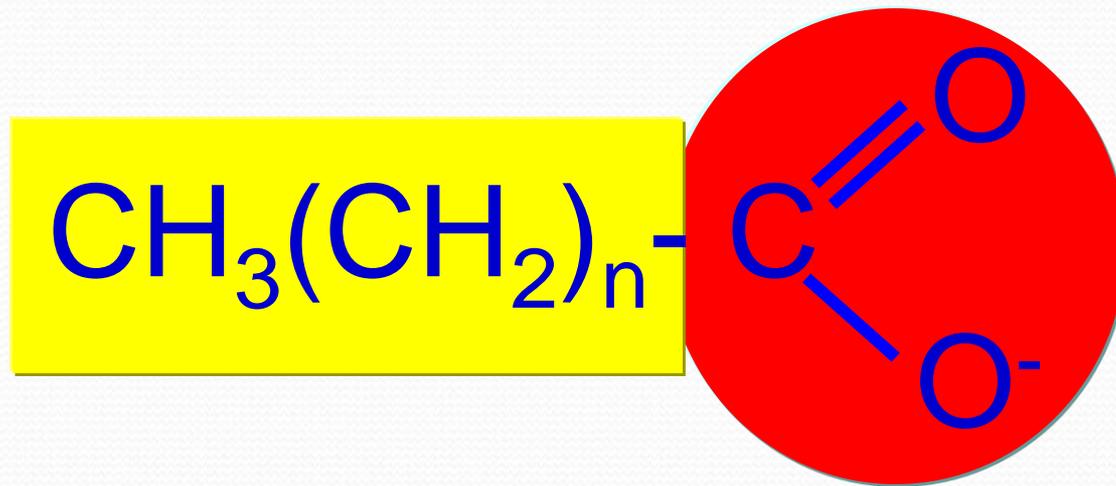




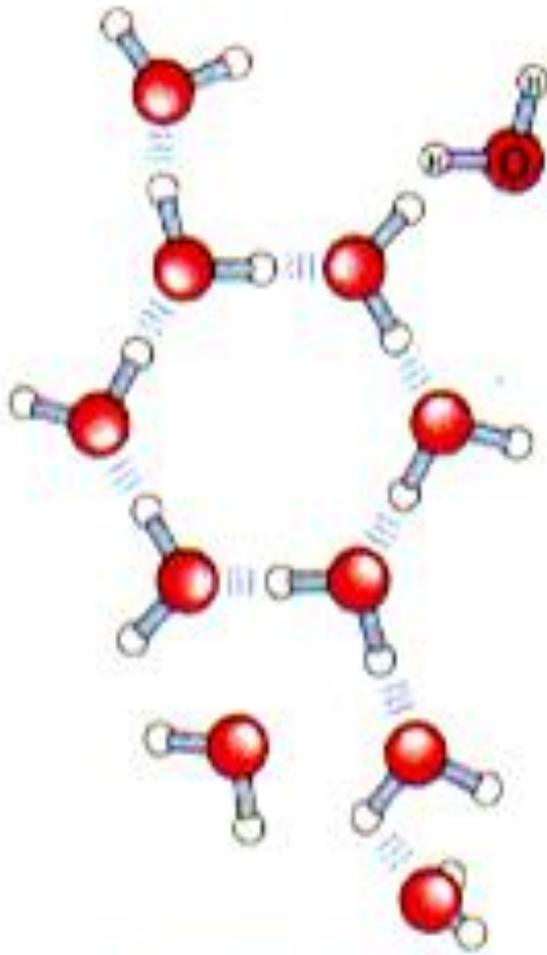
Membrane biologiche

Lipidi polari (sapone)

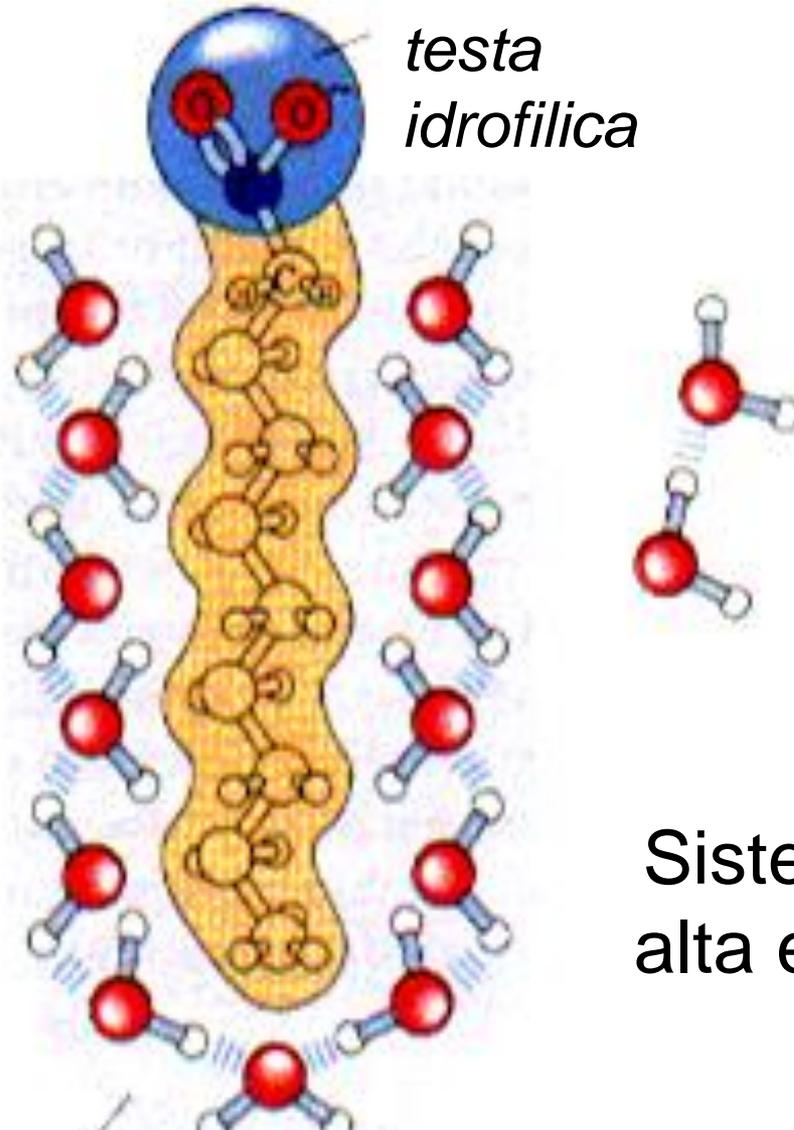


porzione idrofobica

porzione idrofilica



Molecole di acqua



*testa
idrofilica*

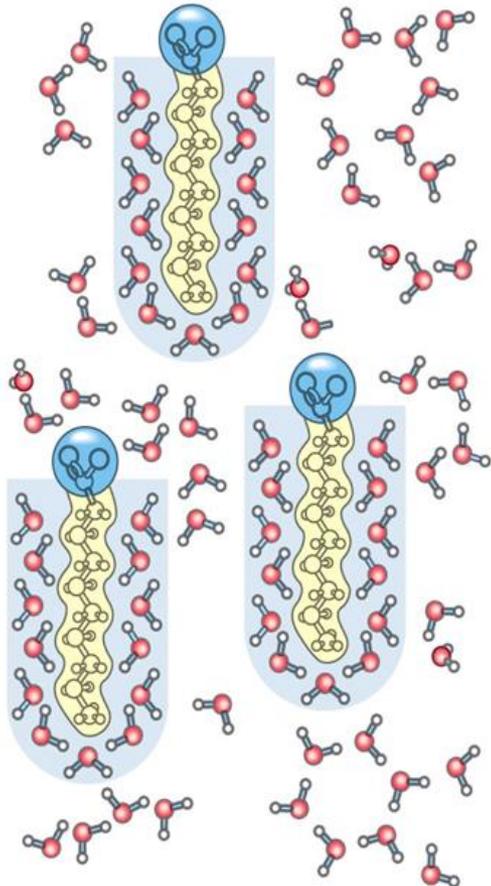
**Sistema ad
alta energia**

*Molecole di acqua altamente ordinate
disposte intorno alla catena idrofobica
con la quale non possono interagire*

Il sistema tende spontaneamente ad organizzarsi nella struttura sopramolecolare a minor energia

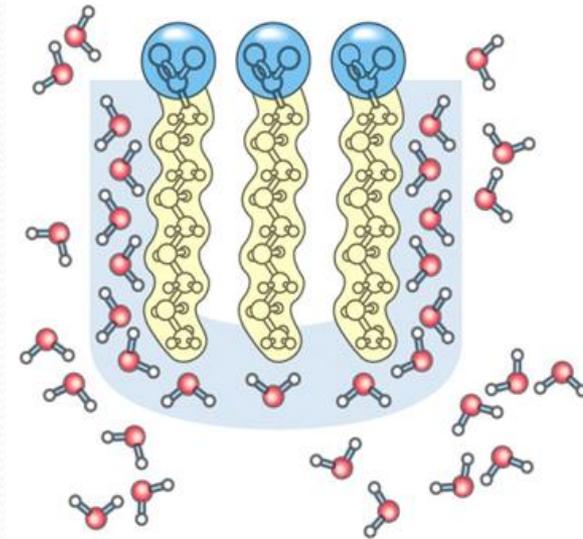
Dispersione in acqua

Ogni molecole di lipide forza le molecole di acqua circostanti ad assumere una struttura ordinata



Aggregazione delle molecole lipidiche

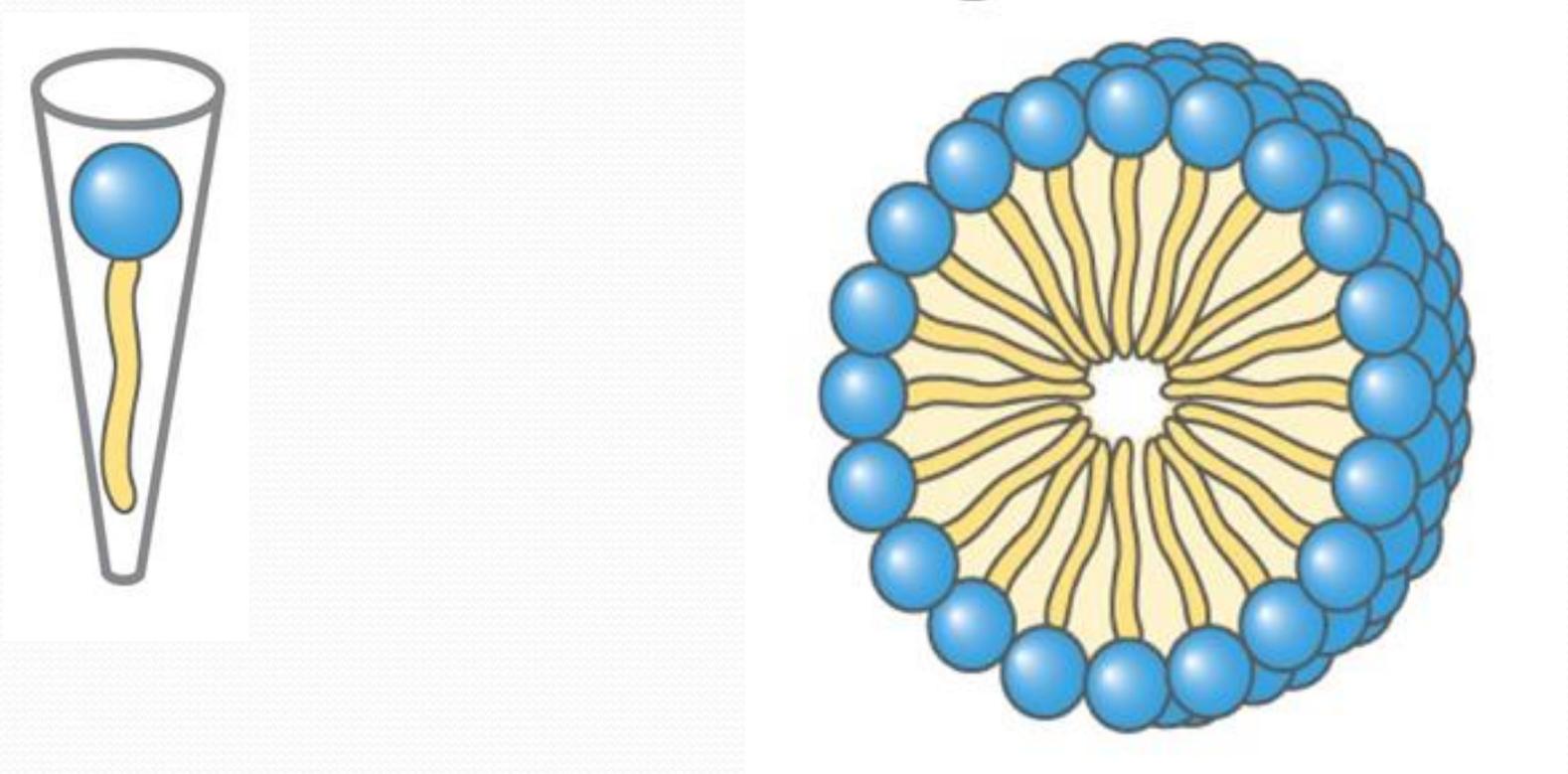
Solo la porzione idrofobica della molecola lipidica forza le molecole di acqua ad assumere una struttura ordinata. Affiancando le porzioni idrofobiche diminuisce il numero delle molecole di acqua coinvolte e l'entropia del sistema aumenta



Il passaggio successivo dipende dalla struttura del lipide coinvolto (micella, doppio strato e liposoma)

Micelle

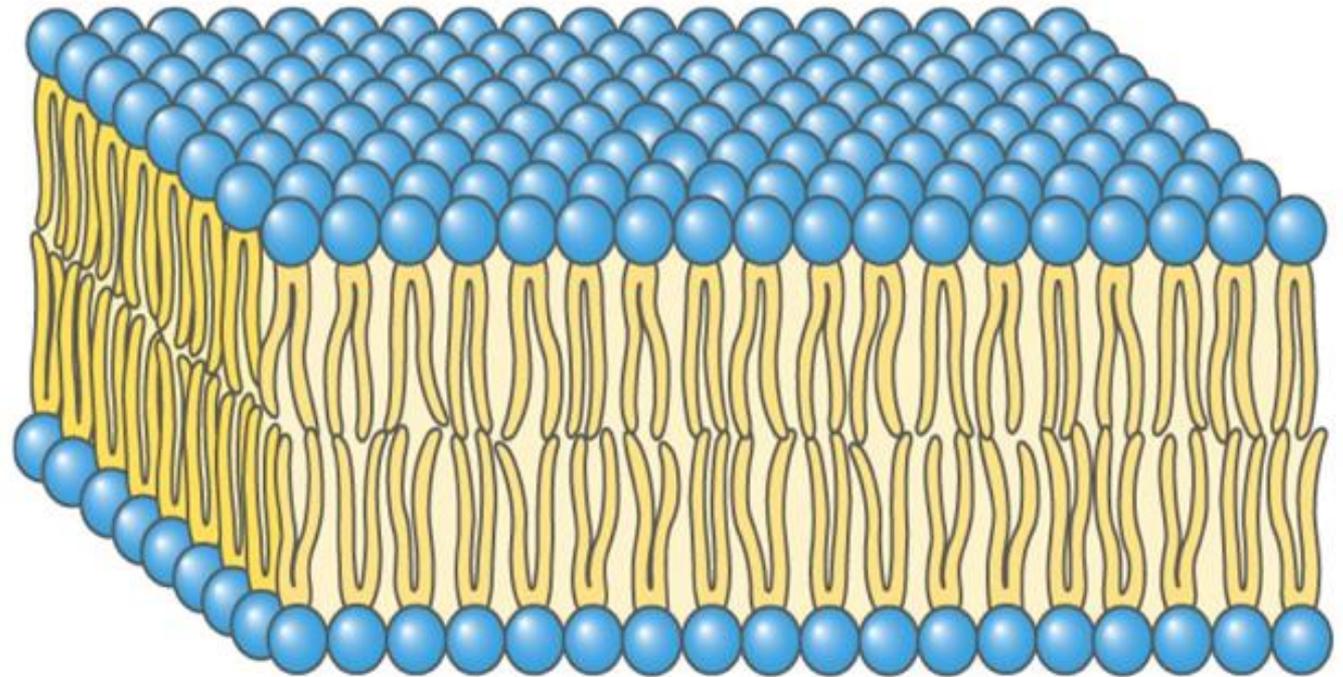
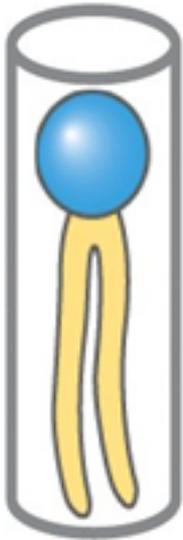
Le unità lipidiche hanno una forma a cuneo con la sezione trasversale della porzione polare più larga della coda idrocarburica e idrofobica



Tutte le porzioni idrofobiche sono sequestrate dall'acqua e il numero di molecole di acqua ordinate è minimizzato, aumentando ulteriormente l'entropia del sistema

Doppio strato lipidico - bilayer

Le unità lipidiche hanno una forma cilindrica, con la sezione trasversale della porzione polare uguale a quella della coda idrocarburica e idrofobica

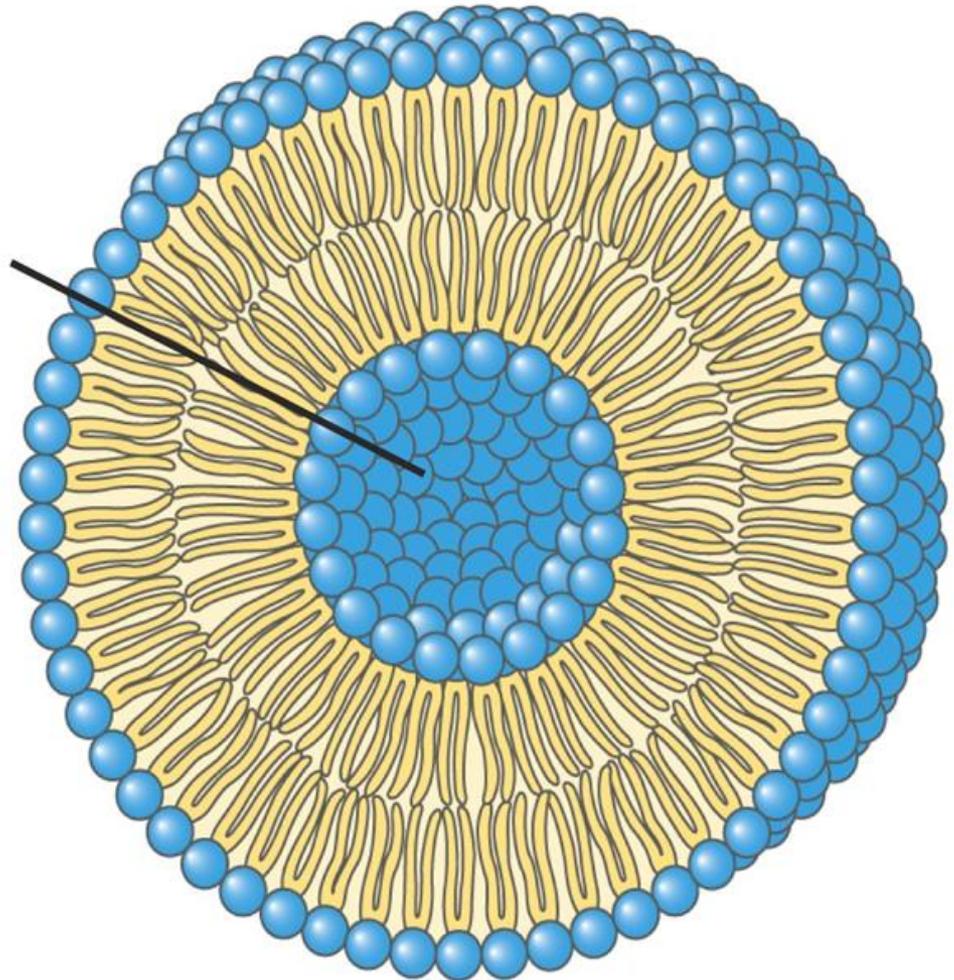


Gran parte delle porzioni idrofobiche sono sequestrate dall'acqua e il numero di molecole di acqua ordinate è ridotto. Per ridurre ulteriormente il contatto tra porzioni idrofobiche e le molecole di acqua il doppio strato deve potersi chiudere

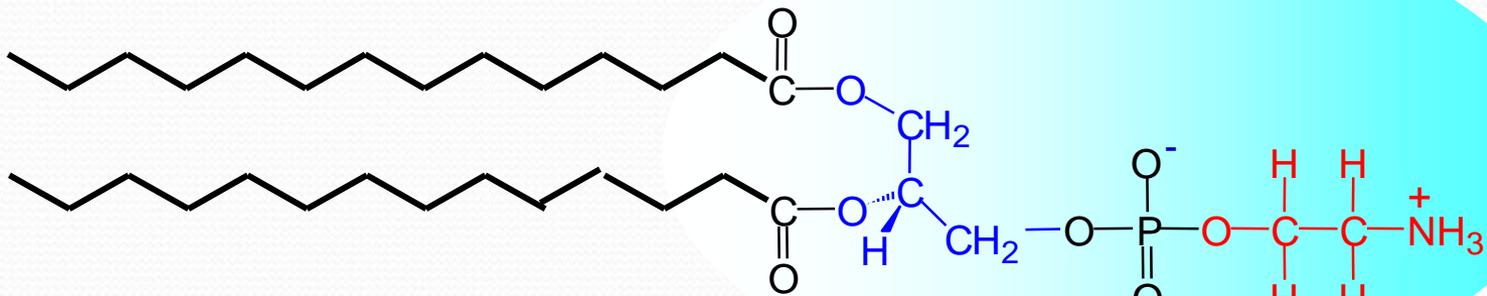
Doppio strato lipidico chiuso - liposoma

