

CAPITOLO 11. LE CELLULE EUCARIOTICHE



L'ESSENZIALE

La cellula eucariotica è caratterizzata da un'accentuata **compartimentazione**: gli organuli, i sistemi di membrane interne al citoplasma e il nucleo determinano la separazione dello spazio cellulare interno in tanti comparti distinti. (Figura 1)

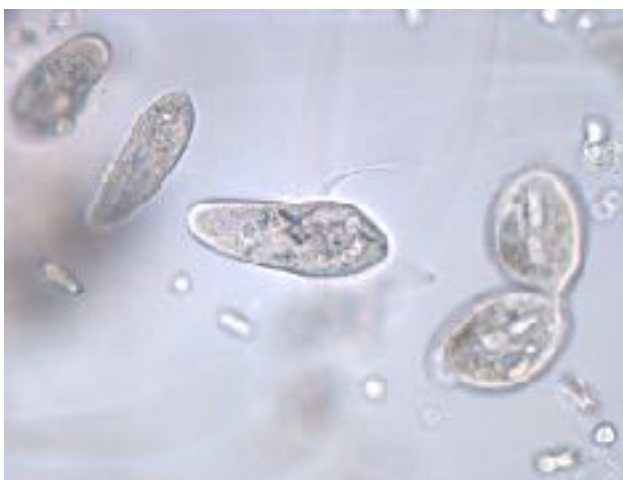


Figura 1 - *Parameci*: organismi unicellulari eucarioti, regno Protisti. Nell'immagine è visibile la compartimentazione all'interno della cellula.

Foto di Rita Cani e Marialuisa Zangirolami

Questa suddivisione interna comporta vantaggi importanti, poiché permette lo svolgersi di processi diversi in parti distinte della cellula, senza che i relativi enzimi, o i prodotti intermedi e finali di un processo possano interferire con quelli di un altro processo.

I due tipi di cellule eucariotiche che studieremo sono le **cellule animali e vegetali** (Figure 2 e 3).

In entrambi i tipi di cellule troviamo la membrana cellulare, il citoplasma e il nucleo.

La **membrana cellulare** è la struttura che avvolge e protegge la cellula.

Il **citoplasma** è costituito da una parte liquida, il citosol, da strutture estese, come il citoscheletro, il reticolo endoplasmatico liscio e rugoso, l'apparato del Golgi, e da organuli, ad esempio i ribosomi, i mitocondri, i lisosomi, ecc.

Il **nucleo** contiene principalmente il DNA.

Le **cellule vegetali** possiedono strutture particolari che non si ritrovano nelle cellule animali: la parete cellulare, i vacuoli, i plastidi.

11.1 - LE STRUTTURE COMUNI

Il **citosol** è una soluzione acquosa contenente ioni minerali, molecole organiche disciolte e in sospensione dalla consistenza gelatinosa.

Il **citroscheletro** è una struttura di natura proteica che serve per separare gli organuli, favorisce il passaggio delle sostanze all'interno del citosol e determina la forma della cellula.

I **ribosomi** sono costituiti da catene di RNA ribosomiale e proteine: hanno un ruolo importante nella sintesi delle proteine.

Il **reticolo endoplasmatico** è un sistema di membrane interne in cui vengono sintetizzate le sostanze utili alla cellula. Esistono due tipi di reticolo, quello liscio in cui avviene la sintesi delle sostanze lipidiche e quello rugoso, che presenta sulla sua superficie i ribosomi, in cui vengono sintetizzate proteine.

L'**apparato di Golgi** è costituito da un certo numero di vescicole appiattite a forma di disco, dette sacculi o cisterne, disposte le une sulle altre. La sua funzione è quella di immagazzinare e distribuire alla cellula le sostanze utili.

I **lisosomi** sono vescicole delimitate da un solo strato di membrana che contengono gli enzimi idrolitici responsabili dei processi catabolici, ossia delle reazioni di idrolisi. Sono "gli spazzini della cellula": le sostanze derivate dalla scomposizione che sono utili alla cellula vengono riversate nel citosol, quelle dannose all'esterno.

I **mitocondri** sono la sede della bioossidazione del glucosio (respirazione cellulare), il principale processo che genera l'ATP, la sostanza ricca di energia disponibile per le attività cellulari.

Il **nucleo** contiene il patrimonio genetico o genoma della cellula, costituito da DNA associato a proteine. Nel nucleo ci sono i nucleoli, importanti per la sintesi dei ribosomi. Il nucleo è delimitato da una doppia membrana, in cui sono presenti dei canali, i pori nucleari. Essi sono indispensabili per il passaggio di alcune sostanze, ad esempio dell'RNA messaggero che porta l'informazione genetica dal nucleo al citoplasma dove avverrà la sintesi delle proteine. Prima della divisione della cellula il DNA si spiralizza e forma i cromosomi: essi sono composti da DNA e proteine.



Figura 2- La cellula animale.

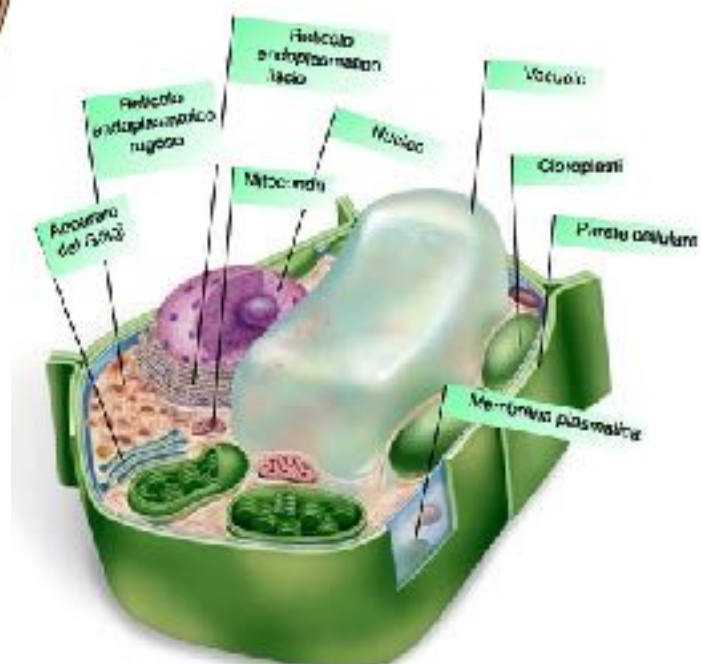
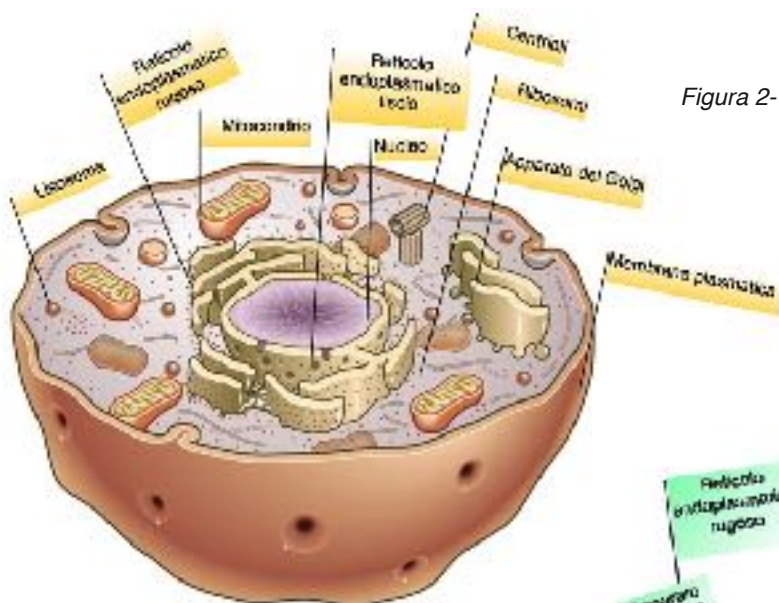


