutazione**, di **adattamento** e di **potenziamento metabolico**, anche mediante virus. La fotosintesi beneficia dell'allungamento genomico grazie al **maggior numero e varietà di pigmenti e trasportatori disponibili** mentre la fitness dell'organismo aumenta.



[E]

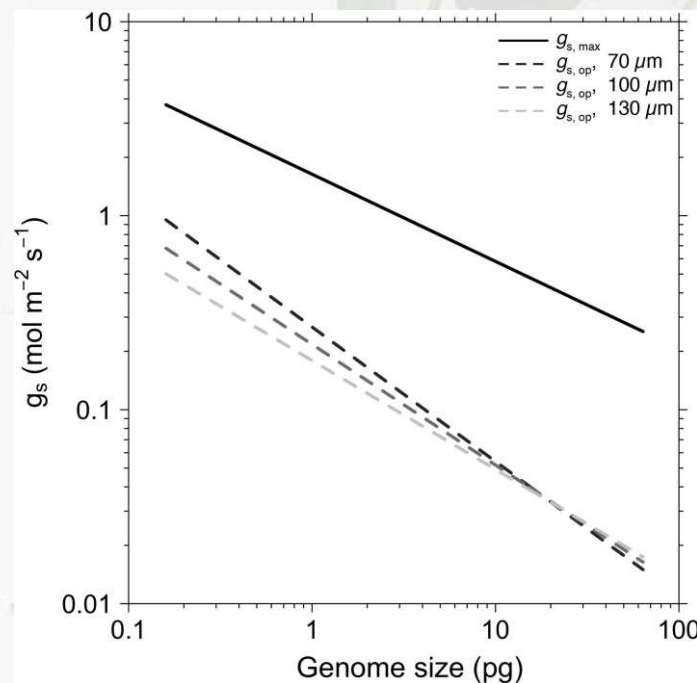
[E]



La crescita si può direttamente correlare all'efficienza della fotosintesi.

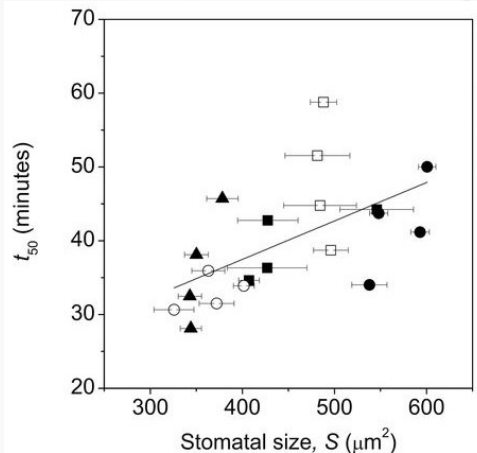
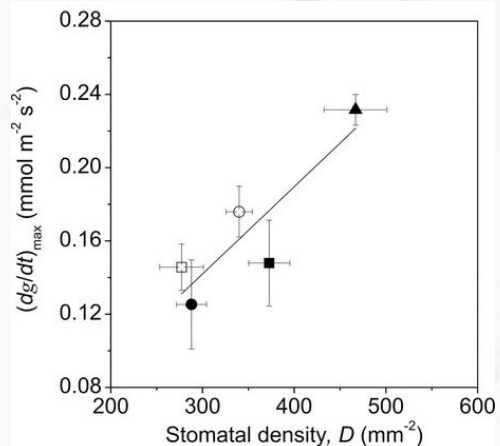
La maggiore plasticità nelle dimensioni finali di una cellula si ha tra le specie vegetali dal genoma più piccolo.

[F]



($g_{s, \text{op}}$: operational stomatal conduction)

[G]



(t_{50} : time to reach 50% of the range between $g_{\min(\text{dawn})}$ and g_{op})

[H]

Stomi più piccoli e in maggiore quantità garantiscono una risposta più rapida a cambiamenti ambientali e aumentano così la capacità fotosintetica proprio in piante dal genoma più piccolo.

La plasticità del genoma...