Cavità acquosa

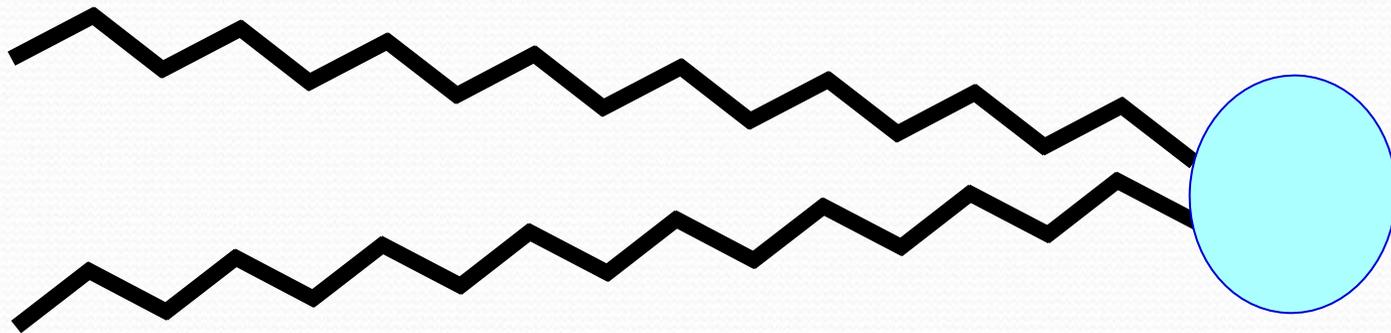
All'aumentare della superficie del doppio strato lipidico la struttura può diventare progressivamente più grande delimitando una rilevante porzione di cavità acquosa



I fosfolipidi: costituenti essenziali delle membrane biologiche



fosfatidiletanolamina



porzione idrofobica

testa polare

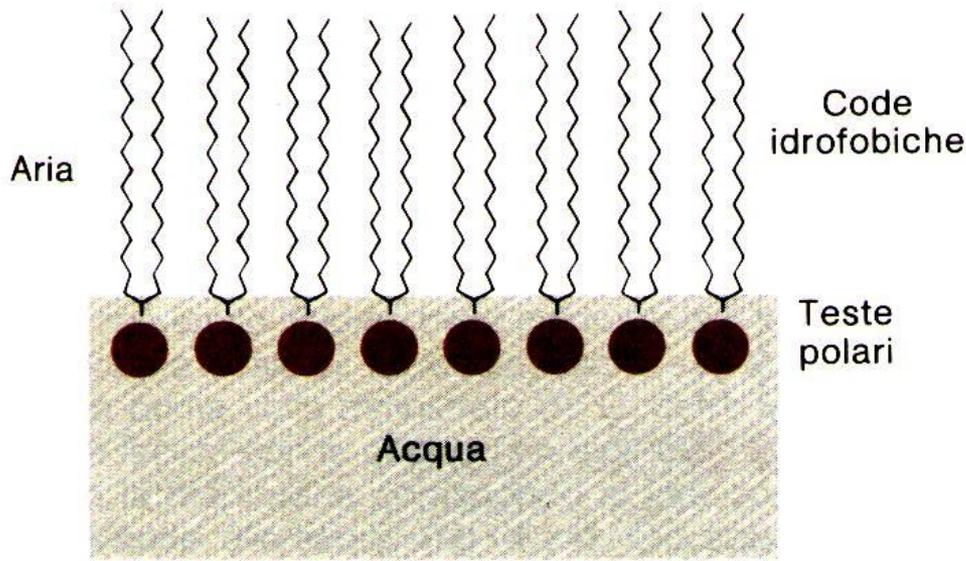
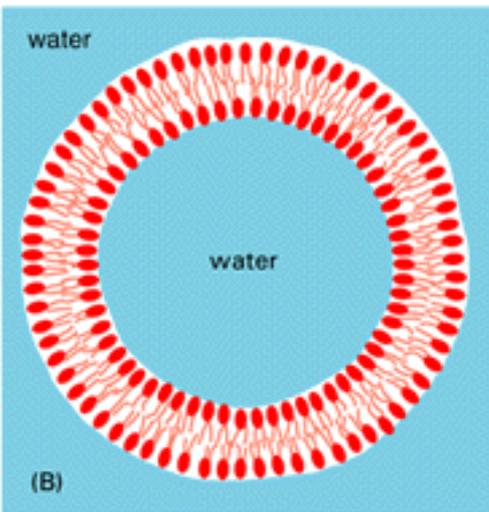
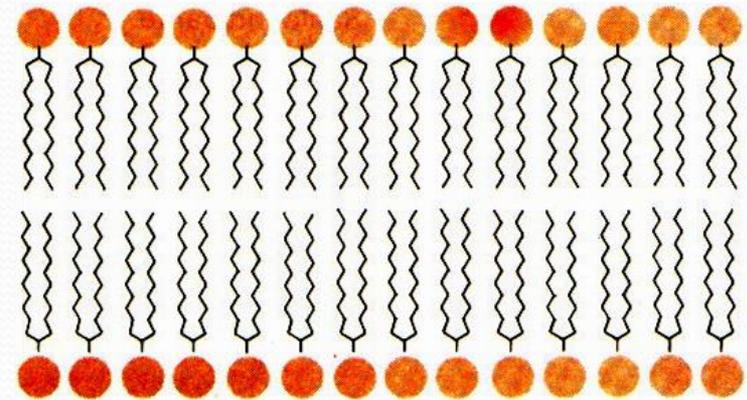


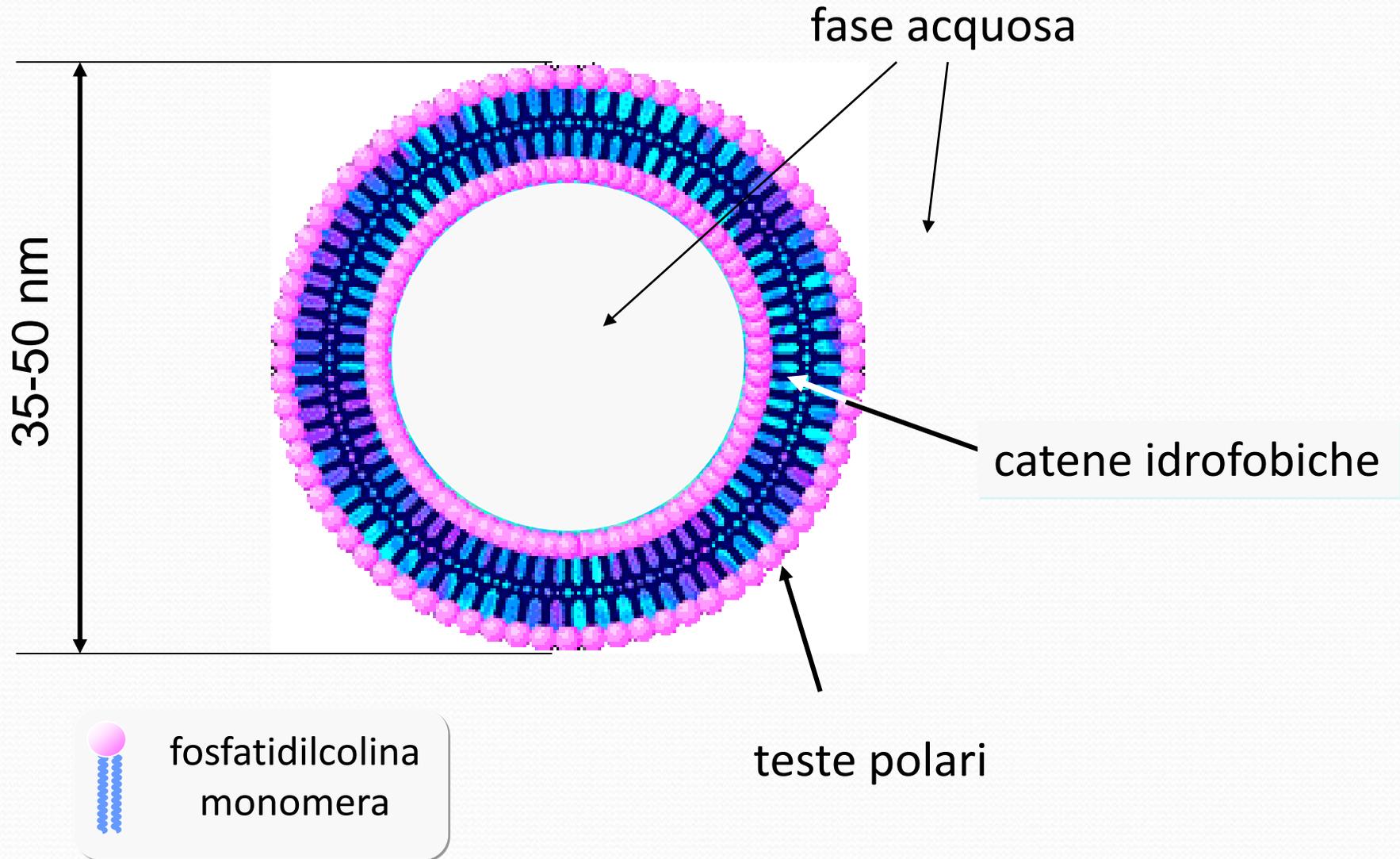
Figura 4.3. *Orientamento delle molecole fosfolipidiche all'interfacie aria/acqua. Le teste polari delle molecole si orientano verso l'acqua e le code idrofobiche sporgono nell'aria.*



Strato sferico (liposoma)

i fosfolipidi della membrana cellulare si dispongono in doppio strato con le terminazioni idrocarburiche rivolte all'interno e quelle polari verso le fasi acquose (foglietto bimolecolare a doppio strato lipidico)

Struttura di un liposoma



Membrane cellulari

Separano il contenuto cellulare dall'ambiente esterno

Contengono principalmente fosfolipidi

I fosfolipidi di membrana sono molecole anfipatiche, con una testa polare idrofilica ed una coda idrofoba

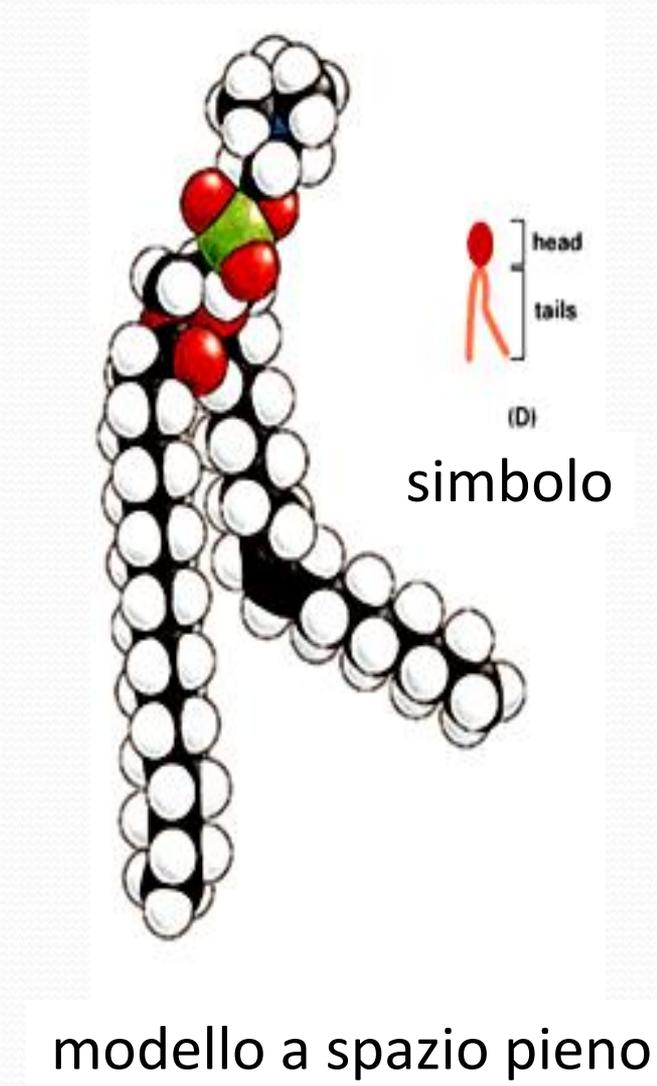
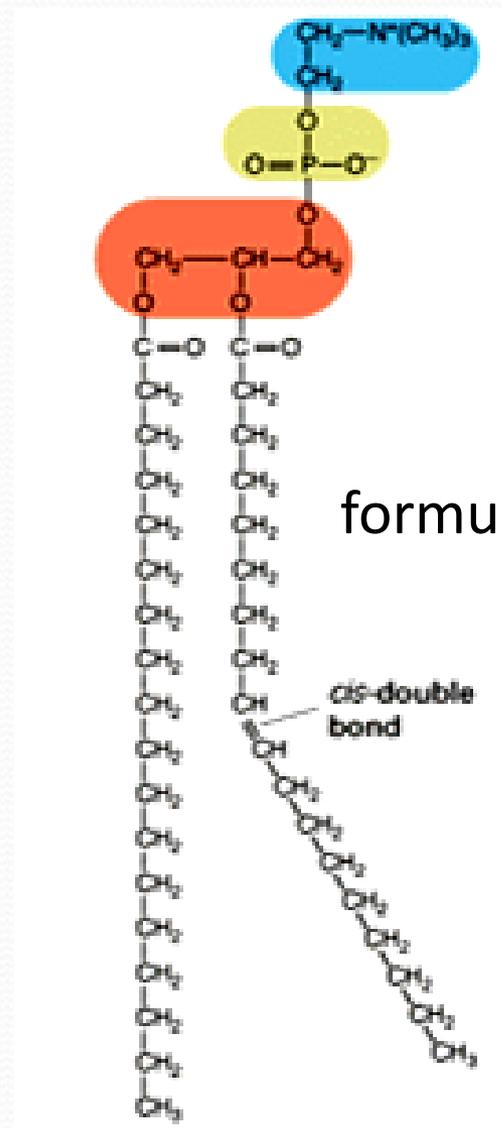
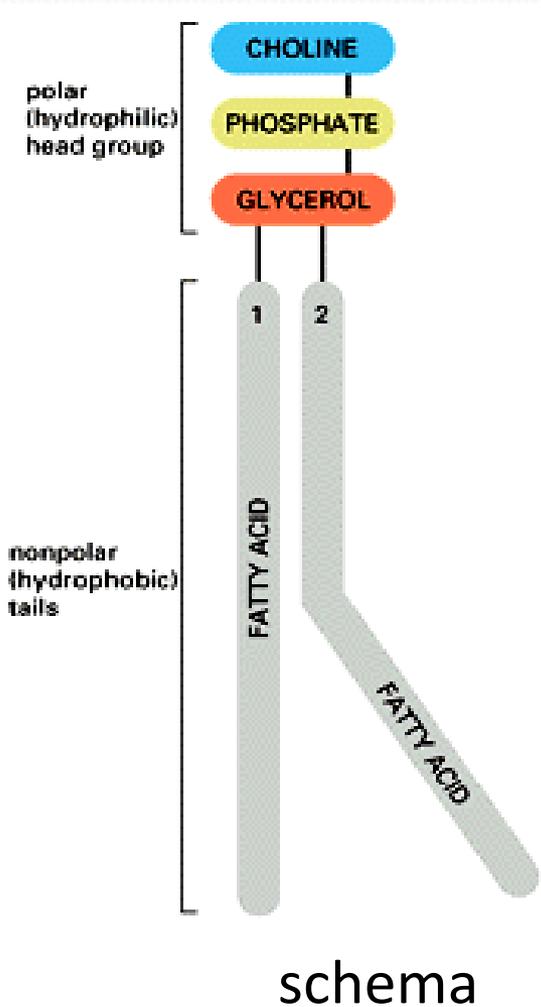
I lipidi di membrana si assemblano spontaneamente in doppio strato se posti in acqua. Nella regione interna del doppio strato dispongono la coda non polare mentre nelle superfici esterne le teste polari.

Le membrane naturali si chiudono spontaneamente

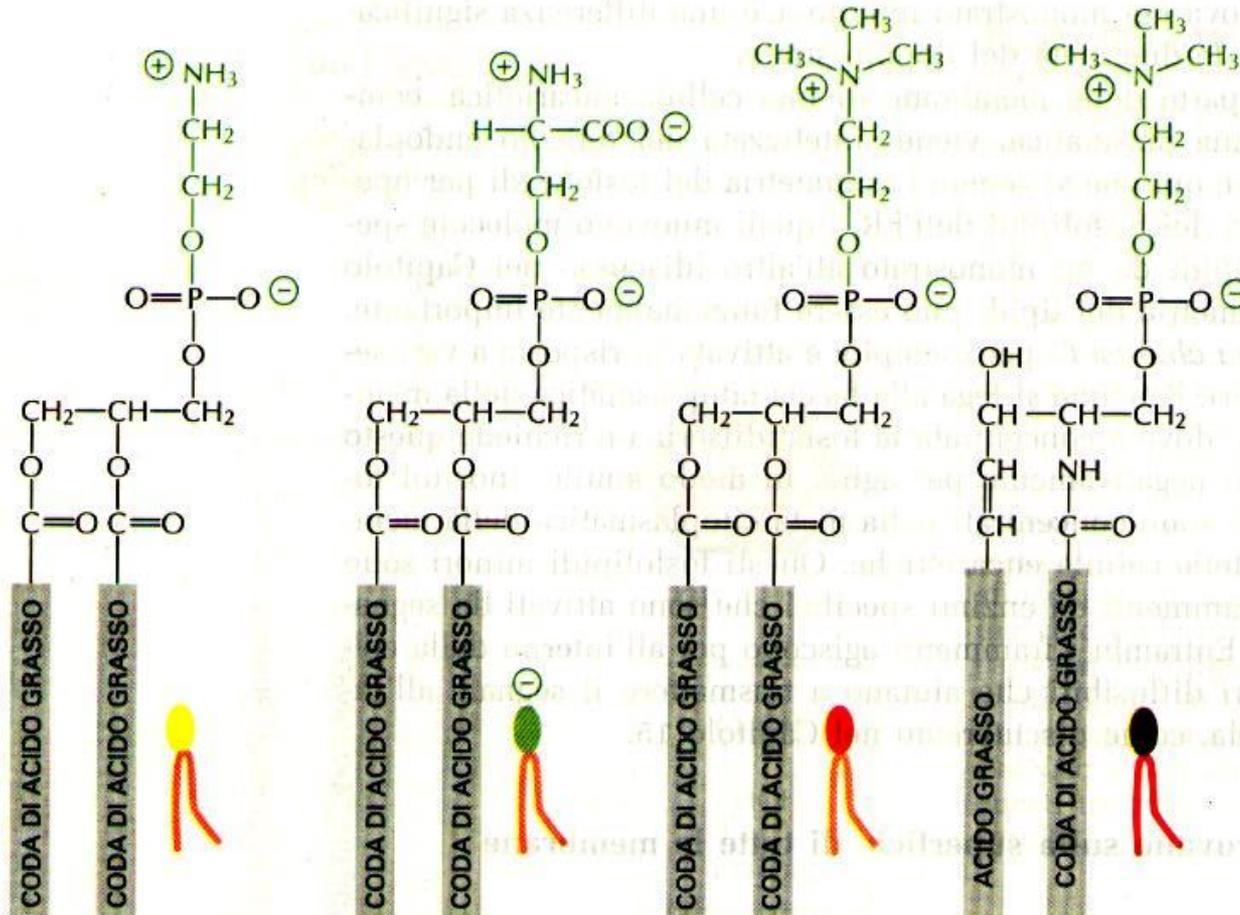
Doppio strato lipidico ricco di fosfolipidi

Le membrane biologiche sono costituite quasi interamente da fosfolipidi e proteine

Parti di un fosfolipide,
la fosfatidilcolina



Principali fosfolipidi presenti nelle membrane biologiche



Fosfatidil-
etanolamina

Fosfatidil-
serina

Fosfatidil-
colina

Sfingomieline

Membrane cellulari: composizione lipidica

Diversi tipi di membrane possono avere diversa composizione in lipidi.