Figura 3 La cellula vegetale.

11.2 - LE STRUTTURE DELLA CELLULA VEGETALE

Le cellule vegetali hanno la stessa organizzazione delle cellule animali, ma possiedono un ulteriore involucro esterno, la parete cellulare, e organelli specifici, fra i quali i più importanti sono i cloroplasti, sede della fotosintesi clorofilliana. Spesso contengono inoltre uno o due grossi vacuoli pieni di liquido.

11.2.1 - La parete cellulare

La **parete cellulare** è una struttura di rivestimento rigida che si trova all'esterno della membrana cellulare.

La parete cellulare ha diverse funzioni: dà forma, protegge e dà sostegno alla cellula.

La parete cellulare è composta principalmente da cellulosa che forma un reticolo rigido, diverso per i vari tipi di cellule, a seconda della loro funzione.

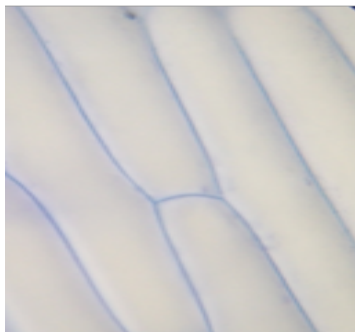


Figura 4 - Parete cellulare di cipolla Foto di Filomena Sabba.

11.2.2 - Il vacuolo

I **vacuoli** sono cisterne che si trovano all'interno della cellula. Sono delimitati da una membrana chiamata tonoplasto che, come tutte le membrane selettive, è costituita da fosfolipidi e proteine di trasporto. Nelle cellule vegetali adulte, altamente differenziate, è presente un solo vacuolo che occupa gran parte del volume cellulare. Nei vacuoli è presente un succo, piuttosto acido (pH 4-5) e ricco di sostanze diverse: proteine, carboidrati di riserva, enzimi, sali organici ed inorganici, sostanze coloranti, ecc.; l'assortimento di queste sostanze varia in relazione alla specializzazione funzionale della cellula e ai diversi gruppi di piante.

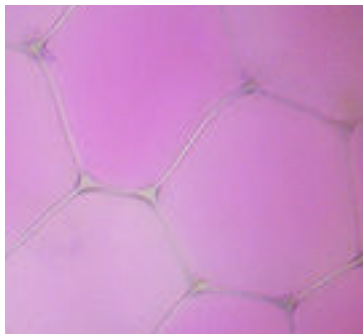


Figura 5 - Cellule dell'epidermide in cui il vacuolo (rosa) occupa quasi tutto l'interno della cellula

Fonte: Wikipedia

11.2.3 - I plastidi

I **plastidi** sono organuli esclusivi della cellula vegetale e in base alle funzioni che essi svolgono, si possono distinguere in cloroplasti, leucoplasti o amiloplasti e cromoplasti.

I **cloroplasti** sono gli organelli cellulari in cui avviene il processo fotosintetico. I cloroplasti sono presenti nelle

cellule vegetali che effettuano attività fotosintetica, le cellule verdi delle foglie, dei fusticini e dei giovani germogli, in numero compreso di solito tra 20 e 80, fino a 200, in relazione all'intensità luminosa dell'ambiente e allo stato nutrizionale della pianta.

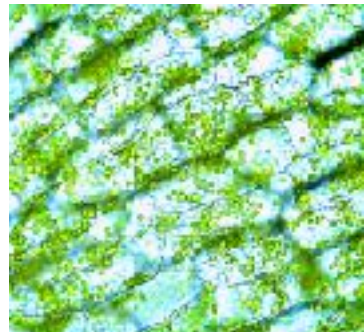


Figura 6 - Cellule fotosintetiche al microscopio ottico, in cui si notano i cloroplasti.

Foto di Rita Cani e Marialuisa Zangirolami

I **cromoplasti** sono plastidi contenenti pigmenti colorati, ad esempio i carotenoidi che nella carota costituiscono il 20-25% del peso secco.

I cromoplasti, sono presenti in moltissimi fiori e frutti, ai quali impartiscono colorazioni che vanno dal giallo, all'arancio, al rosso.

Il colore di fiori e frutti è un richiamo per insetti e altri animali: nel caso dei fiori tale richiamo serve a garantire l'impollinazione, nel caso dei frutti a favorire la dispersione dei semi in essi contenuti.



Figura 7 - I cromoplasti delle cellule dei petali contengono pigmenti che conferiscono il colore rosso a questi papaveri.

I **leucoplasti** sono plastidi che possiedono elevata capacità di trasformare glucosio in amido e viceversa. I leucoplasti si trovano nelle radici di piante erbacee biennali (carote), nei bulbi, (aglio, cipolle, giacinti, tulipani), nei rizomi, fusti sotterranei, (ciclamini, peonie) nei tuberi (patate), nei semi della maggior parte delle specie vegetali (cereali, legumi), nelle radici, nei rami, nei fusti.

Figura 8 - I leucoplasti si trovano nelle parti vive del fusto e dei rami di piante caducifoglie.



PER SAPERNE DI PIÙ

Nelle cellule eucariotiche sono presenti separazioni fisiche tra porzioni diverse della cellula: tutti i processi cellulari che nelle cellule procariotiche si svolgono nel citoplasma nelle eucariotiche avvengono in diverse parti e in diverse strutture della cellula.

