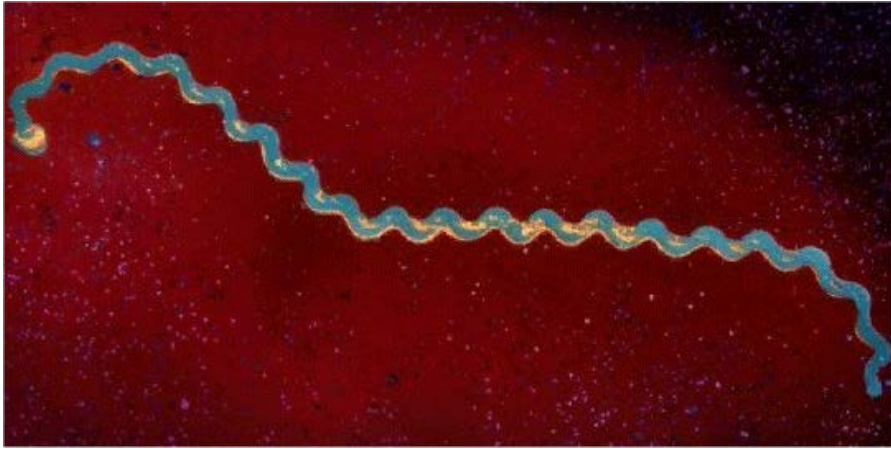


Il flagello nelle Spirochete.



Le spirochete sono batteri molto sottili in grado di muoversi con un movimento a cavaturaccioli.

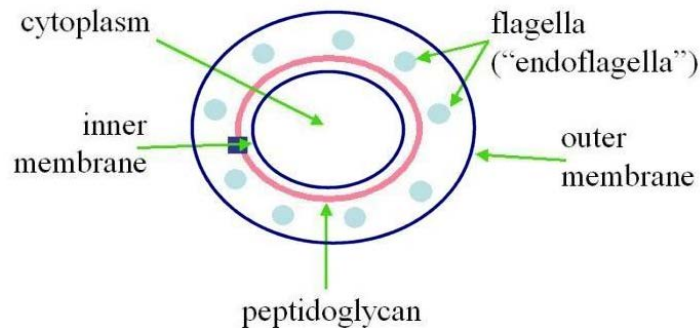
Il flagello è localizzato nel periplasma al di sotto della membrana esterna.

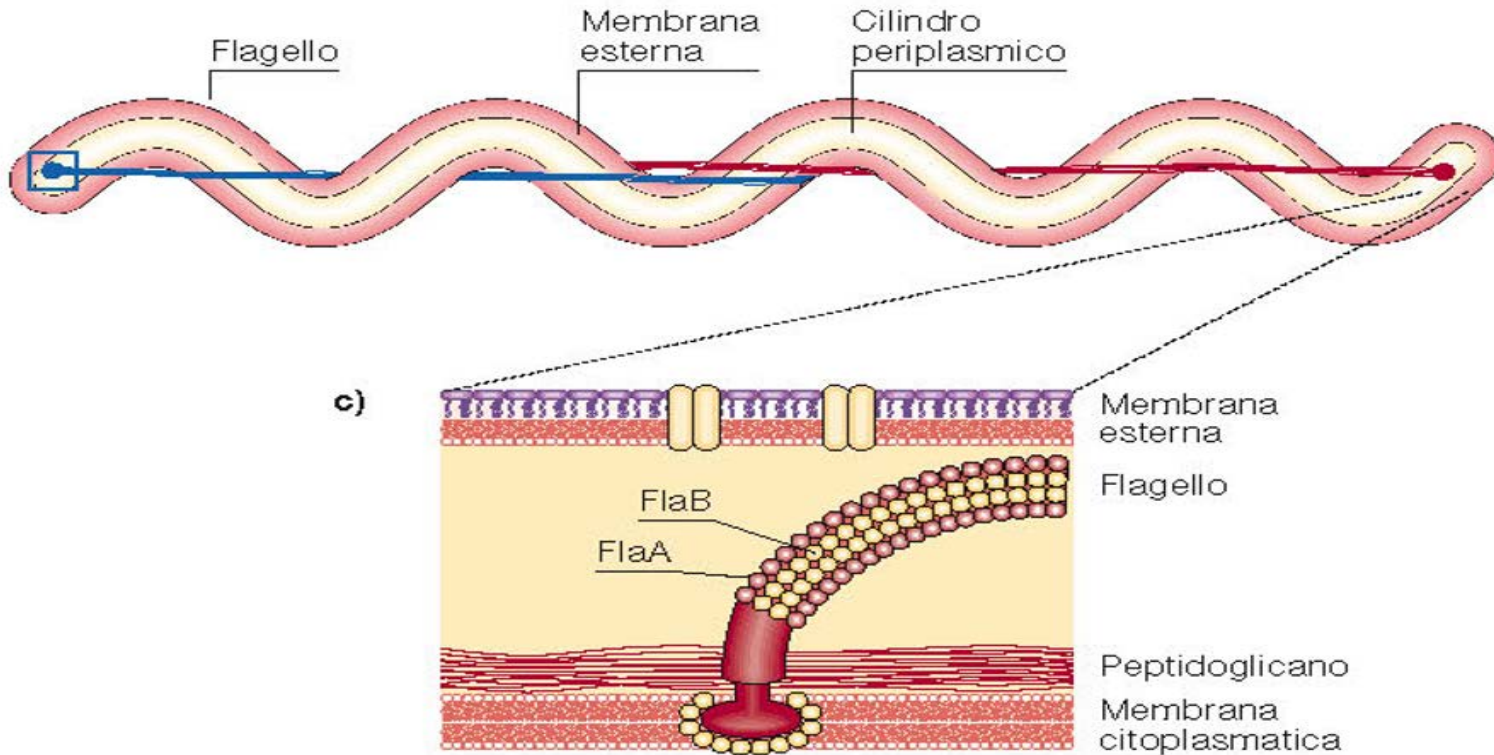
Le spirochete possono essere patogeni importanti quali

