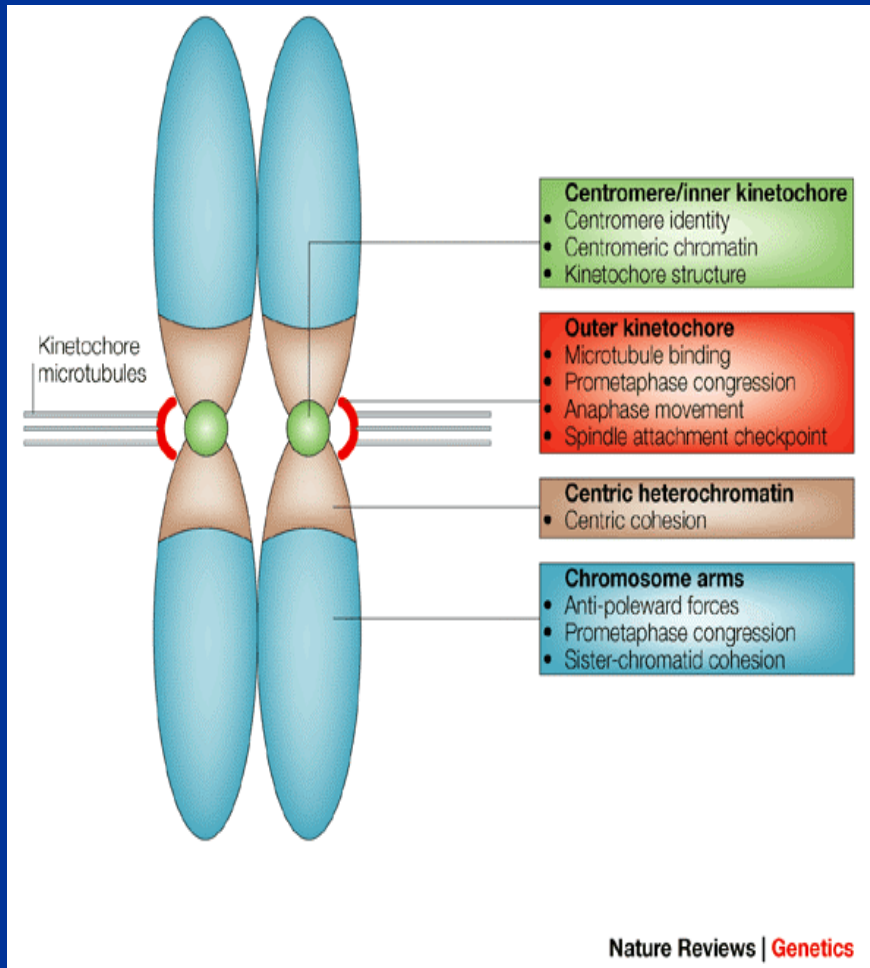


Il centromero



Nel **1880 Walther Flemming** definì i **centromeri** come **costrizioni primarie** citologicamente visibili sui cromosomi.

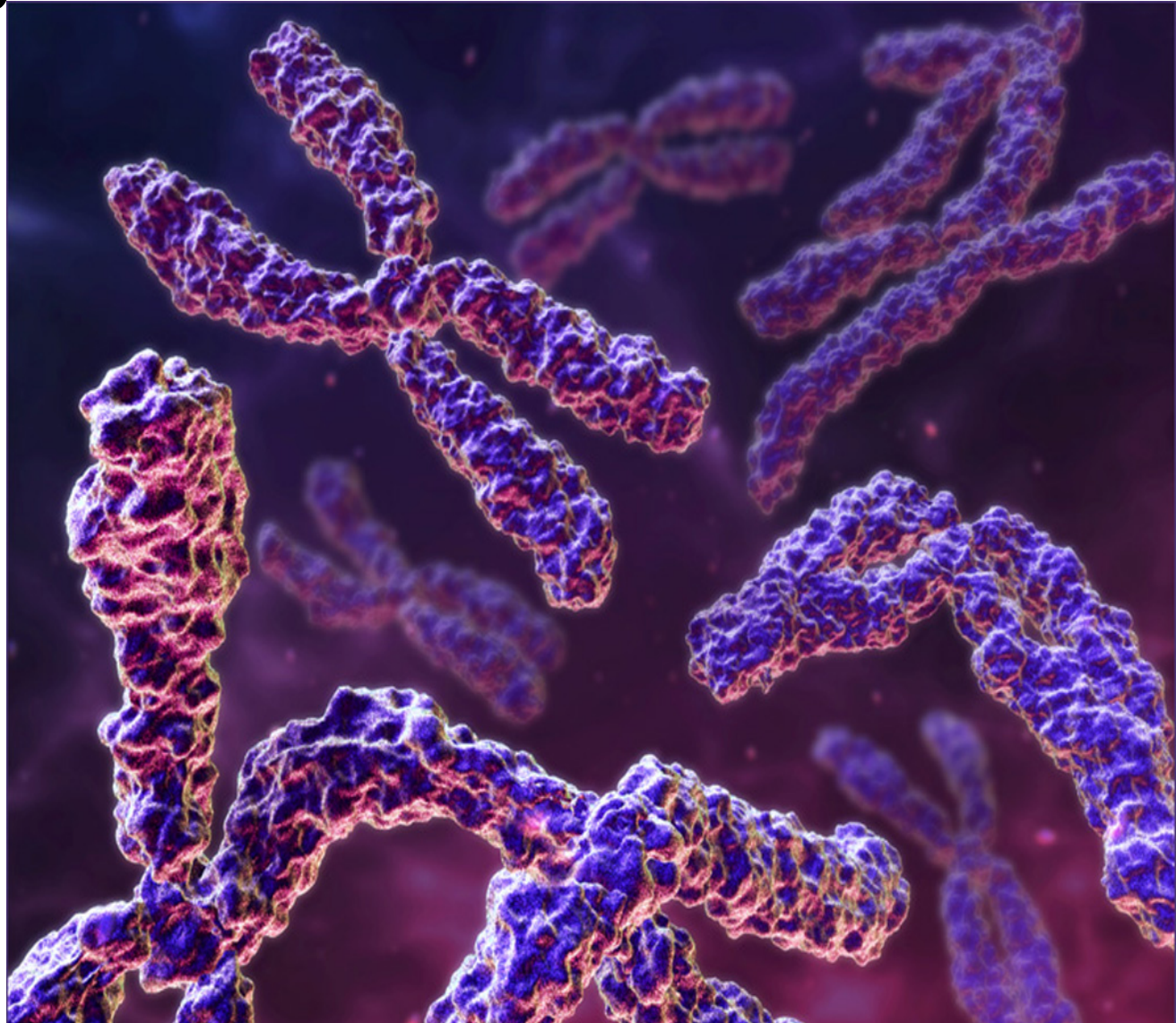
Agli inizi del 1900 i centromeri vennero definiti geneticamente come siti cromosomici essenziali per la normale ereditarietà e come regioni dove la ricombinazione meiotica era ridotta o assente.