- **fosfolipidi:**

 - Glicerofosfolipidi

 - Sfingofosfolipidi

I fosfolipidi possono differire per grado di saturazione e lunghezza degli acidi grassi che li compongono

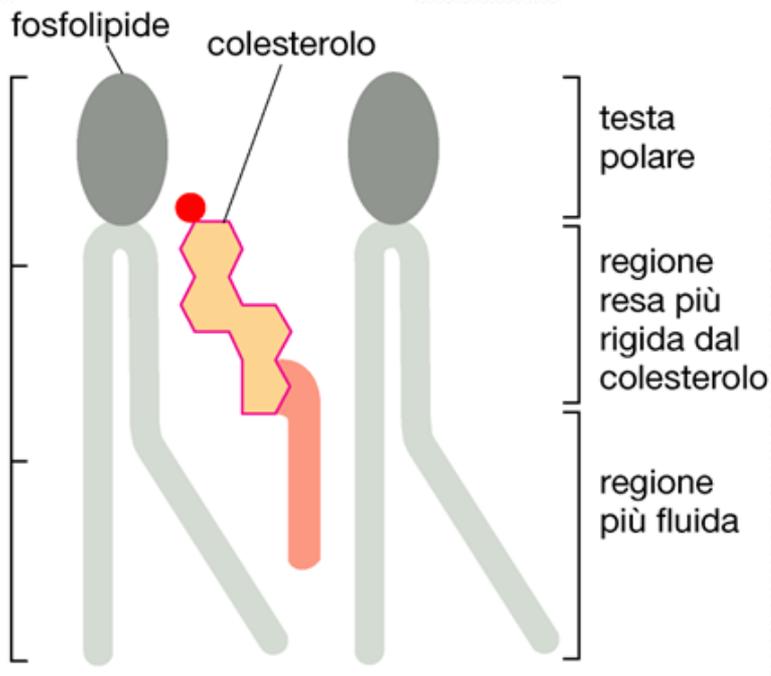
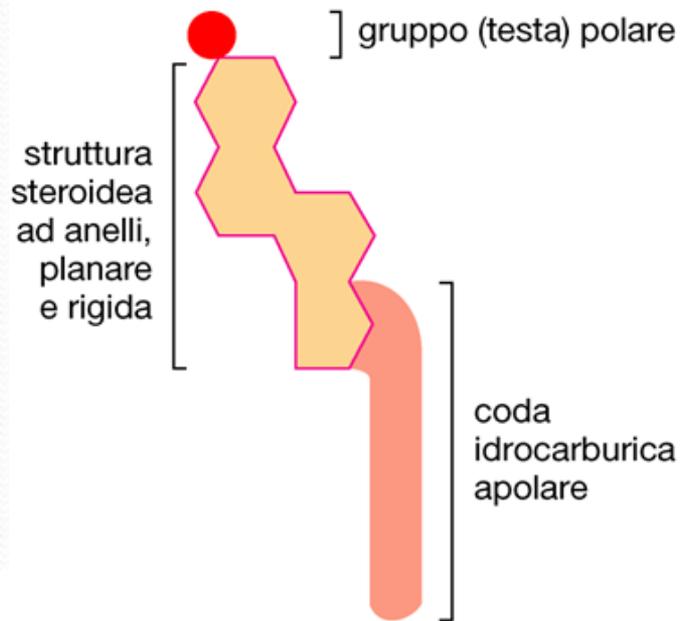
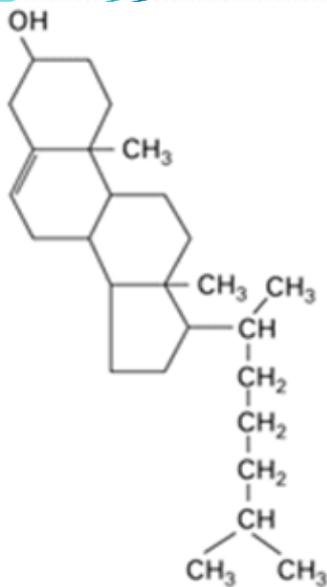
- **colesterolo** è un altro lipide costituente delle membrane eucariotiche

- **glicolipidi**

 - Cerebrosidi

 - Gangliosidi

Le membrane biologiche contengono colesterolo

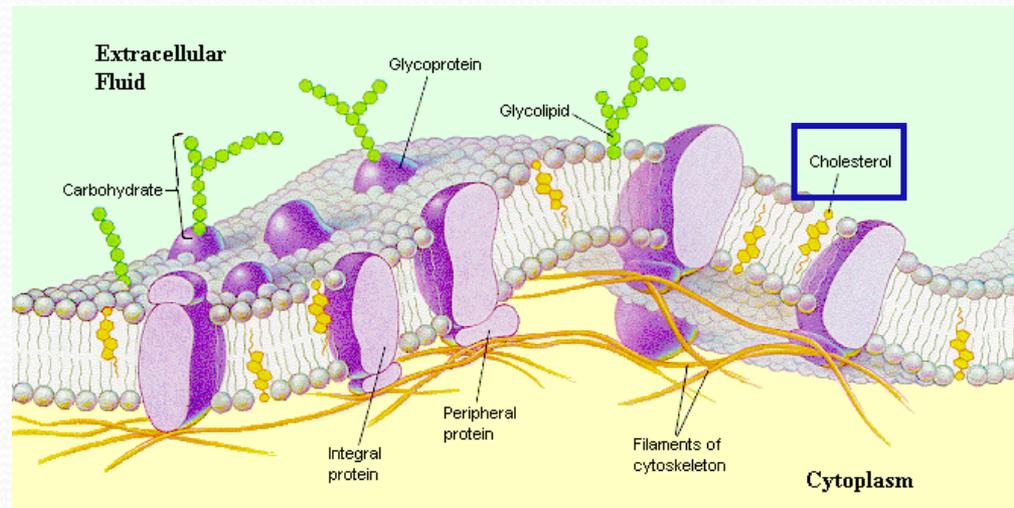


Ruolo del colesterolo nel doppio strato lipidico
il colesterolo aiuta a rendere la membrana impermeabile alle piccole molecole solubili in acqua e mantiene la membrana flessibile in un ampio intervallo di temperature

Le membrane cellulari: il colesterolo

Effetti del colesterolo sulle membrane

- Aumenta le proprietà di barriera permeabile a piccole molecole del doppio strato lipidico, stabilizzandolo.
- Inibisce possibili transizioni di fase: insinuandosi fra le catene idrocarburiche, ne riduce la mobilità rendendo il doppio strato meno fluido e impedendo anche alle catene di idrocarburi di avvicinarsi e cristallizzare.
- Favorisce l'ancoraggio di molecole di superficie, allontanando le teste polari



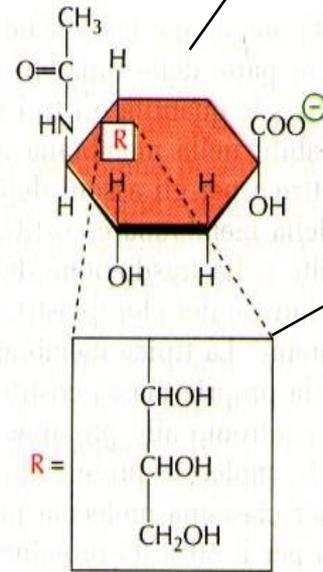
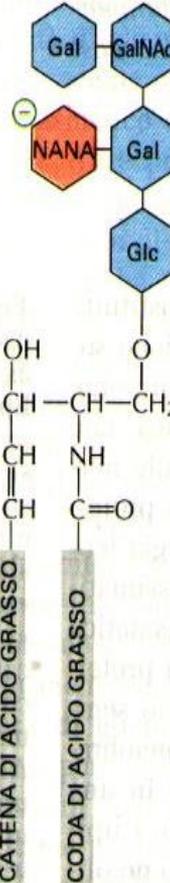
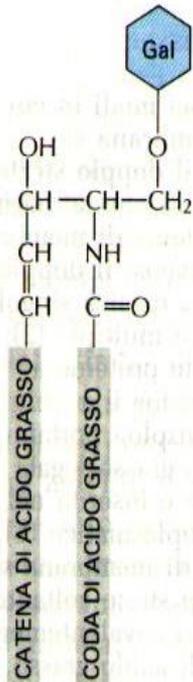
Le Membrane cellulari: Ruolo dei glicolipidi

Glicolipidi

funzione di legame con la matrice extracellulare

protezione della membrana da condizioni estreme: (basso pH; enzimi degradativi)

Galattocerebroside



alterazione del campo elettrico e della concentrazione di ioni (calcio)

Ganglioside G_{M1}

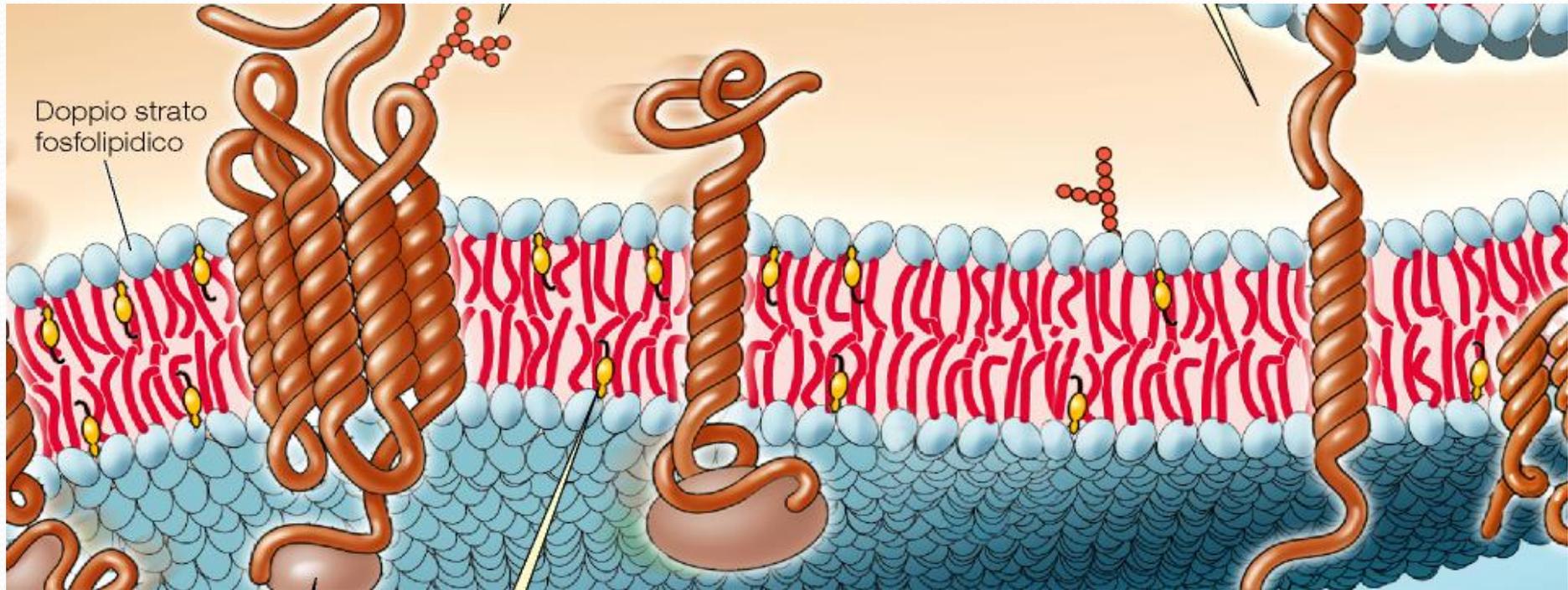
Acido sialico (NANA)

processi di riconoscimento cellulare: (ganglioside G_{M1} agisce come recettore per la tossina colerica)

isolamento elettrico nella membrana mielinica

Modello a mosaico fluido

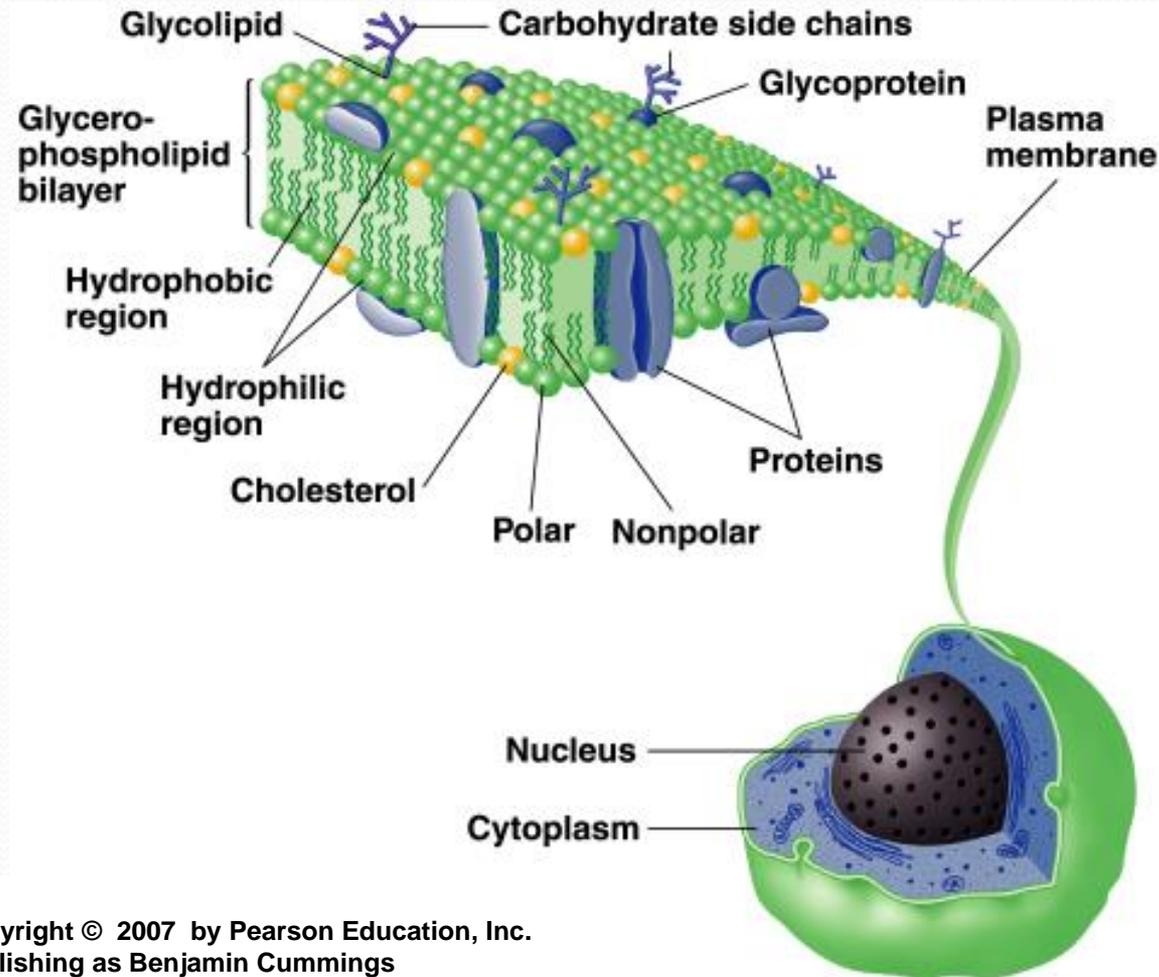
Le membrane sono costituite da Lipidi, Proteine e Carboidrati



Modello del mosaico fluido:

Il doppio strato lipidico forma una pellicola liquida nella quale galleggiano diverse proteine ma costituisce una barriera al passaggio di sostanze idrofile

Modello a mosaico fluido



Fluidità delle membrane cellulari

Cristallo liquido:

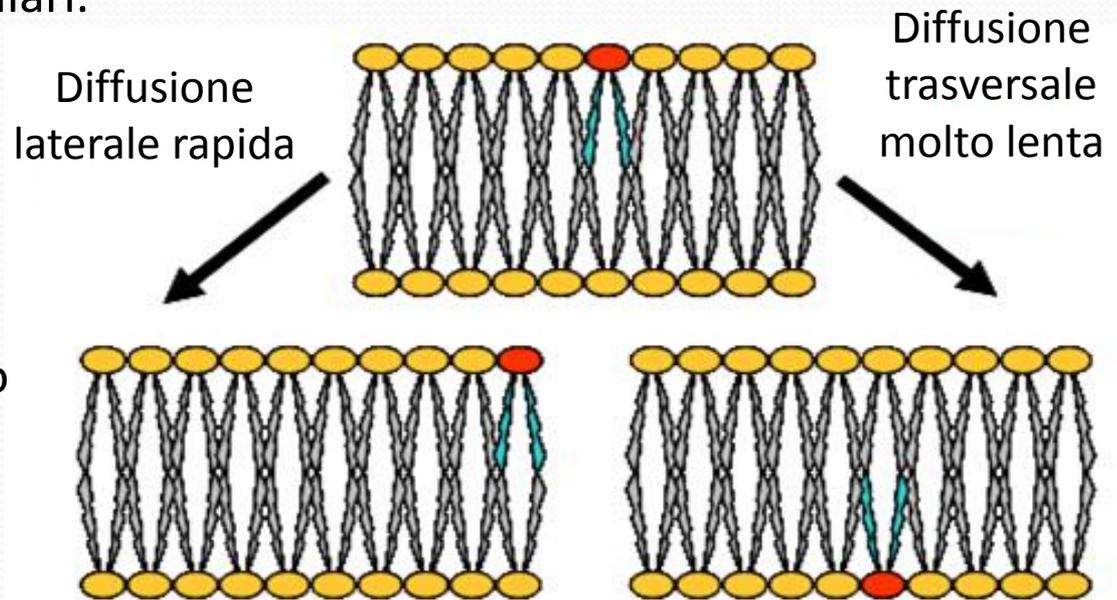
Proprietà stato cristallino (es. disposizione ordinata delle molecole)

+

proprietà tipiche dello stato liquido (es. mobilità delle molecole all'interno del piano di allineamento)

La proprietà dei fosfolipidi di formare fasi liquido-cristalline è alla base della struttura delle membrane cellulari.

- **Il doppio strato lipidico non è una struttura statica**, ma le molecole fosfolipidiche possono spostarsi da una zona all'altra e passare da uno strato all'altro, ma più raramente, perciò, le membrane sono **ASIMMETRICHE**.

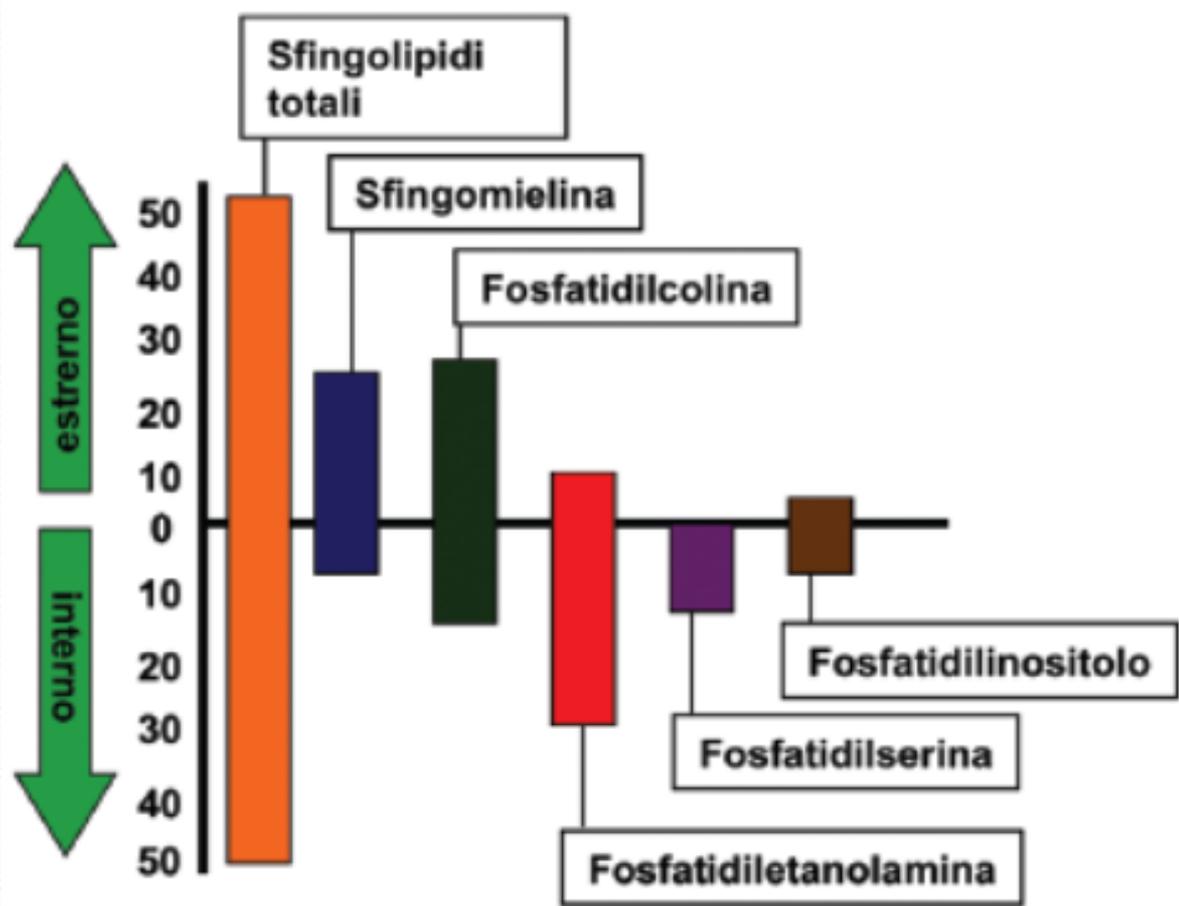


Le membrane biologiche sono asimmetriche

I fosfolipidi sono distribuiti asimmetricamente tra i due strati

PE e PS sono interni
PC e sfingomieline esterni

Probabilmente questo è dovuto alle diverse curvature dei 2 foglietti lipidici e alla grandezza delle teste polari.