Treponema pallidum agente della sifilide

Borrelia burgdorferi agente della malattia di Lyme

Spirochete Cell Structure, Cross Section

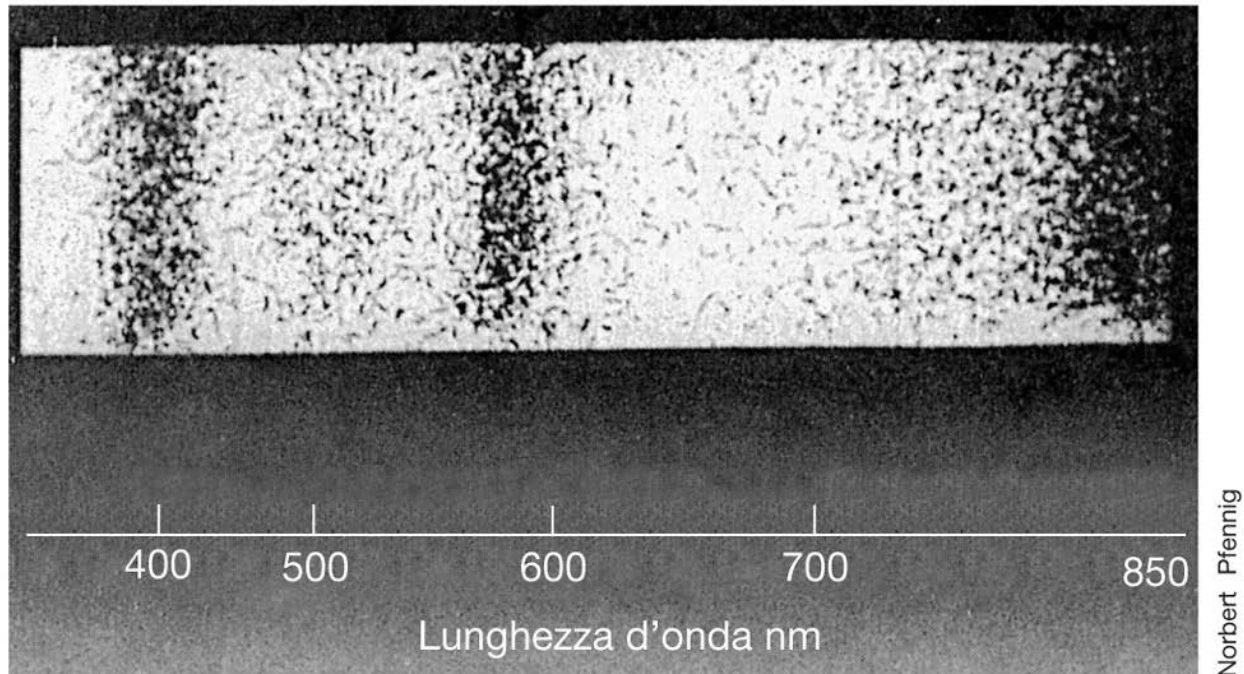




I flagelli nelle spirochete sono localizzati nel periplasma e sono attaccati ad i poli della cellula tramite il corpo basale. Il flagello contiene un filamento interno costituito da una proteina simile alla flagellina FlaB ed è rivestito da una guaina formata da subunità di un'altra proteina FlaA. La rotazione dei flagelli fa ruotare l'intera cellula grazie ai 2 motori basali posizionati ai poli, il motore anteriore ruota in senso *AO* mentre il motore posteriore in senso *O*. L'inversione del movimento è determinata dall'inversione del senso di rotazione dei 2 motori .

FOTOTASSIA

- Il movimento dei microrganismi verso la luce per ottimizzare il processo di fotosintesi.
- Con uno spettro di luce orientato verso un vetrino si può osservare come i batteri si accumulino in corrispondenza della lunghezza d'onda ideale per l'assorbimento da parte dei loro pigmenti fotosintetici



La fototassi è un movimento attivo verso un gradiente di aumentata intensità della luce.

Colonie di *Rhodospirillum* che si muovono all'unisono verso la luce



I componenti del sistema regolativo coinvolti nella chemiotassi sono probabilmente coinvolti anche nella fototassi.

Mutanti difettivi nella fototassi sono difettivi anche nella chemiotassi

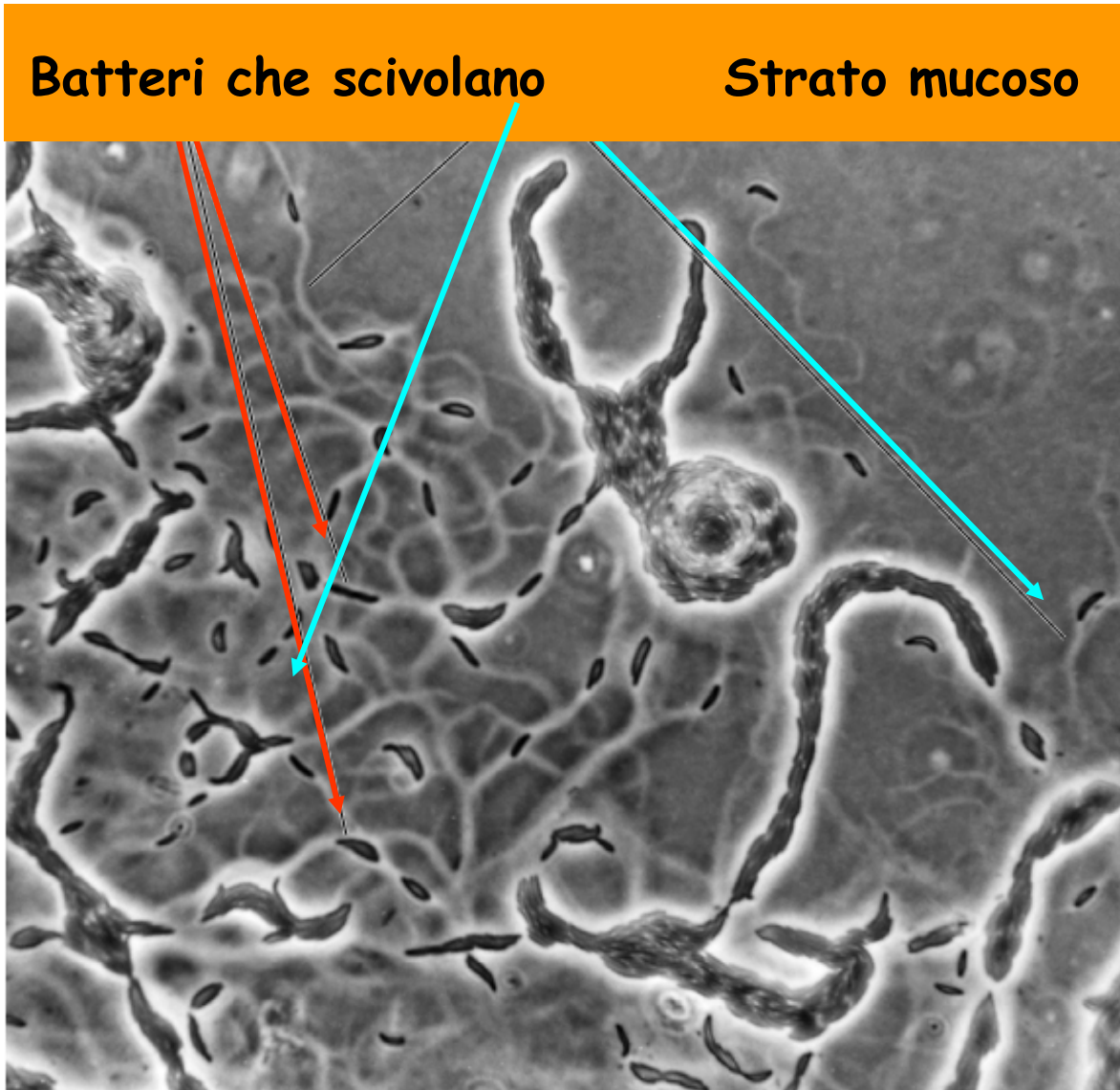
- **Fotorecettore** analogo ai **chemiorecettore (MCP)** potrebbe funzionare come sensore della luce.
- **Fotorecettore** interagisce con proteine che agiscono sul motore flagellare al fine di mantenere le cellule in uno stato di avanzamento verso zone di maggiore intensità di luce.