Il centromero è il locus necessario per la segregazione cromosomica. E' una regione specializzata del cromosoma eucariotico necessaria per la **formazione del cinetocore**, l'attacco del fuso mitotico e il movimento dei cromosomi durante la meiosi e la mitosi.

Il centromero, quindi, assicura la stabilità genetica ed è quindi di vitale importanza.

Il centromero

Il centromero (o regione CEN) è una regione specifica del cromosoma eucariotico. Storicamente è definito come "costrizione primaria del cromosoma" in quanto corrisponde alla regione in cui il cromosoma condensato (chiamato anche mitotico) risulta più sottile, assomigliando a una sorta di strozzatura decentrata.



CENTROMERO

Sebbene il ruolo svolto dal centromero sia altamente conservato tra gli eucarioti, è ormai da molti anni evidente il fatto che la morfologia varia in maniera sorprendente.

Cromosomi monocentrici

Interagiscono con i microtubuli in una particolare regione e si muovono verso i poli in anafase seguendo il centromero.

Cromosomi olocentrici

Si legano ai microtubuli lungo tutto il cromosoma. Sono diffusi nel regno vegetale ed animale. Possono essere il prodotto di un'evoluzione convergente oppure possono rappresentare il modello centromerico ancestrale.

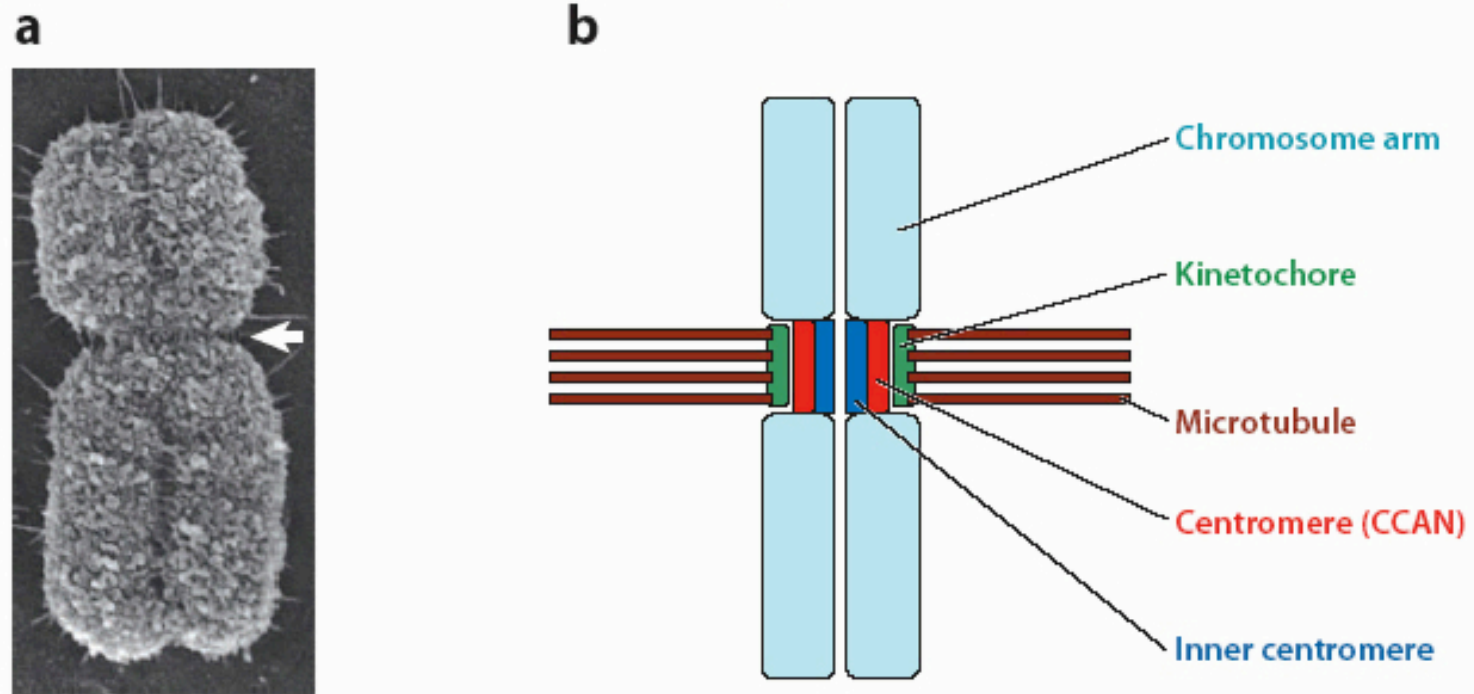
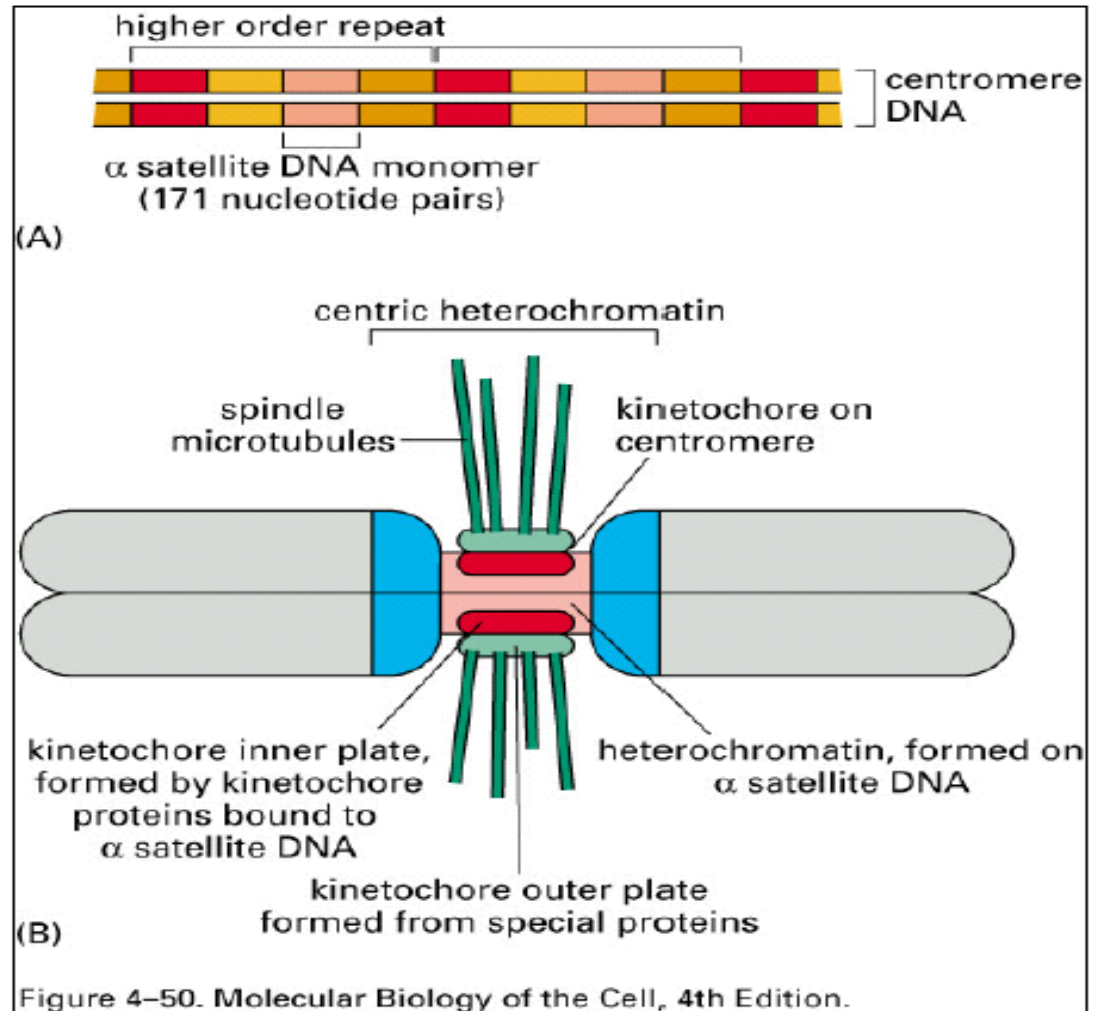


Figure 1

Kinetochores as seen through the microscope. (a) Scanning electron micrograph of a metaphase chromosome; sister chromatids are easily distinguishable and still attached at the centromere (*arrow*). (b) Schematic of a bi-oriented chromosome; labeled are structures discussed in this review and they comprise inner centromere, centromere (including CENP-A containing chromatin and CCAN) and kinetochores.