11.3 - IL CITOPLASMA

Il citoplasma è costituito da una parte liquida detta citosol e da un certo numero di strutture cellulari diverse. All'interno del citosol vi sono piccoli organuli e strutture cellulari estese. Tali strutture sono ancorate ad una impalcatura proteica, nota come citoscheletro.

Nel citosol sono presenti, oltre alle diverse molecole gli enzimi responsabili del processo di glicolisi, la prima fase della biossidazione del glucosio.

Il processo di biossidazione del glucosio è un processo chiave per tutte le cellule aerobie, in quanto determina la liberazione dell'energia contenuta nelle molecole di glucosio. Parte di questa energia viene immagazzinata in forma di ATP.

11.3.1 - Il citoscheletro

Il citoscheletro è una struttura estremamente flessibile che si trova in tutte le cellule eucariotiche.

Il citoscheletro è formato da tre diversi tipi di filamenti: microfilamenti di actina, filamenti intermedi e microtubuli. Tutte queste strutture sono costituite da catene allungate formate da molecole proteiche di tipo diverso.

I **microfilamenti di actina** sono in grado di contrarsi e rilassarsi e svolgono funzioni diverse:

- * determinano il continuo **rimescolamento del citosol**, processo essenziale per fare avvenire le reazioni chimiche all'interno della cellula: infatti una reazione chimica può avvenire soltanto quando le molecole dei reagenti e dei sistemi enzimatici vengono a contatto le une con gli altri;
- * determinano lo **spostamento di organuli e vescicole**, cui sono agganciati; questo processo è importante per garantire il trasferimento dentro le cellule dei materiali racchiusi nelle vescicole di trasporto;
- * determinano il **cambiamento di forma delle cellule**, particolarmente importante per alcuni tipi di protozoi (amebe), per i globuli bianchi detti macrofagi e per la contrazione delle cellule dei muscoli degli animali (fibre muscolari);

I **filamenti intermedi** sono formati da proteine fibrose che hanno una grande resistenza alla trazione; l'intreccio tridimensionale di queste fibre consente alle cellule di resistere alle deformazioni.

I **microtubuli** sono strutture cave allungate, costituite dalla giustapposizione di un gran numero di molecole della proteina globulare **tubulina**; anch'essi sono in grado di svolgere diverse funzioni:

- * alcuni microtubuli, modificati nella loro struttura, svolgono funzioni di collegamento con le cellule circostanti,

- * altri microtubuli formano la struttura di ciglia e flagelli e ne determinano il movimento;
- * altri ancora formano il fuso mitotico, una struttura che diventa visibile poco prima della divisione cellulare.

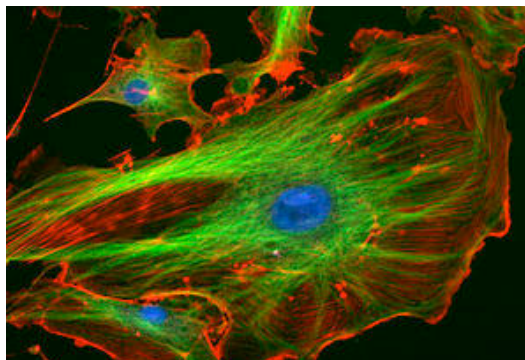


Figura 9 - Il citoscheletro.

La tubulina è evidenziata in verde, l'actina in rosso. Il nucleo delle cellule è di colore blu.

Fonte: Wikipedia

11.3.2 - I ribosomi

I ribosomi sono costituiti da catene di RNA ribosomiale (rRNA) ripiegate e unite, con legami covalenti, a qualche decina di proteine a decine di proteine: in laboratorio è infatti possibile montare e smontare un ribosoma, variando in maniera assai blanda le condizioni dell'ambiente senza che si determinino rotture di legami chimici.

La sintesi e lo stoccaggio del RNA ribosomiale avviene nel nucleolo. Le informazioni per la sintesi del RNA ribosomiale sono localizzate sulle molecole del DNA.

L'associazione di rRNA e proteine costituisce due diverse subunità: la subunità maggiore e quella minore. Esse si formano nel nucleolo e poi migrano nel citoplasma; qui restano separate e si associano a formare i ribosomi solo al momento di svolgere la loro funzione. I ribosomi sono la sede del processo di sintesi proteica: in base alle informazioni ricevute dal DNA cellulare, essi sono in grado di unire gli aminoacidi in una sequenza precisa per formare le proteine.

Nelle cellule procariotiche i ribosomi sono più piccoli e si trovano dispersi nel citoplasma; nelle cellule eucariotiche i ribosomi sono un poco più grandi e si trovano sia liberi nel citoplasma sia legati in gran numero alla superficie del reticolo endoplasmatico ruvido.

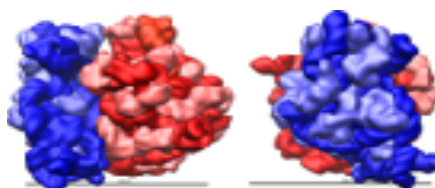


Figura 10 - I ribosomi. In rosso e in blu sono evidenziate le due subunità. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Ribosome_shape.png

11.3.3 - Il reticolo endoplasmatico liscio e rugoso

Il reticolo endoplasmatico è un sistema di membrane in continuità con la membrana nucleare; tali membrane sono ripiegate più volte su se stesse e formano compartimenti separati all'interno delle cellule.

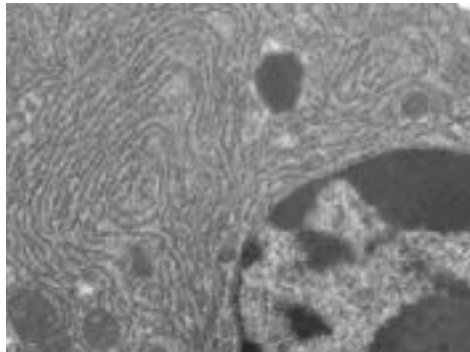
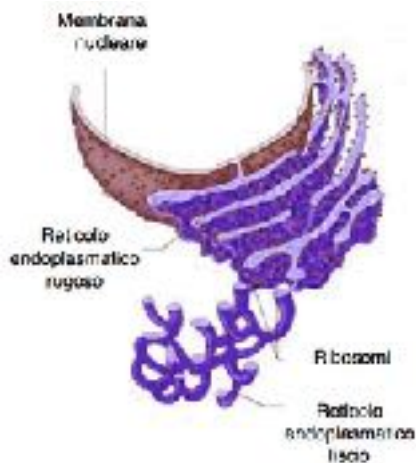


Figura 11 - Immagine al microscopio a elettronico a trasmissione del reticolo endoplasmatico rugoso. In basso a destra il nucleo. Le macchioline scure sono mitocondri. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Clara_cell_lung_-_TEM.jpg.



