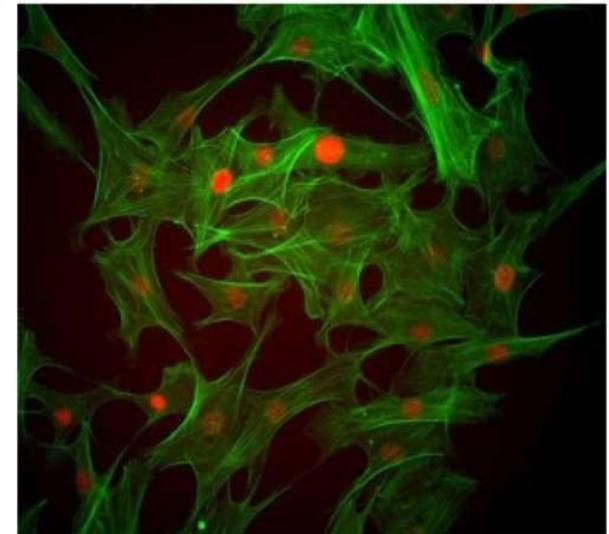
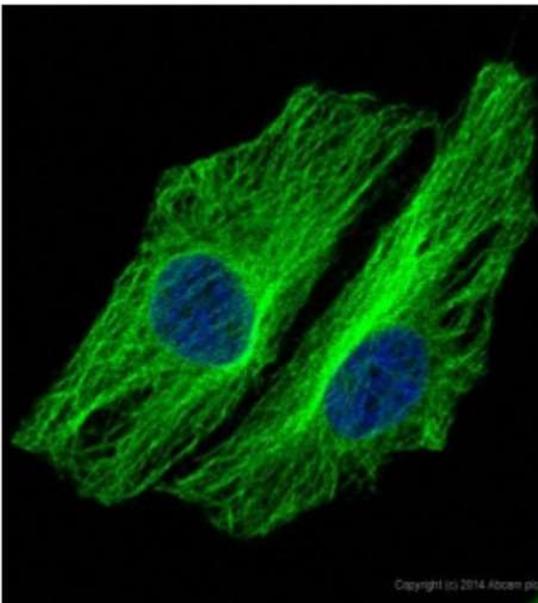
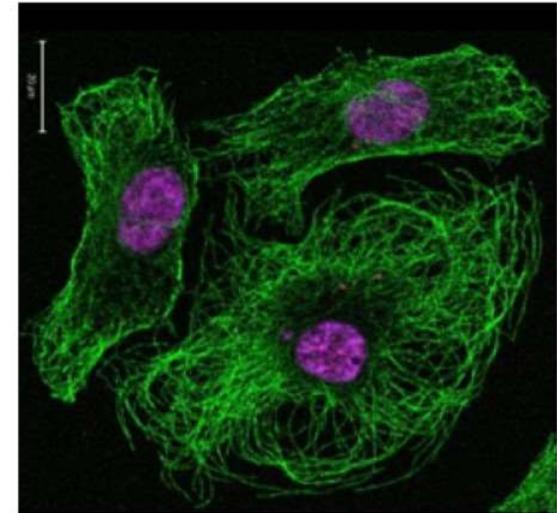
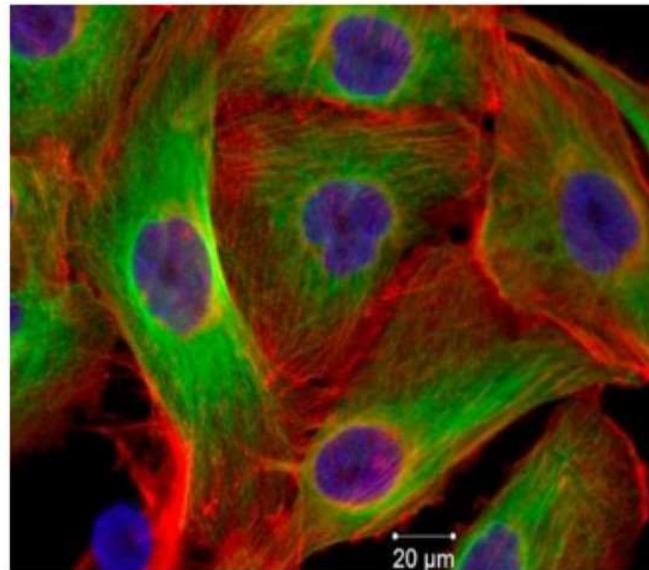
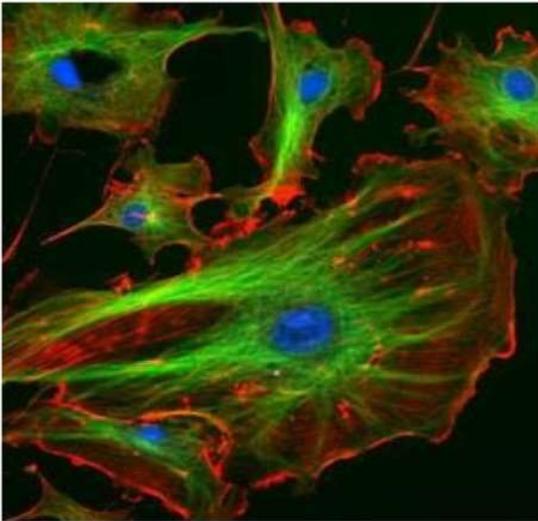