Il centromero è composto da DNA altamente ripetuto che non codifica per nessun gene ed è fortemente eterocromatico. La funzione di questa regione è prettamente strutturale nei processi di segregazione cromosomica in quanto vi si assembla una struttura proteica chiamata cinetocore.

Il cinetocore interagisce con i microtubuli del fuso mitotico e permette la segregazione dei cromatidi fratelli nelle due cellule figlie durante il processo di anafase I e II della meiosi o durante l'anafase mitotica, se ciò non accadesse si avrebbero dei seri danni alle future cellule.



C

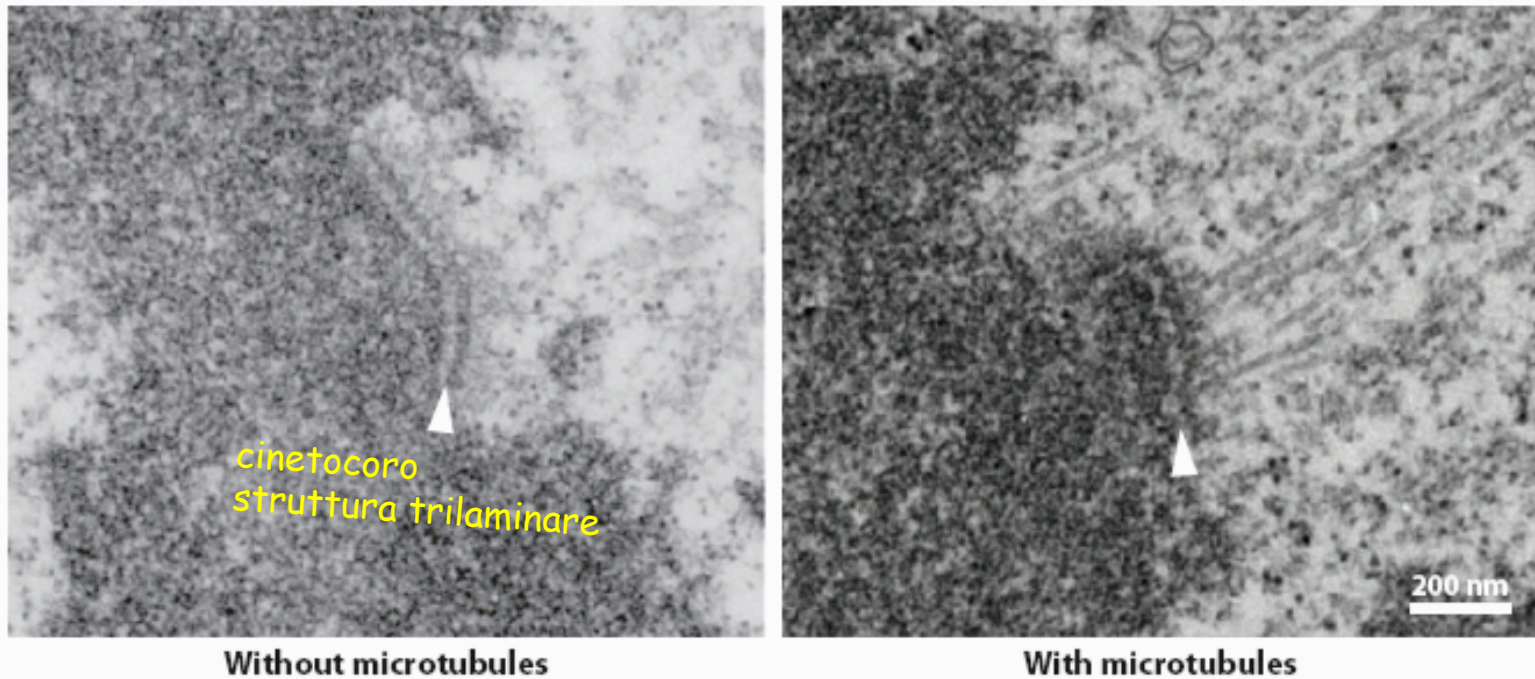


Figure 1

(c) Electron micrographs of kinetochores from PtK1 (rat kangaroo kidney epithelial) cells. Kinetochores without microtubules exhibit a trilaminar structure (*arrow head*) consisting of two dense plates and an external fibrous corona. The binding of microtubules does not alter the trilaminar configuration, although the corona is no longer conspicuous. (a) Courtesy of Terry D. Allen from “Molecular Biology of the Cell” by Alberts et al. 2008 (b) Courtesy of Helder Maiato from Maiato et al. 2006, *Chromosoma* 115:469–480 (100).