Il **reticolo endoplasmatico rugoso** prende il nome dal fatto che la superficie è caratterizzata dalla presenza di ribosomi; il **reticolo endoplasmatico liscio** non presenta ribosomi.

Le proteine sintetizzate dai ribosomi

- vengono modificate strutturalmente o chimicamente per aggiunta di carboidrati;
- le sostanze così sintetizzate sono racchiuse in vescicole, che si staccano dal reticolo;
- le vescicole vengono dirette verso altre parti della cellula (verso l'apparato di Golgi, verso altri organuli, o verso la membrana della cellula per essere spostate all'esterno).

Le **cellule secernenti**, cioè quelle che producono grandi quantità di sostanze che devono poi essere convogliate fuori dalla cellula, hanno un reticolo endoplasmatico rugoso molto sviluppato: ne sono esempi le cellule che producono ormoni, come le cellule delle isole di

Langerhans, poste nella parte endocrina del pancreas ghiandolare.

Il **reticolo endoplasmatico liscio** sintetizza i lipidi, che si liberano all'interno di vescicole; anch'esse sono poi dirette verso le membrane degli organuli, verso il plasmalemma o verso l'apparato del Golgi. Il reticolo endoplasmatico liscio è molto sviluppato nelle cellule della corteccia del surrene in quanto esse producono alcuni ormoni steroidei di natura lipidica.

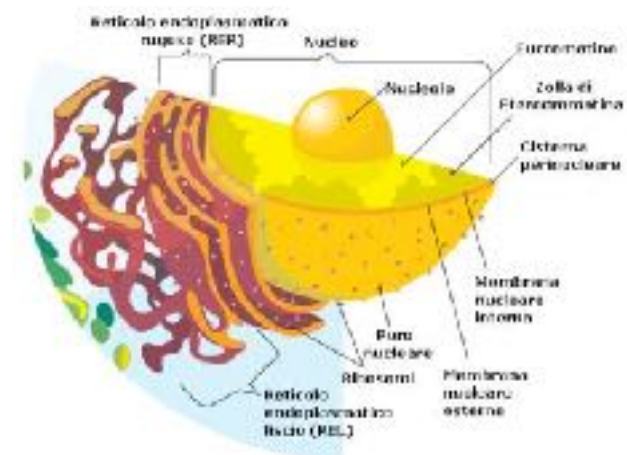


Figura 12 - Nel disegno è evidenziata la posizione dei due tipi di reticolo endoplasmatico rispetto al nucleo della cellula. Sulla membrana esterna del reticolo rugoso sono presenti i ribosomi. Fonte: Wikipedia

11.3.4 - L'apparato di Golgi

L'apparato di Golgi è costituito da un certo numero di vescicole appiattite a forma di disco, dette sacculi o cisterne, disposte le une sulle altre.

L'apparato di Golgi ha una sua polarità: è possibile riconoscere, infatti, una faccia di formazione e una faccia di maturazione.

- Le cisterne della **faccia di formazione** si fondono con le vescicole provenienti dal reticolo endoplasmatico e contenenti materiali da rielaborare chimicamente.
- Le proteine in esse contenute vengono rielaborate con l'aggiunta di lipidi, glucidi o altre sostanze percorrendo l'intero apparato, da cisterna a cisterna.
- Una volta che queste proteine sono state rielaborate, esse vengono dirette verso le cisterne della **faccia di maturazione**.
- Queste ultime producono rigonfiamenti che successivamente si staccano, formando nuovi tipi di vescicole.
- Le vescicole vengono inviate in zone diverse della cellula, oppure possono unirsi al plasmalemma, riversando il loro contenuto all'esterno della cellula, con un processo detto esocitosi.

La composizione chimica delle membrane della faccia di formazione somigliano chimicamente alle membrane delle vescicole provenienti dal reticolo endoplasmatico, mentre quelle della faccia di maturazione hanno una



composizione chimica più simile a quella della membrana cellulare, cui spesso sono dirette.

Alcune vescicole prodotte dall'apparato di Golgi originano i **lisosomi**: particolari vescicole delimitate da un solo strato di membrana e contenenti gli enzimi idrolitici responsabili dei processi **catabolici**.

E' molto importante che gli **enzimi idrolitici** contenuti nei lisosomi restino separati dalle diverse strutture cellulari, per evitare l'autodigestione della cellula.



Figura 13 - Immagine che mostra un apparato di Golgi. La faccia convessa è quella di formazione, quella concava è quella di maturazione in cui sono evidenti, le numerose vescicole appena liberatesi. Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Human_leukocyte,_showing_golgi_-_TEM.jpg

Tali enzimi vengono utilizzati nei processi catabolici: si ottengono molecole organiche semplici, come monosaccaridi, aminoacidi, lipidi semplici e nucleotidi, utilizzabili successivamente per i processi anabolici, che consentono alla cellula di accrescersi o di sostituire le parti lesionate e non più funzionanti.

BARTOLOMEO EMILIO CAMILLO GOLGI
Premio Nobel per la medicina
anno 1906



11.3.5 - I mitocondri

I mitocondri si trovano in tutte le cellule eucariotiche e sono la sede della respirazione cellulare, il principale processo che genera l'ATP.

Nella maggior parte dei casi il mitocondrio ha la forma di rene o fagiolo, lungo circa 2 micron e largo circa 1 micron.



Figura 14 - Rappresentazione schematica di un mitocondrio, dove sono evidenziate la membrana esterna e la membrana interna ripiegata in creste. Fonte: www.unisr.it/biotechbook.

Osservati al microscopio elettronico i mitocondri appaiono dotati di una **doppia membrana**: la più esterna è distesa e delimita il mitocondrio, quella interna è ripiegata su se stessa a formare pieghe rivolte verso l'interno, dette **creste mitocondriali**.



Figura 15 - Sezione di due mitocondri visti al microscopio elettronico. Fonte: Wikipedia

Lo spazio compreso tra le due membrane è definito spazio intermembrana, il materiale contenuto nella membrana interna è definito matrice mitocondriale.

L'estesa superficie di membrana delle creste mitocondriali ospita un gran numero di molecole enzimatiche e garantisce una grande efficienza ai processi energetici da essi svolti, responsabili della formazione di ATP.

La **membrana esterna dei mitocondri** è più ricca di fosfolipidi e più povera di colesterolo rispetto a quella interna; inoltre quella esterna è permeabile a molte molecole di piccola dimensione, mentre quella interna ha una forte permeabilità selettiva data dalla presenza di proteine trasportatrici, dette anche carrier.