# La cellula eucariotica e i suoi organuli

## CITOSCHELETRO



Principi di Biologia e Genetica  
Scienze Motorie

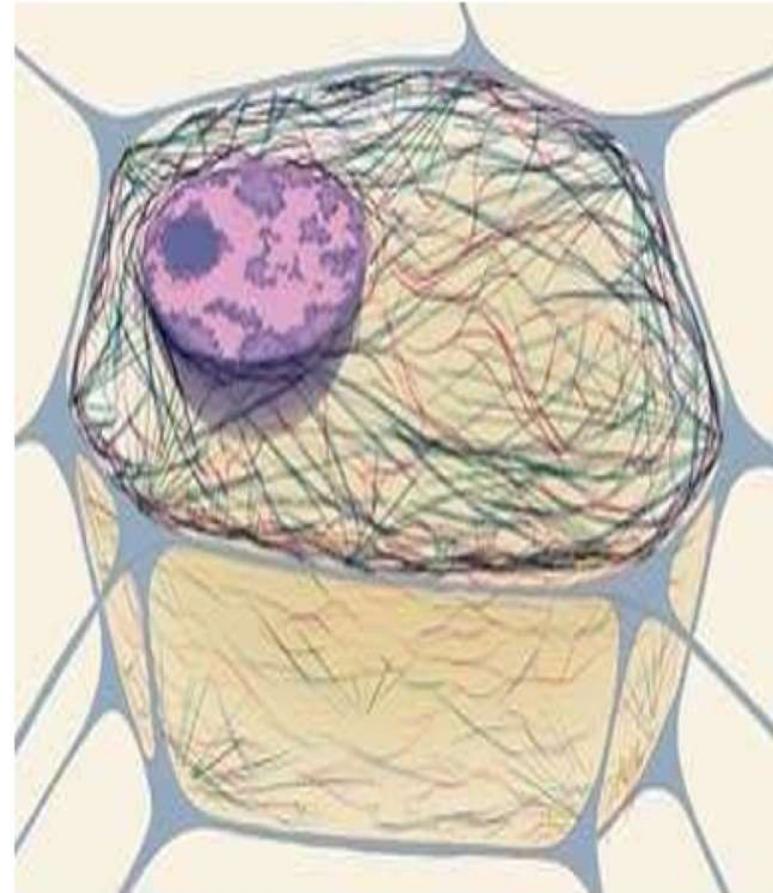
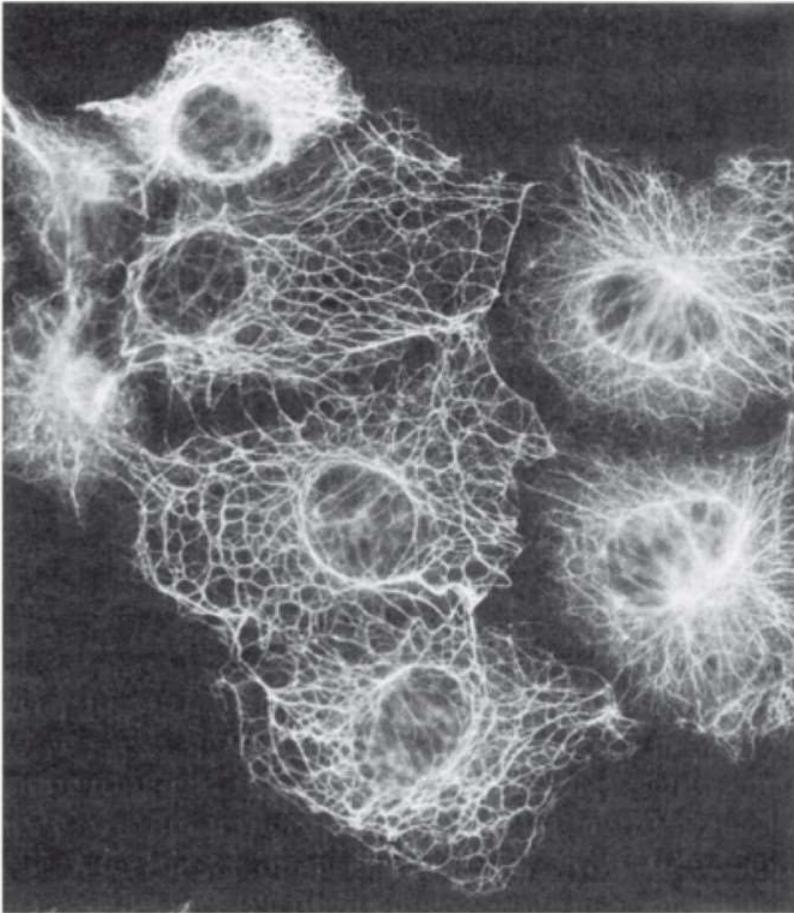
2021-22

Dr ssa Elisa Mazzoni



# CITOSCHELETRO

**Figura 2.81 Il citoscheletro.** Una rete intricata di filamenti che si estende per tutto il citoplasma delle cellule eucariotiche.



## CITOSCHELETRO FUNZIONI

**Fornisce alle cellule eucariotiche le capacità di:**

- Supporto meccanico**
- Adottare varie forme**
- Organizzare i numerosi componenti interni**
- Interagire meccanicamente con l'ambiente**
- Trasportare le vescicole e gli organelli nel citoplasma**
- Muoversi in maniera coordinata con ciglia e flagelli**
- Divisione cellulare**



# FILAMENTI DEL CITOSCHELETRO

## caratteristiche principali

1. Microtubuli: (i) determinano le posizioni degli organelli e (ii) dirigono il trasporto intracellulare degli organuli e vescicole (iii) determinano la formazione del fuso mitotico e movimento dei cromosomi (iv) costituiscono ciglia e flagelli per la locomozione cellulare
2. Filamenti di actina (microfilamenti): determinano la forma della superficie cellulare (ii) sono necessari per la locomozione dell'intera cellula (lamellipodi, filipodi); (iii) determinano la divisione cellulare con l'anello di contrazione e (iv) permettono la contrazione interagendo con la miosina
3. Filamenti intermedi: forniscono forza meccanica e resistenza agli stress (involucro nucleare, assoni)

Proteine accessorie sono essenziali per l'assemblaggio controllato dei filamenti del citoscheletro, comprendono i *motori proteici* che muovono gli organelli o i filamenti stessi.



# Microtubuli

I microtubuli sono lunghi cilindri cavi composti dalla proteina tubulina (alfa e  $\beta$  tubulina) con diametro esterno di 25 nm

Sono molto più rigidi dei filamenti di actina e dei filamenti intermedi

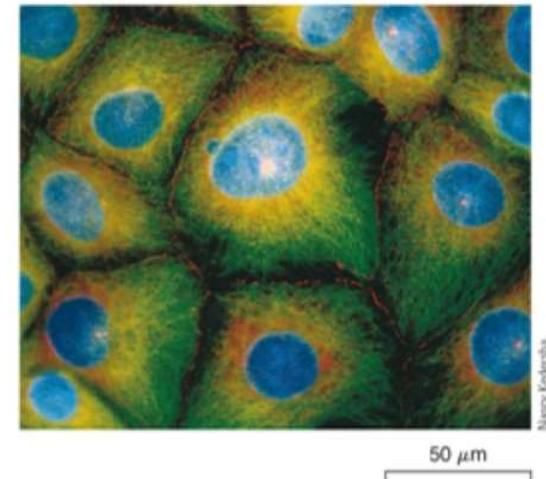
I microtubuli sono lunghi e dritti e in genere hanno una estremità attaccata ad un singolo centro organizzatore dei microtubuli (Micro tubule- organizing center, MTOC) chiamato centrosoma.

**Contribuiscono alla struttura della cellula**

**Contribuiscono al posizionamento degli organuli nella cellula, guidandoli nei loro movimenti all'interno del citoplasma**

**Dirigono il movimento dei cromosomi quando la cellula si divide (mitosi)**

**I microtubuli costituiscono Ciglia e Flagelli per il movimento cellulare**



(b) Immagine al microscopio ottico a fluorescenza confocale in cui i microtubuli sono visibili in verde. Un centro di organizzazione dei microtubuli (macchia rosa) è visibile accanto o sopra buona parte dei nuclei cellulari (blu).