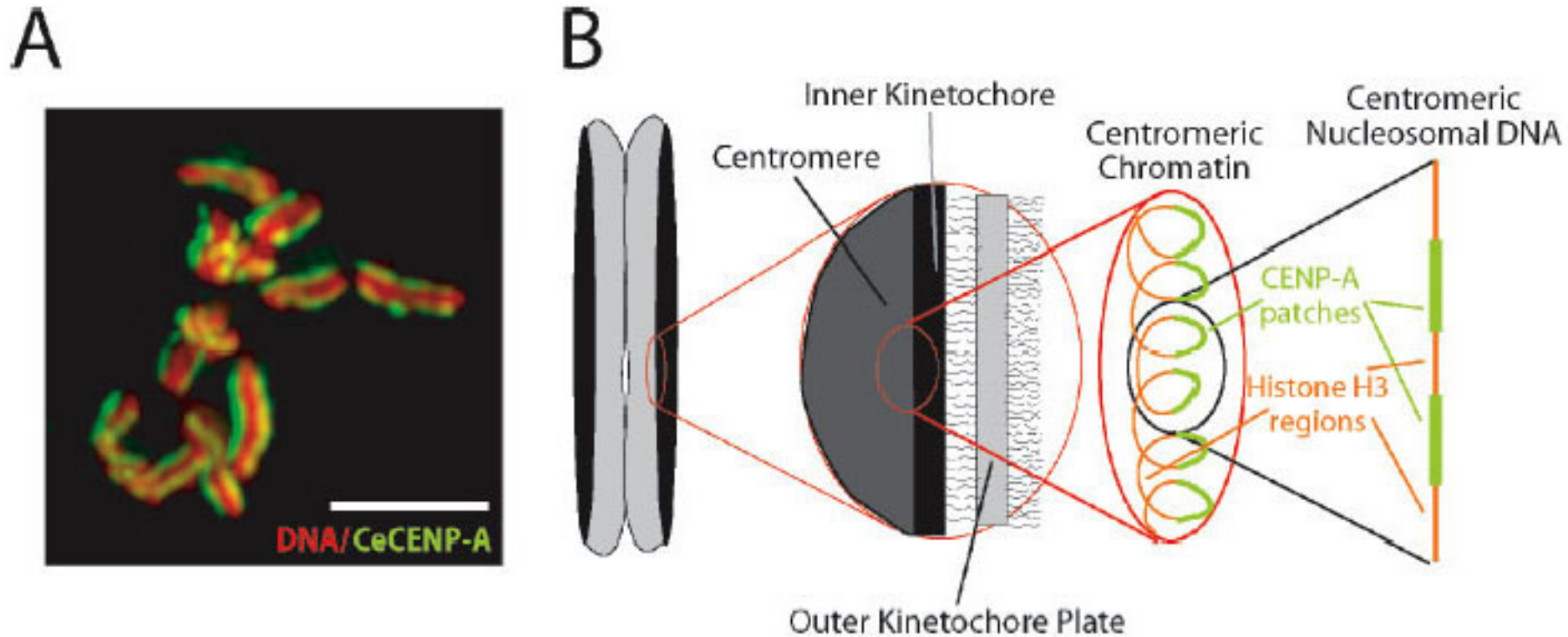


Figure 1. CENP-A is an essential determinant of kinetochore specification. (A) CENP-A^{HCP-3} localizes to the diffuse *C. elegans* kinetochores. Immunofluorescence showing CENP-A staining in yellow and DNA in red. Scale bar is 5 μ m. (B) Model for formation of physically juxtaposed CENP-A-containing chromatin domains on a condensed chromatid. Interspersed regions of histone H3-containing nucleosomes and CENP-A-containing nucleosomes are organized such that CENP-A-containing domains face outward and direct formation of the outer domains of the kinetochore, while histone H3 domains are internal and constitute the bulk of chromosomal chromatin.

Holocentric chromosome segregation

- Il centromero è costituito da DNA e proteine

Proteine centromeriche

La maggior parte delle informazioni sulle proteine centromeriche derivano dalla scoperta casuale nel 1980 di anticorpi anti-centromerici in pazienti affetti da un malattia autoimmune definita “**CREST**” [Calcinosi, Raynard’ s (spasmi vascolari), Esofago (perdita controllo muscolare di), Sclerodattilia (deformità delle dita), Telangiectasia (spot rossi sulla pelle)].

Sono state inizialmente identificate varie proteine (ad es. CENP-A, CENP-B, CENP-C CENP-G e CENP-H) specifiche per il centromero.

Tre hanno la capacità di legarsi al DNA e gli studi condotti hanno messo in evidenza il ruolo centrale svolto da CENP-A (proteina simile all'istone H3, chiamata talvolta CENH3) nella determinazione dell'identità centromerica.

Come il Centromero diventa Cinetocore

Le proteine centromeriche marcano il sito/siti sui cromosomi dove vengono reclutate le proteine del cinetocore.

- Centromero e cinetocore sono strutture dinamiche la cui composizione cambia in modo da riflettere le funzioni proprie dei specifici stadi del ciclo cellulare.
- Il centromero acquisisce la capacità di reclutare i componenti chiave del cinetocore che, a loro volta, attraggono proteine responsabili per il legame con i microtubuli e con gli aspetti sequenziali della regolazione mitotica.

Il complesso centromero-cinetocore è capace di svolgere funzioni essenziali in differenti aspetti della mitosi e della meiosi:

-è responsabile dell' appaiamento dei cromatidi fratelli,

-rappresenta il sito d'attacco per i microtubuli del fuso mitotico,

-controlla la transizione metafase-anafase nel ciclo cellulare regolando il movimento dei cromosomi.