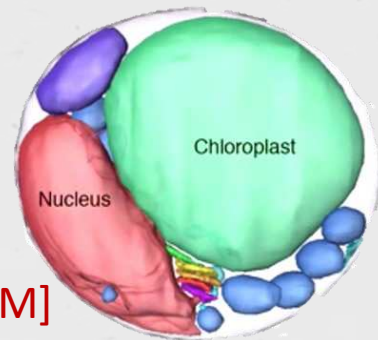
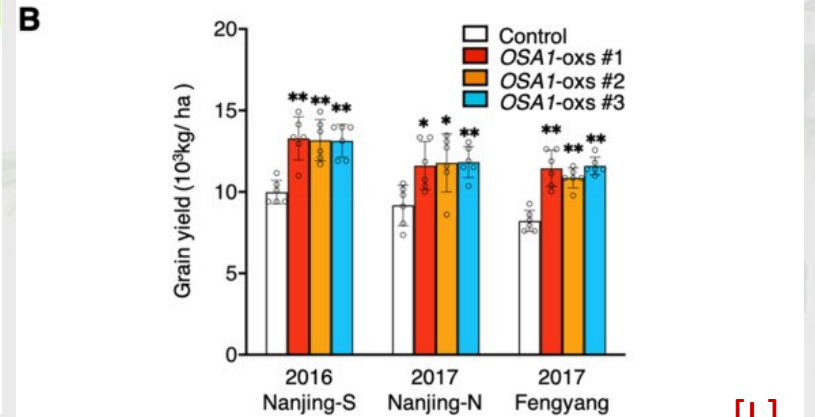
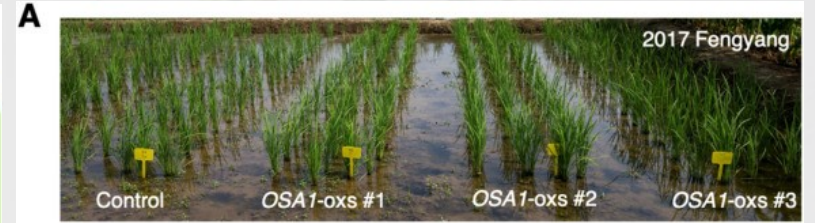
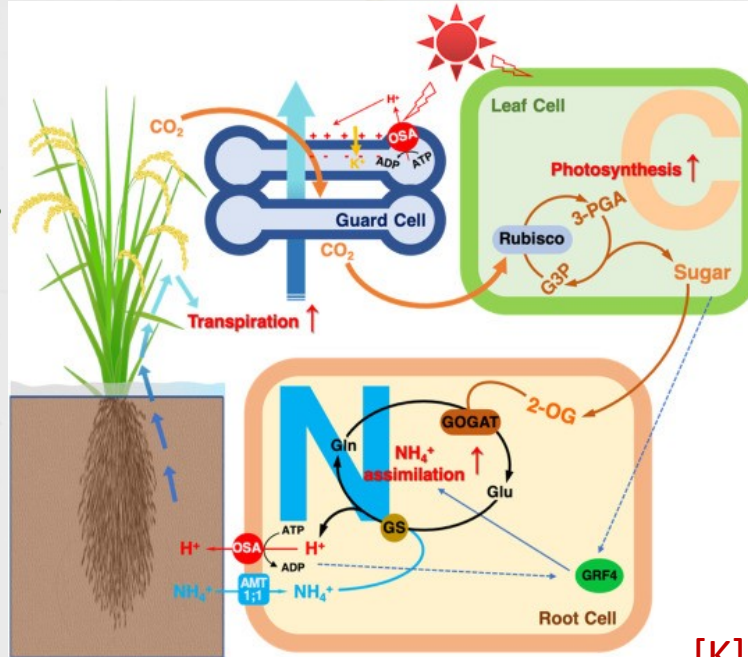
Creando **OGM vegetali** si evita la duplicazione, così da **non aumentare le dimensioni genomiche** e permettendo allo stesso tempo di ottenere piante **più produttive** e grandi. Il volume non occupato dal nucleo lascia spazio così a plastidi di riserva e permette all'organismo di **ridurre i costi di mantenimento** di un genoma più lungo, di geni non utili e di una quantità di trascritti maggiore, senza impatti negativi sulla crescita cellulare ma anzi avvantaggiandola.