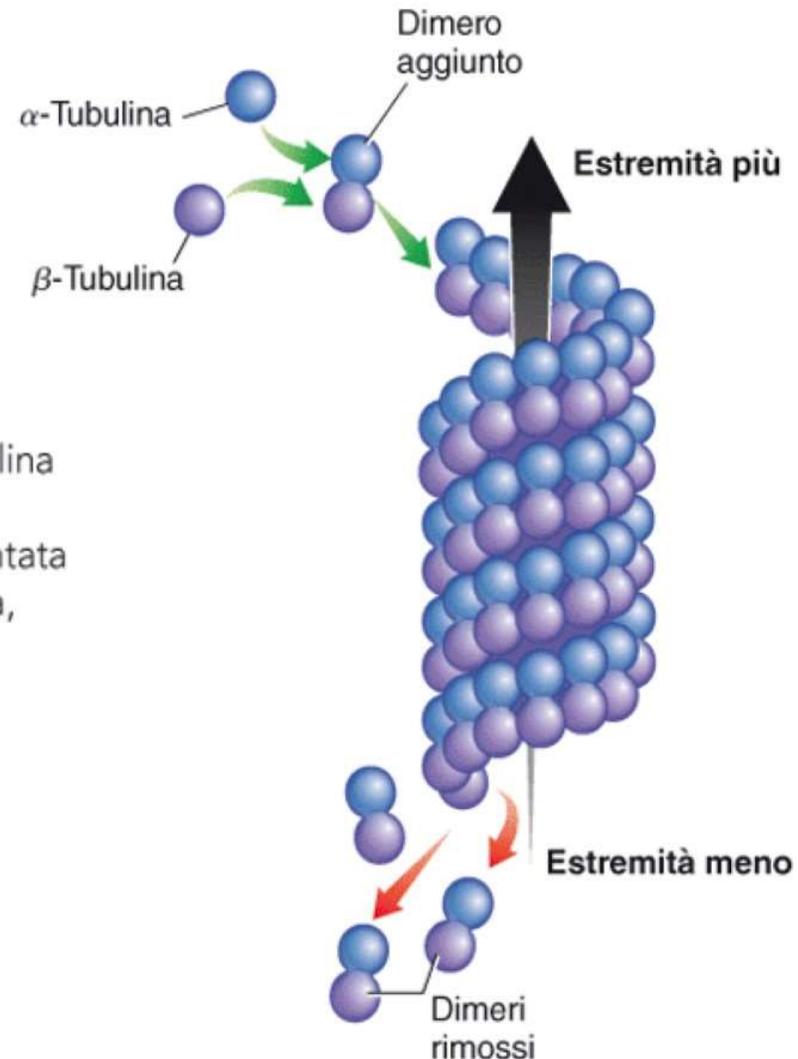
**Figura 4-23** Organizzazione dei microtubuli



# Microtubuli

**Struttura e allungamento:**

**I microtubuli si allungano aggiungendo dimeri di alfa e beta tubulina nell'estremità più ed accorciarsi eliminando dimeri**

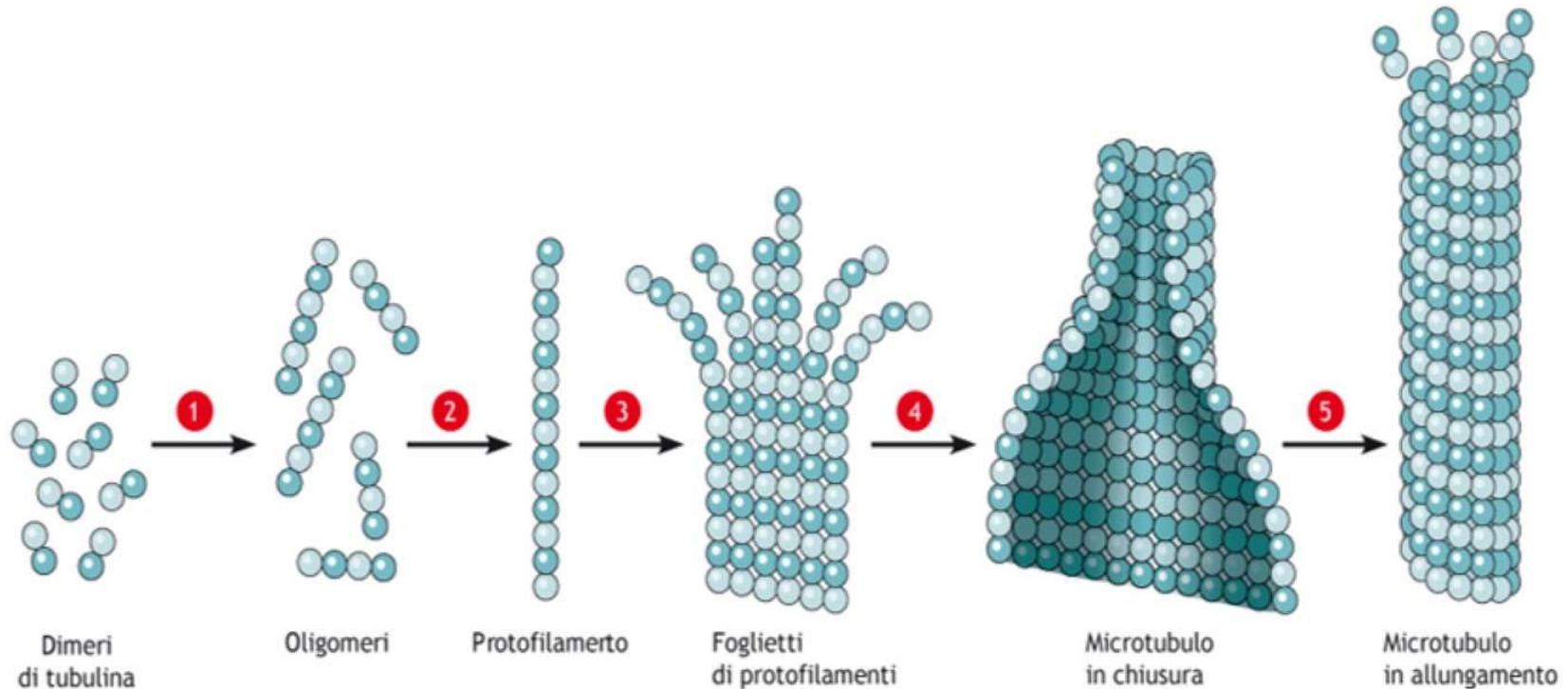


**(a)** Microtubuli vengono a formarsi all'interno della cellula per aggiunta di dimeri di  $\alpha$ -tubulina e  $\beta$ -tubulina a una estremità del cilindro cavo. È da notare che il cilindro possiede una polarità. L'estremità rappresentata nella parte alta della figura è quella a crescita rapida, o estremità più; quella opposta è l'estremità meno. Per ogni giro di spirale sono necessari 13 dimeri.