Nella **matrice mitocondriale** sono presenti gli enzimi che svolgono una delle fasi della biossidazione del

glucosio (**ciclo di Krebs**). Altre sostanze presenti nella matrice sono i componenti essenziali per la sintesi delle proteine a partire dagli aminoacidi: il DNA, i ribosomi, il RNA, messaggero, di trasporto e ribosomiale; i mitocondri sono quindi autonomi per la sintesi delle loro proteine specifiche.

Nella **membrana interna** sono presenti gli enzimi specifici della fase finale del processo di ossidazione del glucosio, la catena di trasporto degli elettroni, e della fosforilazione ossidativa, il processo responsabile della **sintesi di ATP**

Il numero dei mitocondri contenuti nelle cellule è variabile ed è maggiore nelle cellule in cui avviene una più intensa respirazione cellulare, ad esempio nel tessuto muscolare cardiaco.

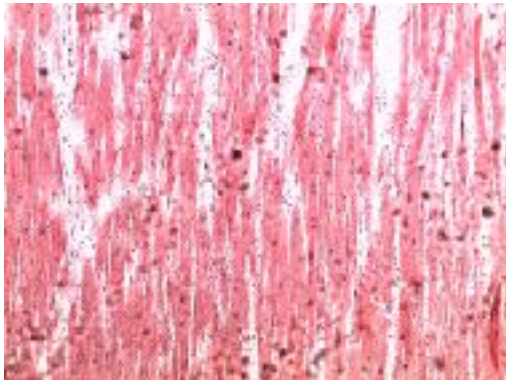


Figura 16 - Cellule del muscolo cardiaco.

Foto di Marialuisa Zangirolami

I mitocondri si moltiplicano autonomamente, grazie al proprio DNA. Essi, appena formati, vanno incontro ad un processo di differenziamento: aumentano di dimensione, sviluppano la membrana interna, aumentano le creste e quindi la superficie utile alla respirazione cellulare.

Da un punto di vista evolutivo, l'**origine dei mitocondri** delle cellule eucariotiche forse deriva dalla simbiosi tra antichi organismi procarioti e i precursori delle cellule eucariote: i mitocondri, infatti, possiedono ribosomi molto simili a quelli delle cellule procariotiche; inoltre, gli enzimi per la sintesi del proprio DNA e RNA sono molto simili a quelli delle cellule procariotiche.



SFATIAMO I LUOGHI COMUNI

Non è vero che ereditiamo tutto il DNA in pari misura da entrambi i genitori.

I mitocondri, con il loro DNA, vengono ereditati esclusivamente per via materna: i mitocondri dello spermatozoo all'atto della fecondazione non entrano nell'ovulo, quindi nello zigote i mitocondri sono quelli presenti nella sola cellula uovo.

11.4 - IL NUCLEO

Tutte le cellule eucariotiche presentano un nucleo che, con i suoi circa 10 micrometri (μm), è il più grande tra gli organelli presenti.

Nel caso di organismi pluricellulari, alcuni tipi di cellule perdono il nucleo durante il differenziamento: sono privi di nucleo i globuli rossi maturi, gli eritrociti, e le cellule che formano i tubi cribrosi, ossia i canali all'interno dei quali si muove la linfa elaborata nelle piante.

Il nucleo è delimitato da una **doppia membrana**, in cui sono presenti dei canali, i pori nucleari. Essi sono indispensabili per il passaggio di molecole anche di grosse dimensioni tra citoplasma e nucleo: in particolare permettono l'uscita del **RNA messaggero** che porta l'informazione genetica dal nucleo al citoplasma e il **RNA ribosomiale**, prodotto dai nucleoli. Attraverso i pori entrano nel nucleo le proteine che, per esempio, servono alla formazione delle subunità dei ribosomi.

Il **succo nucleare** è composto da acqua, ioni minerali, in

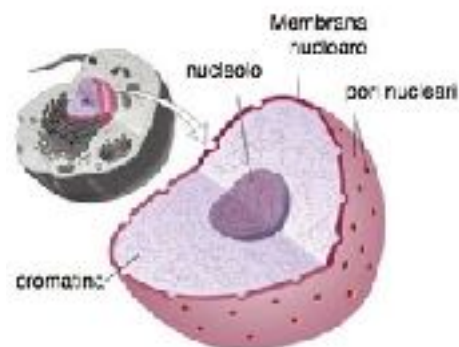


Figura 17 - Il nucleo. E' visibile la doppia membrana, con i pori nucleari. All'interno il nucleolo e la cromatina.

Fonte: www.biologycorner.com modificato

particolare Ca^{2+} , Mg^{2+} , proteine acide importanti per la regolazione genica, proteine basiche, proteine ribosomiali, nucleotidi e molecole di RNA.

Nel nucleo si trova il **patrimonio genetico o genoma** delle cellule, costituito da DNA associato a proteine basiche, gli istoni.

In molti nuclei si possono osservare delle strutture di aspetto diverso, i nucleoli. Essi sono formati da RNA

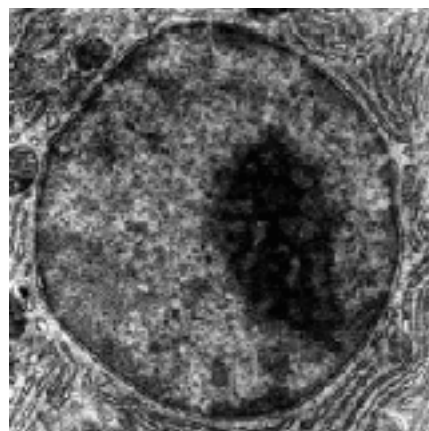


Figura 18 - Il nucleo. La macchia scura a sinistra è il nucleolo. Intorno alla membrana nucleare sono visibili le membrane ripiegate del reticolo endoplasmatico e due ribosomi. Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Micrograph_of_a_cell_nucleus.png

ribosomiale, proteine ribosomiali e soprattutto quella porzione di DNA che contiene le informazioni per la sintesi del RNA ribosomiale, che andrà a costituire i ribosomi.

Nell'intervallo di tempo tra una divisione cellulare e la successiva, il DNA è visibile in forma di un intreccio di filamenti non ben differenziati, individuati nell'insieme con il termine **cromatina**, che si colorano intensamente con particolari coloranti.

Nelle cellule degli organismi pluricellulari, la cromatina si suddivide in **eterocromatina**, più stabilmente condensata, ed **eucromatina**, meno stabilmente condensata. Le informazioni per il funzionamento cellulare vengono impartite solamente dal DNA presente nella eucromatina; quello presente nell'eterocromatina è praticamente inaccessibile.