SCOTOFOBOTASSI

Fenomeno osservabile in laboratorio quando un batterio esce dal campo illuminato e si dirige verso il buio.

L'entrata nel buio si ripercuote negativamente sullo stato energetico della cellula e le segnala di capovolgarsi e di riprendere il moto rettilineo verso la sorgente di luce.

Strato mucoso e lo scivolamento.



Batteri che scivolano

Strato mucoso

Alcuni batteri si spostano per scivolamento tramite la secrezione di una sostanza mucosa (slime) che forma la scia sulla quale scivolano. *Cytophaga* e *Flavobacterium* si muovono per scivolamento ed utilizzano chitina, cellulosa

Movimento per scivolamento

- è ampiamente diffuso , Cianobatteri
Mixobatteri (Batteri Gram-)
- non richiede flagello
- avviene lungo l'asse maggiore del microrganismo.

I batteri che si muovono per scivolamento sono bastoncellari o filamentosi



La colonia assume una morfologia particolare in quanto ogni cellula può allontanarsi dal centro della colonia

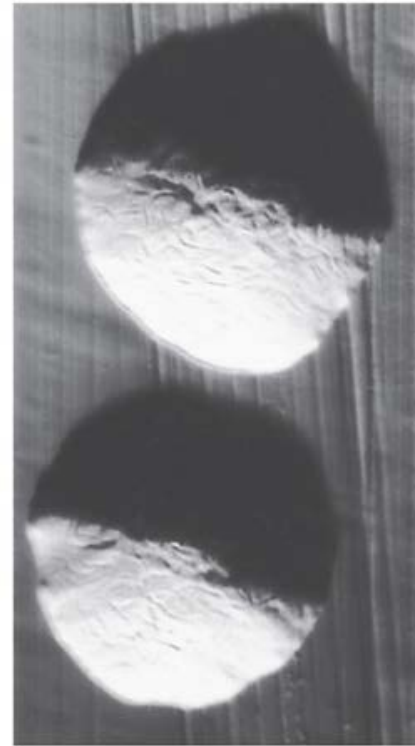
Nei cianobatteri il movimento per scivolamento è accompagnato dalla secrezione dello **SLIME**, una sostanza mucosa di natura polisaccaridica.

Lo **SLIME** (lett. BAVA) man mano che viene secreto aderisce alla superficie e il batterio scivola su questa sostanza viscida da lui secreta.

Lo scivolamento in *Flavobacterium* non è indotto dalla escrezione di slime. Le proteine specifiche per la motilità sono localizzate sia nella membrana interna che esterna.