# Microtubuli

I microtubuli si assemblano a partire da dimeri di tubulina



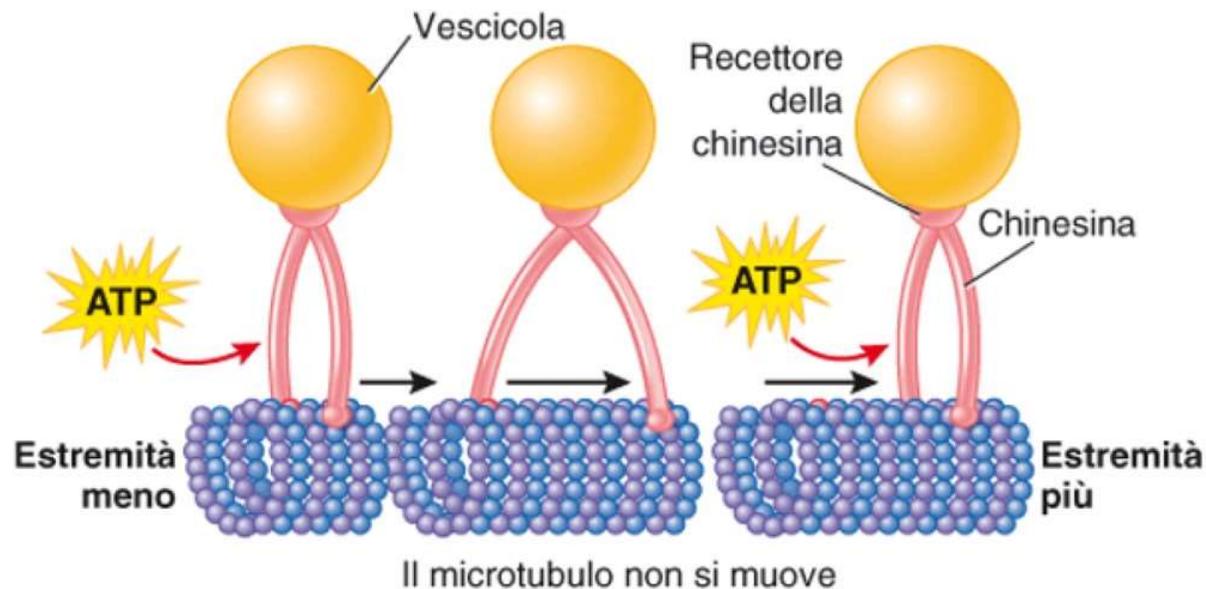
**Figura 2.91** I microtubuli *in vitro* si assemblano a partire da dimeri di tubulina  $\alpha\beta$ . Una molecola di tubulina  $\alpha$  ed una molecola di tubulina  $\beta$  si associano strettamente a formare un eterodimero  $\alpha\beta$ . Inizialmente essi si aggregano casualmente in oligomeri (1) e solo in seguito si formano delle strutture lineari che sono i singoli protofilamenti (2); unendosi tra di loro lateralmente i protofilamenti formano dei foglietti (3) e, successivamente, i foglietti formati da 13 protofilamenti si chiudono a formare un tubulo (4); una volta chiuso, il microtubulo può allungarsi per aggiunta di altre subunità alle estremità (5).



# Microtubuli e Disposizione degli Organuli

Contribuiscono al posizionamento degli organuli e vescicole nella cellula, guidandoli nei loro movimenti all'interno del citoplasma

## Proteine motrici



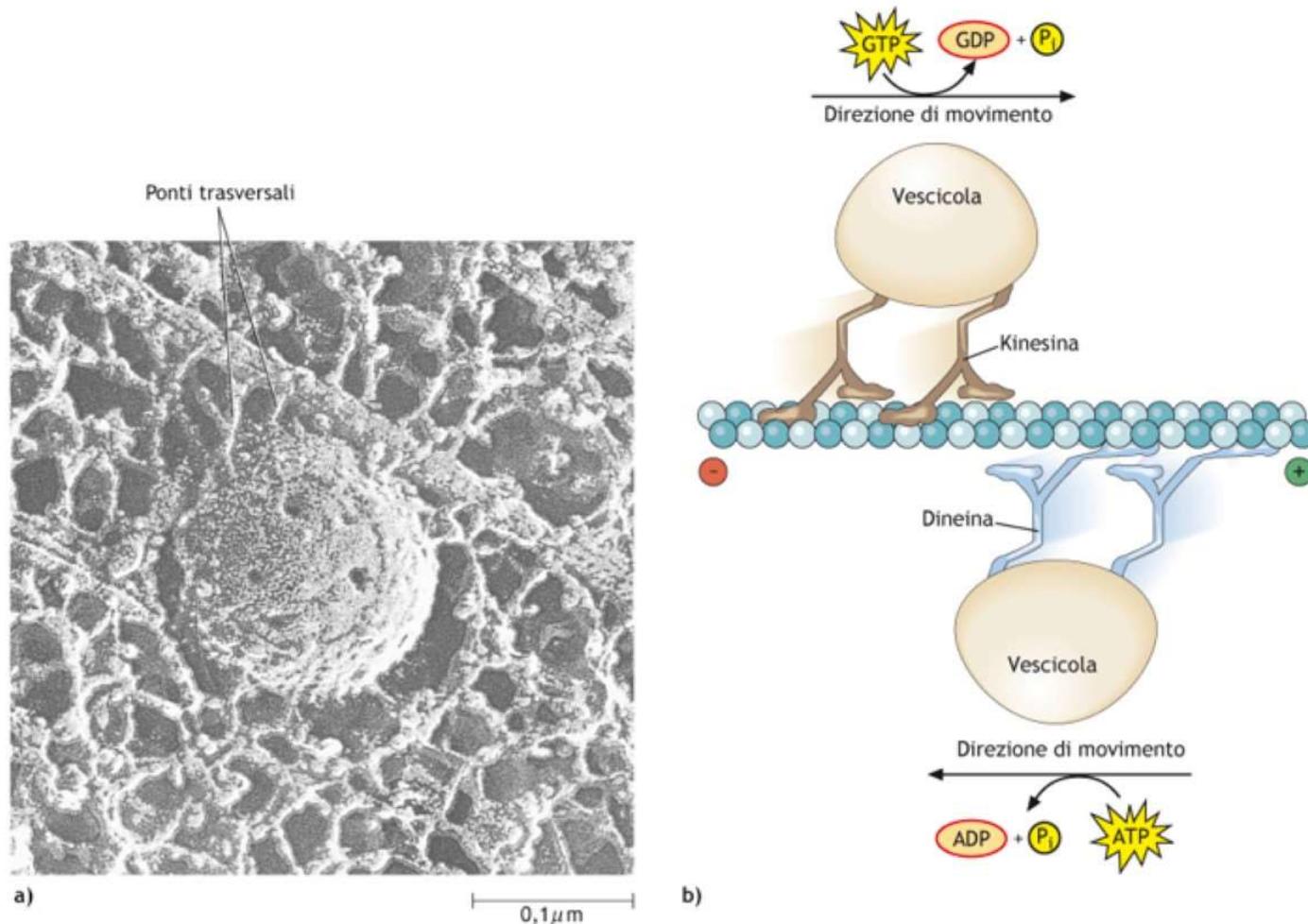
### **Figura 4-24** Modello ipotetico di un motore di chinesina