(Golden rice arricchito di β -carotene, convertibile in vitamina A)



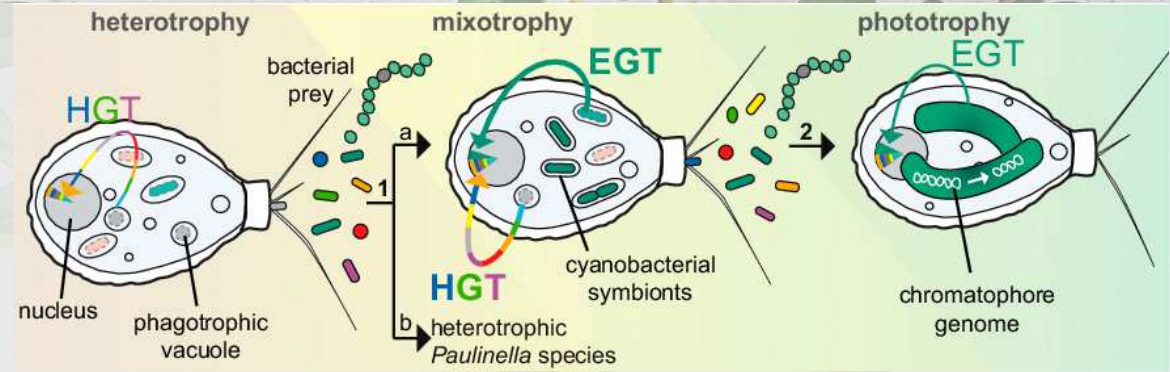
(si possono creare colture resistenti a cambiamenti climatici)



Oryza sativa è facilitato nell'assorbimento di N nelle radici e ha un **rafforzamento nell'apertura degli stomi** grazie alla sovraespressione di un singolo gene, OSA1.

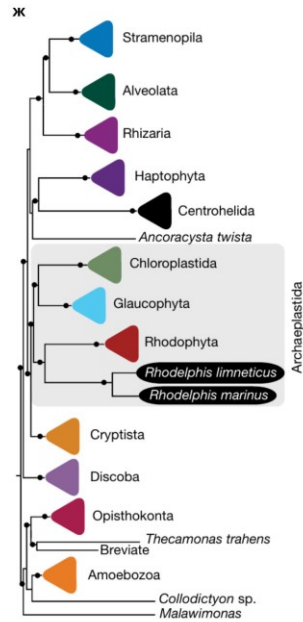
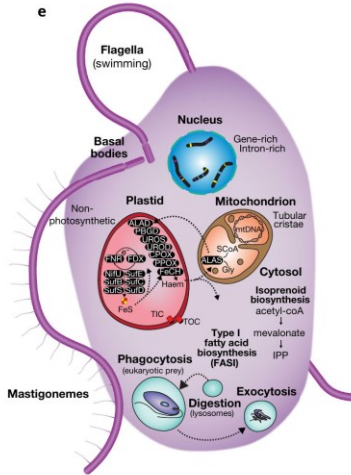
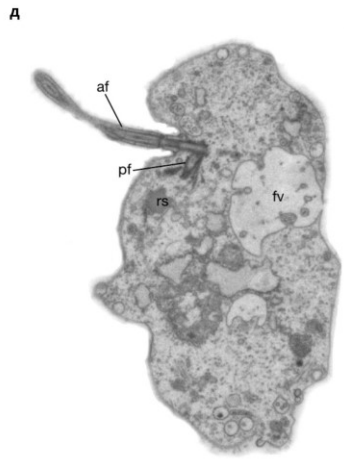
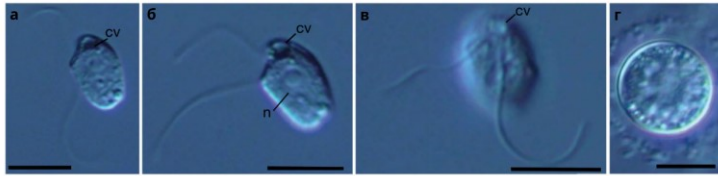
... e il cloroplasto

Il cloroplasto è spesso **target di virus** e può essere perso, trasformando un organismo **fotoautotrofo in uno eterotrofo**, totale o parziale, come avvenuto nel genere algale *Rhodelphis*.



[N]

I cloroplasti possono **trasferire i propri geni al genoma nucleare tramite EGT** (*endosymbiotic gene transfer*) e riappropriarsene successivamente o...