**A CHE SERVE IL FUSO MITOTICO?
COME SI FORMA? COME FUNZIONA?**

COME SI ALLINEANO I CENTROSOMI?

COME SI SEPARANO I CENTROSOMI?

COME I MICROTUBULI SI LEGANO AI CROMOSOMI?

COME VENGONO 'AGGANCIATI' I CROMOSOMI?

COME SI MUOVONO I CROMOSOMI?

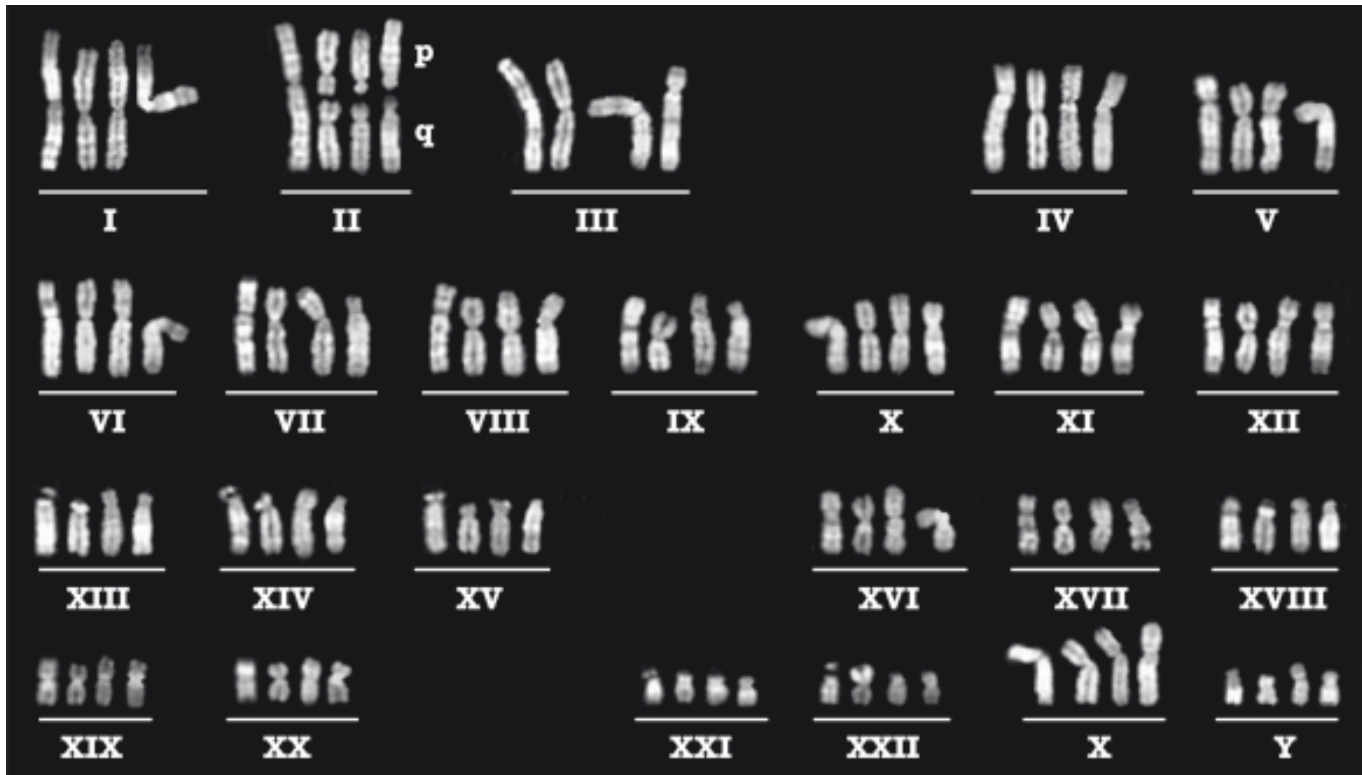
COME SI SEPARANO I CROMATIDI?

- Il corretto orientamento dei cromatidi fratelli e la segregazione degli stessi durante l'anafase sono determinati dal legame dell'estremità positiva (*plus-end*) dei microtubuli del fuso mitotico, provenienti dai poli opposti della cellula, alla piastra esterna del cinetocore (che contiene proteine importanti per il movimento dei cromosomi quali CENP-E e la dineina). In genere i cinetocori sono in grado di legare dai 10 ai 45 microtubuli.

Neocentromeri

Siti cromosomici che non contengono il DNA ripetitivo centromerico ma:

- ↳ acquisiscono le caratteristiche della cromatina centromerica,
- ↳ possono assemblare un cinetocore funzionale,
- ↳ reclutare le altre proteine centromeriche,
- ↳ essere trasmessi stabilmente in meiosi e mitosi.





The Nobel Prize in Physiology or
Medicine 1946

H. J. Muller 1938, 1940

"for the discovery of the production of mutations by means of X-ray
irradiation"



Hermann Joseph Muller

Muller mediante esperimenti di irradiazione con raggi X in *Drosophila* dimostrò l'**impossibilità** di recuperare cromosomi con **delezioni terminali**.

