

Le CORRENTI CITOPLASMATICHE in particolare nelle cellule vegetali

Preliminari

In una cellula vegetale vivente, il citoplasma¹ è in continuo movimento, con velocità assai variabile da una specie all'altra e da una cellula all'altra, ma anche superiore a 10 μ /s. Anche la direzione del movimento può essere diversa in cellule contigue. Si presuppone però una perfetta vitalità della cellula.

Nel suo movimento incessante, il citoplasma trascina con sé i suoi inclusi, come il condrioma, i plastidi, ecc.

Fig. 1 – Cellula di un pelo staminale di *Tradescantia*.

Il nucleo, tenuto dalle briglie citoplasmatiche, occupa posizioni diverse nella cellula. Le frecce indicano la direzione delle correnti citoplasmatiche. Le cavità in bianco sono i vacuoli, più piccoli nelle cellule più giovani (in alto).

Nei **vacuoli** vi è una sospensione/soluzione acquosa, non vivente, che può contenere sali, pigmenti, materiali di riserva, ecc.

(da: Gola, Negri e Cappelletti, Trattato di Botanica, UTET, Torino, 1951, pag. 9).

La pianta più spesso indicata per l'osservazione della circolazione protoplasmatica è la *Tradescantia virginica*, (Commelinacee, Monocotiledoni), una pianta delle regioni umide tropicali e subtropicali americane (fig. 2); l'organo indicato è dato dai peli degli stami (vedi la figura 1, qui sopra).



Fig. 2 – *Tradescantia virginica*. Infiorescenza in grandezza naturale. (da: Gola, Negri e Cappelletti, Trattato di Botanica, UTET, Torino, 1951, pag. 1020. Da Wettstein).

¹ Il citoplasma è la parte vivente di una cellula, ed in esso si trova il nucleo ed altri organuli assai più piccoli. Dal citoplasma sono quindi da escludere la membrana plasmatica, la parete cellulare (nelle cellule vegetali), i vacuoli (vedi la didascalia della fig. 1), inclusi minerali, ecc.

Ma il fenomeno è assai diffuso. Poiché la cellula deve essere vitale, riesce più facile lavorare con cellule isolate o in filamenti, per es. con i peli, senza bisogno di sezioni. È bene che le cellule siano né troppo giovani né troppo differenziate: infatti, il protoplasma delle cellule vegetali è compatto, senza vacuoli, se le cellule sono molto giovani; in seguito, i vacuoli crescono e dividono il citoplasma in “briglie”; in queste i movimenti sono più veloci. Nelle cellule adulte invece, il citoplasma si può ridurre ad un sottile strato presso la parete o scomparire del tutto, ed i movimenti rallentano fino a scomparire.

Come materiale più facile da reperire, si può indicare l'insieme dei peli che si trovano fra le glume dei grandi fiori delle avene selvatiche (vedi la figura 3).

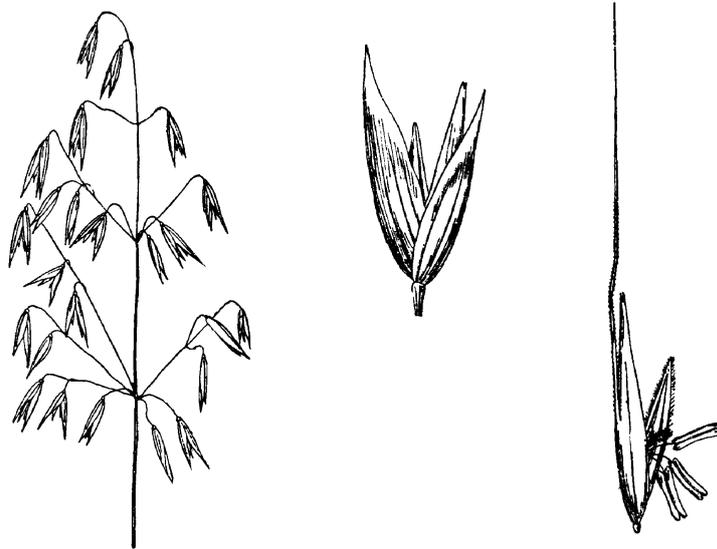


Fig. 3 – Un esempio di avena selvatica (a sinistra, 1:3; al centro ed a destra, in grandezza naturale)

Trattandosi di cellule vive, è meglio non pensare ad una colorazione, che potrebbe risultare tossica per le cellule; l'osservazione è facilitata però dall'uso di tecniche di contrasto, come il contrasto di fase.

Entriamo nei dettagli.