Una molecola di chinesina si attacca a uno specifico recettore sulla vescicola. L'energia fornita dall'ATP permette alla molecola di chinesina di cambiare conformazione e di "camminare" lungo il microtubulo, portandosi dietro la vescicola. (Le dimensioni relative sono state rese sproporzionate per chiarezza).



# Microtubuli

## Proteine motrici

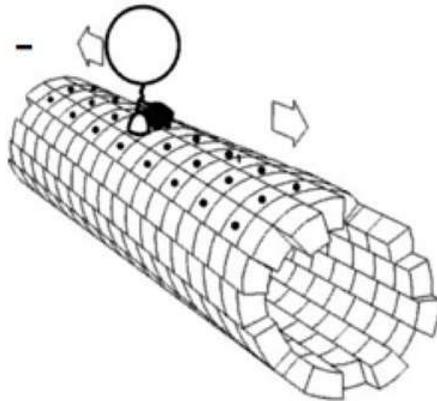
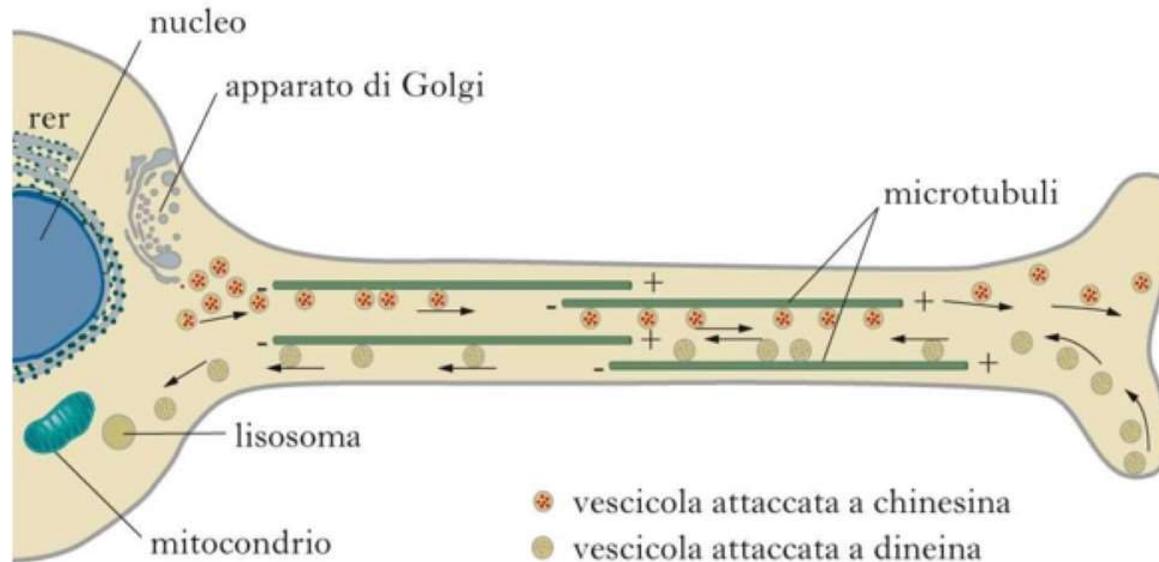


**Figura 2.94 Kinesina e dineina.** (a) Micrografia elettronica di una molecola di dineina ed una di kinesina. (b) Queste proteine che risultano molto complesse, si legano ai microtubuli e li percorrono in direzione opposta: rispettivamente la dineina verso l'estremità *minus* e la kinesina verso l'estremità *plus*.



# Microtubuli

## Proteine motrici



Chinesina → (+) Anterogrado  
Dineina ← (-) Retrogrado

**Chinesina.** Il movimento è unidirezionale e avviene verso l'estremità (+) del microtubulo. In pratica la polarità del trasporto è quello anterogrado, dal centro della cellula verso la periferia, ed è quello che si realizza nel caso delle vescicole di secrezione.

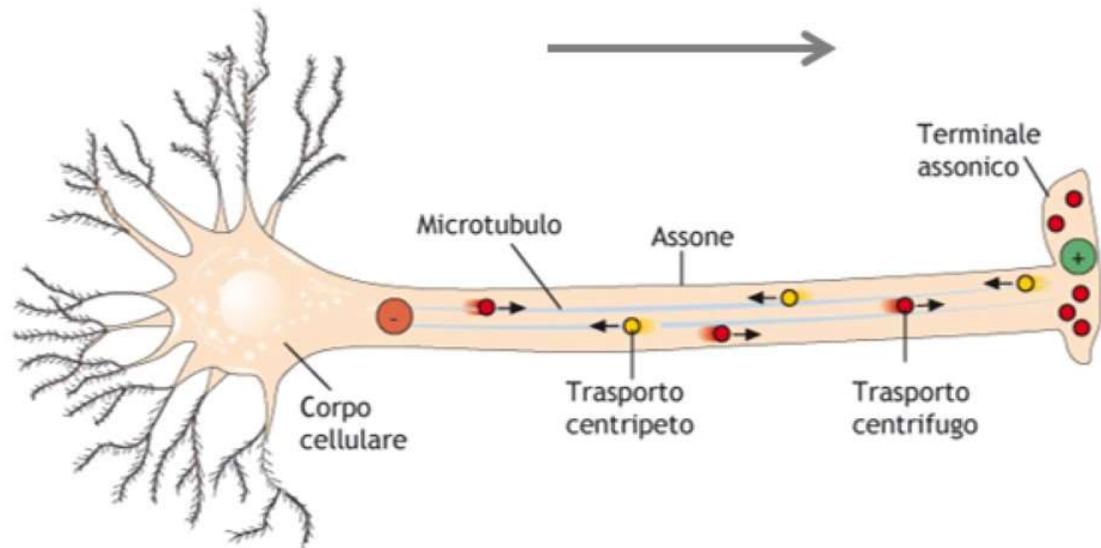
Il movimento della dineina avviene verso l'estremità (-) del microtubulo, mediando così il trasporto retrogrado.