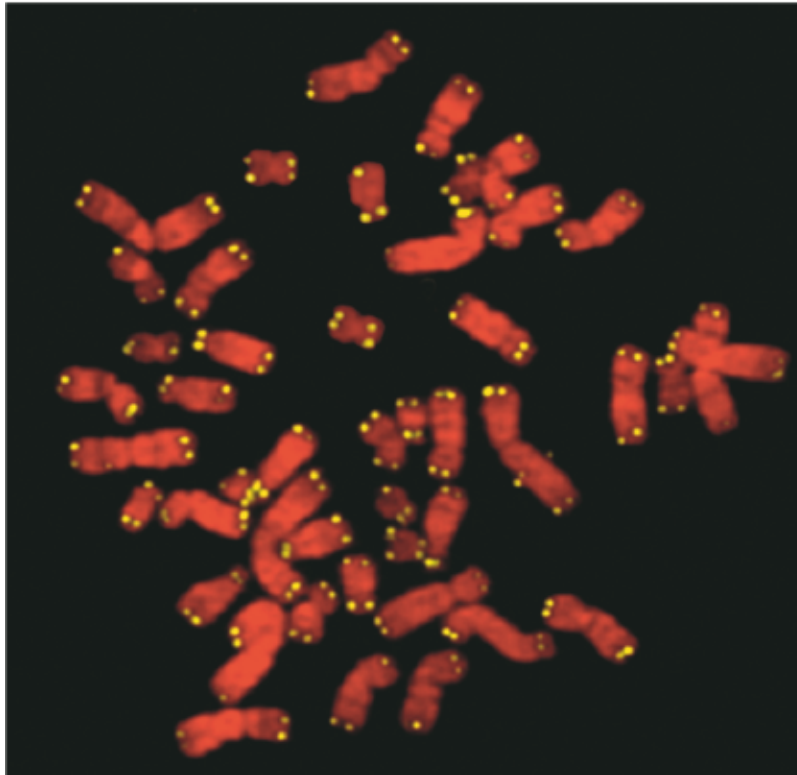
I cromosomi rotti recuperati erano sempre protetti da altri frammenti cromosomici.

Le **rottture cromosomiche indotte** da radiazioni **portavano i cromosomi a fondersi** mentre **le terminazioni naturali erano protette dalle fusioni e dai riarrangiamenti**.

Questa scoperta portò Muller alla elaborazione del concetto di **telomero** dalle parole greche:

TELOS (FINE) + MEROS (PARTE)

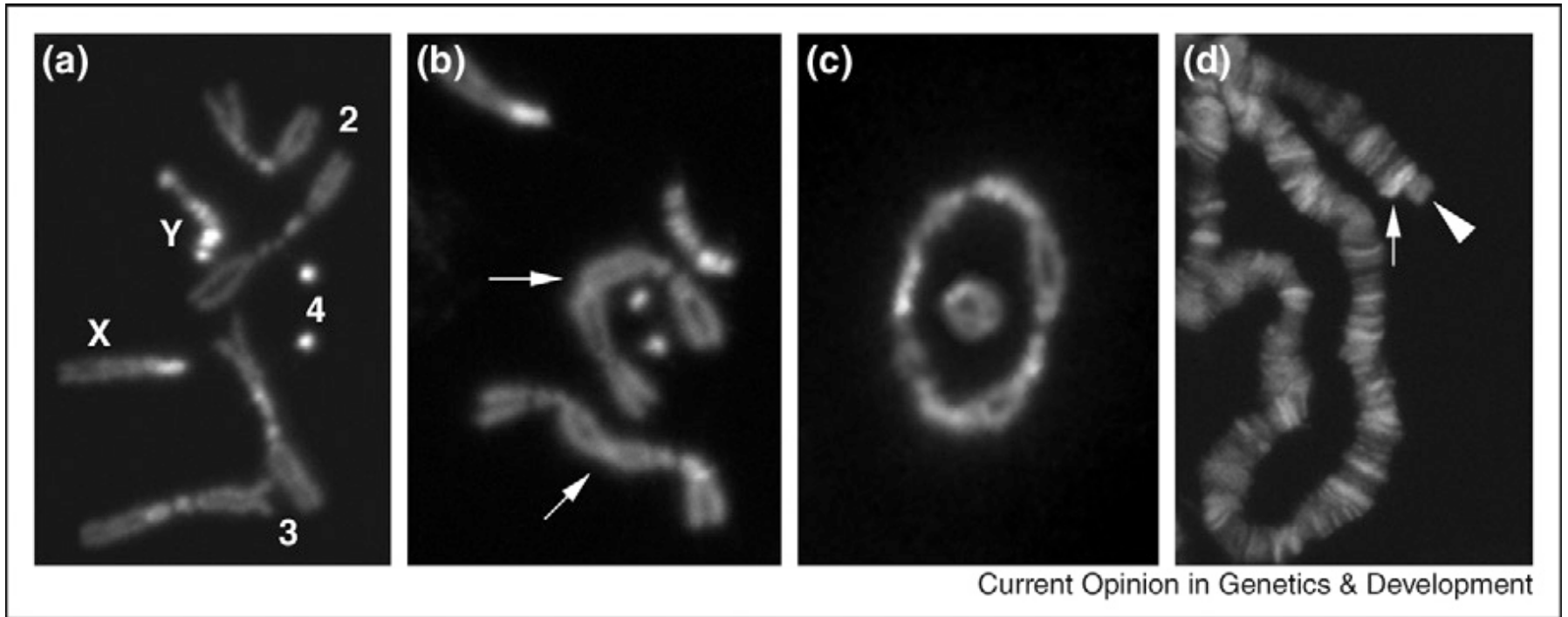
(a)