L'asimmetria è importante per le funzioni della membrana

Membrane cellulari:

Fattori che determinano la fluidità del doppio strato

Temperatura

Minore T = Minore fluidità

Lunghezza delle catene aciliche

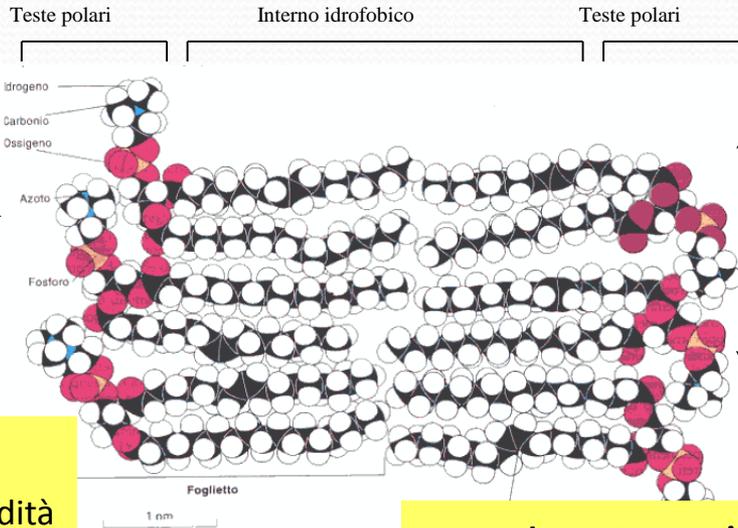
Maggiore lunghezza = minore fluidità

Proteine

Diminuiscono la fluidità

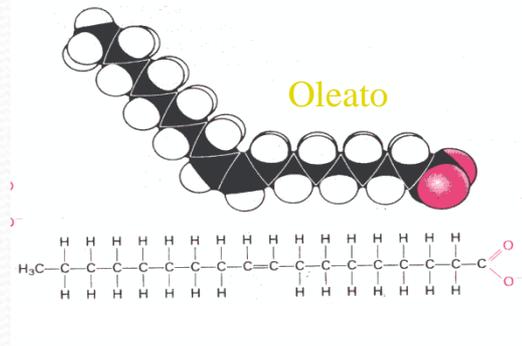
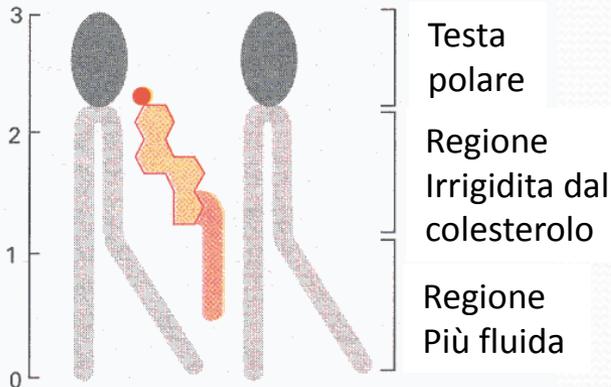
Colesterolo

Magg. Colesterolo = Minore Fluidità



Insaturazione degli acidi grassi

Magg. insat = Magg. fluidità



Fattori che determinano la fluidità del doppio strato

- Alcuni organismi si adattano a cambi di temperatura variando la composizione della membrana per mantenerla fluida
- Se la temperatura diminuisce possono rispondere in due modi aumentare il contenuto di acidi grassi a catena corta incrementare la percentuale di acidi grassi insaturi.
Il contrario se la temperatura aumenta

TABLE 11-2 Fatty Acid Composition of *E. coli* Cells Cultured at Different Temperatures

	Percentage of total fatty acids*			
	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
Myristic acid (14:0)	4	4	4	8
Palmitic acid (16:0)	18	25	29	48
Palmitoleic acid (16:1)	26	24	23	9
Oleic acid (18:1)	38	34	30	12
Hydroxymyristic acid	13	10	10	8
Ratio of unsaturated to saturated†	2.9	2.0	1.6	0.38

Source: Data from Marr, A.G. & Ingraham, J.L. (1962) Effect of temperature on the composition of fatty acids in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* **84**, 1260.

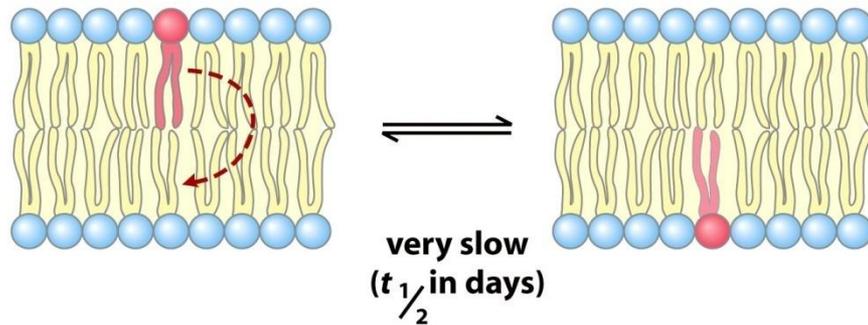
*The exact fatty acid composition depends not only on growth temperature but on growth stage and growth medium composition.

†Ratios calculated as the total percentage of 16:1 plus 18:1 divided by the total percentage of 14:0 plus 16:0. Hydroxymyristic acid was omitted from this calculation.

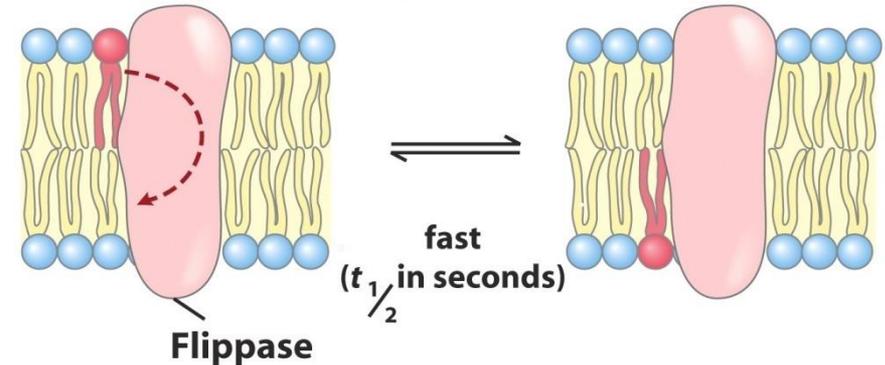
Asimmetria delle membrane biologiche

- E' mantenuta dal movimento flip-flop: movimento di un fosfolipide da un lato all'altro.
- E' molto lento anche se può essere catalizzato.

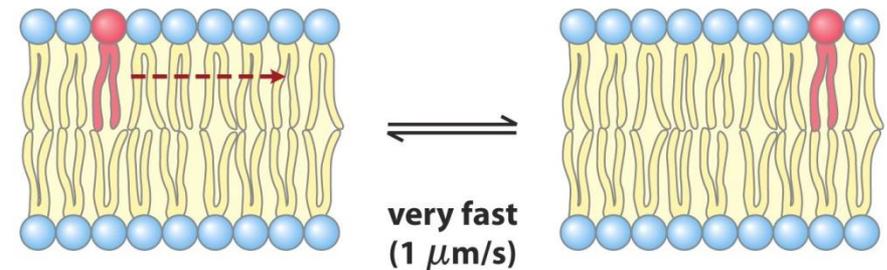
(a) Uncatalyzed transverse ("flip-flop") diffusion



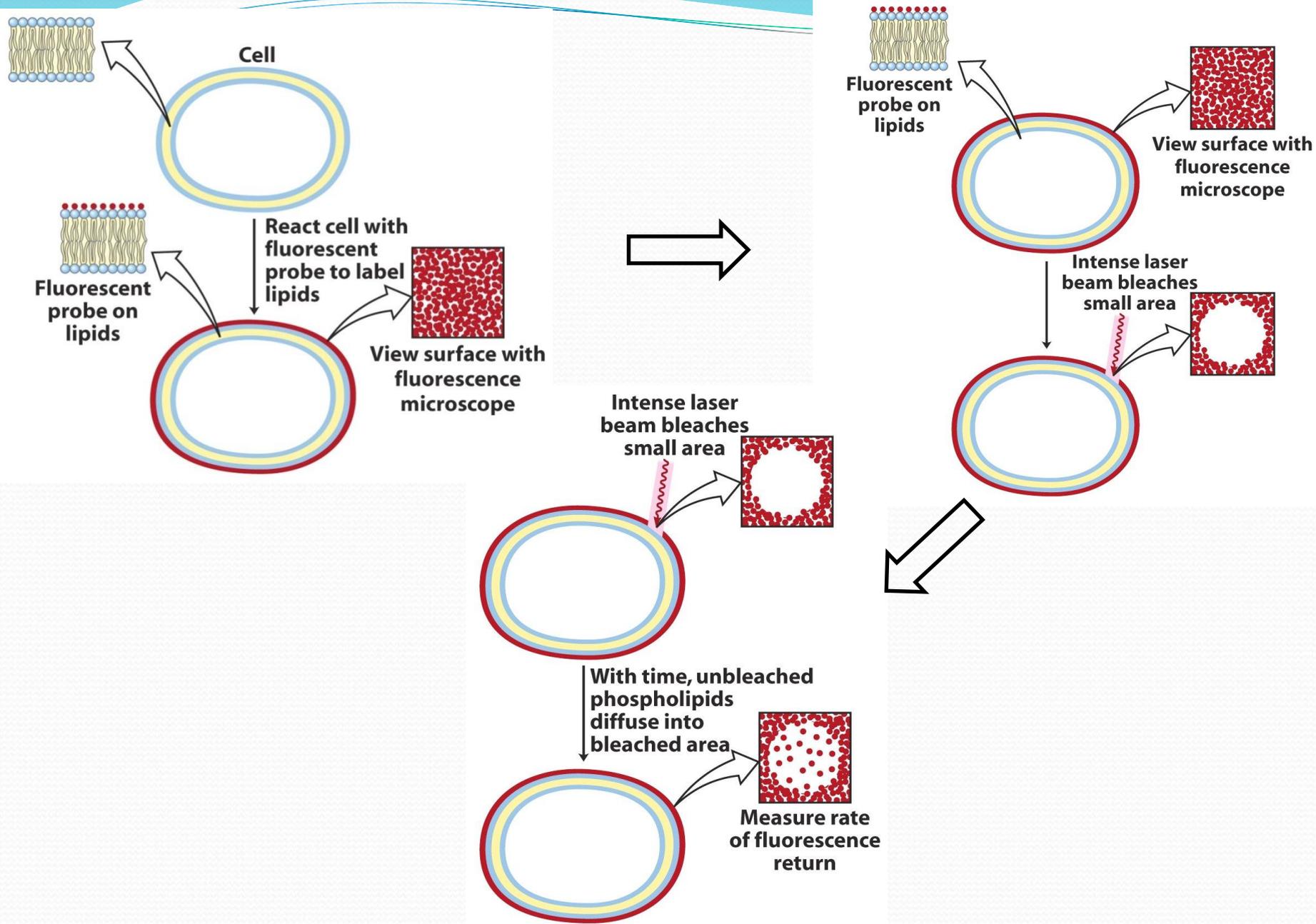
(b) Transverse diffusion catalyzed by flippase



(c) Uncatalyzed lateral diffusion



Al contrario, la diffusione laterale è molto rapida



Membrane cellulari: le proteine

Le membrane biologiche contengono sempre proteine

Le diverse proteine delle membrane sono fondamentali per determinarne le diverse funzioni

30% geni nel genoma codifica per proteine di membrana

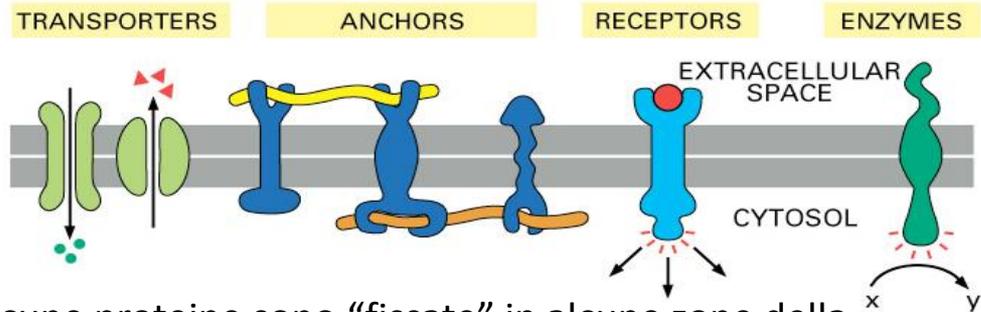
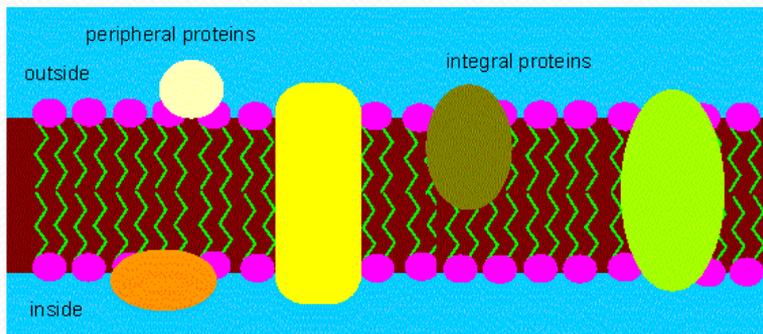
50% dei target di farmaci

Le proteine di membrana possono essere dotate di:

- Regioni idrofile, che sporgono all'esterno della membrana
- Regioni idrofobe, che passano attraverso il doppio strato lipidico

Due categorie di proteine di membrana:

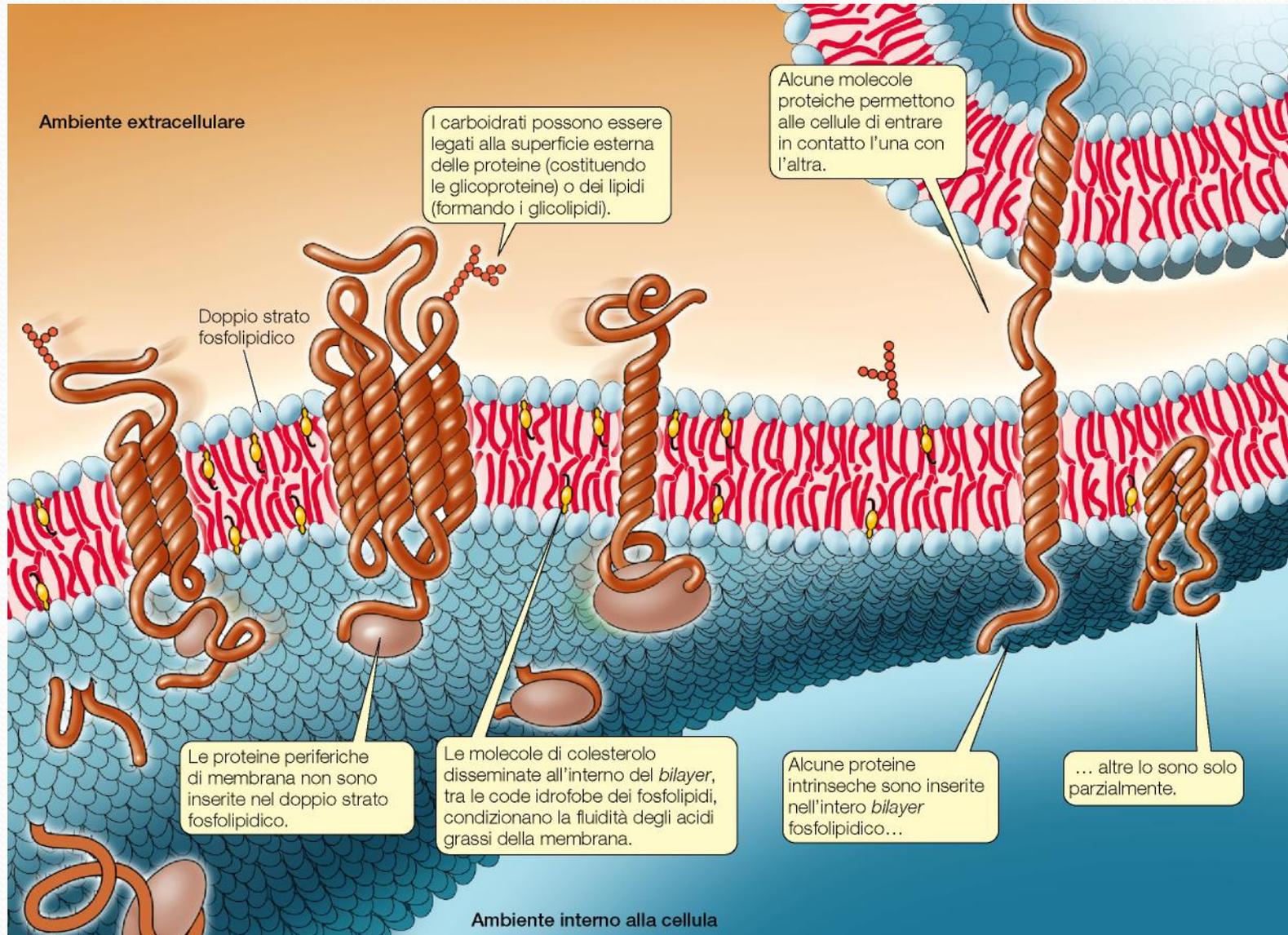
- Proteine INTRINSECHE di membrana (o INTEGRALI). Vengono rilasciate solo dopo trattamenti che disgregano il doppio strato lipidico
- Proteine ESTRINSECHE di membrana (o PERIFERICHE). Possono essere rimosse tramite trattamenti più blandi



Alcune proteine sono "fissate" in alcune zone della membrana perché ancorate al citoscheletro

Membrane cellulari: le proteine

L'asimmetria delle membrane biologiche è determinata anche dalle proteine presenti nella membrana che durante la loro sintesi sono inserite in modo asimetrico.



Ad esempio la glicoforina ha la porzione N-terminale esposta nel lato extracellulare della membrana e quella C-terminale nel the citosol.

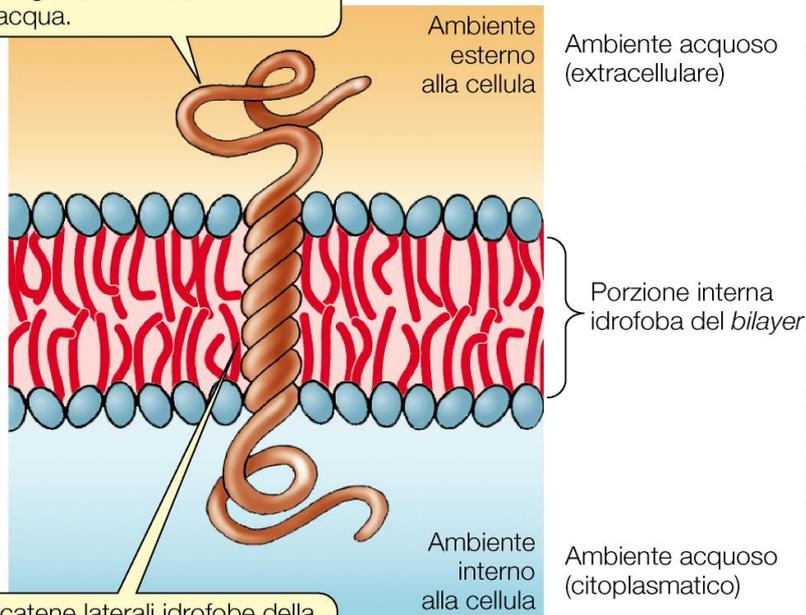
Membrane cellulari: le proteine

PROTEINE INTRINSECHE

Le catene laterali idrofile che appartengono a questa proteina e che sporgono verso l'esterno interagiscono con le molecole di acqua.

Ambiente esterno alla cellula

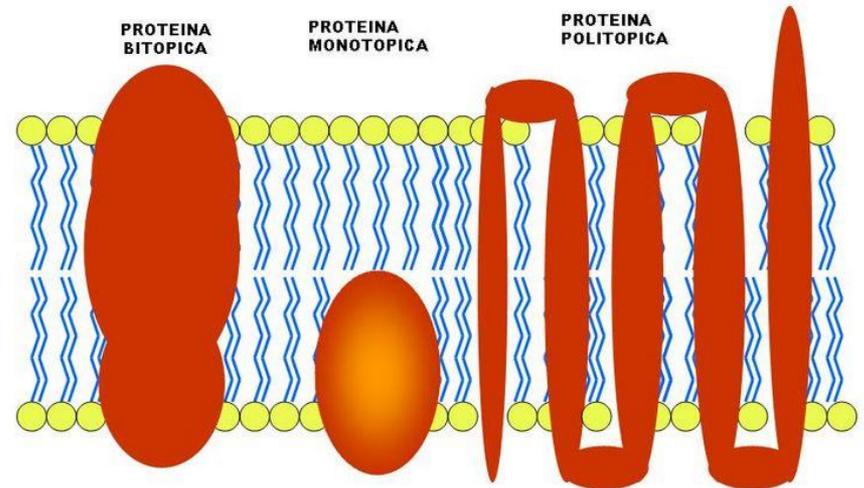
Ambiente acquoso (extracellulare)



Le catene laterali idrofobe della molecola proteica interagiscono con la porzione interna della membrana, anch'essa idrofoba.