La massa del citoplasma di una cellula vegetale adulta risulta costituita da uno strato di plasma appoggiato alla membrana e dalla massa profonda, nella quale stanno inclusi numerosi vacuoli. Questi talvolta si possono anche ridurre ad uno solo, tanto sviluppato da occupare la maggior parte del volume dell'intera cellula.

Fra i vacuoli si trovano delle “briglie”, dei cordoni di citoplasma che comunicano fra loro e che mettono in comunicazione il plasma dei diversi punti della cellula. In queste briglie è possibile osservare (a cellula in perfetta vitalità) delle dislocazioni di plasma, riconoscibili dal movimento di granuli – soprattutto cloroplasti e mitocondri - o di goccioline di materiali lipoidi lungo le briglie stesse. Il movimento di questi granuli appare trascinato dai movimenti del plasma.

Questa deriva - un fenomeno essenzialmente passivo - dev'essere distinta da movimenti attivi e autonomi dei cloroplasti come quelli causati nell'alga *Mougeotia* dalla trasformazione del fitocromo².

Il curiosissimo fenomeno delle correnti citoplasmatiche fu osservato per la prima volta e descritto dall'abate italiano Bonaventura CORTI da Scandiano (Emilia), nelle cellule di *Chara*, nel 1774, e fu poi chiamato “circolazione o rotazione protoplasmatica” o “ciclòsi”. Il fenomeno è facilmente osservabile specialmente in cellule grandi, con grossi vacuoli, ricche d'acqua, come le cellule di *Chara* o *Nitella* o *Spirogyra* (alghe d'acqua dolce), *Vallisneria* ed *Elodea*

² Fitocromo: pigmento presente negli organismi vegetali, coinvolto nella regolazione di processi come la germinazione, la fioritura, la distensione delle foglie, che si verificano alla presenza di luce.

(Idrocaritacee, Monocotiledoni), nelle scaglie di *Allium*, nelle epidermidi di Iris, nei peli staminali di *Tradescantia* (vedi sopra), nelle ife di *Saprolegnia* (Ficomiceti), ecc.

Come detto sopra, il movimento è rilevabile dallo spostamento dei granuli lungo le briglie citoplasmatiche; esso è in generale assai irregolare, compendosi secondo direzioni variabili: per es., si possono avere, a breve distanza e su briglie diverse, movimenti in senso opposto e con diversa velocità di rotazione. Il movimento veloce in un dato istante può cessare un momento dopo. Di solito è più lento alla periferia che al centro; anche il nucleo può venire spostato e dislocato in seguito al movimento della massa plasmatica: ciò avviene normalmente in seguito a lesioni della cellula. I movimenti sono una conseguenza delle incessanti modificazioni fisico-chimiche di cui il citoplasma è sede: dislocazioni molecolari in seguito a differenti velocità di scambi nel metabolismo, ed in particolare dei fenomeni respiratori. La circolazione è influenzata da tutti quei fattori che agiscono come stimoli sul plasma, come la luce, la temperatura, le correnti elettriche ed i cambiamenti dell'acidità del succo cellulare o del mezzo ambiente. La velocità di detti movimenti può servire per stabilire il grado di vitalità di una cellula, o per valutare gli effetti di uno stimolo.

Non tutto il citoplasma partecipa alla ciclosi: uno strato citoplasmatico più esterno, immobile, detto ectoplasma, separa lo strato più interno (endoplasma) dalla parete cellulare. Gli organuli cellulari sembrano muoversi lungo fibrille di circa 0,2 μm di diametro, situate al confine fra questi due strati del citoplasma. Le fibrille sono orientate parallelamente alla direzione della corrente e non si muovono; il trasporto interessa solo gli organuli e la corrente incolore nella quale sono immersi.

Un altro tipo di movimento, riscontrato nei vacuoli contrattili dei mixomiceti, si manifesta con particolari contrazioni (pulsazioni) che si susseguono anche con una frequenza notevolmente elevata, essendo state contate fino a 40-50 contrazioni al minuto. Detto movimento è un'espressione altamente vitale, in quanto cessa o si riduce per cause patologiche o in presenza di sostanze tossiche.

Le correnti citoplasmatiche vengono usate per avere un elemento di giudizio sull'intensità del metabolismo; nei mixomiceti si ha un rallentamento dei movimenti se diminuisce la tensione dell'ossigeno. Il dinitrofenolo, che a piccole dosi esalta la respirazione, a dosi maggiori la deprime, dapprima reversibilmente, poi irreversibilmente; depressione che può essere seguita anche mediante l'osservazione della circolazione citoplasmatica.