# Microtubuli

## Cellula nervosa

**Figura 2.95** Trasporto attraverso l'assone di una cellula nervosa, lungo i numerosi microtubuli che sono orientati tutti allo stesso modo e cioè con la estremità più diretta verso la terminazione assonica. Questo movimento verso il terminale (anterogrado, centrifugo) è facilitato dalla presenza di alcune proteine motrici, mentre il movimento in direzione opposta (retrogrado, centripeto) è dovuto alla presenza di altre proteine motrici.



La Chinesina trasporta le vescicole sul microtubulo con movimento anterogrado nell'assone della cellula nervosa



# Microtubuli

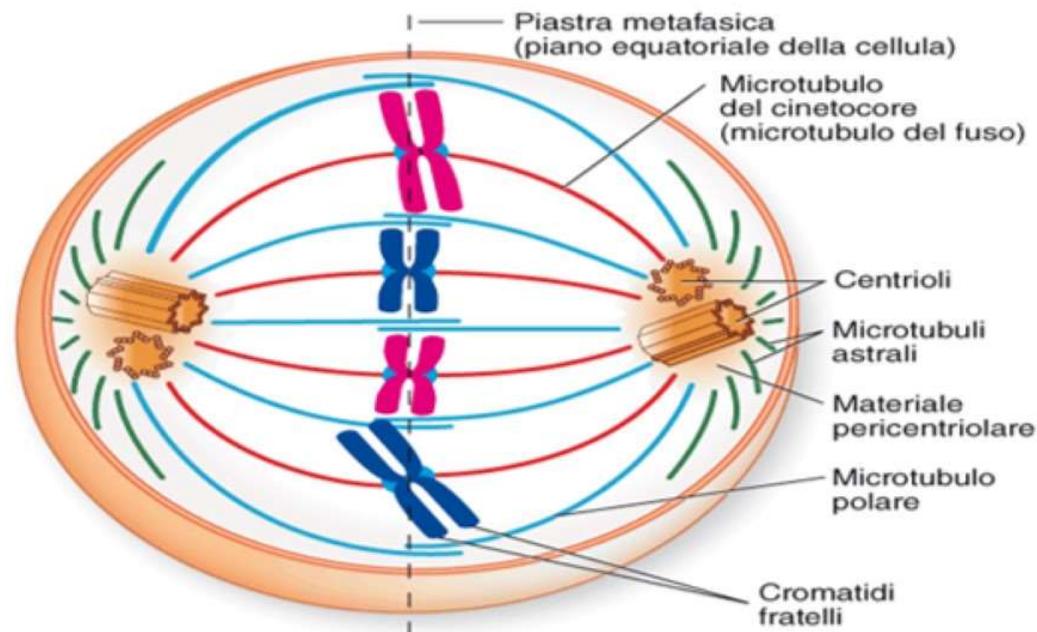
Il fuso mitotico è formato da microtubuli

I microtubuli hanno una estremità attaccata ad un

**centro di organizzazione dei microtubuli**, Micro tubule-organizing center (MTOC).

Nelle cellule animali il centro **di organizzazione** è il centrosoma, costituito da due centrioli

**Centrosomi e Centrioli svolgono un ruolo chiave nella divisione cellulare dirigendo il movimento dei cromosomi quando la cellula si divide.**