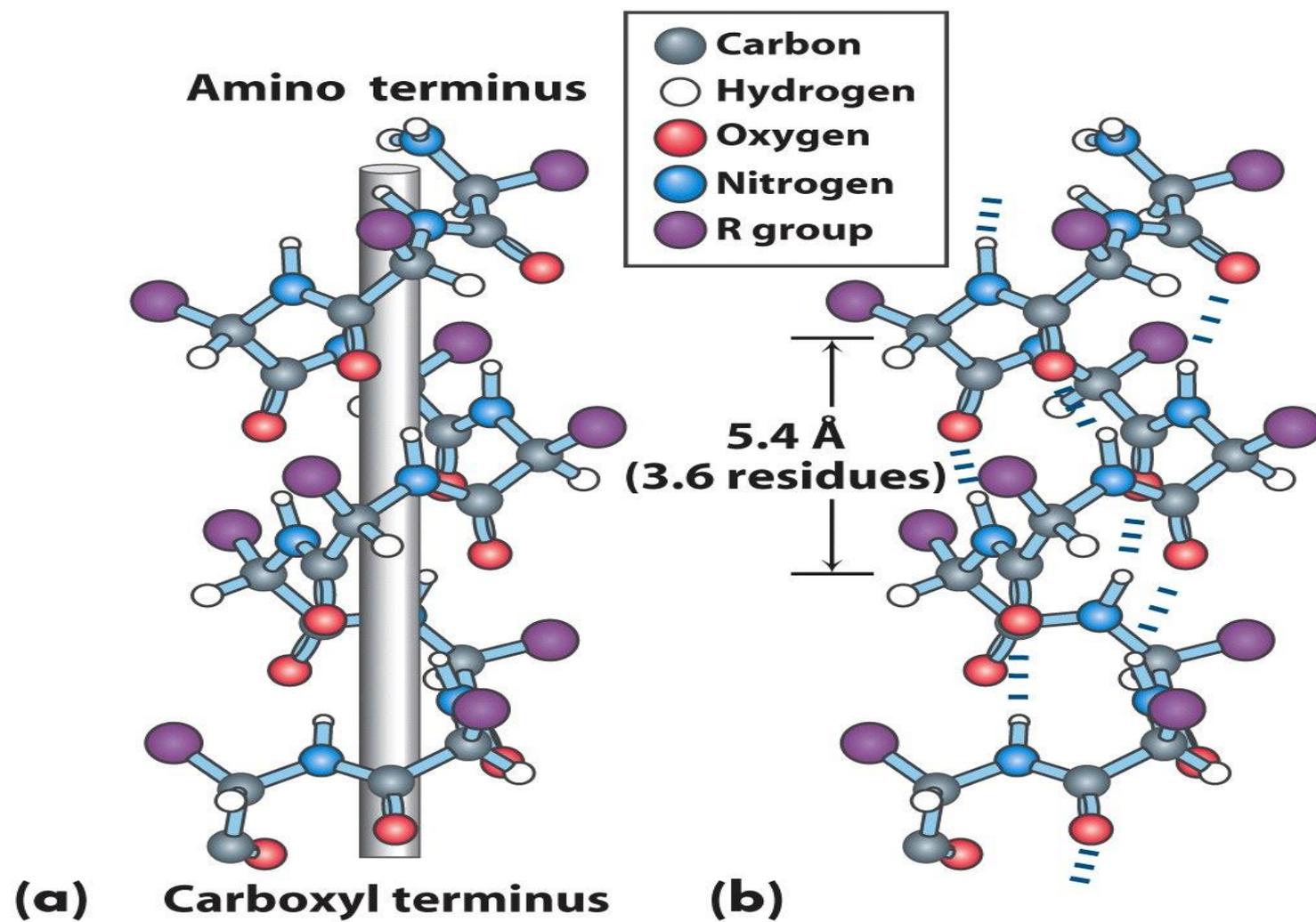
Ambiente interno alla cellula

Ambiente acquoso (citoplasmatico)



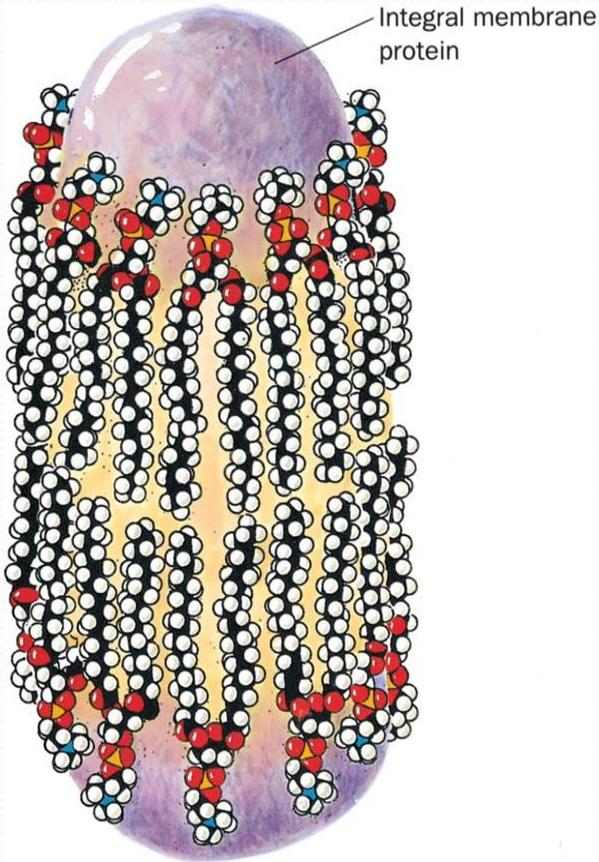
Presenza di domini o regioni non polari nella struttura proteica che ne favoriscono l'inserimento nella membrana

I domini transmembrana hanno struttura secondaria ad alfa elica

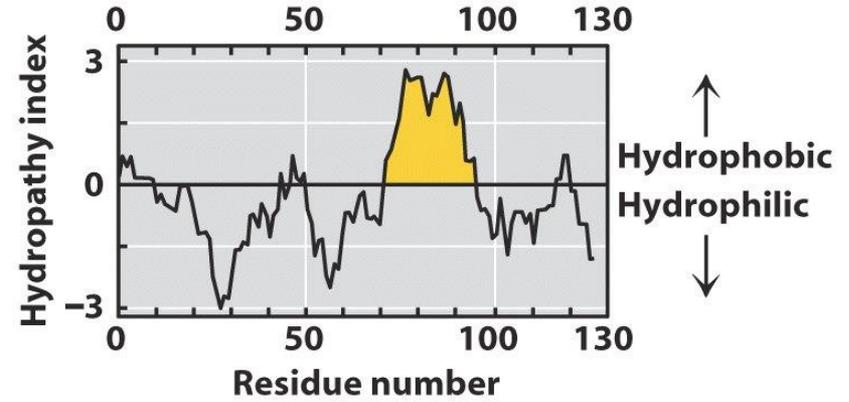


α -elica

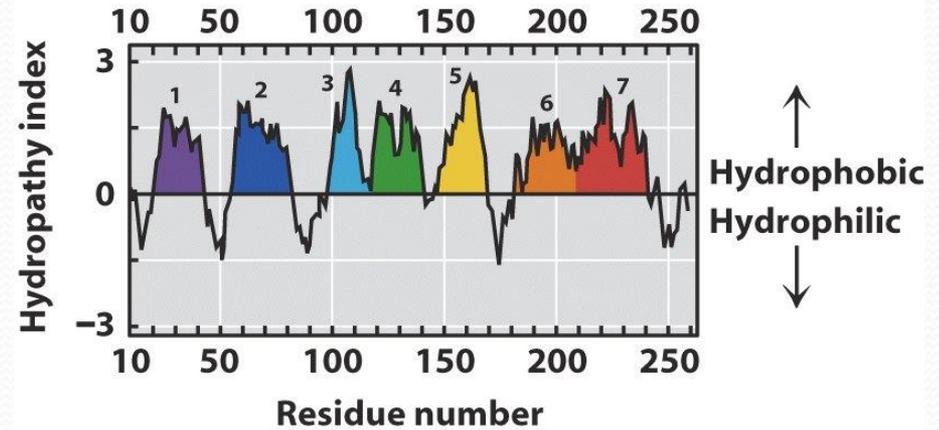
Modello di una proteina integrale di membrana



Prevalenza di amminoacidi idrofobici, distribuiti in porzioni specifiche della proteina

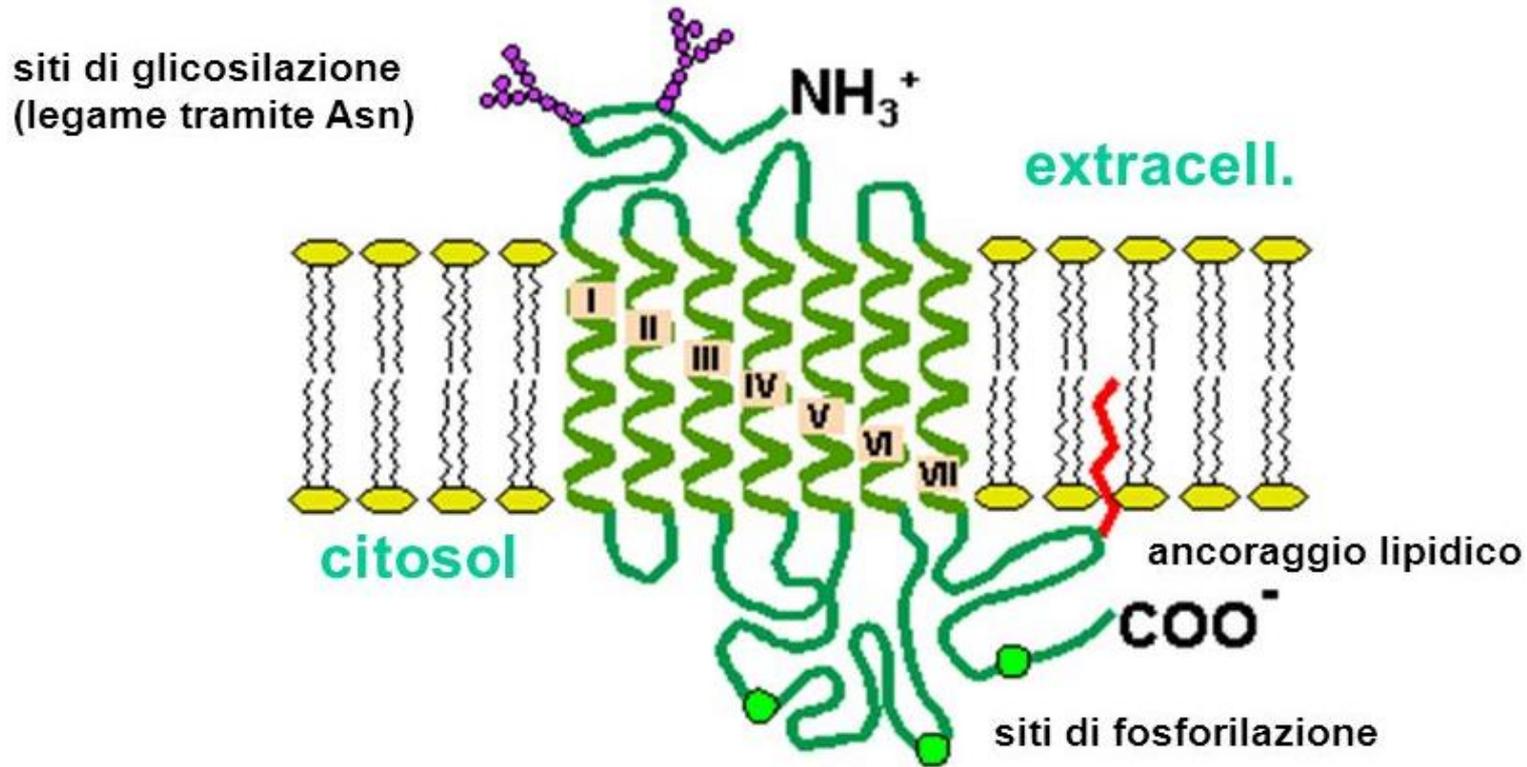


(a) Glycophorin



(b) Bacteriorhodopsin

Recettori accoppiati a proteine G (GPCR)



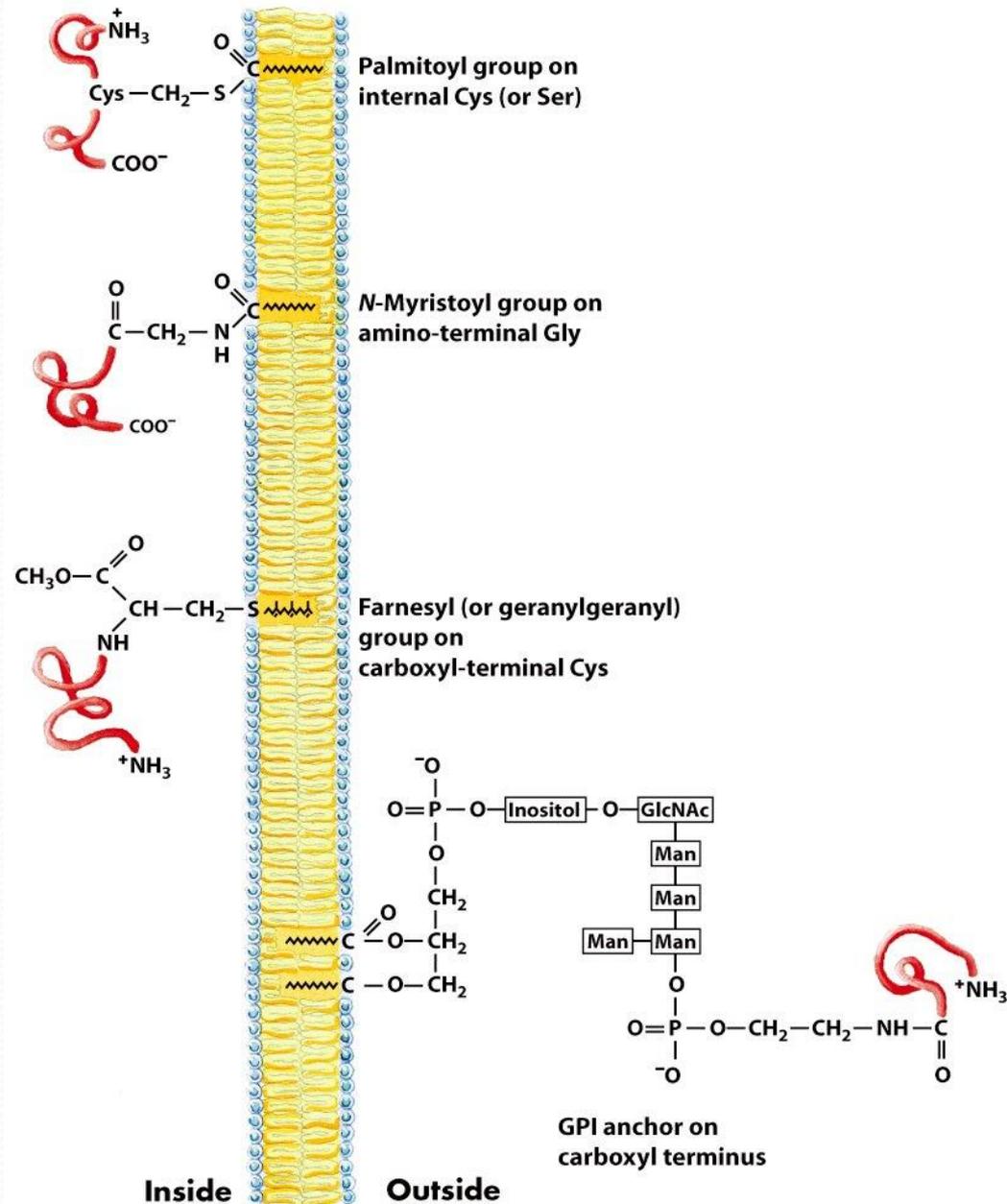
I **Recettori Accoppiati a Proteine G (GPCR)** rappresentano una famiglia di > 1000 membri strutturalmente correlati. Queste proteine sono anche chiamate **Recettori a 7 Domini Transmembrana**.

Proteine coniugate ai lipidi

Proteine periferiche legate covalentemente a gruppi idrofobici

- Acido Palmitico (16:0)
- Acido Miristico (14:0)
- Farnesile (geranyl-geranile) catena isoprenoide
- GPI (glicofosfatidilinositolo)

Si comportano come proteine integrali



Funzioni delle proteine di membrana

Ancoraggio cellulare

Trasporto passivo

Trasporto attivo

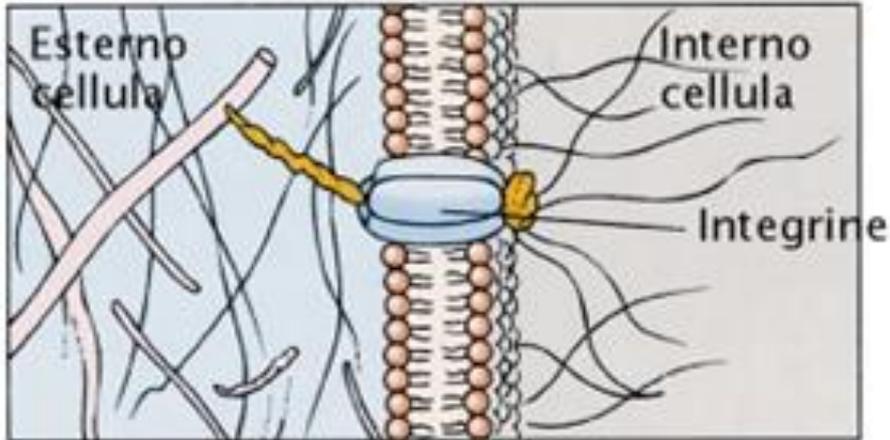
Attività enzimatica

Trasduzione dei segnali (extra-intra cellulari)

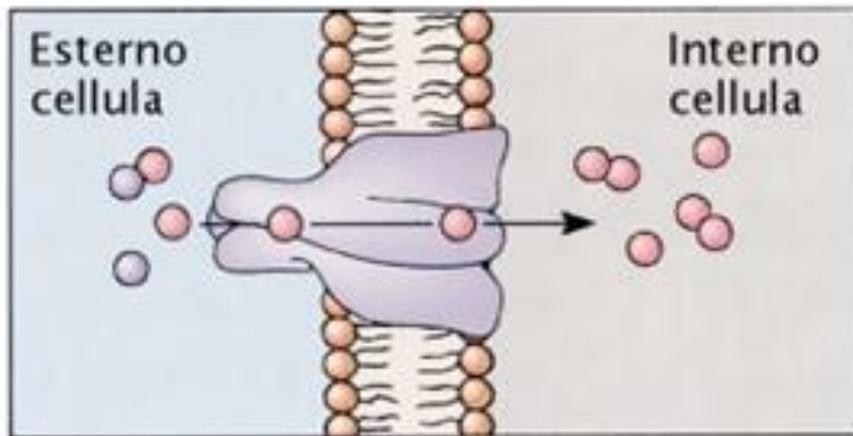
Riconoscimento cellulare

Giunzioni cellulari

Funzioni delle proteine di membrana

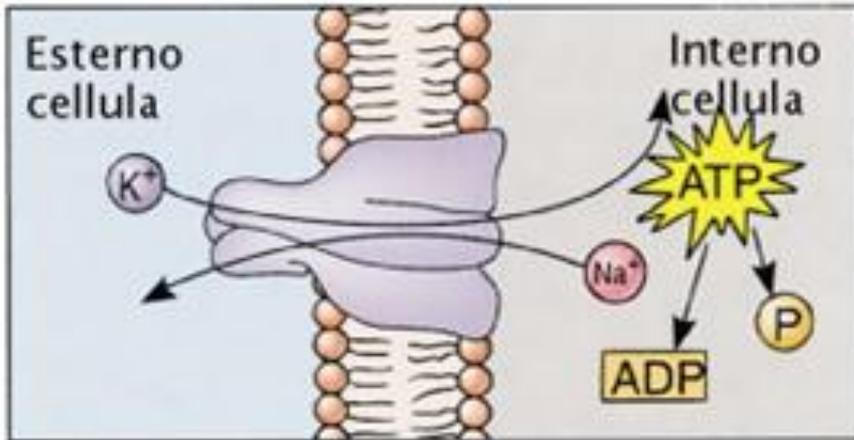


- (a) Ancoraggio cellulare. Alcune proteine di membrana, per esempio le integrine, ancorano la cellula alla matrice extracellulare ed inoltre si connettono ai microfilamenti intracellulari.

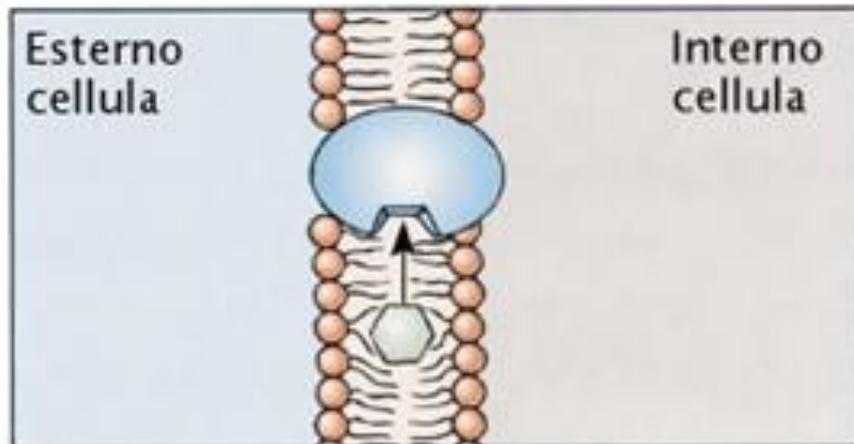


- (b) Trasporto passivo. Certe proteine formano canali che permettono il passaggio selettivo di ioni o molecole.

Funzioni delle proteine di membrana

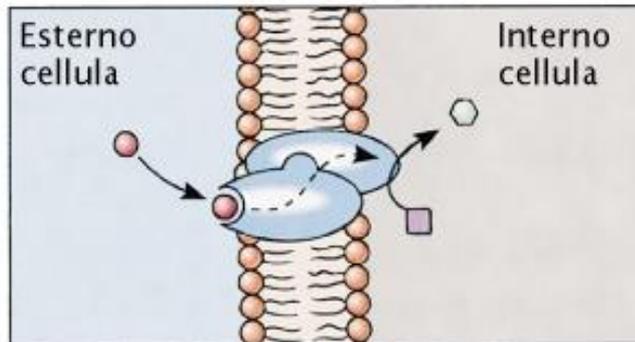


- (c) Trasporto attivo. Alcune proteine di trasporto pompano i soluti attraverso la membrana, un processo che richiede un apporto di energia.