Nel senso fisico-chimico il citoplasma, la cui consistenza oscilla in modo singolare tra il liquido e il solido, venne inteso per lungo tempo come una soluzione colloidale, vale a dire come una soluzione le cui proprietà caratteristiche (durezza o viscosità, elasticità) dipendono soprattutto dalla grandezza delle molecole disciolte.

In effetti il citoplasma si comporta per molti aspetti proprio come un liquido. Questo appare particolarmente evidente nella corrente plasmatica, che può essere osservata sia nei plasmodi nudi e liberi dei funghi, come pure nelle cellule con pareti rigide caratteristiche di molte piante a organizzazione più elevata.

Si fa una distinzione tra *rotazione* plasmatica, *circolazione* plasmatica e “*movimento fluttuante*” del citoplasma.

I movimenti si dicono di tipo **rotatorio** quando, in seguito al grande sviluppo del vacuolo centrale, il citoplasma si addensa verso le pareti ed i movimenti avvengono in una sola direzione, quasi ruotando, sia pure potendo invertirsi a distanza di tempo. Nessuna regolarità in questi movimenti, in quanto cellule fra loro contigue possono mostrare movimenti in direzione opposta.

Nella *rotazione* plasmatica (p. es. nelle cellule di diverse piante acquatiche come *Chara*, *Nitella*, *Elodea*, *Vallisneria*) il citoplasma, limitato ad un sottile strato aderente alla parete, scorre come un largo rigagnolo tra parti ferme verso una direzione costante e forma un circuito chiuso. La corrente può continuare ancora in piccole porzioni di plasma estratte da cellule tagliate, che si presentano per lo più come gocce di liquido.

I movimenti di **circolazione** sono frequenti nelle cellule aventi un citoplasma con numerosi vacuoli e perciò attraversato da briglie come il tipo indicato nella fig. 4; i movimenti nelle varie

briglie appaiono indipendenti. La *circolazione* del plasma può essere osservata particolarmente bene nelle cellule capillari di diverse piante terrestri, ma anche nei peli delle radici di piante acquatiche, il cui interno è attraversato da fasci di plasma o lamelle. Il plasma scorre sia nei fasci come pure nello strato aderente alla parete in rigagnoli ramificati a forma di fascio o di nastro e sempre in diverse direzioni. Il nucleo cellulare e gli altri organelli cellulari possono venire spostati più o meno velocemente sia nella rotazione come pure nella circolazione, a seconda della loro grandezza.

Sono stati distinti movimenti di *flusso* che avvengono in cellule filamentose in via di accrescimento, come nelle ife fungine, con lo scorrere omogeneo di citoplasma verso le zone di allungamento; simili a questi sono anche i movimenti ameboidi di alcuni mixomiceti.

Il *movimento fluttuante* del citoplasma si ha a volte in filamenti lunghi, tubiformi ed in fase di crescita di Funghi e di Alghe. Come movimento fluttuante s'intende la corrente spesso ritmica che, interessando tutto il contenuto cellulare, lo sposta alternamente in due direzioni opposte. Essa, come del resto anche la capacità di variare la forma di molti esseri unicellulari ameboidi, porta ad un libero spostamento delle singole particelle plasmatiche, e ciò è una caratteristica dei liquidi.

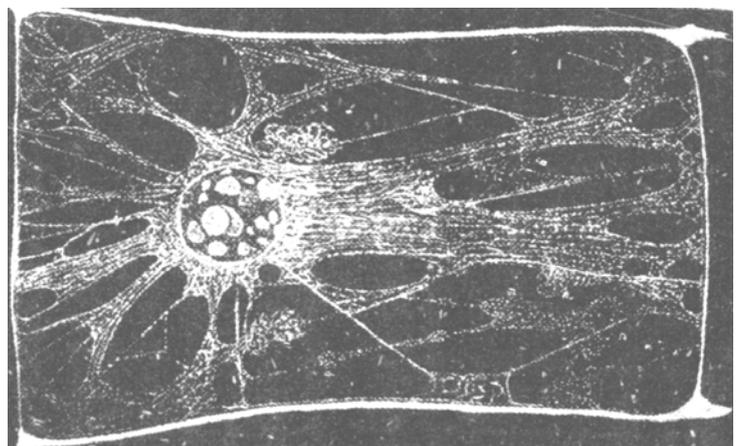
Considerazioni puramente teoriche hanno però già da tempo indotto alcuni scienziati ad attribuire al citoplasma, nonostante tali osservazioni, una struttura interna, dato che sembrò loro giustamente del tutto inconcepibile che tanti fenomeni vitali contemporanei potessero essere collegati ad un substrato liquido.