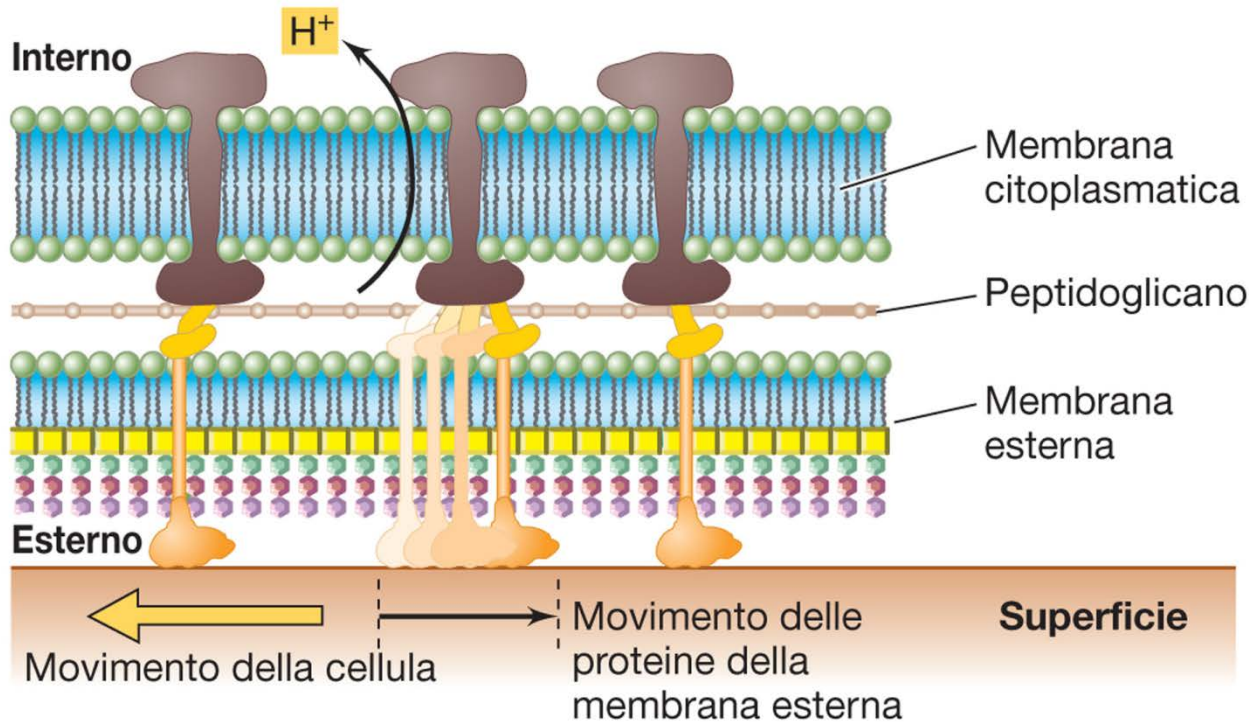
Mark J. McBride



Mark J. McBride

Colonie mutanti

Movimento a RUOTA DENTATA



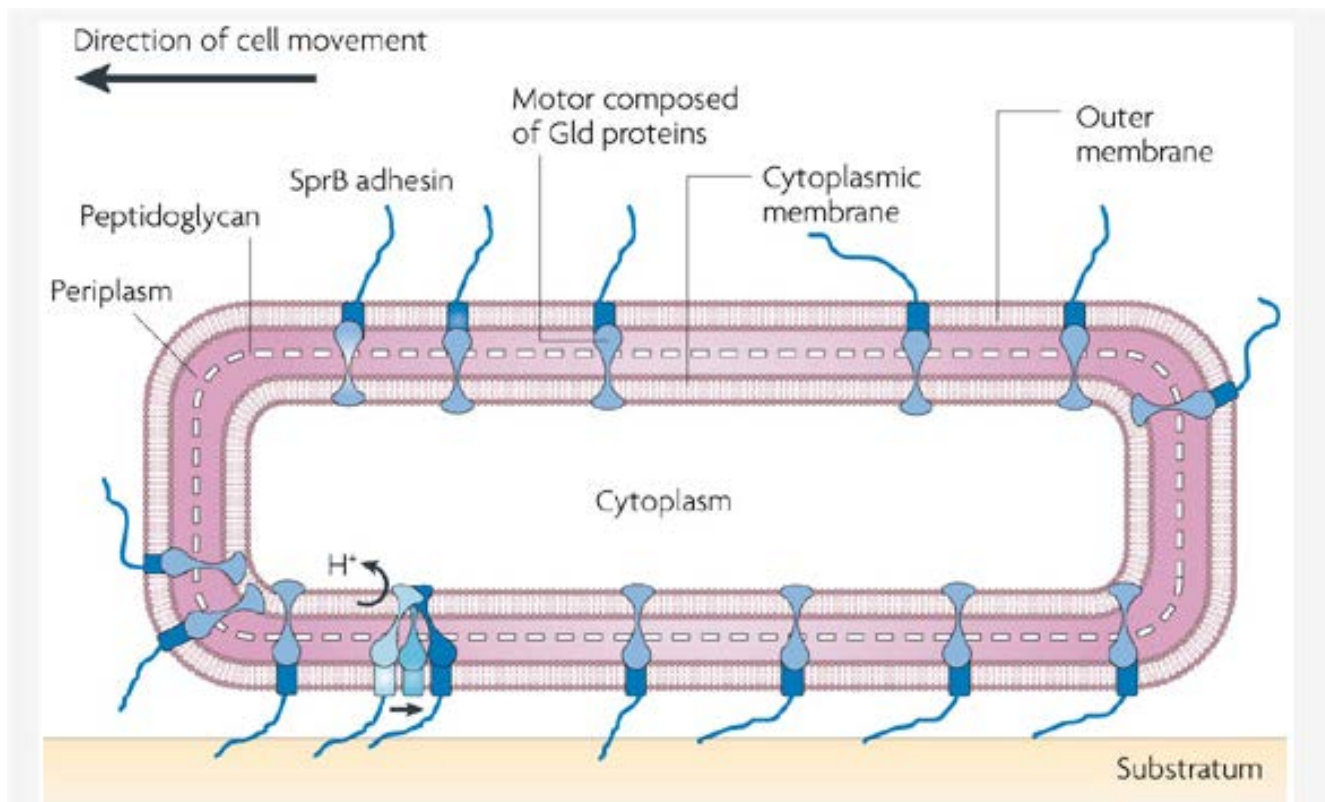
L'energia rilasciata dalla forza protonmotrice permette il movimento delle proteine della I.M. che si trasmette a quelle della O.M.

Il movimento delle proteine della O.M. avviene in direzione opposta rispetto al movimento che effettuerà la cellula

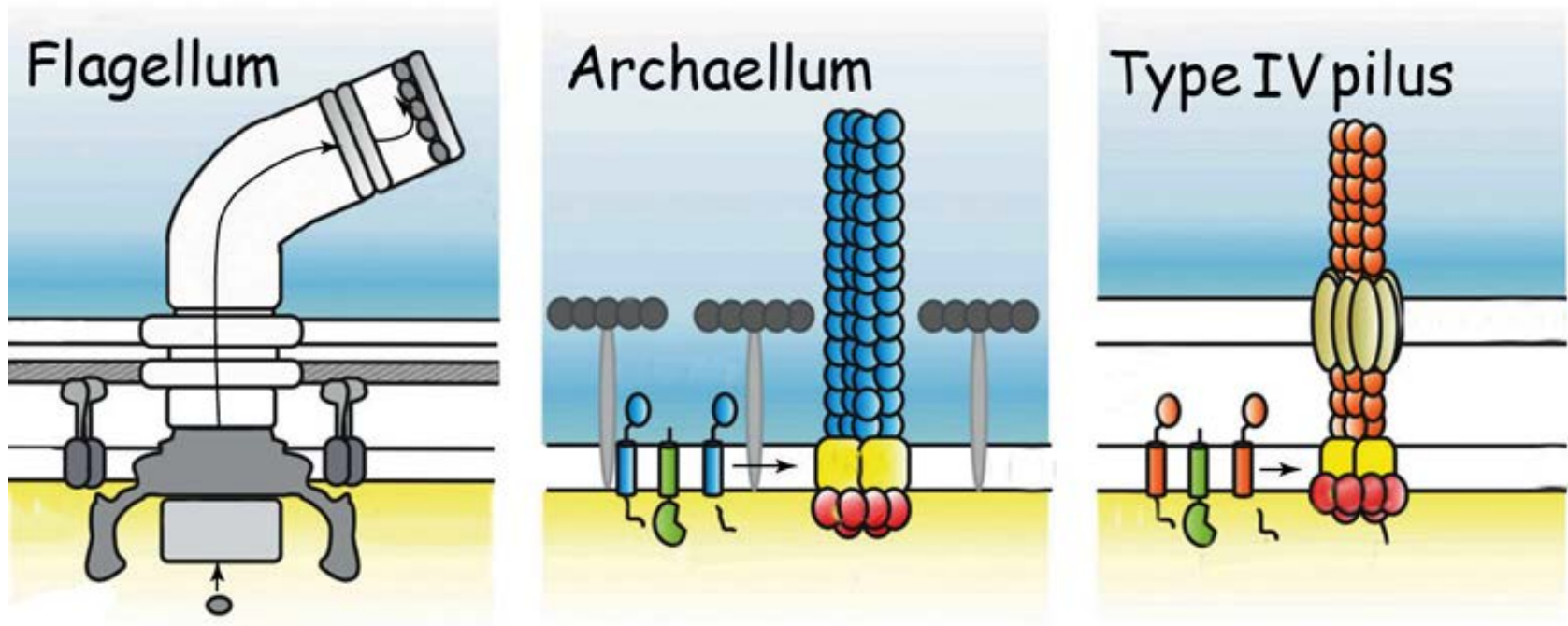
Modello di scivolamento di *Flavobacterium johnsoniae*

Lo scivolamento è indotto da un movimento delle proteine della superficie della cellula. Si crea un contatto tra le proteine della IM e della OM

Le proteine specifiche per la motilità sono ancorate nella membrana citoplasmatica e nella membrana esterna e sospingono le cellule in avanti e indietro con un meccanismo a ruota dentata



I movimento mediato dall'Archellum e dal pilo di tipo IV



I pili sono strutture proteiche non flagellari presenti sulla superficie delle cellule batteriche

Svolgono importanti funzioni nella cellula quali adesione a superfici, formazione di biofilm.