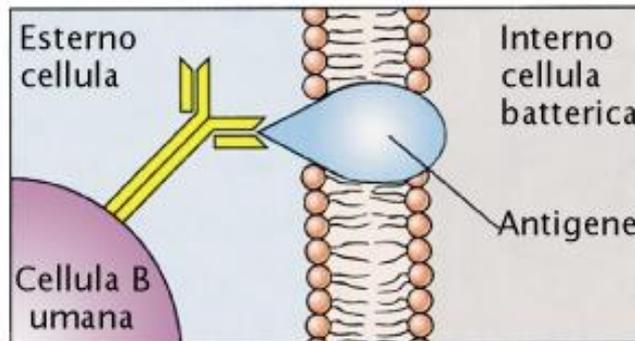


- (d) Attività enzimatica. Molti enzimi legati alla membrana catalizzano reazioni che avvengono all'interno o sulla superficie della membrana.

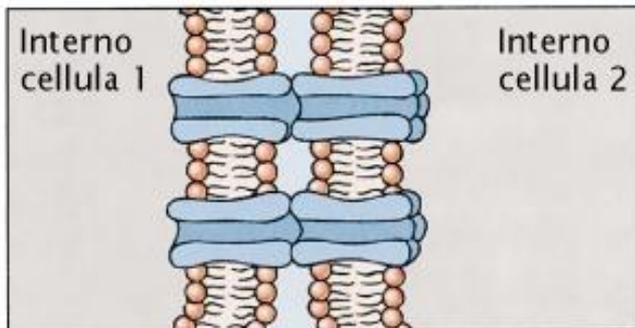
Funzioni delle proteine di membrana



- (e) Trasduzione del segnale. Alcuni recettori legano molecole segnale come gli ormoni e trasmettono l'informazione all'interno della cellula con la trasduzione del segnale.



- (f) Riconoscimento cellulare. Alcune proteine recettoriali funzionano come segnali per il riconoscimento cellulare. Per esempio, le cellule batteriche posseggono proteine superficiali, o antigeni, che vengono riconosciuti come estranei dalle cellule umane. Gli antigeni stimolano le difese immunitarie che distruggono i batteri.



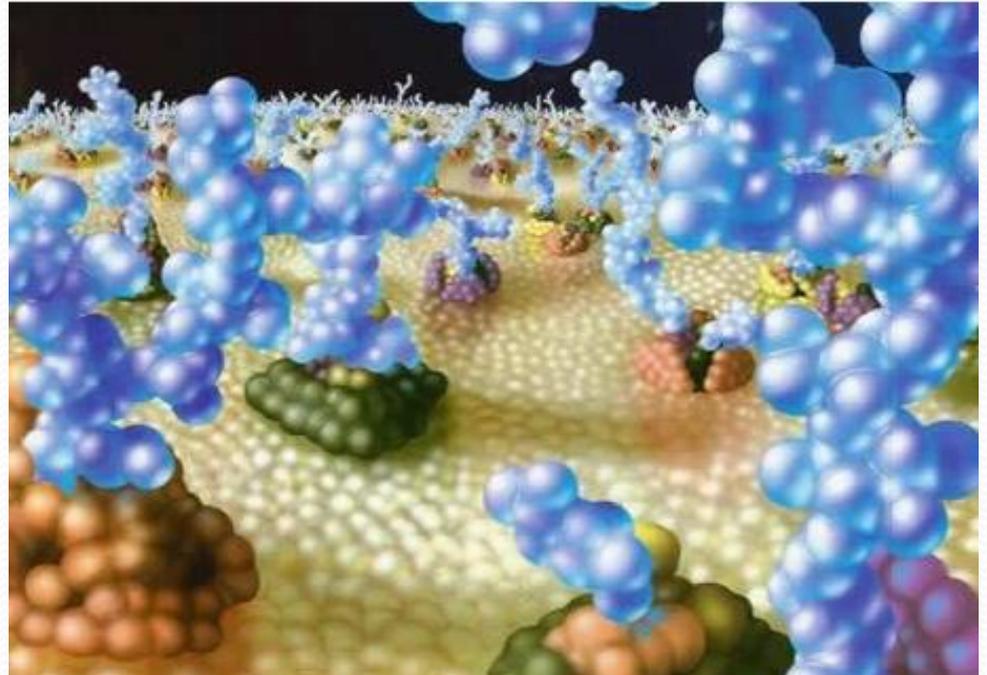
- (g) Giunzione cellulare. Le proteine di adesione legano le membrane di cellule adiacenti.

Funzioni delle proteine di membrana

Importanza della porzione glucidica nelle funzioni di riconoscimento

Molecole più o meno complesse di **carboidrati** si trovano sulla superficie esterna delle membrane cellulari e fungono da siti di riconoscimento

I carboidrati sono legati covalentemente ai componenti della membrana, ovvero a lipidi o a proteine di membrana



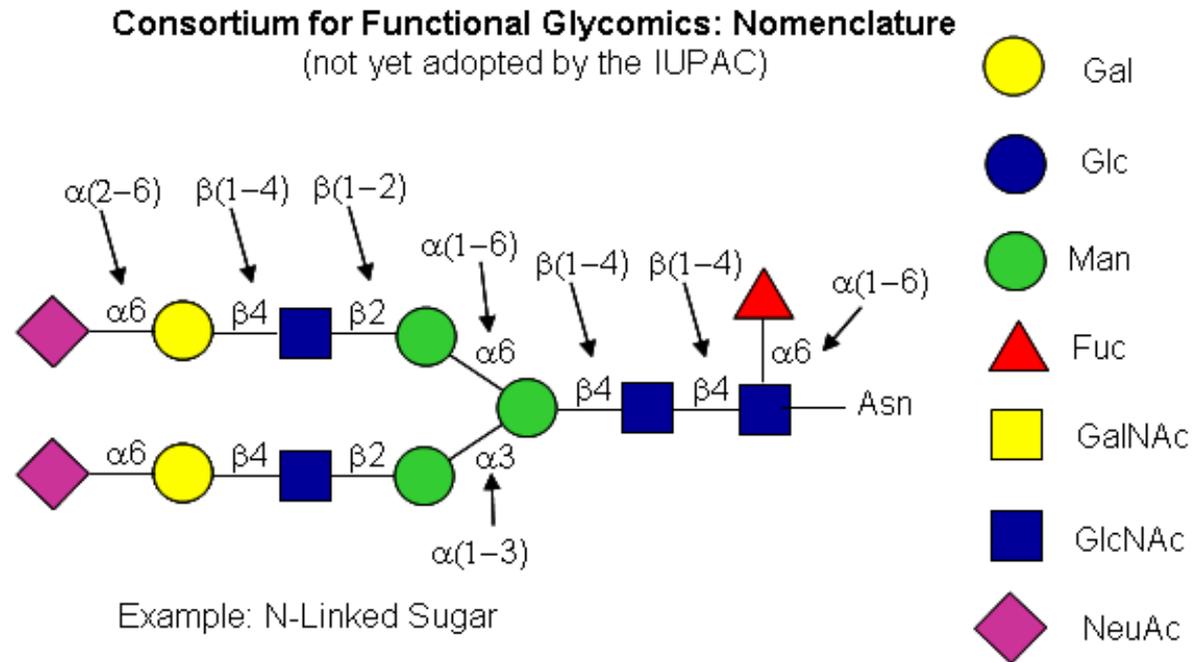
- **GLICOLIPIDI:** unita' polisaccaridiche legate a lipidi di membrana, di solito sporgono all'esterno
- **GLICOPROTEINE:** oligosaccaridi legati a proteine di membrana

Le membrane cellulari: i carboidrati

Sono presenti molti tipi di monosaccaridi che possono essere combinati insieme in modo diverso e formare catene di diversa lunghezza e ramificazione

I carboidrati presenti nella membrana sono una specie di *codice a barre* delle cellule, utile al riconoscimento tra cellule uguali o diverse tra loro

Unità glucidiche legate ad una tipica glicoproteina. La catena oligosaccaridica è unita ad un residuo di asparagina (N-glicoproteina) e si diversifica in base al numero di unità glucidiche, il tipo e il legame che stabiliscono tra loro



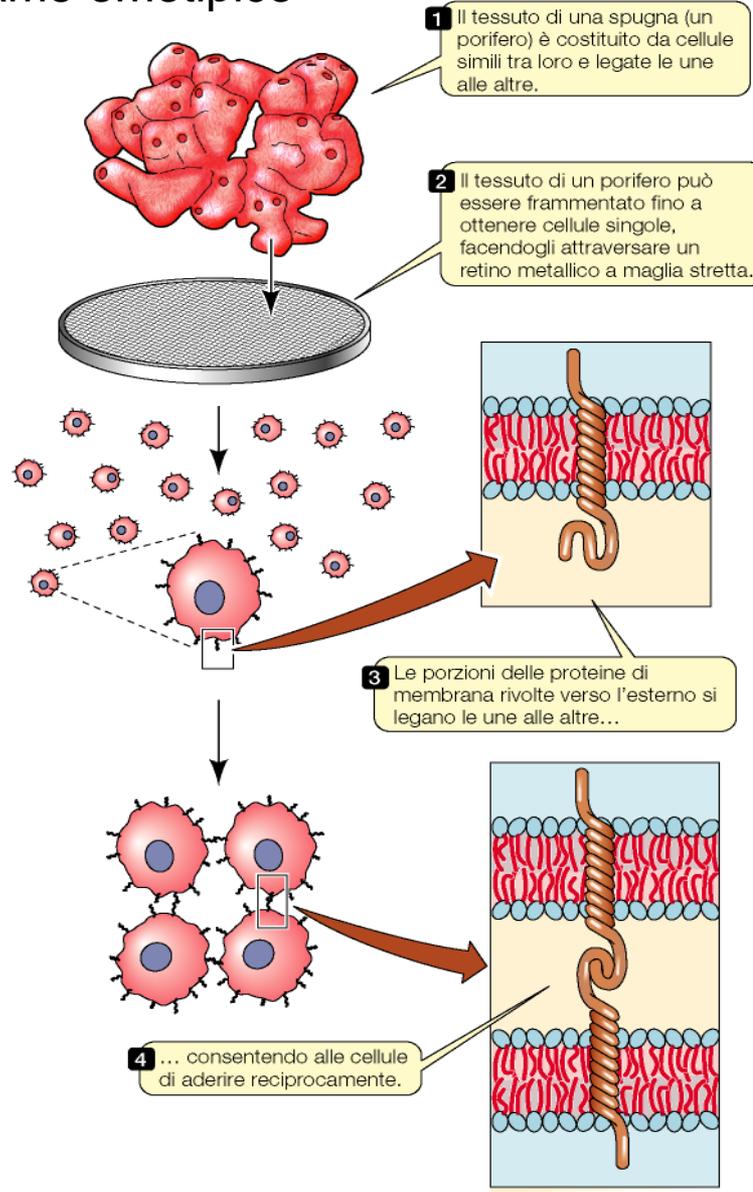
α - axial, β - equatorial at glycosidic carbon of first sugar

- C in second sugar bonded to first sugar through glycosidic bond

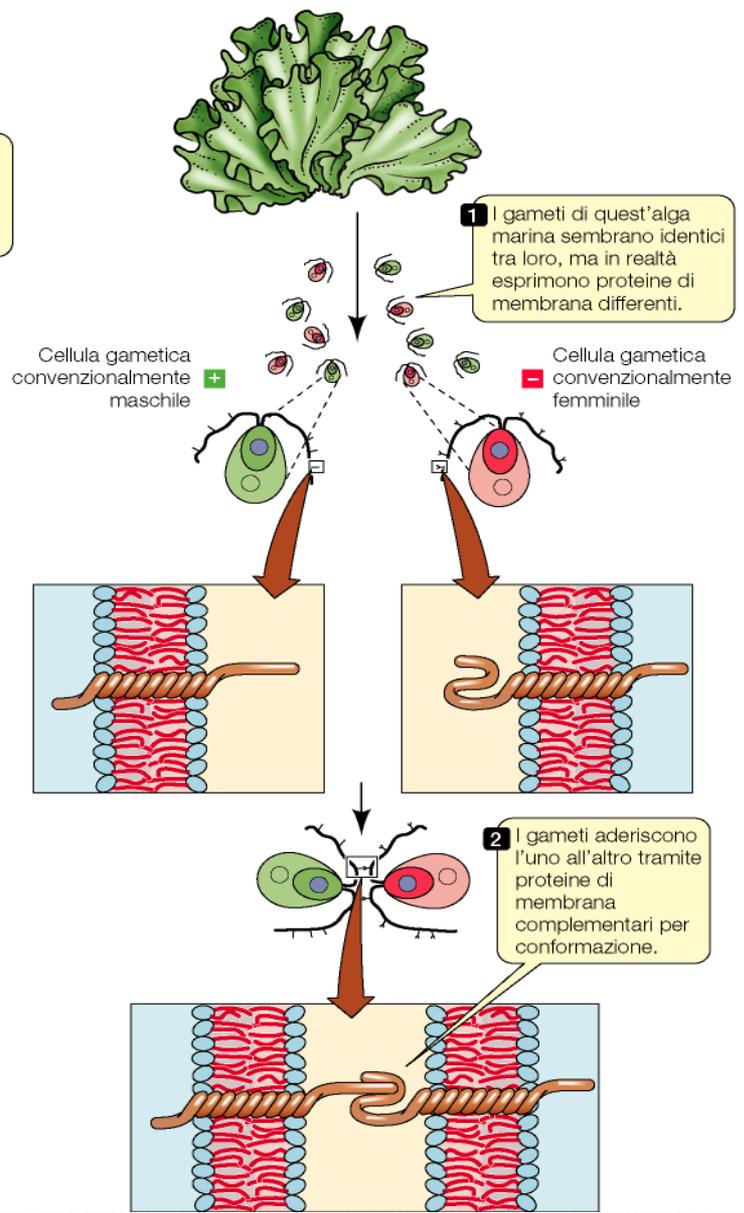
anomeric C number in first sugar fixed and known, so first # omitted

Le membrane cellulari: riconoscimento cellulare

Legame omotipico



Legame eterotipico



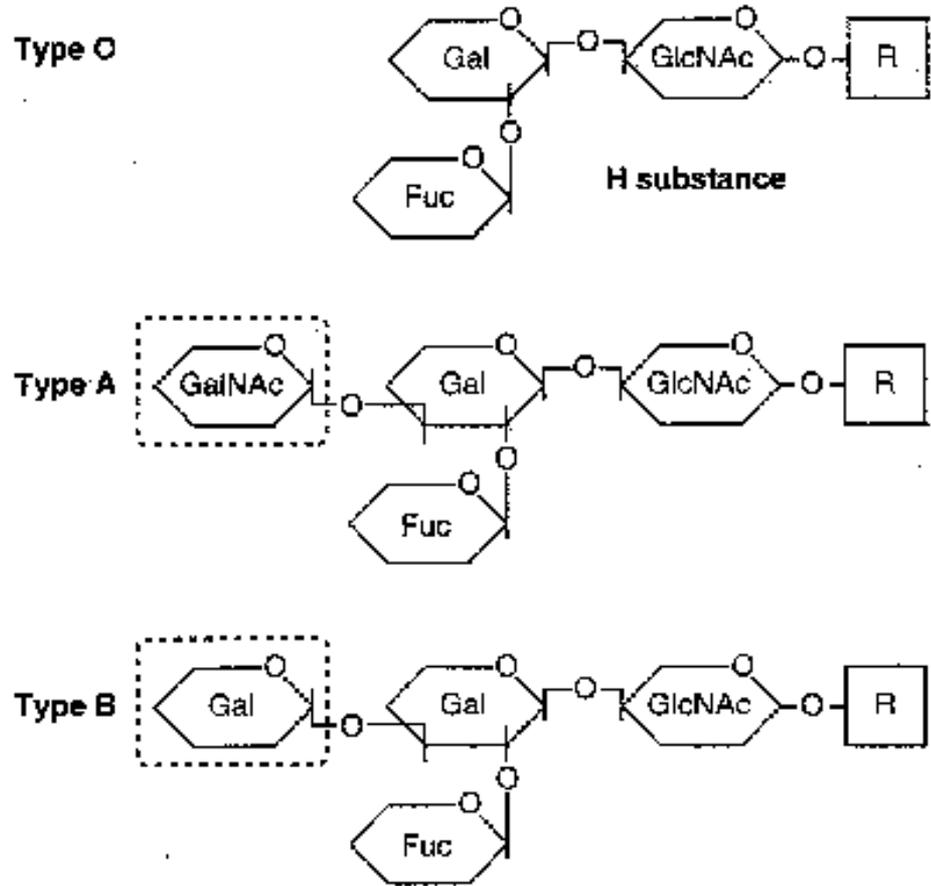
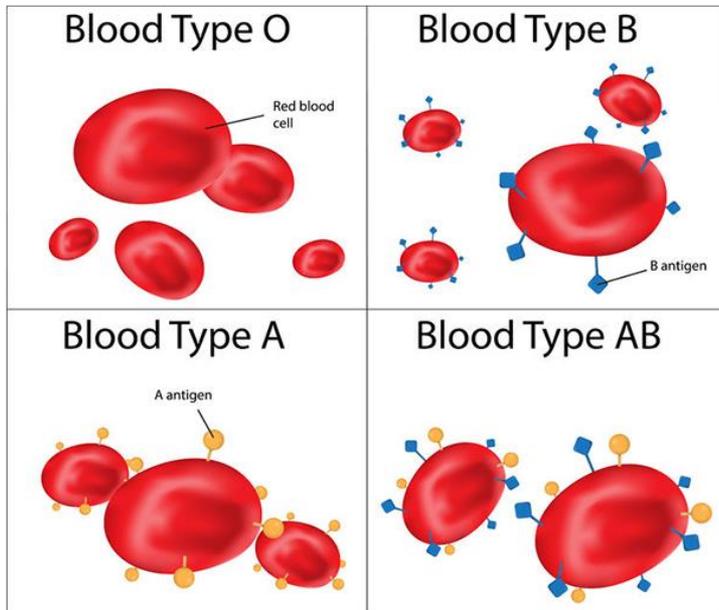
Le membrane cellulari: riconoscimento cellulare

I gruppi sanguigni (sistema AB0)

Struttura degli antigeni dei gruppi ABO

R=proteina nei soggetti secretori

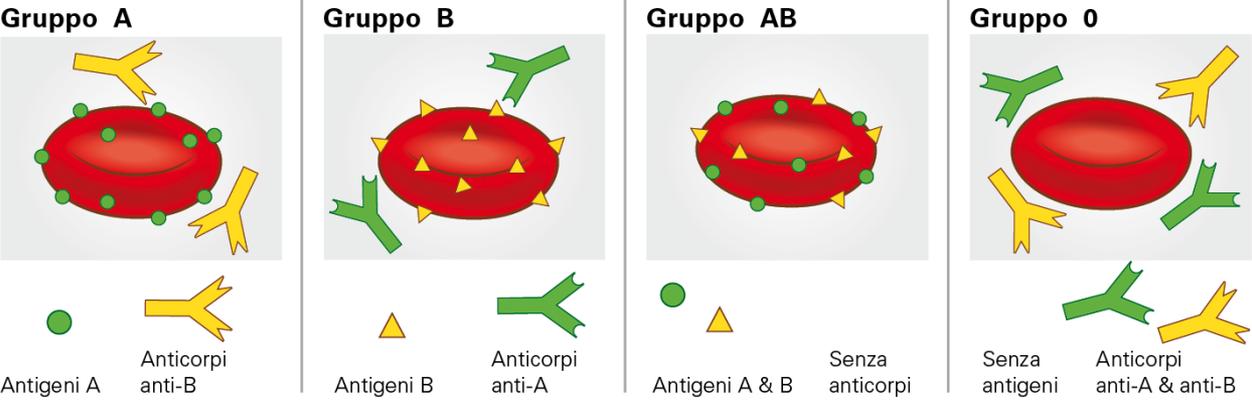
R=sfingolipide nei soggetti non secretori



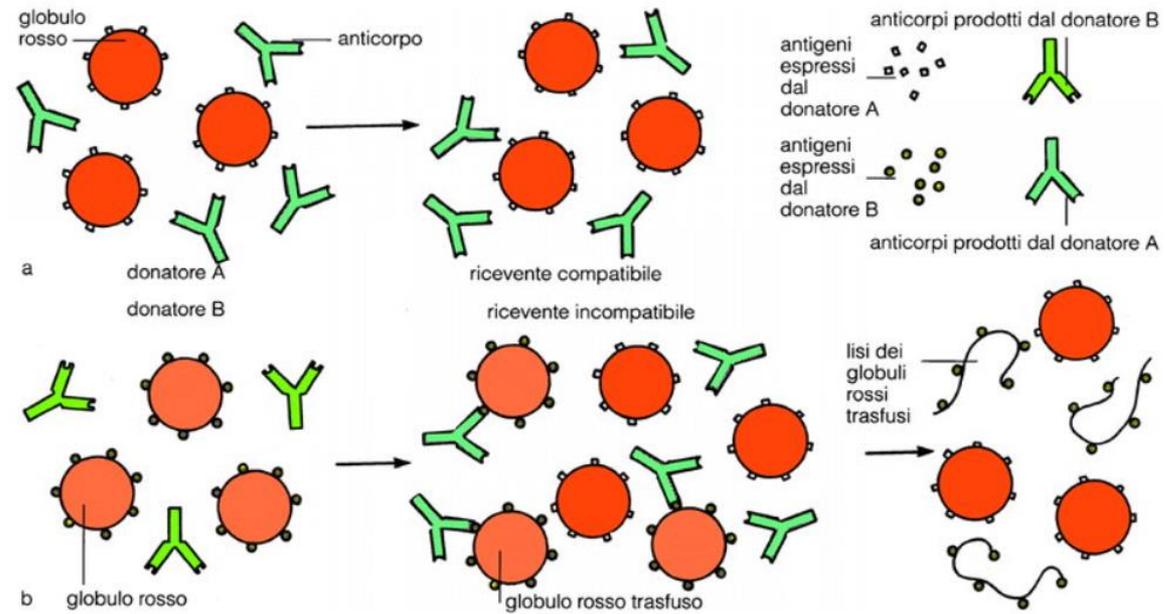
Gruppo sanguigno	Può donare al gruppo	Può ricevere dal gruppo
A	A, AB	A, O
B	B, AB	B, O
AB	AB	AB, A, B, O
O	O, A, B, AB	O
Rh ⁺	Rh ⁺	Rh ⁺ , Rh ⁻
Rh ⁻	Rh ⁺ , Rh ⁻	Rh ⁻

I gruppi sanguigni (sistema AB0)

Gli antigeni A e B, presenti sulla superficie degli eritrociti, sono trasmessi per via ereditaria e determinano il gruppo sanguigno (A, B, AB e 0). Il sistema immunitario riconosce i propri antigeni «naturali» e non sviluppa anticorpi verso di essi



Anticorpi anti-A nelle persone del gruppo sanguigno B,
 Anticorpi anti-B in quelle del gruppo A,
 Anticorpi anti-A e anti-B nelle persone del gruppo 0.