(Elysia crispata)

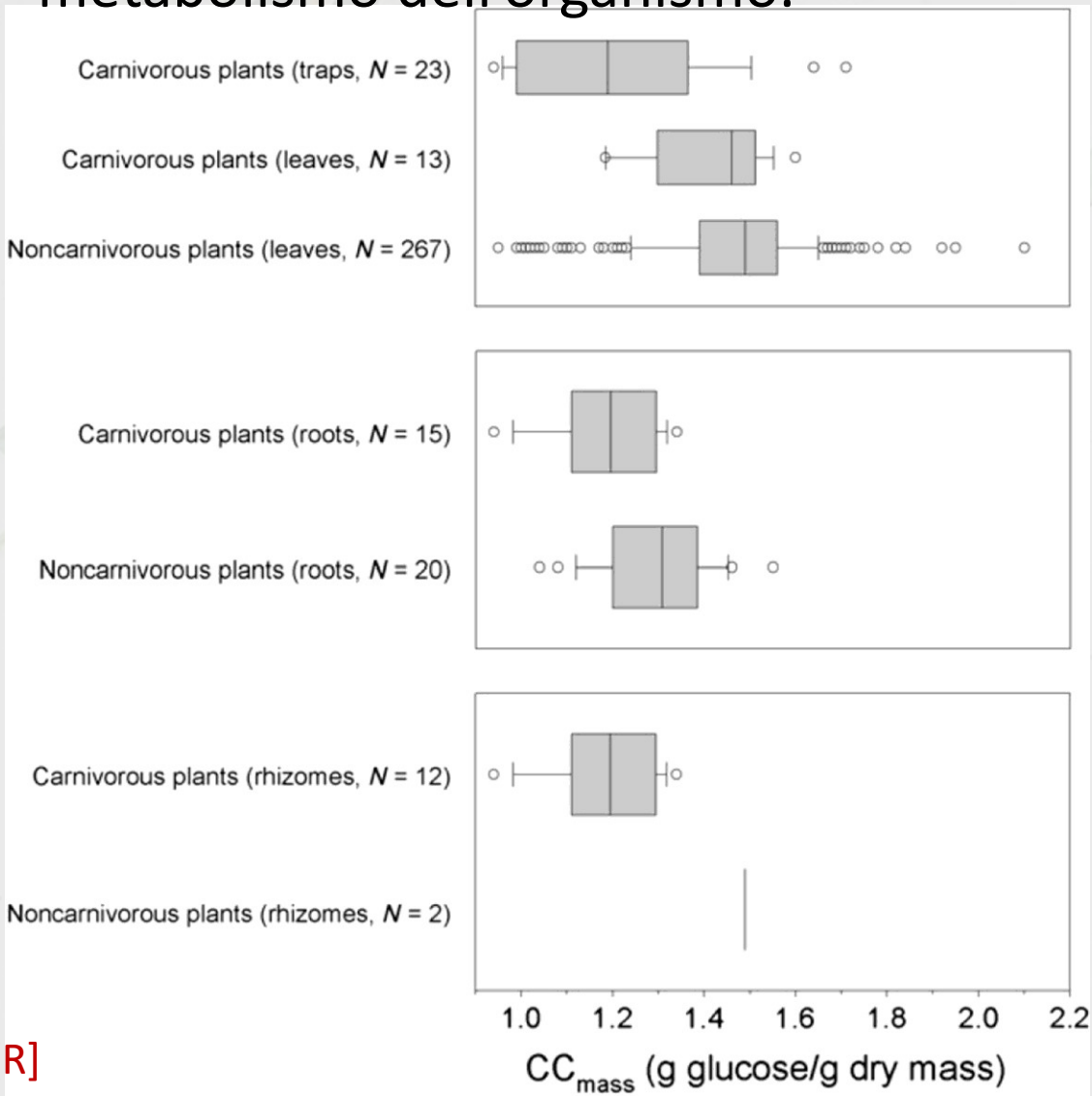
[P]

[O]

...essere rubati

Riduzione del genoma

La riduzione come vantaggio non esclude una serie di **compromissioni** al metabolismo dell'organismo.