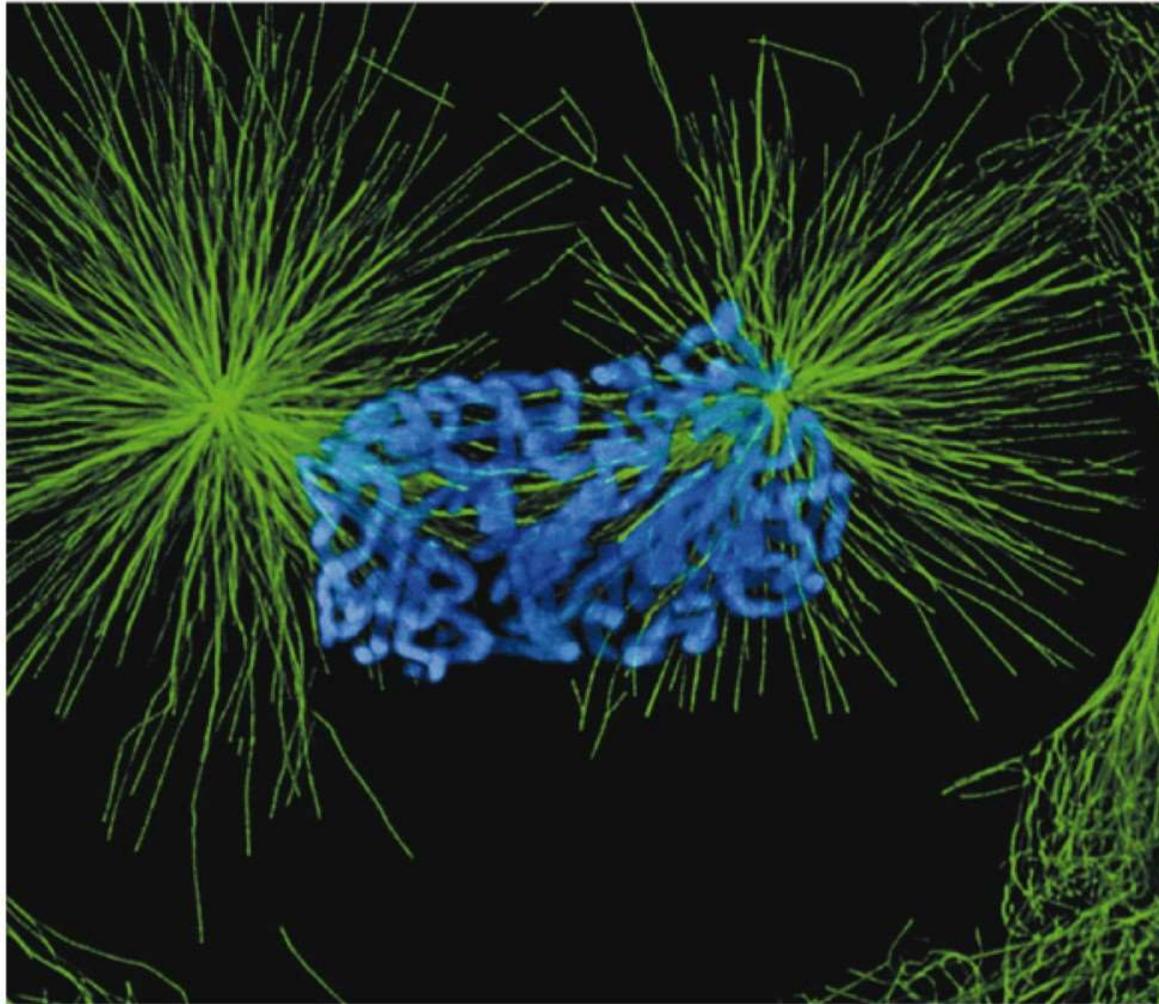


**Figura 10-9 Il fuso mitotico**

Un'estremità di ciascun microtubulo di questa cellula animale è collegata a uno dei poli. I microtubuli astrali (*in verde*) si irradiano in ogni direzione formando l'aster, quelli del cinetocore (*in rosso*) collegano i cinetocori ai poli, quelli polari (*in blu*) si sovrappongono sul piano equatoriale.



# I MICROTUBULI DEL FUSO MITOTICO



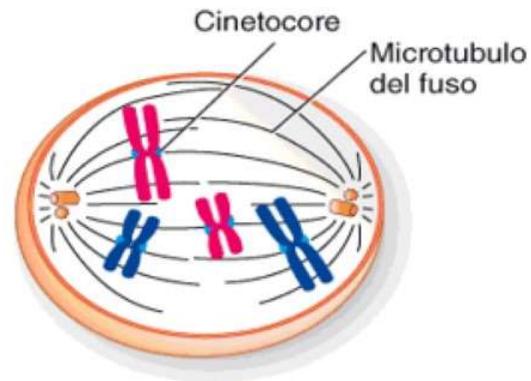
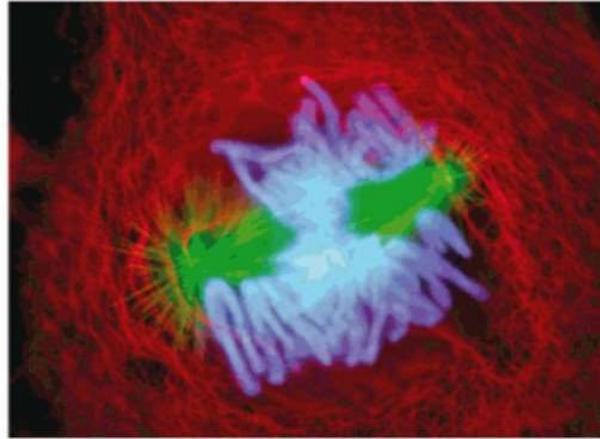
Alexey Khodjakov, Wadsworth Center, Albany, NY

**Fotografia al microscopio ottico di una cellula di tritone in coltura durante la mitosi (prometafase precoce).** L'involucro nucleare si è disgregato e i microtubuli del fuso mitotico (*in verde*) interagiscono con i cromosomi (*in blu*).



# I MICROTUBULI DEL FUSO MITOTICO

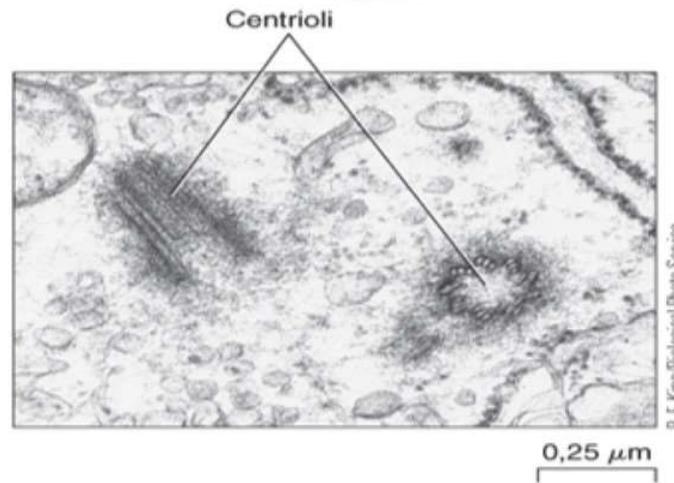
## PROMETAFASE



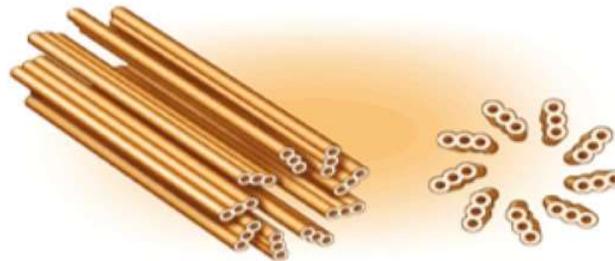
(c) I microtubuli del fuso si attaccano ai cinetocori dei cromosomi. I cromosomi cominciano a spostarsi verso il piano equatoriale della cellula.



# Microtubuli



(a) Nell'immagine MET, i centrioli sono sistemati ad angolo retto vicino al nucleo di una cellula animale che non si sta dividendo.



(b) È da notare l'arrangiamento  $9 \times 3$  dei microtubuli. Il centriolo a destra è stato tagliato trasversalmente.

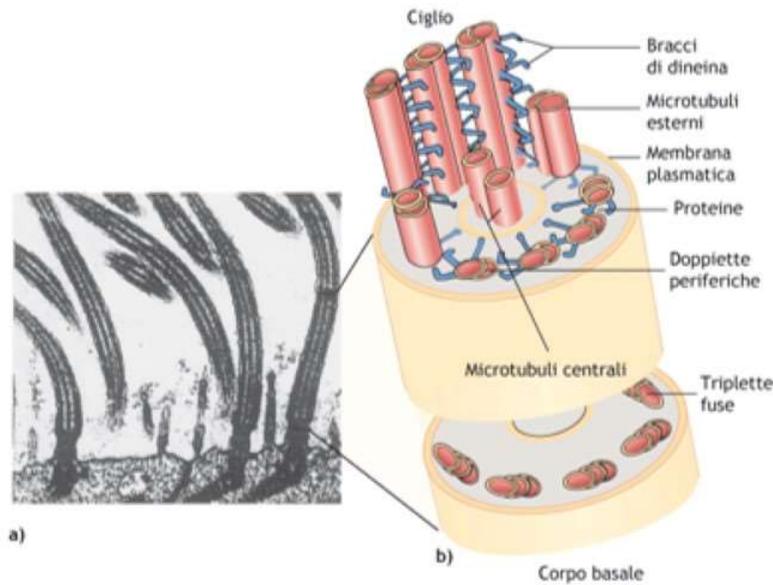
Il centriolo ha  
arrangiamento  
 $9 \times 3$  dei  
microtubuli