Riguardo alla funzione della ciclosi, sembra ormai ovvio che le correnti citoplasmatiche facilitino il trasporto, da un estremo all'altro della cellula, di organuli e di grosse molecole che diffondono lentamente; in particolare: mitocondri, RNA messaggero, enzimi, ecc. Le lunghe cellule delle alghe e dei tessuti vascolari di certi fusti e radici presentano correnti citoplasmatiche estremamente vigorose, la cui velocità supera a volte i 50 μm al secondo (= 3 mm/min). Anche se alcune cellule vegetali sono lunghe 1000 μm o più, le correnti citoplasmatiche riescono a rimescolarne il contenuto nel giro di una frazione di minuto.

Sebbene la pianta sia priva di fibre muscolari, la cellula vegetale contiene le due maggiori componenti del muscolo, due proteine chiamate actina e miosina, che interagiscono per provocare contrazioni e movimenti con un meccanismo molto simile a quello che si riscontra negli animali. Tuttavia, con alcune eccezioni, i movimenti su larga scala osservabili a occhio nudo nelle piante sono eseguiti senza che quelle proteine filamentose vi partecipino attivamente. I movimenti delle piante o dei loro organi sono dovuti a fenomeni di variazione del turgore o differenti velocità di accrescimento: un picciolo di foglia o un viticcio si piegano verso destra se a sinistra i tessuti s'inturgidiscono di più o crescono più in fretta. Un lato di quell'organo si allunga più dell'altro in modo che l'organo stesso è obbligato ad incurvarsi.

Tornando alle proteine actina e miosina, esse si presentano sotto forma di molecole allungate che aderiscono fra loro ed hanno la stessa direzione d'allungamento. Molte molecole parallele fra loro costituiscono una fibrilla.

Fig. 4 - Cellula di un pelo di *Cucurbita* in campo oscuro. Il lume (cavità interna) della cellula è attraversato da numerosi cordoni plasmatici, nei quali è sospeso il nucleo cellulare (da: Gola, Negri e Cappelletti, Trattato di Botanica, UTET, Torino, 1951; sec. HEIDENHAIN, circa 120 \times).



Le fibrille che guidano le correnti citoplasmatiche fanno parte del citoscheletro, una rete di fibre che conferisce al citoplasma una certa forma e rigidità. Ogni fibrilla sembra consistere di un fascio di microfilamenti, ciascuno del diametro di circa 6 nm, composto da stringhe di **actina**, una delle due componenti proteiche della fibra muscolare degli animali. L'actina è abbondante in numerose cellule vegetali, e le sue sottili fibre a volte costituiscono fino al 3-5% delle proteine totali della cellula. L'altra componente del muscolo, la **miosina**, è anch'essa presente nel citoplasma di alcune cellule vegetali, spesso associata all'actina a costituire un complesso actomiosinico. La miosina dà luogo a fibre più spesse dell'actina, e quando scinde l'ATP³ può cambiare forma. In questo processo, la miosina funziona come un enzima, detto ATPasi, che rende disponibile l'energia dell'ATP. Se è presente anche l'actina, le due proteine contraggono una stretta associazione, che potenzia grandemente l'attività ATPasica della miosina. Non appena l'ATP viene degradato e la miosina cambia forma, le proiezioni della sua molecola, simili ai denti di un ingranaggio, si spingono nei solchi presenti sulla fibra di actina, spostando la miosina lungo la fibra. Le molecole di miosina si allineano in modo ordinato lungo le fibre di actina, e quando si muovono si trascinano dietro il citoplasma viscoso.

In una cellula dell'alga *Nitella* sono visibili file di cloroplasti collegate a lunghe fibre di actina. Sotto l'influenza dell'ATP e della miosina, i cloroplasti sono trasportati intorno alla cellula per effetto dell'interazione actina/miosina.

Si pensa che la miosina, sfruttando l'energia dell'ATP, si muova lungo la fibra di actina spostando continuamente i legami chimici fra le due molecole, restando legata ad essa ed esercitando così una trazione. Un facile paragone è quello di un pignone che scorre lungo una cremagliera, ma il pignone ruota, la miosina no. Meglio il paragone con una vite senza fine?

In genere, i filamenti di actina si trovano al confine fra ectoplasma (strato esterno del citoplasma) ed endoplasma (lo strato più interno). L'ectoplasma è generalmente immobile poiché aderisce alla parete cellulosica della cellula vegetale: quello che si muove è l'endoplasma.