(b)



Fusioni telomeriche



TELOMERI

Studi citologici e genetici



definizione funzionale:

- » i cromosomi lineari con rotture terminali sono instabili



le estremità possono fondersi:

- » cromosomi dicentrici
- » cromosomi ad anello
- » etc

TELOMERI

Sono strutture complesse presenti alle estremità di tutti i cromosomi eucariotici lineari.

- * proteggono le estremità cromosomiche dalla degradazione e da eventi di fusione
- * permettono la replicazione completa dei cromosomi, compreso il ripristino di ripetizioni terminali semplici di caratteristica lunghezza

DNA TELOMERICO

I repeats telomerici di molte specie sono simili:

➤ diversi gruppi hanno la stessa unità ripetuta dei vertebrati (TTAGGG)

↳ possibile spiegazione

»»»➤ necessità delle sequenze telomeriche di funzionare come siti di legame di proteine per formare interazioni di basi non canoniche (G-quartet)

Tipo di organismo	Nome scientifico	Ripetizione telomerica (direzione 5' -> 3')
Vertebrati	<i>Homo sapiens</i> , <i>Mus musculus</i> , <i>Xenopus laevis</i>	TTAGGG
Funghi	<i>Neurospora crassa</i> , <i>Physarum</i> , <i>Didymium</i>	TTAGGG
Protisti	<i>Dictyostelium discoideum</i>	AG(1-8)
Kinetoplastea (protozoi)	<i>Trypanosoma</i> , <i>Crithidia</i>	TTAGGG
Protozoi ciliati	<i>Tetrahymena</i> , <i>Glaucoma</i>	TTGGGG
	<i>Paramecium</i>	TTGGG(T/G)
	<i>Oxytricha</i> , <i>Stylonychia</i> , <i>Euplotes</i>	TTTTGGGG
Apicomplexa	<i>Plasmodium</i>	TTAGGG(T/C)
Piante superiori	<i>Arabidopsis thaliana</i>	TTTAGGG
Alghe verdi	<i>Chlamydomonas</i>	TTTTAGGG
Insetti	<i>Bombyx mori</i>	TTAGG
Anellidi	<i>Ascaris lumbricoides</i>	TTAGGC
Lieviti a scissione binaria	<i>Schizosaccharomyces pombe</i>	TTAC(A)(C)G(1-8)
Lieviti gemmanti	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	TGTGGGTGTGGTG (da stampo RNA) o G(2-3)(TG)(1-6)T (sequenza consenso)
	<i>Candida glabrata</i>	GGGGTCTGGGTGCTG
	<i>Candida albicans</i>	GGTGTACGGATGTCTAACTTCTT
	<i>Candida tropicalis</i>	GGTGTAC[C/A]GGATGTCACGATCATT
	<i>Candida maltosa</i>	GGTGTACGGATGCAGACTCGCTT
	<i>Candida guilliermondii</i>	GGTGTAC
	<i>Candida pseudotropicalis</i>	GGTGTACGGATTTGATTAGTTATGT
	<i>Kluyveromyces lactis</i>	GGTGTACGGATTTGATTAGGTATGT

Sequenze dei repeats telomerici in eucarioti

GRUPPO	ORGANISMO	SEQUENZA TELOMERICA
Vertebrati	<i>Homo sapiens, Mus musculus, Xenopus</i>	TTAGGG
Insetti	<i>Bombyx mori</i> <i>Drosophila</i>	TTAGG HeT-A TART retrotrasposoni TAHRE
Nematodi	<i>Ascaris lumbricoides,</i> <i>C.elegans</i> <i>Parascaris univalens</i>	TTAGGC TTGCA
Piante	<i>Arabidopsis</i>	TTTAGGG
Alghe	<i>Chlamydomonas</i>	TTTTAGGG
Ciliati	<i>Paramecium</i> <i>Oxytricha</i>	TTGGG(T/G) TTTTGGGG
Funghi filamentosi	<i>Neurospora</i>	TTAGGG
Lieviti	<i>Schizosaccharomyces pombe</i> <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	TTACC(A)(C)(G)₍₁₋₈₎ G₍₂₋₃₎ (TG)₍₁₋₆₎ T

La telomerasi

La telomerasi è una ribonucleoproteina composta di due parti essenziali: una componente catalitica, trascrittasi inversa, che catalizza la sintesi di porzioni di DNA complementari alla molecola di RNA contenuta all'interno del suo sito catalitico e che, pertanto, funge da stampo e una molecola di RNA complementare al filamento 3' protusivo