**Figura 4-25 Centrioli**

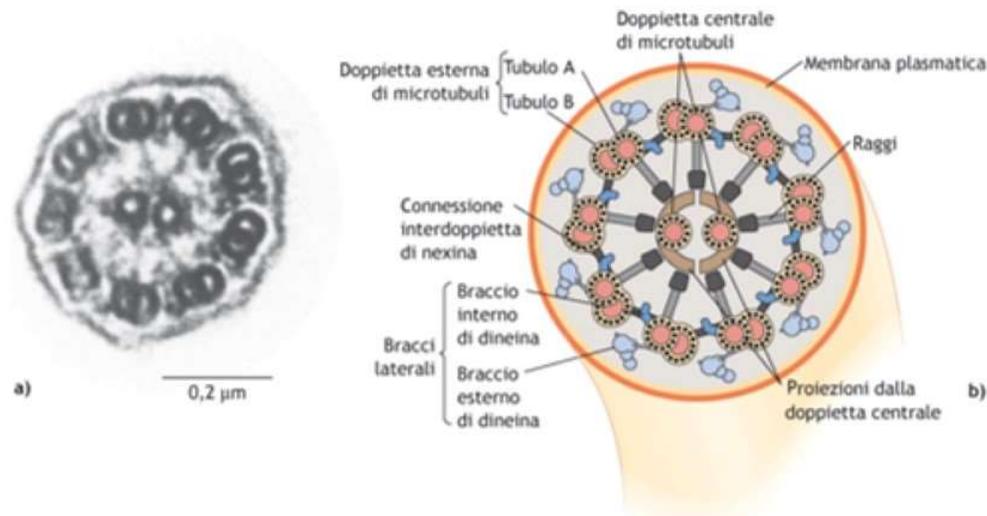


# CIGLIA E FLAGELLI SONO COSTITUITI DA MICROTUBULI

Le ciglia hanno  
arrangiamento 9+2  
dei microtubuli del  
corpo basale



**Figura 2.97 Struttura di un ciglio.** (a) Sezioni longitudinali di ciglia di cellule epiteliali dell'invertebrato *Ciona intestinalis*, in cui sono visibili le doppiette centrali e laterali. (b) Schema di sezioni trasversali di assonemi con la ricostruzione della caratteristica disposizione 9 + 2 dei microtubuli corrispondenti al ciglio e al corpo basale.



**Figura 2.98 Struttura dell'assonema.** (a) Sezione trasversale di un ciglio visto al microscopio elettronico. (b) Schema corrispondente.



Un ciglio è costituito da microtubuli in una disposizione 9 + 2 circondati dalla membrana plasmatica; la proteina dineina sposta i microtubuli formando e rompendo ponti trasversali su coppie adiacenti di microtubuli.

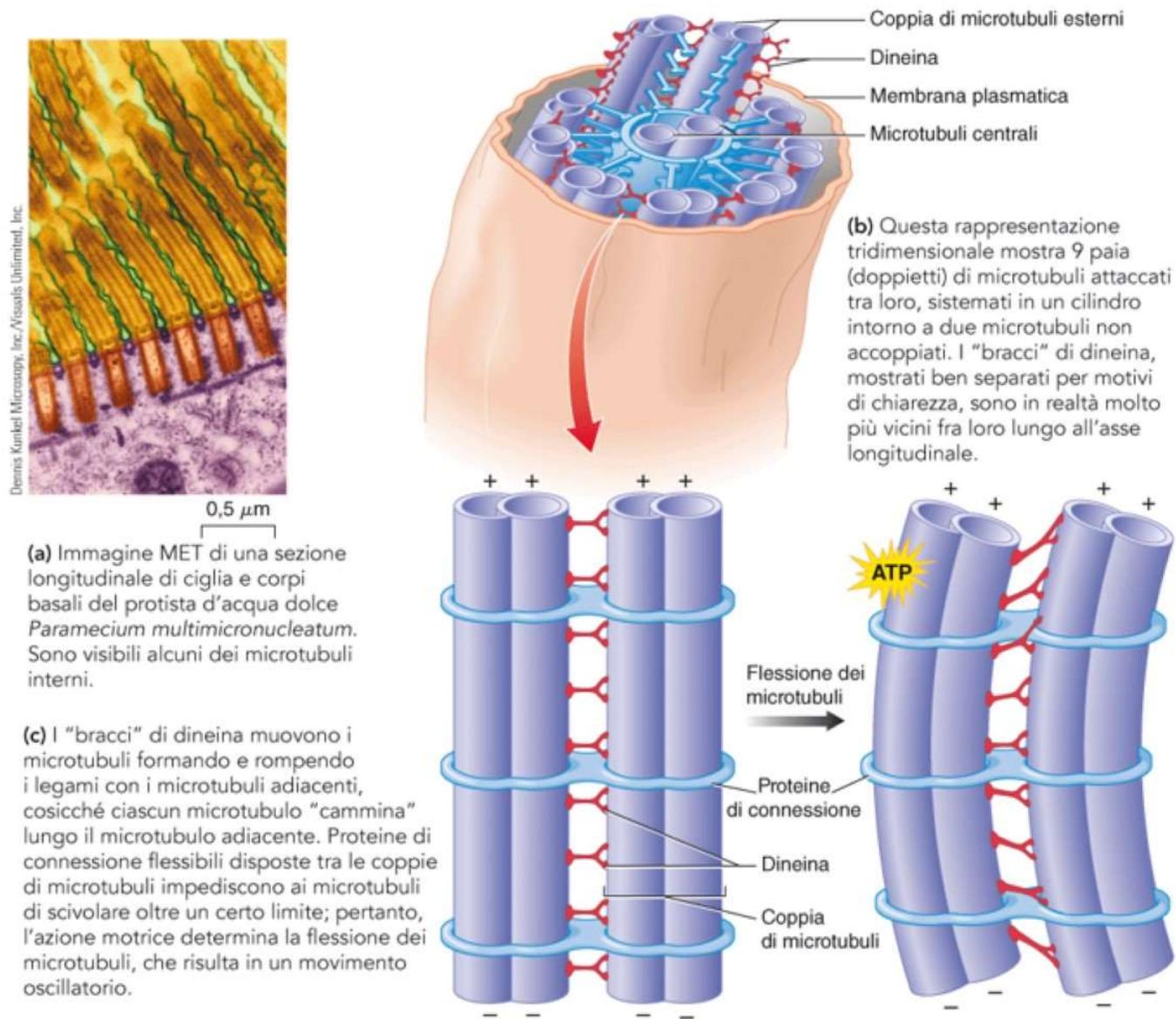


Figura 4-26 Struttura e movimento delle ciglia



grazie!