CONCLUSIONE

Questa sommaria descrizione dei movimenti del citoplasma vivente porta ad un'inevitabile conclusione dal punto di vista evoluzionistico: anche a livello intra-cellulare, anche in organismi per altra via del tutto immobili come i vegetali, la materia vivente "eppur si muove". Un organismo del tutto immobile non esiste; il movimento è presente in qualunque essere vivente, sia pure a livello sub-microscopico.

Ma il bello sta in questo: escludendo i movimenti dovuti all'accrescimento o a variazioni di turgore (tipici dei vegetali), il movimento legato alla contrazione di qualcosa, in tutti gli esseri viventi, dipende di solito dall'accoppiamento di molecole allungate di proteine fondamentali come l'actina e la miosina, che scorrono l'una sull'altra a causa della formazione/dissociazione di legami chimici.

Sembra che la natura, avendo imbroggiato (per caso? per mutazione?) una soluzione chimica al problema della contrattilità, ed essendo risultata efficiente questa soluzione, non l'abbia più abbandonata.

Dal movimento strisciante delle amebe al battito d'ali di un colibrì, dalla "strozzatura", che separa le cellule figlie durante la divisione cellulare (mitosi), alla proboscide di un elefante, tutto ciò che si contrae in natura è generalmente debitore di quelle proteine. Tali "microfilamenti" rappresentano un costituente fondamentale delle cellule eucariote.

La natura è sempre molto conservativa. I meccanismi fondamentali della vita sono gli stessi in tutti i viventi: il metabolismo energetico basato sul glucosio e sulla respirazione cellulare, la struttura del DNA, la mitosi, il movimento ...

³ ATP = adenosintrifosfato; è una sostanza presente in tutti i tessuti viventi che ha la proprietà di cedere o riprendere un gruppo fosfato (trasformandosi in ADP = adenosindifosfato o viceversa) in modo da cedere o riprendere l'energia di un legame chimico. È una specie di trasportatore d'energia a doppio senso.

Un movimento di altro tipo è quello detto «**browniano**» dal nome del botanico inglese Robert BROWN (1773–1858) che lo descrisse; esso deriva dall'urto incessante fra le molecole plasmatiche che provocano uno spostamento anche di particelle più grosse visibili al microscopio. Detti movimenti si riscontrano nel citoplasma vivente, ed anche nei vacuoli, quando questi contengano materiali granulosi.

Si tratta però di un movimento legato a fenomeni strettamente fisici, presente anche in sistemi del tutto non-viventi, e cioè nelle sospensioni di particelle molto piccole, organiche o non, come illustrato nella “nota didattica” che segue.

NOTA DIDATTICA: Sui movimenti browniani si può parlare a lungo ed il fenomeno può diventare l'oggetto di facili osservazioni, sia su materiale vivente (es. i granulociti che si trovano abbondanti nel muco nasale, in caso di raffreddore), sia non vivente (es.: inchiostro di china o tempera bianca fortemente diluiti). Basta usare un obbiettivo forte.

Oltre a suggerire queste osservazioni, sarebbe utile darne una spiegazione. Per es: si dice sempre che i moti browniani di piccole particelle solide o liquide sospese in un liquido non troppo vischioso sono dovuti “agli urti delle molecole”. Ma questa è la solita semplificazione che diventa inesattezza.

Ogni singolo movimento di qualunque particella sospesa in un liquido non è provocato dall'urto di una singola molecola, ma dalla risultante occasionalmente non nulla dell'urto di numerosissime molecole. Le piccole dimensioni delle singole molecole non consentono ad una sola molecola di dare un effetto visibile. Del resto, se fossero le singole molecole a creare il movimento browniano, il loro elevato numero produrrebbe una frequenza enorme degli spostamenti, che nessun occhio potrebbe seguire. I movimenti browniani sono relativamente lenti e rappresentano solo fluttuazioni statistiche di un fenomeno complessivo caotico che si svolge con frequenza media assai maggiore.

NB: Alcuni concetti e brani di questo testo sono stati tratti dalla seguente

BIBLIOGRAFIA

Gola, Negri e Cappelletti. – Trattato di Botanica – UTET, Torino, 1951.

C. Cappelletti – Trattato di Botanica – UTET, Torino, 1975

Strasburger, Noll, Schenck e Schimper – Trattato di Botanica – Vallardi, Milano, 1965

Arthur W. Galston – Zanichelli editore, Bologna - Nuovi classici della scienza, 23 - 1997

Pagg. 114 - 117.

J. M. W. Slack – Fondamenti di biologia dello sviluppo – Zanichelli, Bologna, 2007