Sono suddivisi in base al tipo di meccanismo di formazione:

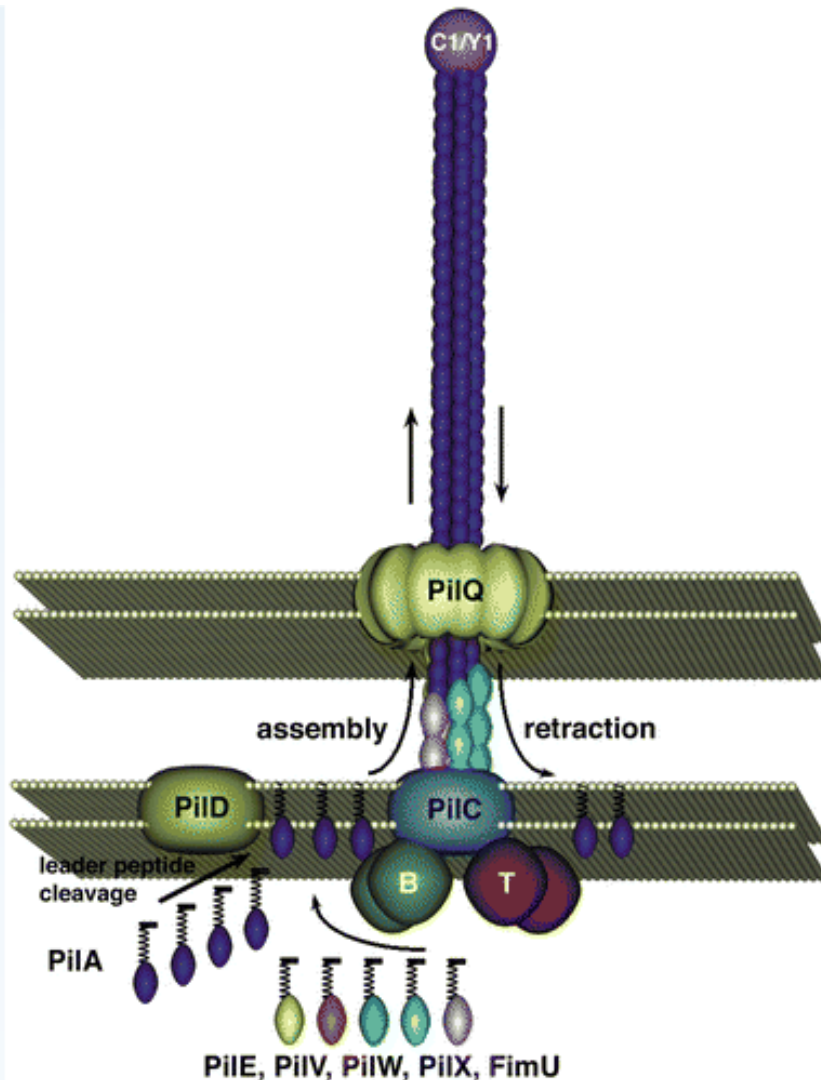
Pili di tipo I (Chaperon/Usher)

Pili di tipo IV.

I pili di tipo IV sono molto diffusi ed importanti e mediano oltre ai processi di adesione anche una particolare forma di movimento cellulare detto **twitching o movimento a scatto** .

Pili e fimbrie sono designati ad indicare la medesime strutture, fimbrie sono più corte, pili più lunghi ma i due termini si usano spesso indifferentemente

Pili di tipo IV ed il movimento a scatti



Sono costituiti dal ripetersi di subunità di pilina PilA che viene sintetizzata in forma di precursore con la sequenza segnale all'estremità N-terminale. La sequenza segnale verrà rimossa dalla Prepilina peptidasi (PilD) omologo della peptidasi che rimuove la sequenza segnale della preflagellina negli Archea. La regione N-terminale della pilina forma una elica idrofobica mentre la porzione C terminale idrofila e globulare è rivolta nel periplasma.

Nei batteri Gram- è presente un canale di membrane esterna PilQ che permette il passaggio del pilo.

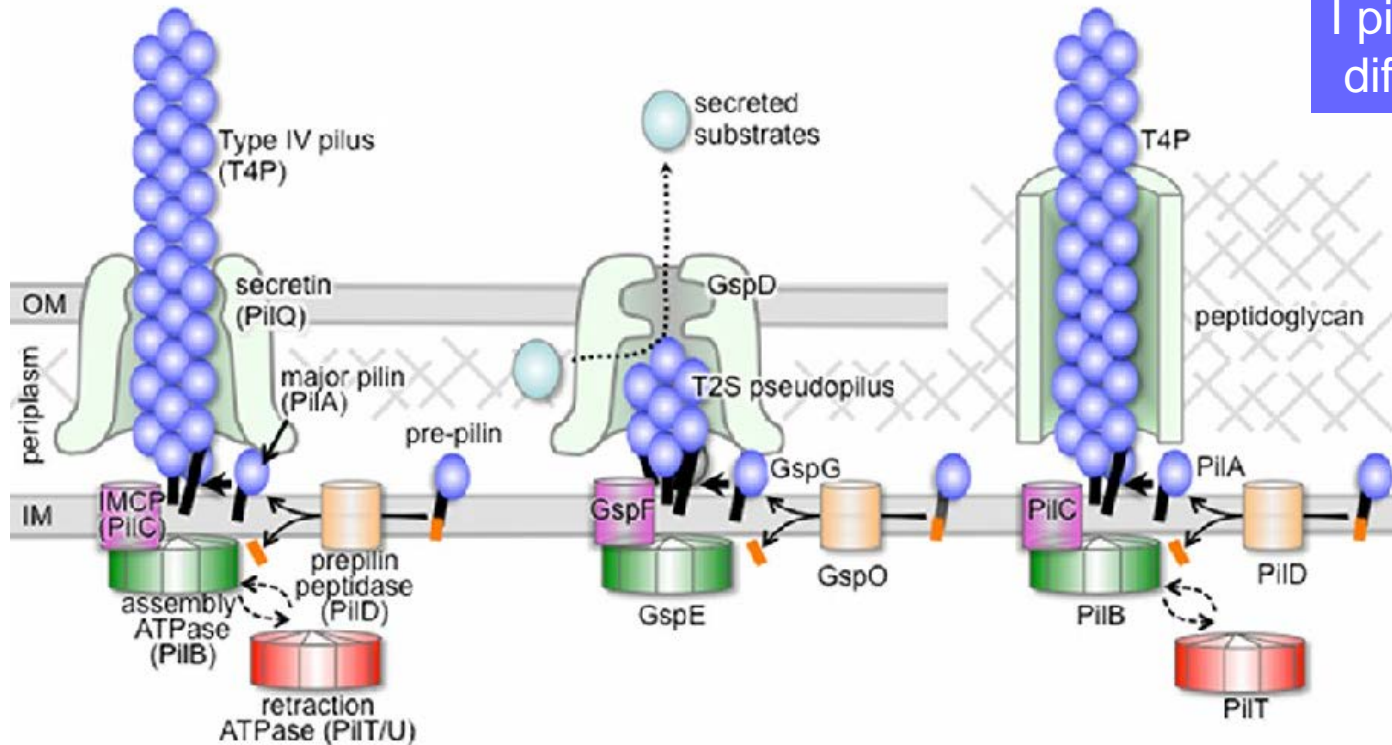
Ciascun pilo è costituito da molte subunità della medesima proteina definita pilina organizzate in una struttura elicoidale e da una proteina adesina localizzata all'estremità del pilo .

La biosintesi del pilo di tipo IV (T4P) avviene a partire da proteine localizzate nella membrana citoplasmatica che comprendono ATPasi e richiede ATP.