Se entrano in contatto con degli eritrociti incompatibili gli anticorpi si legano sulla membrana dei globuli rossi estranei distruggendoli (emolisi).

- a) I gruppi sanguigni del donatore e del ricevente sono compatibili
- b) i gruppi sanguigni del donatore e del ricevente sono incompatibili

Membrane biologiche: trasporto attraverso la membrana

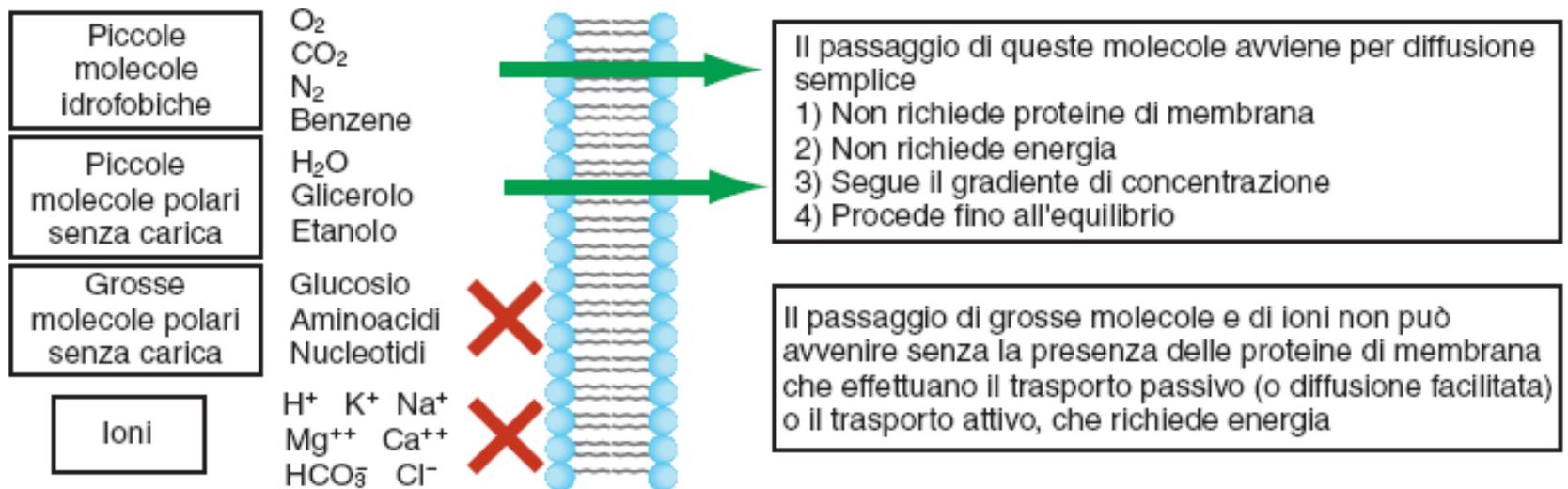
Le membrane biologiche non sono barriere impermeabili (la cellula non è un sistema isolato) ed hanno sviluppato una varietà di sistemi di trasporto molto efficienti

Circa il 65% dell'energia metabolica a disposizione della cellula eucariotica è impiegata nel trasporto di membrana

Trasporto di membrana

Libero passaggio transmembrana

Il doppio strato fosfolipidico permette il libero passaggio, dell'acqua, di gas (O_2 , CO_2) e di piccole molecole liposolubili (prive di carica), come ammoniaca, urea, etanolo e glicerolo.



Trasporto di membrana

Passaggio mediato da trasportatori

Specifiche proteine di trasporto assicurano il passaggio di ioni e molecole idrosolubili (elettricamente cariche).

Il trasporto transmembrana puo' essere:

→ TRASPORTO PASSIVO

secondo gradiente, senza dispendio di energia

→ TRASPORTO ATTIVO

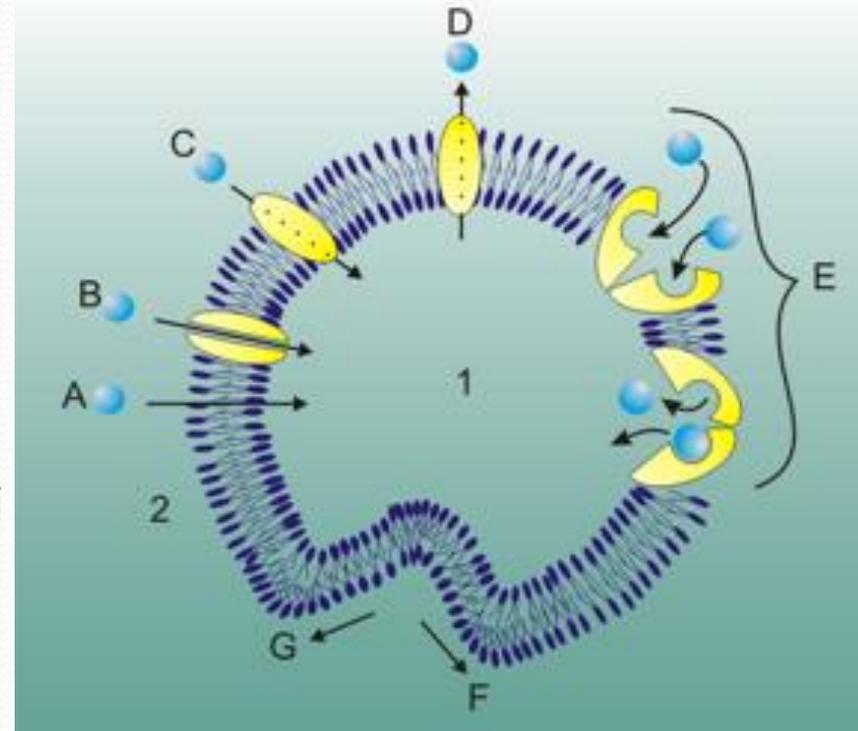
contro gradiente, con dispendio di energia

Trasporto passivo

DIFFUSIONE: trasporto di materiale da un'area in cui esso è presente ad alta concentrazione verso una a più bassa concentrazione. La differenza di concentrazione crea un gradiente di concentrazione che rende possibile il movimento.

- **OSMOSI:** diffusione di un solvente attraverso una membrana verso una regione ad alta concentrazione di soluto. **A muoversi è il solvente e non il soluto.** Negli organismi viventi il solvente è l'acqua e la maggior parte delle membrane cellulari è permeabile all'acqua.

- La **DIFFUSIONE FACILITATA** è il movimento di molecole attraverso la membrana cellulare tramite particolari proteine di trasporto che formano dei canali e sono integrate nella membrana cellulare.



Trasporto passivo:

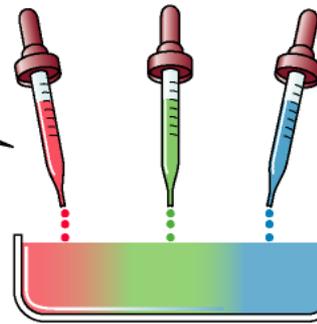
- A. Diffusione
- B. Diffusione facilitata

Trasporto passivo: la diffusione

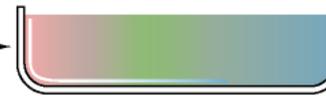
ESPERIMENTO

Domanda: il processo di diffusione conduce a una distribuzione uniforme dei soluti?

Si aggiungano uguali quantità di tre coloranti a una vaschetta poco profonda contenente acqua immobile.



Tempo = 0

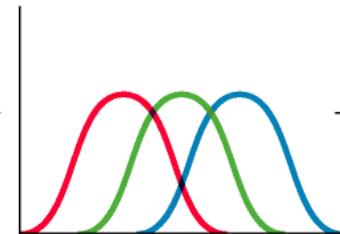
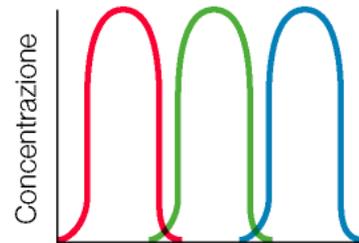


5 minuti dopo

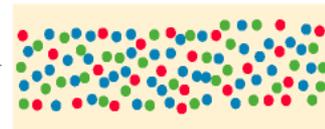
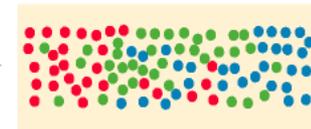
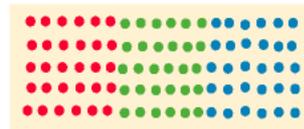


10 minuti dopo

Si prelevino campioni da regioni differenti della soluzione e si misuri la quantità di ogni sostanza colorata.



Il numero e la posizione delle molecole di ogni colorante possono essere rappresentati visivamente.



Conclusione: i soluti si distribuiscono tramite diffusione, in maniera uniforme e indipendentemente gli uni dagli altri.

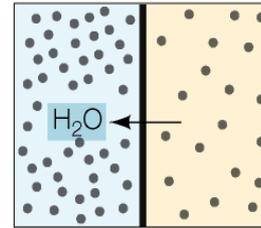
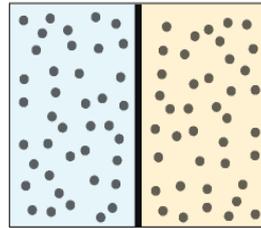
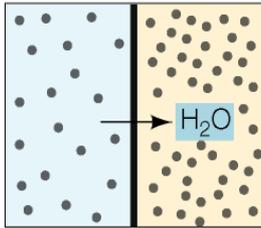
Trasporto passivo: l'osmosi

Soluzione ipertonica
(elevata concentrazione di soluti sul versante esterno)

Soluzioni isotoniche
(soluzioni con equivalenti concentrazioni di soluti sui due versanti)

Soluzione ipotonica
(bassa concentrazione di soluti sul versante esterno)

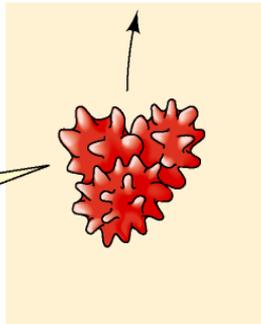
Ambiente interno alla cellula Ambiente esterno alla cellula



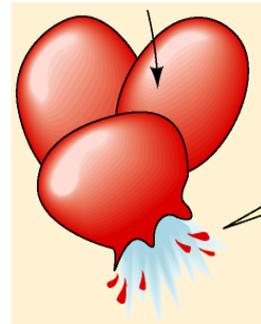
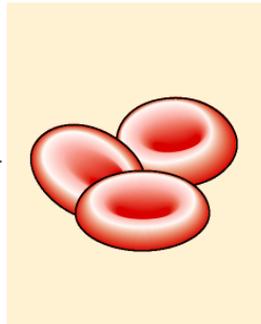
H₂O

H₂O

Cellule animali

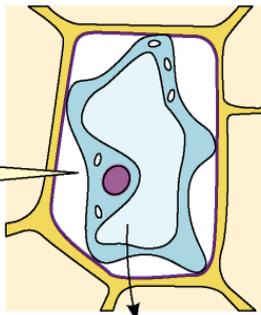


Le cellule perdono acqua e si raggrinziscono.

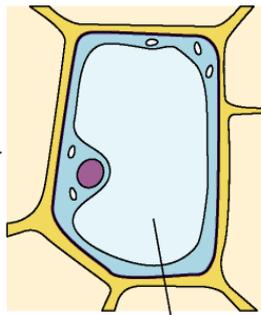


Le cellule assumono acqua, si rigonfiano e infine scoppiano.

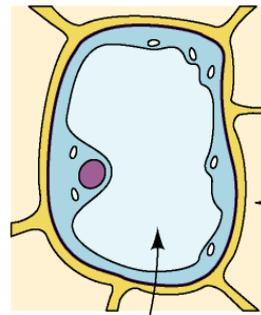
Cellula vegetale



La cellula si restringe e la sua membrana si allontana dalla parete cellulare.



Vacuolo



La cellula diviene turgida ma fondamentalemente mantiene la propria forma grazie alla presenza della parete cellulare.

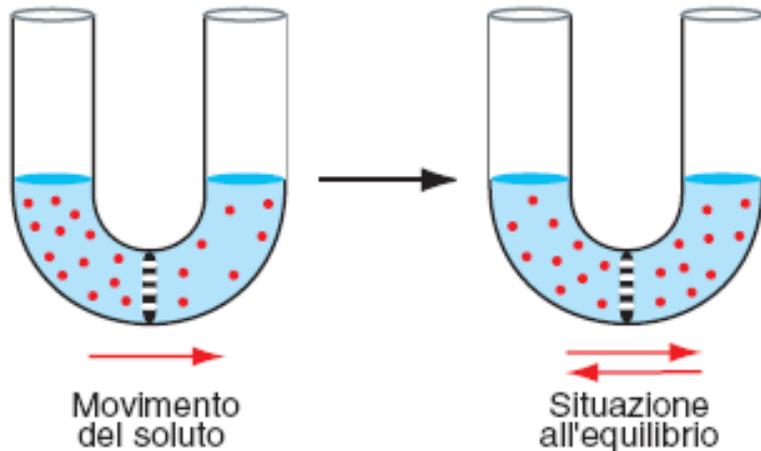
H₂O

H₂O

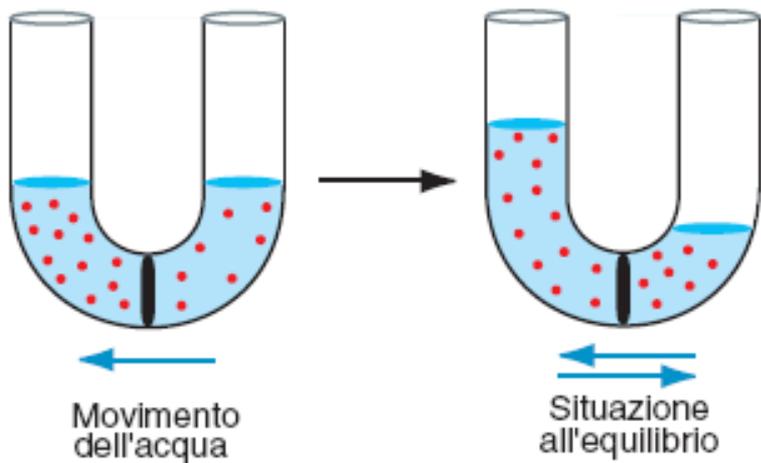
Diffusione di acqua attraverso una membrana a permeabilità selettiva (permeabile al solvente ma non al soluto)

Trasporto passivo: l'osmosi

(A) Diffusione



(B) Osmosi



Equilibrio:

Concentrazione soluto lato A =
Concentrazione soluto lato B

Diffusione passiva in assenza
di una membrana
semipermeabile (libero
movimento del soluto)

Diffusione di acqua attraverso
una membrana a permeabilità
selettiva (permeabile al solvente
ma non al soluto)

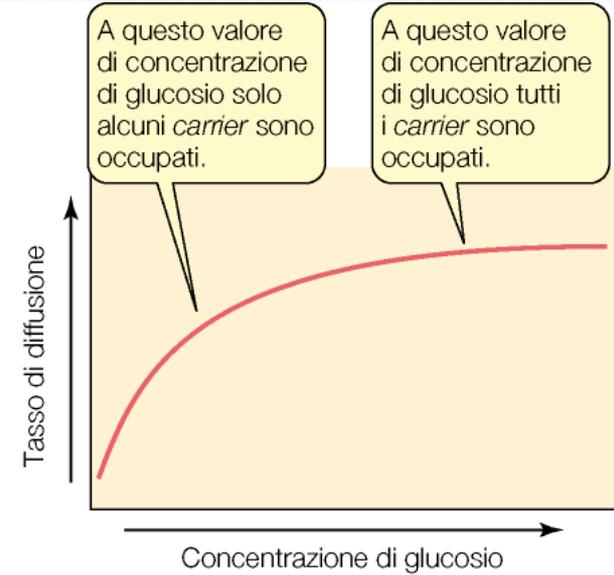
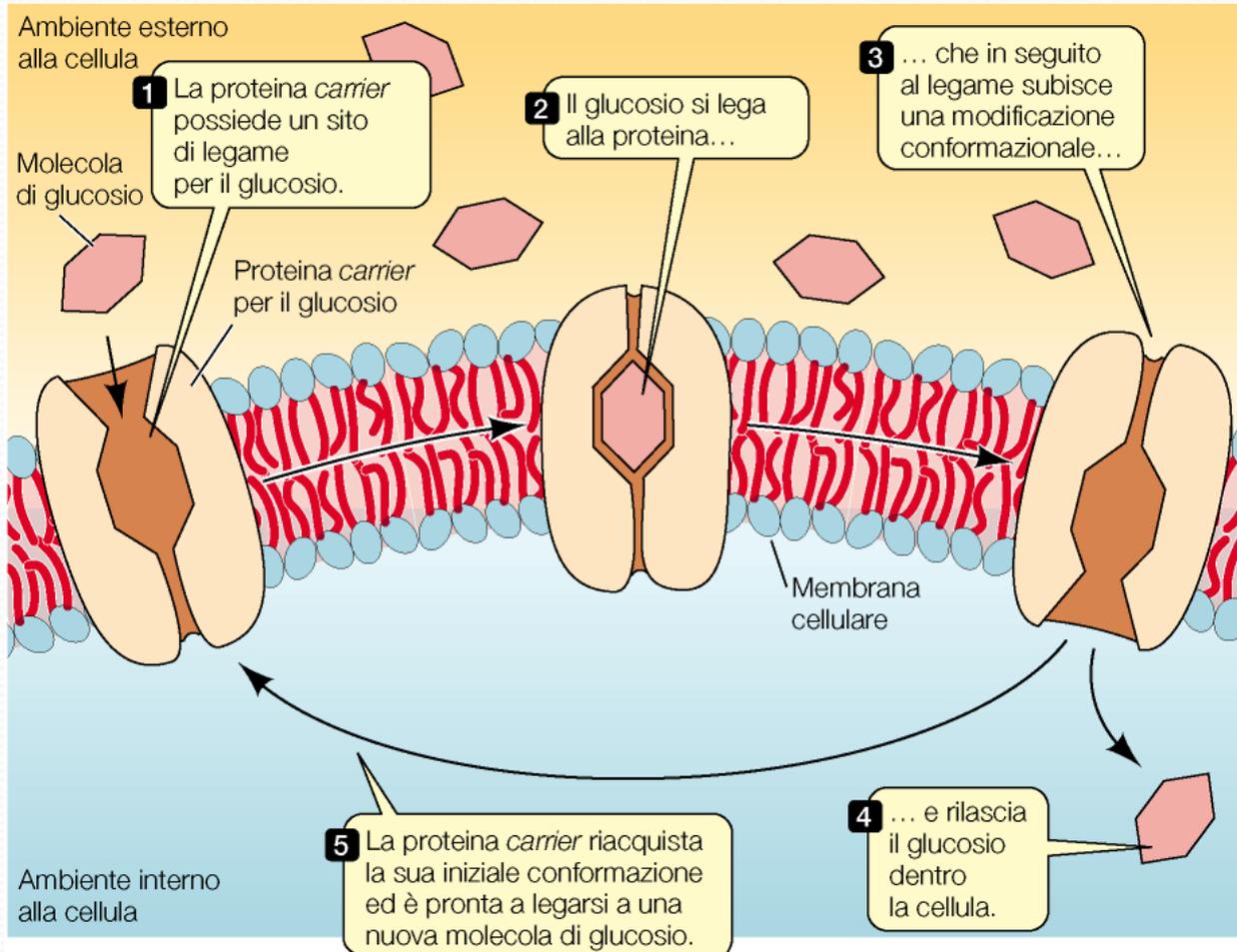
Equilibrio:

Pressione Idrostatica =
Pressione Osmotica

Trasporto passivo: diffusione facilitata

Proteine trasportatore

Trasportatori glucosio (GLUT)

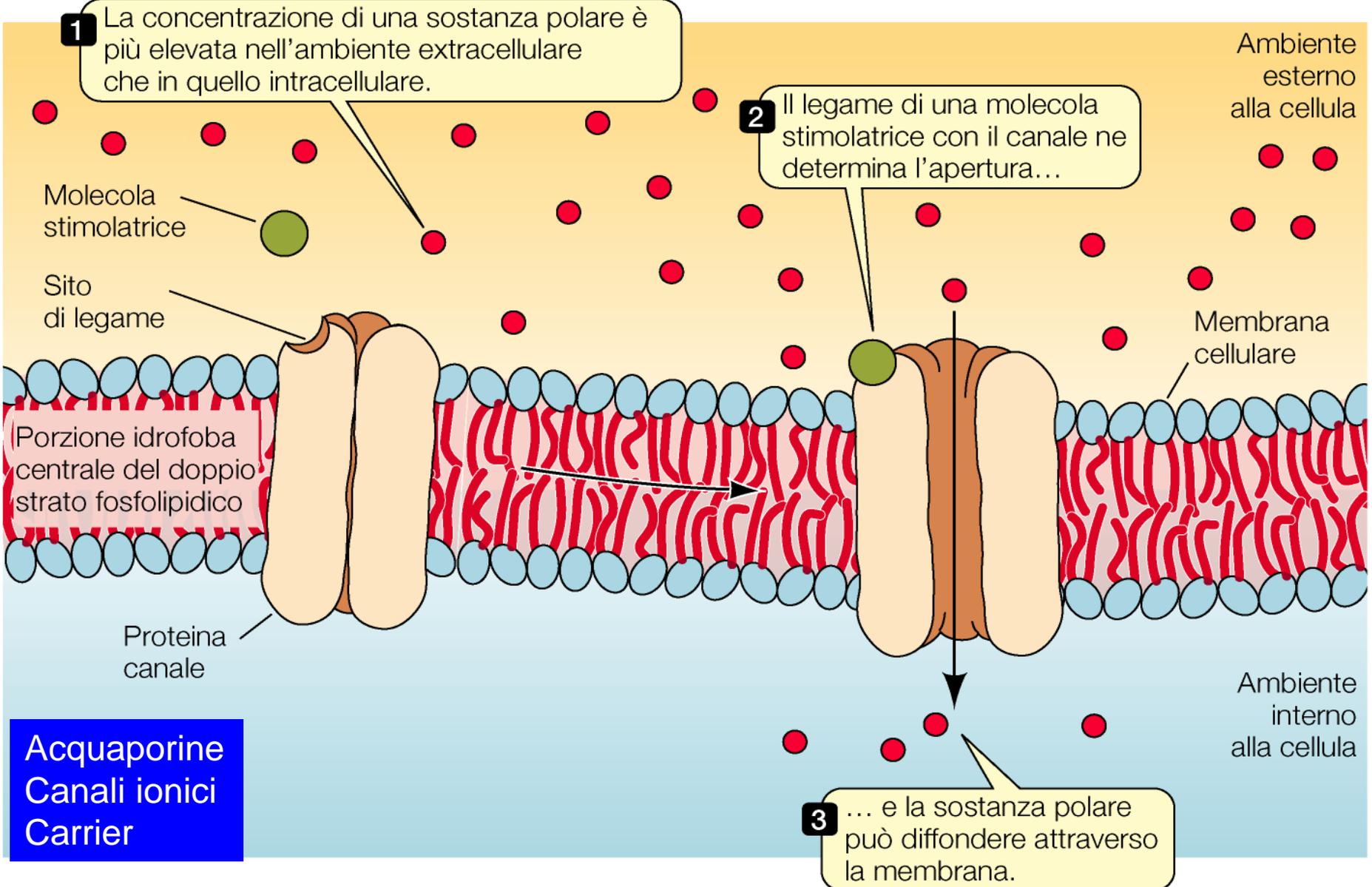


(b)

Cinetica di trasporto con andamento analogo a quello descritto per gli enzimi (saturazione quando tutti i trasportatori sono impegnati)

Trasporto passivo: diffusione facilitata

Canali proteici regolati



- Acquaporine
- Canali ionici
- Carrier

Trasporto attivo

E' il trasporto di molecole attraverso la membrana plasmatica mediato da una proteina transmembrana detta trasportatore di membrana.