Osservazione	Esempio	Svantaggio
Inabilità di assimilare nutrienti in certe forme e sfruttarne poi l'abbondanza	Molti ecotipi diffusi di <i>Prochlorococcus</i> incapaci di assimilare NO3- o NO2-	Pur crescendo bene in acque povere di N, quando questo aumenta in forma NO3- o NO2- , non aumentano il tasso di crescita. Poca competitività
Associazioni obbligate con altri organismi	<i>Prochlorococcus</i> manchevoli di catalasi necessaria per eliminare H2O2 si associano a un <i>helper</i> eterotrofo che la possiede	L' <i>helper</i> acquisisce risorse (C) dal cianobatterio, che quindi subisce limitazione di crescita
Perdita di porzioni metabolicamente importanti	Alghe fototrofe diventano auxotrofe, ad esempio per la vitamina B12	Dipendenza da fonti di micronutrienti esterne, che devono essere stabili, o da altri organismi

La soluzione è entrare in **simbiosi** o acquisire i geni necessari attraverso l' **HGT** o il **cambio trofico**, come in piante carnivore.



(*Genlisea tuberosa*, di soli 61 Mbp)

[R]

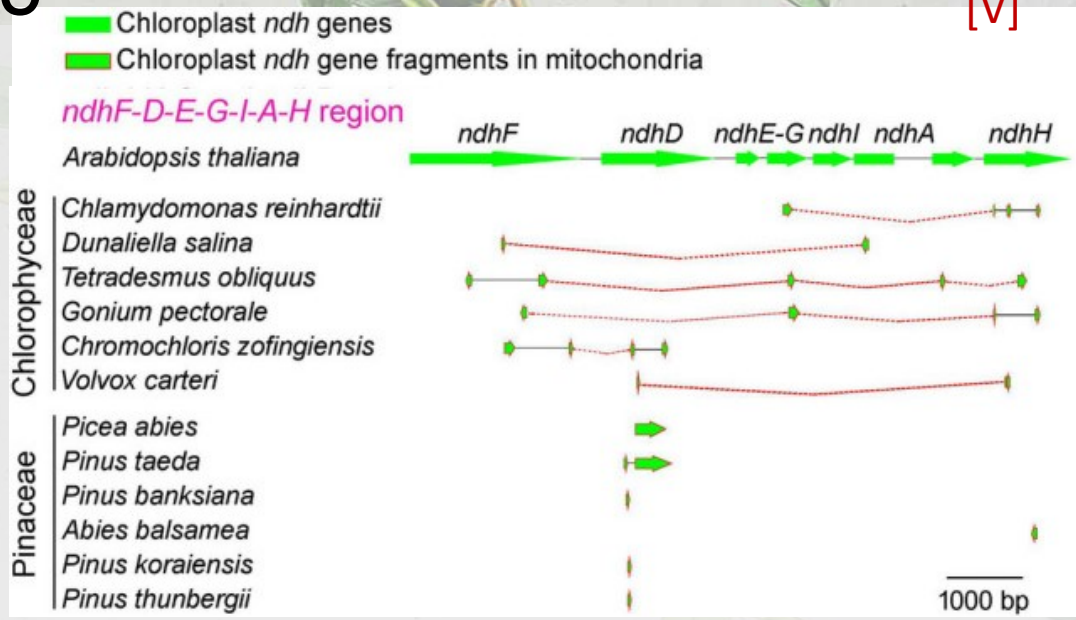
[S]

[T]

[Q]

Il dannoso ossigeno

Per limitare danni dai ROS a livello genomico, le piante trasferiscono alcuni geni fotosintetici dal cloroplasto a un altro organello o al nucleo, come per il gruppo di geni per la deidrogenasi OPS pNDH-1 ...