Gram-negative T4P

Type II secretion

Gram-positive T4P

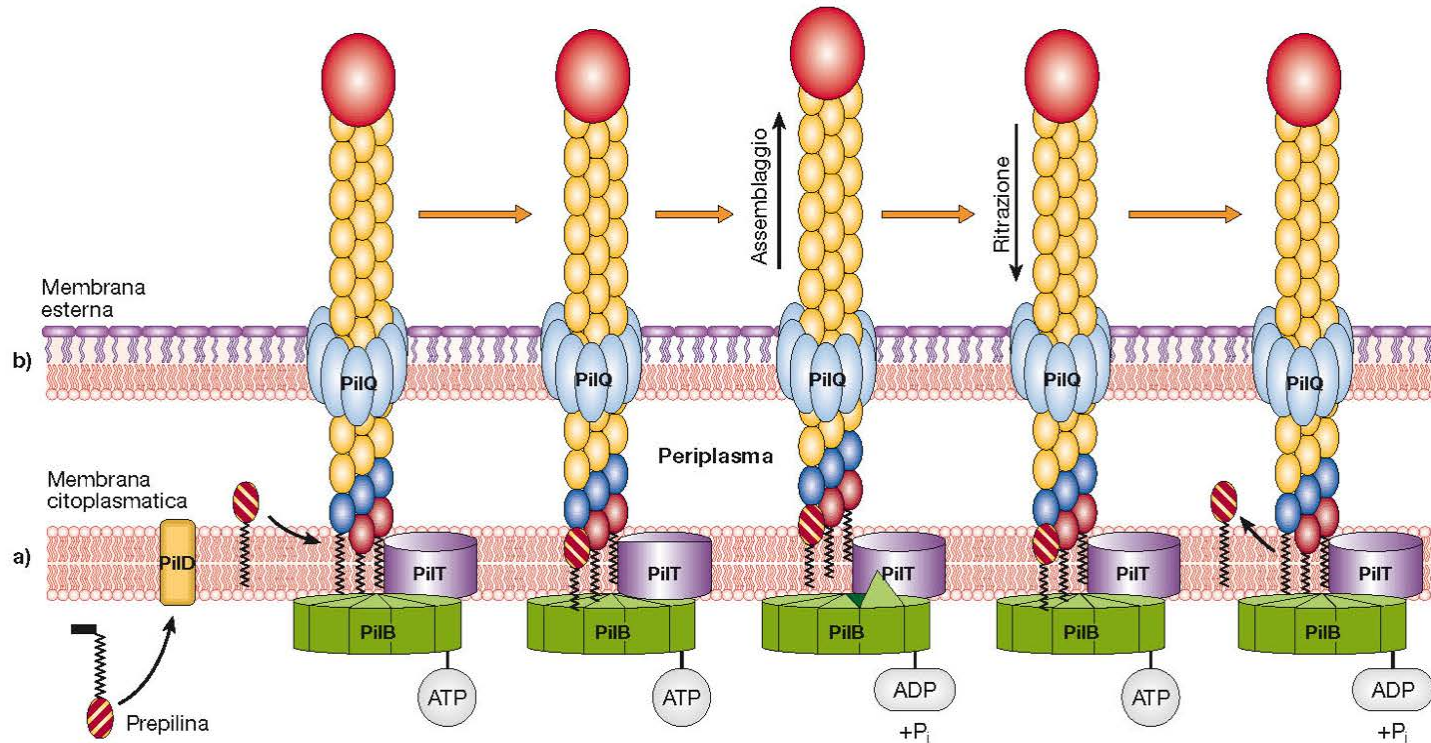


I pili di tipo IV (T4P)
diffusione e omologie

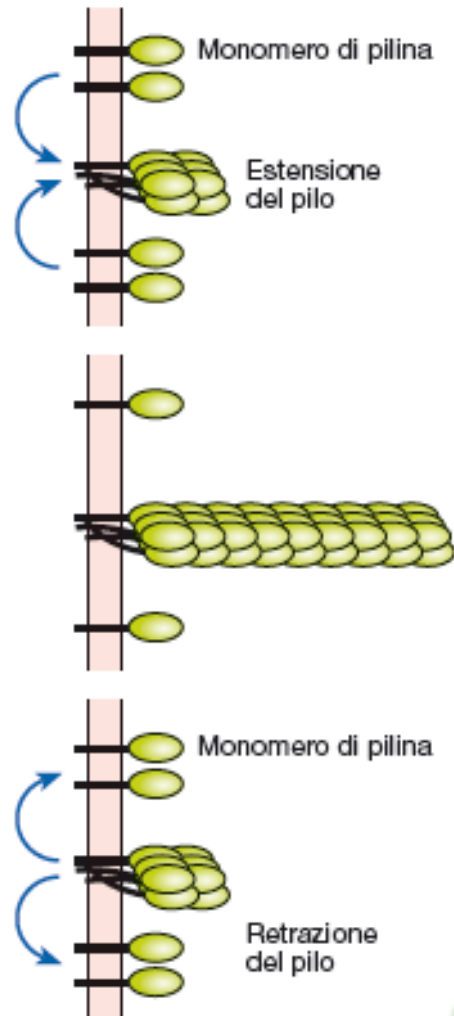
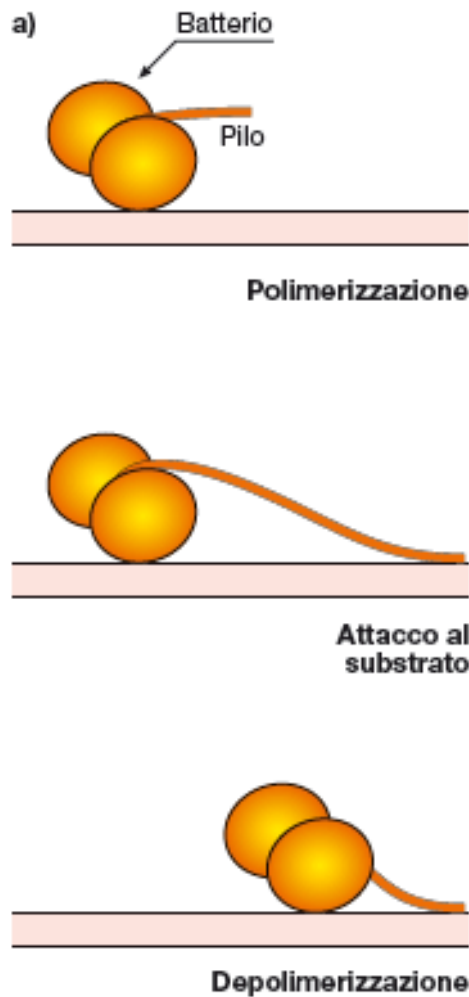
I pili di tipo IV sono correlati ad altri sistemi sia nei batteri che negli Archea quali il sistema di tipo di secrezione II, il sistema di Competenza (Com) per la cattura di DNA nei batteri Gram+ e i flagelli negli Archea. In tutti questi sistemi ritroviamo

- La pilina (o flagellina negli Archea)
 - Una prepilina- peptidasi che processa la pilina nella forma matura
 - Una ATPasi di assemblaggio
 - Un canale di secrezione costituito da componenti della membrana interna ed esterna
- Anche nei Gram positivi si ritrovano dei pili con una struttura simili ai Pili di tipo IV: se la struttura proteica che attraversa lo strato di peptidoglicano non è ancora stata ben identificata.