A differenza di quanto avviene nel trasporto passivo, **nel trasporto attivo è richiesta una spesa energetica** ed è sempre necessaria la mediazione di un trasportatore.

In questa forma di trasporto le **molecole si muovono contro un gradiente elettrico, chimico o elettrochimico.**

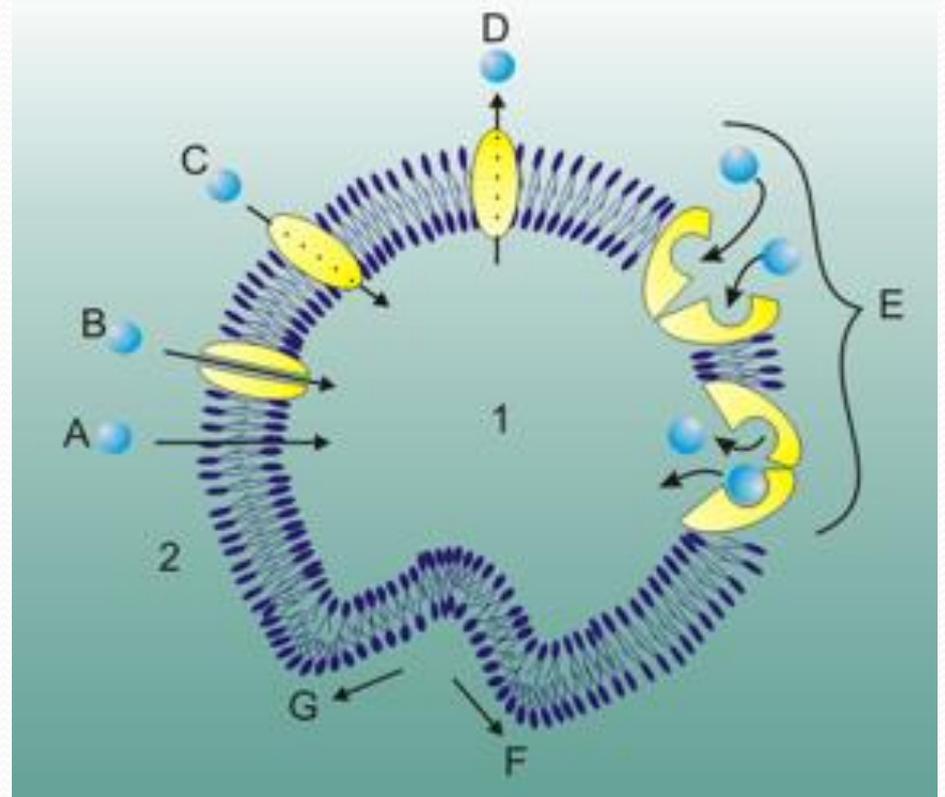
Trasporto attivo:

D - Trasporto primario
(contro gradiente)

C, E - Trasporto secondario:

C - **Uniporto**

E - **Simporto**



Tipi di trasporto attivo

- **Trasporto attivo diretto**

L'ATP si lega direttamente alla proteina di membrana di trasporto

l'idrolisi dell'ATP libera energia necessaria per il trasporto

- **Trasporto attivo indiretto**

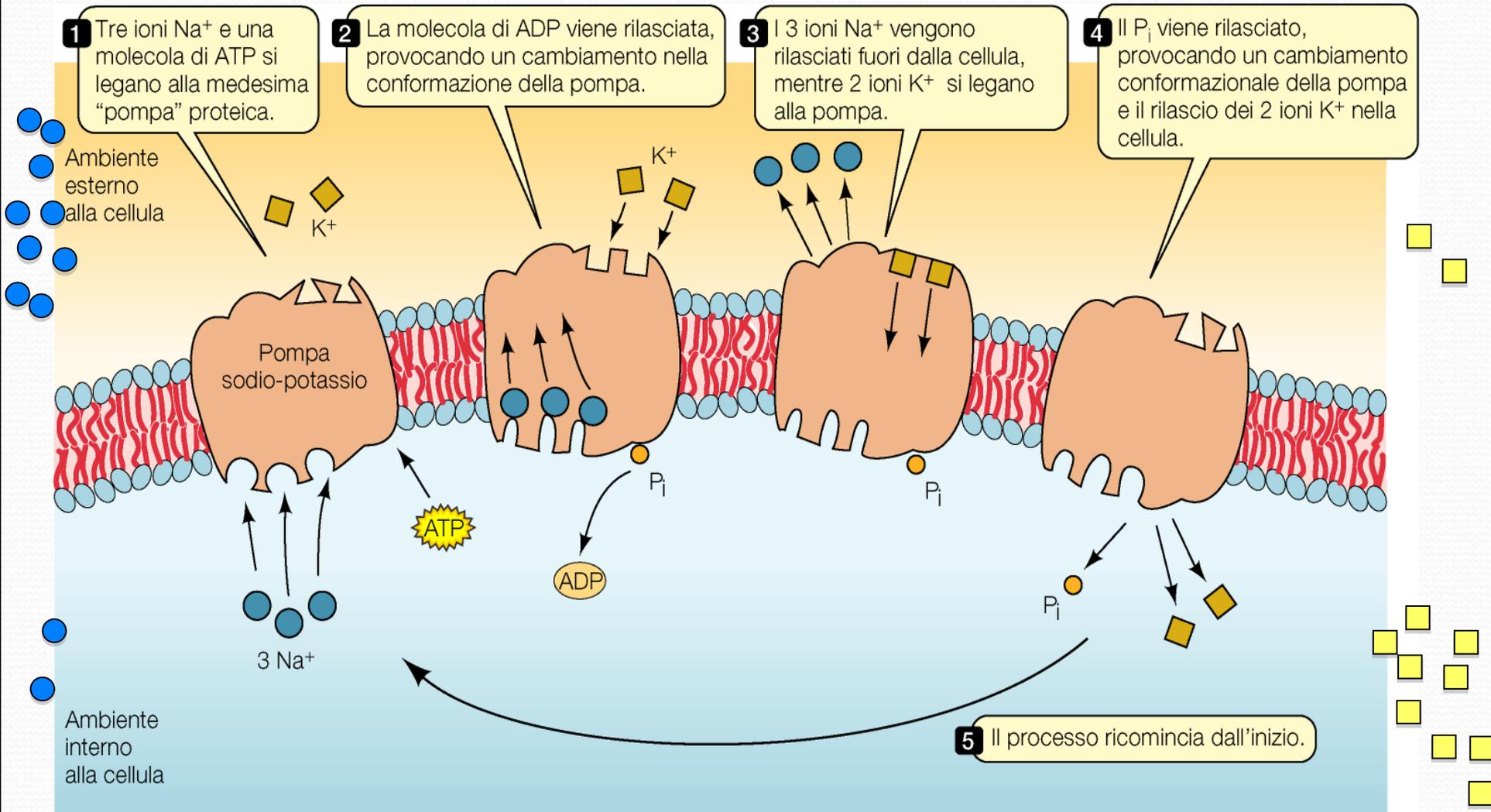
L'energia accumulata dal trasporto attivo diretto (cioè l'energia che deriva dall'aumento del potenziale energetico in seguito al trasporto contro gradiente) viene rilasciata e utilizzata per trasportare un'altra molecola.

Trasporto attivo diretto I

- La **Na⁺/K⁺ ATPasi**
- il citoplasma delle cellule contiene **potassio** ad una concentrazione 20 volte più alta dell'ambiente **extracellulare**. Al contrario la concentrazione di sodio è 10 volte più alta nell'ambiente extracellulare.
- Nonostante il diverso gradiente la cellula trasporta tre ioni sodio all'esterno e due ioni potassio all'interno (ANTIPORTO)
- la concentrazione di questi ioni è mantenute dal trasporto attivo attuato dalla pompa Na⁺/K⁺ ATPasi

TRASPORTO ATTIVO

IL TRASPORTO ATTIVO PRIMARIO CONSUMA ATP DIRETTAMENTE:
la pompa Na^+/K^+ ATPasi



Mantenimento pressione osmotica e creazione gradiente Na^+

Trasporto attivo diretto II

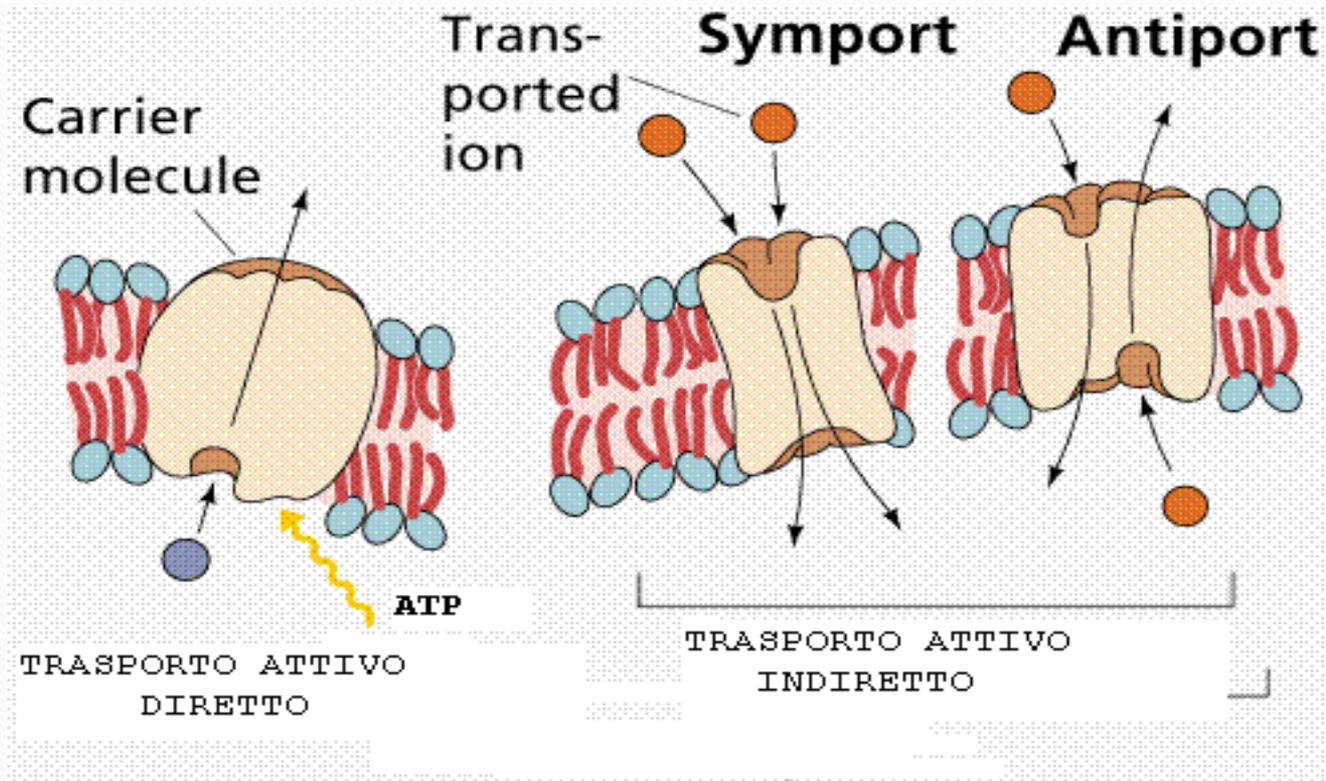
- La pompa **H⁺/K⁺ ATPasi**
- le cellule parietali dello stomaco usano questa pompa per produrre il succo gastrico.
- Queste cellule trasportano protoni (H⁺) dall'interno (bassa concentrazione) all'esterno (alta concentrazione) , quindi acidificano il succo gastrico ad un pH di circa 1
- tale trasporto richiede una enorme quantità di energia e infatti queste cellule sono ricche di mitocondri.

Trasporto attivo diretto III

- **Ca²⁺ ATPasi** delle cellule muscolari striate
- le cellule muscolari striate a riposo hanno una concentrazione di calcio nel reticolo endoplasmatico (REL) più alta di quella del citoplasma.
- Il passaggio del calcio (per diffusione facilitata) dal REL al citoplasma permette la contrazione muscolare.
- Dopo la contrazione il Calcio è pompato nuovamente nel REL per trasporto attivo diretto.
- La pompa Ca²⁺ ATPasi per ogni molecola di ATP pompa 2 ioni calcio nel REL

Trasporto attivo indiretto

- Il trasporto attivo indiretto sfrutta il flusso di ioni per trasportare altre molecole nella stessa (SINPORTO) o in direzione diversa (ANTIORTO).



Trasporto attivo indiretto I

SIMPORTO

- trasportatore **Na⁺/glucosio**
- tale proteina permette al sodio e al glucosio di entrare assieme
- l'energia che si ottiene dalla diffusione del sodio verso il gradiente più basso viene utilizzata dal glucosio per entrare.
- Il sodio in seguito verrà pompato fuori dalla cellula contro gradiente con il trasporto attivo diretto (Na⁺/K⁺ ATPasi)

Trasporto attivo indiretto

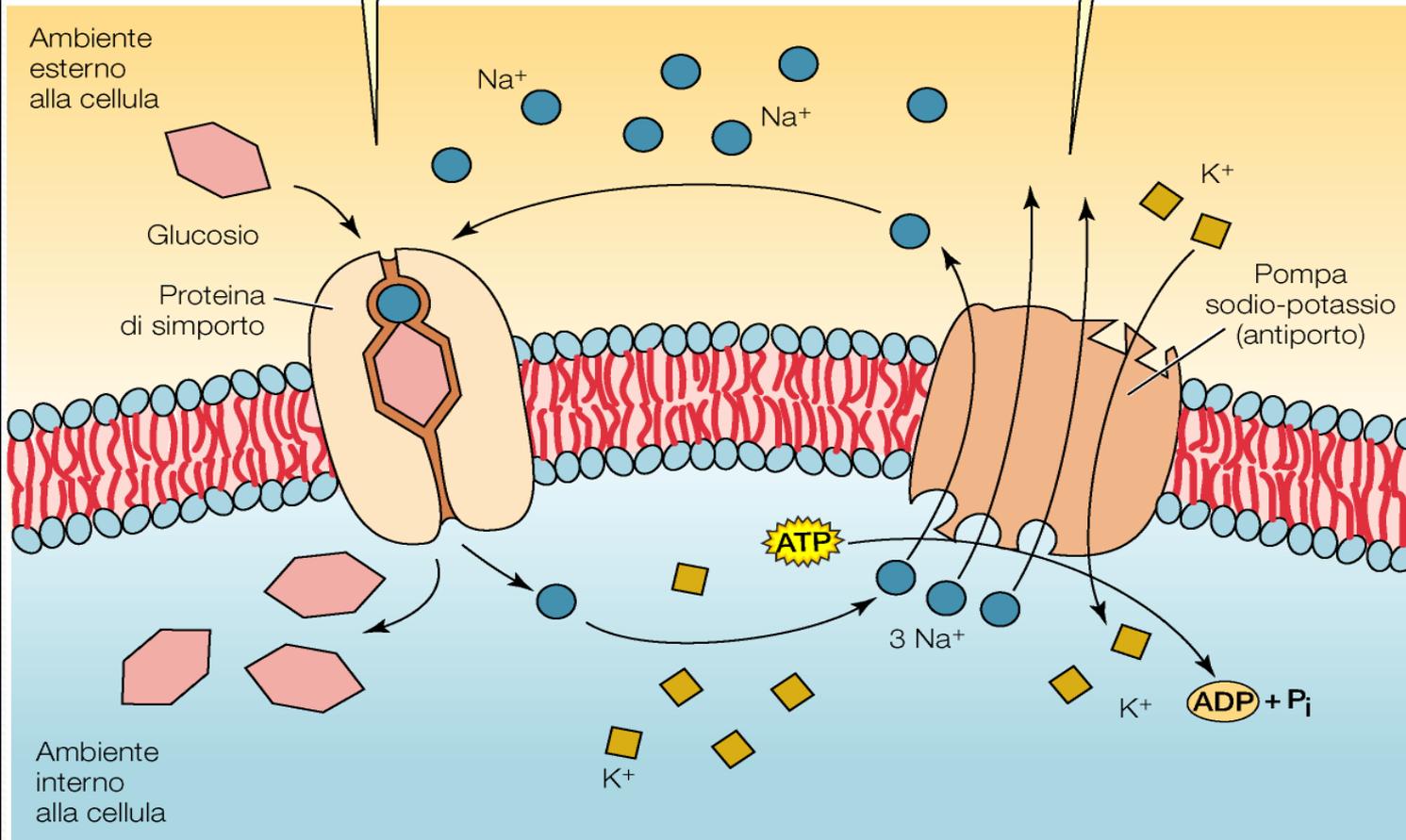
TRASPORTO ATTIVO SECONDARIO (Sinporto/antiporto)
SFRUTTA UN GRADIENTE PRECOSTITUITO

Trasporto attivo secondario

Gli ioni sodio, muovendosi secondo il gradiente di concentrazione instauratosi grazie alla pompa sodio-potassio, determinano il trasporto del glucosio contro il suo stesso gradiente di concentrazione.

Trasporto attivo primario

La pompa sodio-potassio muove gli ioni sodio, usando l'energia derivata dall'idrolisi dell'ATP per instaurare un gradiente di concentrazione di tali cationi.



Assorbimento intestinale di glucosio

Trasportatori SGLT (Sodium Glucose Transporter), nella membrana apicale degli enterociti

Immagazzina glucosio nella cellula contro il suo gradiente di concentrazione sfruttando il gradiente di ioni Na^+

Trasporto attivo indiretto II

SIMPORTO

- Il trasportatore **Na⁺/iodio**
- questo trasportatore pompa iodio dentro le cellule della tiroide per sintetizzare la tiroxina.

Trasporto attivo indiretto III

ANTIORTO

- nelle pompe antiporto uno ione fluisce in una direzione generando energia per il trasporto attivo di una molecola che fluisce in senso opposto
- il magnesio è pompato fuori dalle cellule scambiandosi con i sodio
- la Na^+/K^+ ATPasi è anche una pompa ad antiporto poiché pompa Na^+ fuori e K^+ dentro le cellule.

Endocitosi/esocitosi

Endocitosi ed esocitosi sono altre forme di trasporto attraverso la membrana. Il trasporto avviene tramite vescicole lipidiche (a doppio strato come i liposomi).

Nella **endocitosi** queste vescicole si formano per invaginazione della membrana cellulare inglobando materiale extracellulare e portandolo all'interno della cellula. Nella **esocitosi** invece delle vescicole assemblate all'interno della cellula si fondono con la membrana cellulare riversando il loro contenuto all'esterno della cellula.