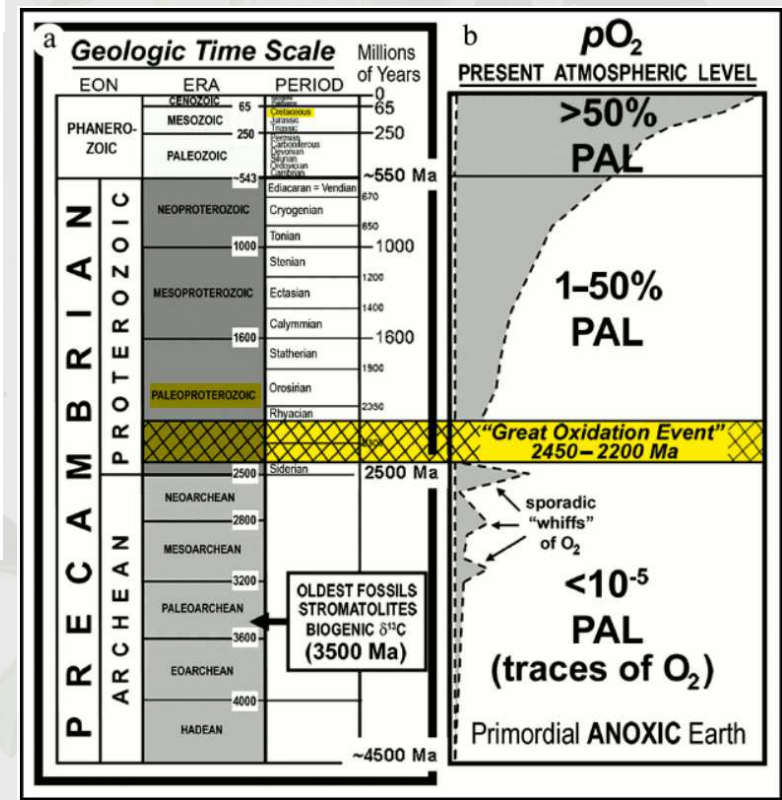
[V]

is shown as the difference.

Amino acid ^a	Liverwort ^b All ORFs	Zea mays MZCEPRUBP	Anabaena ANARUBP	Anacystis nidulans ANIRUBPL
Leu	UUA/UUG/CUA	UUA/UUG/CUU/CUA	UUA/UUG/CUA/CUG	UUG/CUC/CUG
Arg	CGU/CGG/AGA	CGU/CGC/CGA/AGA	CGU/CGC	CGU/CGC
Ser	UCC/UCA/AGC	UCU/UCC/UCA/AGU	UCU/UCC	UCC/UCC/UCU/AGC
Vai	GUC/GUA	GUU/GUA	GUU/GUA	GUC/GUG
Pro	CCC/CCA	CCU/CCA/CCG	CCU/CCC/CCA	CCU/CCC/CCG
Thr	ACC/ACA	ACU/ACC/ACA	ACU/ACC/ACA	AAC/ACG
Ala	GCA	GCU/GCC/GCA	GCU/GCA/GCG	GCU/GCC/GCA/GCG
Gly	GGC/GGA	GGU/GGA/GGG	GGU/GGC/GGA	GGU/GGC
Ile	AUC/AUA	AUU/AUC/AUA	AUU/AUC	AUC
Tyr	UAC	UAU/UAC	UAU/UAC	UAC
His	CAC	CAU/CAC	CAC	CAC
Gln	CAA	CAA/CAG	CAA/CAG	CAA/CAG
Asn	AAC	AAU/AAC	AAC	AAC
Lys	AAA	AAA/AAG	AAA/AAG	AAA/AAG
Asp	GAC	GAU/GAC	GAU/GAC	GAU/GAC
Glu	GAA	GAA/GAG	GAA/GAG	GAA/GAG
Cys	UGC	UGU/UGC	UGU/UGC	UGU/UGC
Phe	UUC	UUU/UUC	UUU/UUC	UUU/UUC
Codons used	61	58	52	50
Preferred	31	49	42	40
Percent XXC/G	12	33	44	69
Difference	0	22	16	20

[U]

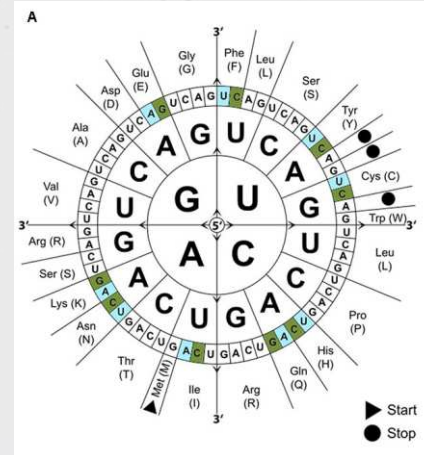
^a Trp and Met are not shown since each has only one codon, but are included in the totals shown. ^b References: Liverwort chloroplast (24); all others GenBank.



[W]

... oppure sfruttano, per evitare l'eccessiva limitazione dovuta alla precipitazione di micronutrienti, il **CODON USAGE BIAS**.