Ruolo antagonista delle due ATPasi



Ruolo fondamentale viene svolto dalle 2 ATPasi PiIB e PiIT con funzione antagonista. L'ATPasi di assemblaggio PiIB dopo idrolisi di ATP spinge il pilo verso l'esterno creando un vuoto che viene riempito dalle nuove subunità di pilina. L'idrolisi di ATP mediata da PiIT invece determina la rimozione dei monomeri di pilina dalla base del pilo creando retrazione del pilo.



In seguito a cicli di estensione e ritrazione alcuni batteri si possono muovere a scatti grazie ai T4P presenti sulla loro superficie.

Le subunità di pilina eliminate durante la ritrazione possono poi essere riutilizzate per il successivo processo di estensione



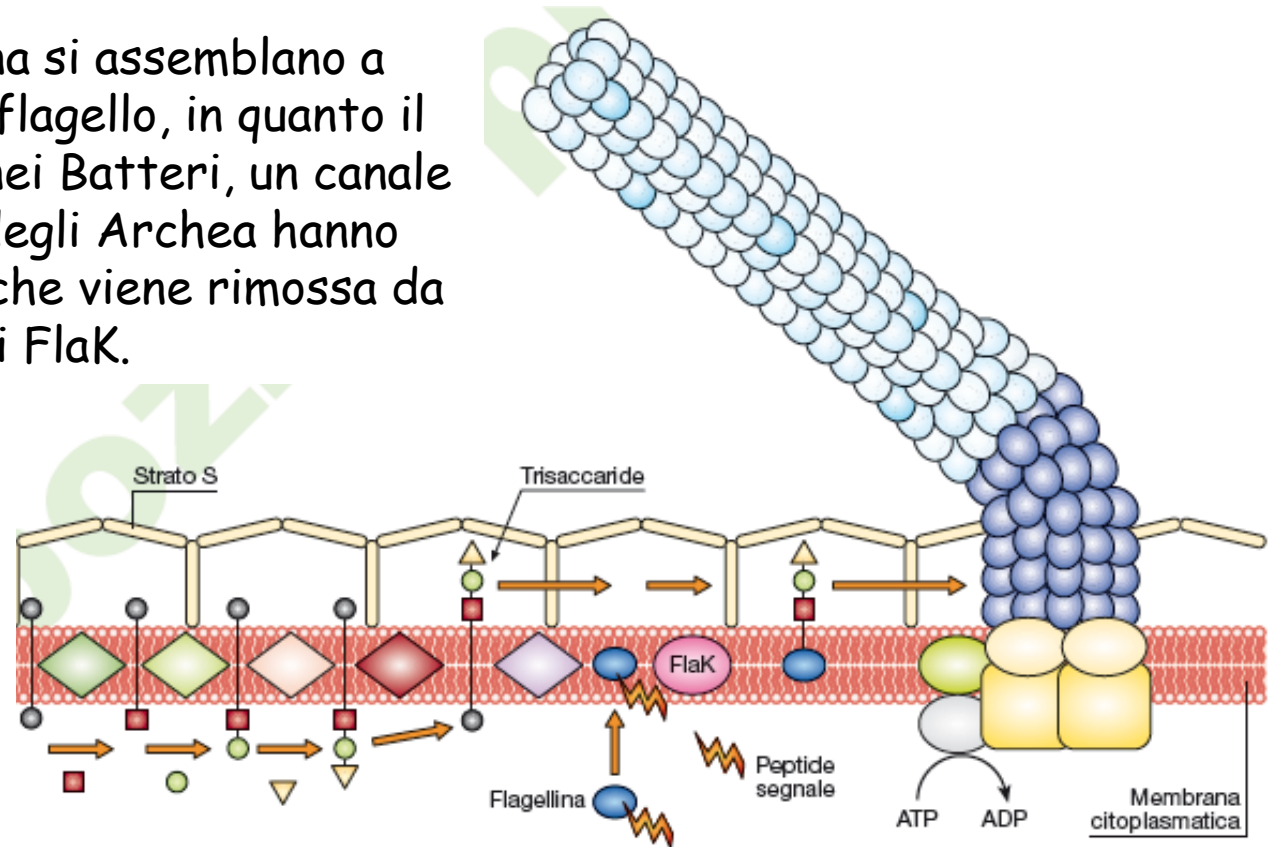
E' possibile vedere l'allungamento e la ritrazione dei pili di Tipo IV

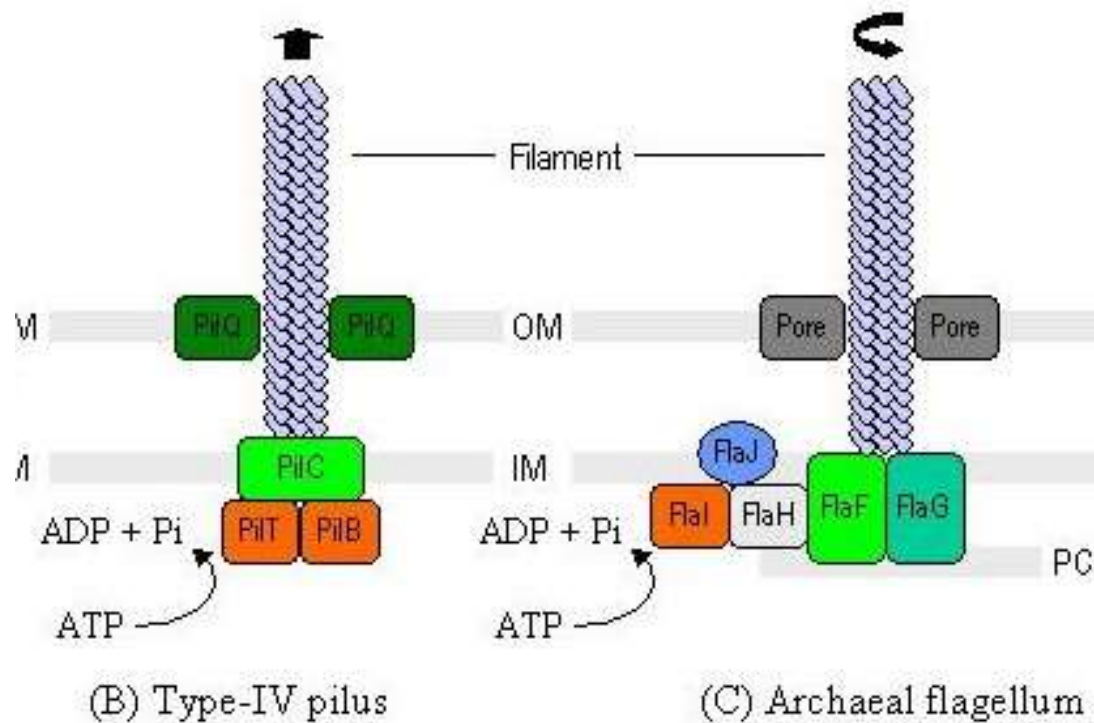
L'Archellum ovvero il flagello negli Archea

I flagelli negli Archea sono costituiti da una struttura di ancoraggio localizzata nella membrana citoplasmatica da un uncino e da un filamento, costituito da diverse flagelline.