Durante la divisione cellulare e in particolare nel corso del processo di mitosi (divisione del nucleo), la cromatina si spiralizza e compatta formando piccoli corpuscoli allungati che si colorano intensamente, i **cromosomi**. Essi sono composti da DNA, istoni e altre proteine strutturali che fungono da supporto per garantire la struttura dei cromosomi stessi.

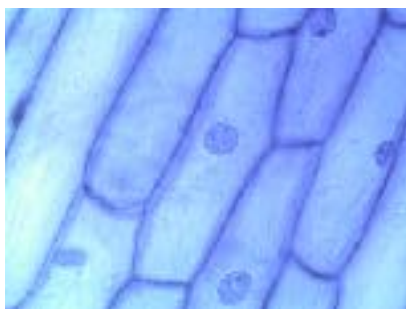


Figura 19 - Cellule di cipolla in cui sono visibili i nuclei. Le macchioline scure al loro interno sono i nucleoli. Foto di Marialuisa Zangirolami

11.5 - LE STRUTTURE DELLA CELLULA VEGETALE

11.5.1 - La parete cellulare

La parete cellulare è una struttura di rivestimento rigida che si trova all'esterno della membrana plasmatica.

Tutti i costituenti della parete vengono sintetizzati all'interno della cellula e a livello della membrana citoplasmatica: molte attività metaboliche della cellula sono rivolte alla sintesi della parete cellulare.

La parete cellulare ha diverse funzioni: dà forma, protegge e dà sostegno alla cellula.

La parete cellulare delle cellule differenziate è formata dalla lamella mediana, dalla parete primaria e dalla parete secondaria.

La cellula costruisce la propria parete cellulare in diversi momenti: la cellula, appena formata in seguito alla divisione della cellula madre, forma la lamella mediana; quasi contemporaneamente inizia la costruzione della parete primaria. Una volta che la cellula ha raggiunto la sua dimensione definitiva, essa sintetizza la parete secondaria.

La **lamella mediana** è uno strato sottilissimo di diverse sostanze che si forma grazie a vescicole prodotte dall'apparato del Golgi, che forniscono il materiale di cui è costituita. Essa è formata da **pectine**, polisaccaridi di consistenza gelatinosa e da **proteine strutturali** ed enzimatiche.

IN CUCINA

La pectina è utilizzata per addensare le marmellate.

È contenuta nella frutta, mele e agrumi, ma anche nelle carote e nelle patate.

La funzione della lamella mediana è quella di tenere unite due cellule adiacenti grazie all'azione cementante della pectina. Per mantenere la comunicazione tra le cellule, la lamella mediana è percorsa da **plasmodesmi**, piccoli canali delimitati dalla membrana cellulare e attraversati da citoplasma, da tubuli del reticolo endoplasmatico e da lipoproteine, che connettono le membrane cellulari delle due cellule.

La **parete primaria** è lo strato adiacente alla lamella mediana che inizia a formarsi contemporaneamente ad essa.

La parete primaria è flessibile, estensibile e molto resistente ed è formata da una sostanza fondamentale, detta matrice. La matrice è costituita da acqua, pectine, proteine strutturali ed enzimatiche, emicellulose, polisaccaridi formati da diversi tipi di monosaccaridi che rafforzano la parete cellulare. All'interno della matrice sono presenti fibrille costituite da cellulosa, che determina resistenza alla trazione.

La **parete secondaria** è lo strato più interno della parete cellulare. Essa non è presente in tutte le cellule e si forma al termine del periodo di accrescimento delle cellule, grazie all'apposizione di lamelle concentriche.

Anche la parete secondaria, come quella primaria, è formata da una matrice e da un sistema fibrillare, ma la matrice è scarsa e le fibrille, prevalentemente costituite da cellulosa, sono disposte in più strati.

La cellulosa nei diversi strati che costituiscono la parete secondaria è deposta in modo regolare in fasci con diverse inclinazioni a formare un reticolo rigido, diverso per i vari tipi di cellule, a seconda della loro funzione.

DIAMO I NUMERI

Spessore lamella mediana 0,1 μm

Spessore parete primaria da 0,1 a 1 μm

Spessore parete secondaria 3 – 5 μm

1 μm (micrometro) = 0,001 mm

La parete è diversa a seconda dell'età delle cellule e della loro funzione:

- nelle cellule dei vasi che trasportano la linfa grezza dalle radici alle foglie, la parete secondaria è molto spessa - anche 3-5 micron - le pareti trasversali che separano una cellula dall'altra vengono riassorbite e le cellule adulte muoiono: si formano in tal modo dei tubicini sottili entro cui scorre la linfa,
- in alcuni tessuti, come ad esempio quelli di sostegno, che formano il legno dei tronchi e rami delle piante arboree, al termine della apposizione

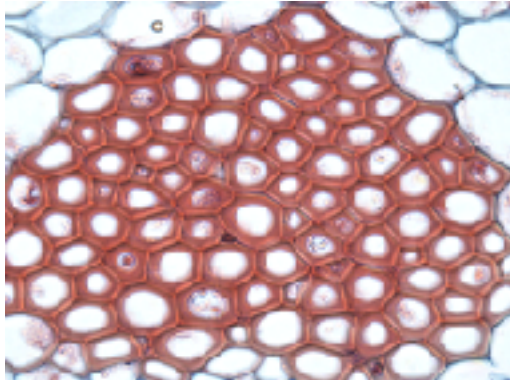


Figura 20 - Brachysclereidi, cellule del tessuto vegetale di sostegno: è evidente, in rosso la parete cellulare particolarmente ispessita. Fonte: Wikipedia

della parete secondaria la cellula muore e lo spazio interno è quasi completamente occluso (Figura 20),

- la parete secondaria delle cellule delle fibre di cotone, quelle che avvolgono i semi, è formata per il 95% da cellulosa, le microfibrille sono disposte in parallelo e impaccettate strettamente.

In alcune cellule gli spazi tra le fibre di cellulosa della parete cellulare sono riempiti di sostanze particolari che conferiscono specifiche caratteristiche. Le più importanti sono le seguenti:

- la **lignina**, che conferisce rigidità e solidità alla parete delle cellule dei tessuti che hanno funzione di sostegno o trasporto di linfa grezza dalle radici all'apparato aereo; tale sostanza è caratteristica dei tessuti legnosi delle piante arboree che si sviluppano sulla terraferma;
- la **silice**, presente nelle cellule delle Graminacee e dell'Equiseto, che rende le foglie taglienti ed aguzze



Figura 21 - Le foglie affilate delle graminacee sono taglienti per l'elevato contenuto di silice nelle pareti delle cellule.