[X]



Riassunto esteso

La grande plasticità del genoma dei fotoautotrofi ha permesso la loro evoluzione e adattamento in ambienti differenti e con strategie uniche, trasformandoli in alcuni casi in organismi predatori il cui eterotrofismo parziale permette una crescita rigogliosa in ambienti poveri di micronutrienti e stressanti. Ad esempio, la duplicazione dell'intero genoma dei primi batteri fotosintetici ha portato all'aumento di espressione della proteina D1, che ha posto le basi per la comparsa del centro di reazione dei PS. L'associazione in seguito a fusione [1] dei centri di reazione I e II ha dato origine ai fotosistemi necessari per la fotosintesi ossigenica a partire dai cianobatteri, potenziando quindi l'efficienza fotosintetica e la produzione di energia nelle cellule vegetali. Allo stesso tempo, in seguito a duplicazione e poliploidia, possono nascere nuove specie da ibridi vigorosi.

La crescita cellulare si può direttamente correlare all'efficienza della fotosintesi, quantificabile e correlabile alla superficie fogliare con lo studio delle cellule stomatiche.

Adam B. Rodd ha preso proprio questo tipo cellulare per studiare che tipo di correlazione ci sia tra la grandezza del genoma e la dimensione massima che una cellula meristemica possa raggiungere [2], dimostrando che la maggiore plasticità nelle dimensioni finali di una cellula meristemica si ha tra le specie vegetali dal genoma più piccolo. La correlazione tra variazioni in tasso fotosintetico e dimensione genomica è stata poi dimostrata con lo studio sulla velocità della risposta stomatica [2]: cambiamenti nella dimensione degli stomi, infatti, portano a variazioni nei tassi fotosintetici. In particolare, stomi più piccoli e in maggiore quantità garantiscono una risposta più rapida a cambiamenti giornalieri ambientali di luce e acqua rispetto a stomi più grandi, meno numerosi e più lenti, e aumentano così la capacità fotosintetica [3].

La variabilità delle dimensioni cellulari è potenzialmente maggiore in piante dal genoma più corto, suggerendo così che la dimensione del genoma possa influenzare indirettamente anche la fotosintesi, più produttiva quindi in piante con genoma ridimensionato. Per tanto, si può ipotizzare che la plasticità della dimensione del genoma possa contribuire ad adattamenti e variazioni fenotipiche che portino ad aumentare la velocità evolutiva delle piante senza che sia necessario un apporto di risorse maggiore, perché viene migliorata la risposta alla variabilità giornaliera dell'ambiente (l'intensità della luce, la concentrazione di CO₂ e di vapore).

Avere un genoma più piccolo può significare che si necessita di meno C, N e P per costruire macromolecole e avere trascritti più sintetici e, di conseguenza, una traduzione più veloce.

La riduzione genomica, pur con inevitabile perdita di geni, non è dannosa poiché possono svilupparsi nuovi meccanismi trofici, come in piante eterotrofe. Il genoma più piccolo permette alla pianta di riadattarsi più velocemente alle nuove condizioni e avere una più rapida risposta alle sue nuove necessità, senza limitare la propria crescita, sostenuta da una minore quantità di elementi, che non sono più necessari per mantenere, riparare o costruire un genoma più grande e le macromolecole associate.

L'informazione persa però potrebbe impedire lo sfruttamento dell'abbondanza improvvisa di determinati elementi fondamentali o limitanti per la crescita come l'azoto come sottolineato con le osservazioni sui *Prochlorococcus* [Q], e, con il passare delle generazioni, si potrebbe giungere da un organismo completamente autonomo a uno parassitario, quando non si arrivi all'estinzione.

L'accorciamento del DNA in genere però può diventare una caratteristica a vantaggio di un aumento nell'efficienza e tasso fotosintetico, dimostrabile dalle osservazioni che la densità di stomi di piccole dimensioni (che permettono risposte più rapide alle variazioni ambientali di luce, acqua e CO₂) è maggiore in piante dal genoma più piccolo. Le cellule meristematiche di quest'ultime hanno infatti maggiore variabilità nelle dimensioni cellulari.

Inoltre, la sottospecializzazione dei geni può essere affiancata alla rielaborazione dei loro prodotti: in piante carnivore, enzimi associati alla difesa (come la chitinasi) permettono la specializzazione di foglie fotosintetiche in trappole per assumere C e N dalla digestione di insetti e non dal suolo povero e attraverso radici spesso assenti. I succhi nutritizi così ottenuti vengono poi assorbiti dalla pianta grazie all'espressione in sede fogliare di geni normalmente espressi a livello radicalico.