In alcune cellule la parete è ricoperta da sostanze quali:

- la **cutina** che conferisce impermeabilità all'acqua e ai gas all'epidermide di foglie, frutti o fusti;
- la **suberina**, una sostanza idrofoba presente nel sughero, che forma la corteccia; le cellule del sughero sono morte e piene d'aria, hanno la funzione di proteggere le parti interne della pianta dalla disidratazione e dagli sbalzi termici;
- i **tannini** e **altri pigmenti**, che conferiscono al legno o ad alcuni frutti colorazione particolare, ad esempio il legno nero di Ebanò.

Figura 22 - In molti frutti la superficie esterna è impermeabile grazie alla presenza di cutina nella parete cellulare.



NON TUTTI SANNO CHE ...

gli unici organismi che degradano la lignina sono i funghi e alcuni batteri

E NEANCHE CHE ...

la lignina è responsabile dell'ingiallimento della carta dopo l'esposizione al Sole.

11.5.2 - I vacuoli

La presenza di vacuoli nelle cellule vegetali garantisce lo svolgersi di numerosi processi diversi:

- * il rapido aumento di dimensioni del vacuolo permette alle cellule vegetali in accrescimento di raggiungere rapidamente dimensioni considerevoli, senza aumentare in maniera significativa la quantità di citoplasma: allo stadio adulto, le cellule vegetali sono costituite da un unico grande vacuolo circondato da un sottile strato di citoplasma, con il nucleo e i relativi organuli cellulari
- * la presenza di un grosso vacuolo mantiene basso il rapporto tra la superficie della cellula e il volume del suo citoplasma: questo garantisce maggiore funzionalità alla cellula, facilitando gli scambi con l'esterno,
- * data l'elevata concentrazione di sostanze in esso contenute, il vacuolo tende a richiamare acqua dall'esterno: dal citoplasma e dallo spazio esterno alla cellula, lo spazio intercellulare;

INOLTRE... la tensione esercitata dall'acqua presente nel vacuolo consente di mantenere il turgore cellulare, ossia consente alla cellula di mantenersi rigonfia e turgida pur senza possedere uno scheletro rigido; quando per qualsiasi motivo l'acqua scarseggia i vacuoli perdono acqua e si disidratano e le cellule divengono flaccide: si ha il cosiddetto appassimento, un processo che riguarda le parti verdi e prive di tessuti di sostegno della pianta come foglie germogli e giovani steli; se nel giro di breve viene fornita dell'acqua, l'appassimento può essere solamente temporaneo, ma se la mancanza d'acqua dura più a lungo, l'appassimento diventa permanente e irreversibile;

Figura 23- Un rametto di *Serenella* (*Syringa vulgaris*) in stato di appassimento temporaneo.



- * i vacuoli vengono utilizzati dalle cellule come spazi interni in cui accumulare le sostanze di rifiuto del metabolismo; esse vengono temporaneamente o permanentemente racchiuse in queste strutture, senza interferire con i processi cellulari che si svolgono nel citosol;
- * Nei vacuoli vengono convogliate anche alcune sostanze coloranti come gli antociani, responsabili del colore rosso e azzurro-blu dei petali di molti fiori e delle foglie di molte piante; il colore variegato dei petali di alcuni fiori, come ad esempio le viole, è dovuto alla presenza di antociani di tipo diverso; anche le foglie di alcune piante, come i faggi rossi, gli aceri giapponesi, e di alcuni ortaggi, come il cavolo cappuccio o diversi tipi di insalate, presentano diversi toni di rosso per l'elevata concentrazione di antociani che maschera il verde della clorofilla.



Figura 24 - Genziane e Viole devono il loro colore agli antociani contenuti nel vacuolo delle cellule.



Figura 25 - Gli antociani sono responsabili anche del colore delle foglie dell'Acer giapponese (*Acer japonicum*) e della colorazione delle foglie dei vari tipi di insalata.



11.5.3 - I plastidi

I diversi tipi di plastidi sono accomunati da alcune caratteristiche:

- un involucro costituito da 2 membrane unitarie che delimitano una cavità ripiena di sostanza fondamentale (stroma). Le due membrane sono differenti non solo da un punto di vista chimico, ma anche da un punto di vista funzionale: in particolare, la membrana esterna è meno selettiva di quella interna. Entrambe sono ricche di proteine di trasporto, capaci di far avvenire il passaggio dei metaboliti tra il citoplasma e l'interno del plastidio e viceversa.
- Contengono diverse molecole di DNA circolare, RNA e ribosomi.
- Si originano tutti a partire da **proplastidi**
- Non vengono sintetizzati ex novo ma si dividono per scissione e vengono trasmessi durante la divisione cellulare.

11.5.3.1 - I proplastidi

I proplastidi sono il primo stadio di differenziamento dei plastidi; sono organuli molto semplici, delimitati da una membrana esterna e privi di sistemi interni di membrane. Essi contengono amido, ribosomi, RNA, DNA e un precursore della clorofilla. Sono in grado di sintetizzare proteine, acidi nucleici e acidi grassi.

Si differenziano nei vari tipi a seconda:

- del tessuto a cui appartengono
- delle condizioni ambientali.

Le trasformazioni da una classe all'altra sono determinate da:

- fattori genetici (ad es. organo e tessuto cui la cellula appartiene)
- fattori genetici (ad es. organo e tessuto cui la cellula appartiene)
- fattori ambientali (es. luce)

In presenza di luce i proplastidi si differenziano in cloroplasti, nei tessuti radicali di tutte le piante e nei tessuti vivi del fusto legnoso delle piante arboree in amiloplasti.

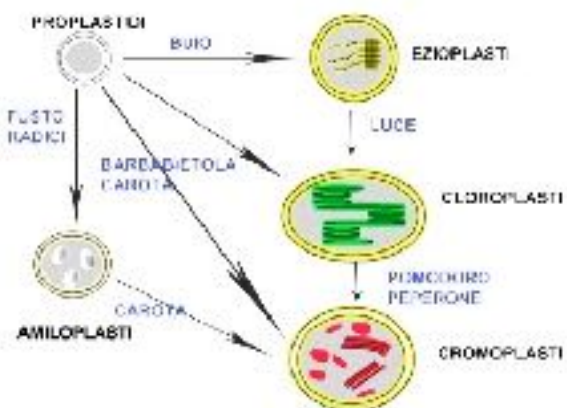


Figura 26-- Differenziazione dei plastidi

Se una parte dei tessuti aerei delle piante, foglie o giovani fusti, sono privati della luce, nei proplastidi non viene sintetizzata la clorofilla e quindi la fotosintesi non può avvenire: ciò blocca lo sviluppo dei plastidi che si trasformano in **ezioplasti**. Gli ezioplasti sono plastidi adulti con sviluppo incompleto, privi di sistemi interni di membrane, contenenti un precursore della clorofilla. In queste condizioni, i tessuti vegetali restano chiari. In orticoltura si ottengono finocchi, sedano bianco, asparagi, porri, insalata "belga" coprendoli alla base con del terreno in modo che non vengono colpiti dalla luce. Se questi tessuti vengono successivamente esposti alla luce, gli ezioplasti nel giro di un paio di giorni possono trasformarsi in cloroplasti ed essi assumono in breve il colore verde.