Piccole modifiche al genoma, producono risultati immensi: nel riso ad esempio, la sovraespressione di un solo gene, OSA1, ne rafforza l'assorbimento di N e il tasso fotosintetico e in ultimo la resa della coltivazione [L].

La possibilità di trasferire i geni fotosintetici dal cloroplasto a un altro organello o al nucleo, da una parte rafforza la resistenza alle specie ROS dannose e a stress ambientali, dall'altra garantisce la presenza di geni essenziali alla sopravvivenza in autonomia nel caso di perdita del plastide fotosintetico, evento raro ma non impossibile. L'importanza energetica del cloroplasto è dimostrata anche dal suo sequestro da parte di organismi animali per coadiuvare con la fotosintesi la propria nutrizione. Oltre al trasferimento di geni dal cloroplasto al nucleo, per non appesantire ulteriormente il genoma con nuove famiglie geniche, le piante usano codoni sinonimi a seconda del loro minor costo e disponibilità amminoacidica. Questo fenomeno è comparso con l'accrescersi di alte concentrazioni di O₂ con l'Evento della Grande Ossidazione, che ha causato l'ossidazione e precipitazione di molti micronutrienti come zolfo e ferro [Y].

Per quanto in fine non si possa ammettere che la fotosintesi influenzi direttamente il genoma o la sua dimensione mentre dalla sua efficienza può dipendere l'accrescimento della pianta, è comunque osservabile che possono esserci delle interazioni indirette tra i due: dalla grandezza genomica dipende la grandezza della cellula, il suo volume e la sua superficie, e per tanto la concentrazione di proteine e complessi associati ai meccanismi fotosintetici e alla loro efficienza. Più il genoma è piccolo, più è dimensionalmente variabile la cellula e più veloci sono le risposte a cambiamenti ambientali e a condizioni di stress, affrontabili dal fotoautotrofo investendo altrove le risorse guadagnate dal minor costo di mantenimento delle strutture cellulari. Così, una dimensione genomica più piccola può potenziare il metabolismo fotosintetico e dare la possibilità di una crescita cellulare maggiore anche in condizioni limitanti.

Sitografia- fonti immagini

[1] doi: [10.1146/annurev.arplant.53.100301.135212](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.100301.135212)

[2] DOI: [10.1086/706186](https://doi.org/10.1086/706186)

[3] doi: [10.1093/jxb/ers347](https://doi.org/10.1093/jxb/ers347)

[A] <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0353>

[B] <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10231-z>

[C] https://www.researchgate.net/figure/Distribution-of-the-photosynthesis-gene-contents-in-different-lineages-of-phototrophs-and_fig1_285181074

[D] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/P_rochlorococcus_marinus.jpg/330px-Prochlorococcus_marinus.jpg

[E] <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0353>

[F] <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02528.x>

[G] <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003706.g003>

[H] <https://doi.org/10.1093/jxb/ers347>

[I] https://oggiscienza.it/wp-content/uploads/2021/08/Golden_Rice_2.jpg

[J] <https://www.cals.iastate.edu/files/inline-images/corn.jpg>

[K] <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.036>

[L] <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.09.036>

[M] <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000749>

[N] <https://doi.org/10.1073/pnas.1608016113>

[O] <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1398-6>

[P] <https://the3rdstone.files.wordpress.com/2012/03/p8090222.jpg?w=300&h=190>

[Q] <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0264>

[R] <https://doi.org/10.3732/ajb.0900054>

[S] <https://cdn.manomano.com/media/edison/7/b/5/c/7b5c88111e0e.jpg>

[T] <https://doi.org/10.3390/ijms21145143>

[U] <https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/260165a2d96ea220cbc3c7e53dc083f63559d402/4-TableII-1.png>

[V] doi: [10.3389/fmicb.2022.956578](https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.956578)

[W] <http://protein.bio.msu.ru/biokhimiya/contents/v79/full/79030223Fig1.gif>

[X] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/05/Codon_usage_bias_in_P._patens.png/330px-Codon_usage_bias_in_P._patens.png

[Y] DOI: [10.1134/S0006297914030018](https://doi.org/10.1134/S0006297914030018)