Figura 27 - Tra gli ortaggi alcuni, come i finocchi o i porri sono coltivati coprendo con la terra una parte della pianta che, non ricevendo luce, resta bianca.

11.5.3.2 - I cloroplasti

I cloroplasti hanno la forma di una lente biconvessa e, come i mitocondri, sono in grado di moltiplicarsi in maniera indipendente dal nucleo cellulare. Il sistema di membrane interne compone i **tilacoidi**, vescicole discoidali appiattite, impilate l'una sopra l'altra e collegate tra loro. I cloroplasti si distinguono al microscopio perché sono di colore verde; il loro colore è dovuto alla presenza di **clorofille**.

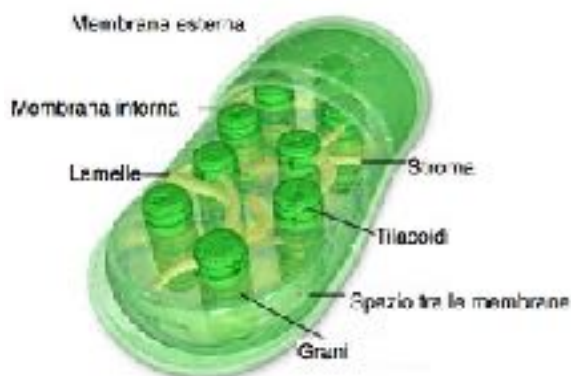


Figura 28 - L'interno di un cloroplasto. Il sistema di membrane: nel dettaglio i tilacoidi del grana.

Nei cloroplasti avviene la fotosintesi clorofilliana: essa consiste nella trasformazione di anidride carbonica e acqua in glucosio e ossigeno molecolare, grazie all'energia ricavata dalla luce solare.

Oltre alla clorofilla, nei cloroplasti si trovano altri pigmenti: i carotenoidi gialli (xantofille), rosso-arancio (carotene) e rossi (licopene). I carotenoidi svolgono una duplice funzione: assorbono e trasferiscono energia luminosa alla clorofilla e la proteggono dai processi di fotodistruzione.

La presenza dei carotenoidi si rende evidente in autunno quando, nelle foglie che si apprestano a cadere, la clorofilla viene demolita: di conseguenza le foglie assumono varie tonalità di colore, dal giallo pallido al rosso cupo.



Figura 29 - Le foglie dei giovani germogli di una pianta di rose sono di colore scuro perché contengono carotenoidi. A destra foglie di castagno (*Castanea sativa*)

Nella matrice plastidiale, detta stroma, sono presenti granuli di amido, a cui si dà il nome di amido primario. Esso si forma durante le ore di luce, in quanto la velocità con cui il glucosio è prodotto per fotosintesi è maggiore della velocità con cui esso può essere rimosso e distribuito al resto della pianta. Durante il giorno si formano quindi piccoli granuli di amido, che viene idrolizzato durante la notte: in questo modo il glucosio ottenuto è reso disponibile per nutrire i vari tessuti dell'organismo vegetale.

I cloroplasti sono organelli semiautonmi, in quanto contengono nella matrice ribosomi simili a quelli caratteristici di batteri e mitocondri, RNA di trasporto, RNA messaggero, RNA ribosomiale e DNA. Il DNA dei cloroplasti contiene le informazioni per la sintesi di alcune proteine che vengono sintetizzate autonomamente dai ribosomi in essi contenuti. La loro attività fotosintetica, tuttavia, non è autonoma, in quanto la maggior parte dei relativi enzimi vengono sintetizzati seguendo le informazioni contenute nel DNA della cellula.

11.5.3.3 - I leucoplasti o amiloplasti

I leucoplasti possiedono un'elevata capacità di trasformare glucosio in amido e viceversa; nello stroma, oltre a ribosomi e DNA, si trovano grandi quantità di amido, suddiviso in uno o più granuli, dalla forma tipica della specie di appartenenza.

I leucoplasti si trovano nei tessuti vegetali specializzati nella funzione di riserva energetica.

Al momento della ripresa vegetativa o, nel caso dei semi, al momento della germinazione, l'amido viene idrolizzato in glucosio. Il glucosio così ottenuto costituisce il substrato energetico che consente agli embrioni contenuti nei semi e alle piante prive di foglie la rapida formazione di un apparato fogliare che le renda in breve tempo capaci di effettuare un'attività fotosintetica autonoma.

nel caso di pomodori, peperoni e arance durante il processo di maturazione, o da leucoplasti, ad esempio nel caso delle carote.



Figura 30 - Semi di legumi.
In basso: fagioli e cannellini, verso sinistra: lenticchie decorticate (rosse), lenticchie, azuki verdi e rossi (soia), ceci e cicerchie.

11.5.3.4 - I cromoplasti

I cromoplasti, plastidi privi di clorofilla, sono tipicamente presenti in moltissimi fiori e frutti, ai quali impartiscono colorazioni che vanno dal giallo, all'arancio, al rosso. Essi possono differenziarsi direttamente dai proplastidi, o per trasformazione successiva dei cloroplasti, come



Figura 31 - Un'esplosione di colori al mercato di Barcellona. Foto di Taina Bassani

DOMANDE DI FINE CAPITOLO

1. Ricopia la tabella e compilala indicando tutti gli organuli e strutture cellulari che hai studiato, aggiungendo le righe necessarie.

tipo di organulo	cellula animale	cellula vegetale	funzione specifica

2. Che cosa sono i lisosomi?

3. Quali sono le funzioni del nucleo?

4. Quali strutture caratterizzano specificamente la cellula vegetale?

5. Quali ruoli svolge il vacuolo all'interno della cellula vegetale?

6. Indica quali sono le categorie di plastidi presenti in un vegetale.
7. Descrivi struttura e funzioni dei ribosomi.

8. Qual è la composizione e il ruolo del citoscheletro?

9. Quali sono caratteristiche e componenti della parete secondaria?

10. Come cambia la parete secondaria in funzione dell'età della cellula?

11. Descrivi la struttura dei cloroplasti.