Le subunità di flagellina si assemblano a partire dalla base del flagello, in quanto il flagello non ha, come nei Batteri, un canale interno. Le flagelline degli Archea hanno una sequenza segnale che viene rimossa da una specifica Peptidasi FlaK.

Inoltre le flagelline vengono modificate per l'aggiunta di glicani all'estremità N terminale.



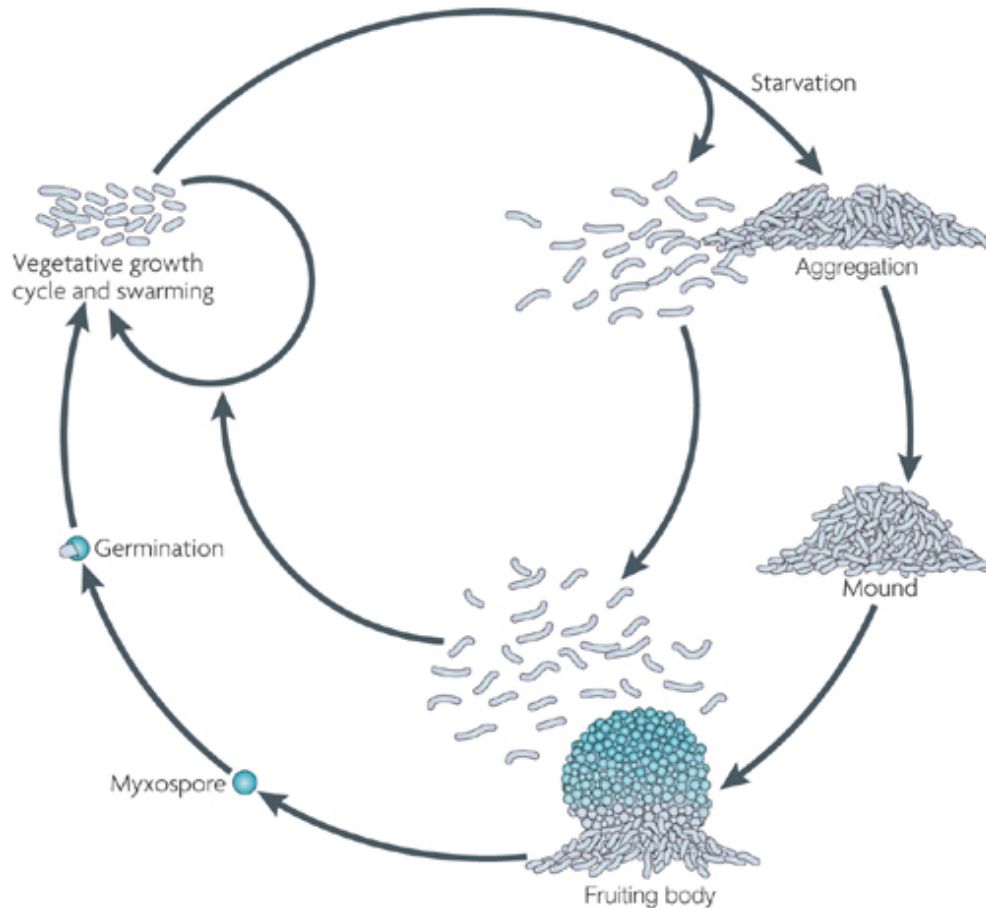


Il flagello degli Archea si muove come un'elica ed ha una struttura più semplice rispetto al flagello dei Batteri e simile ai pili. Il movimento avviene grazie all'idrolisi di ATP.

Myxococcus xanthus ed il movimento a scatti

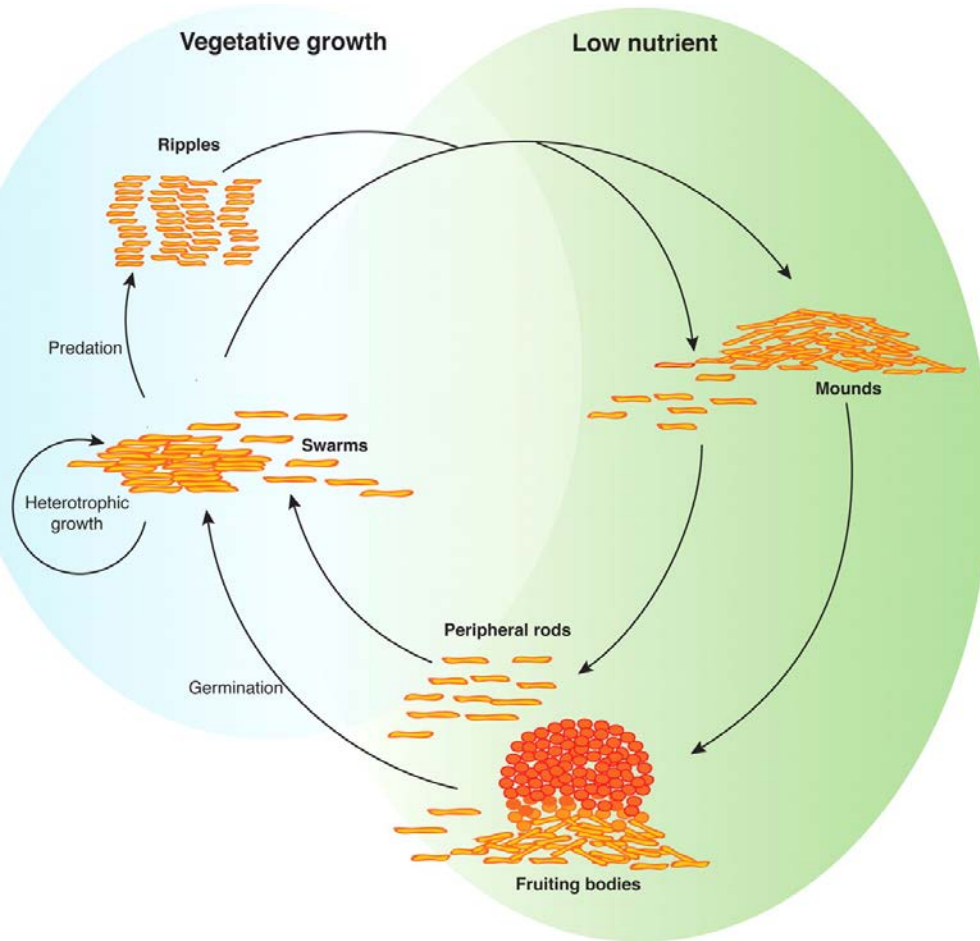
Un esempio interessante di movimento a scatti è rappresentato da *Myxococcus xanthus*, un microrganismo del suolo. Questo microrganismo è in grado di muoversi per scivolamento utilizzando i pili di tipo IV che si allungano e ritraggono. Ogni 6 -8 minuti *M.xanthus* è in grado di revertire il movimento cambiando così direzione.

Mixococcus un microrganismo predatore



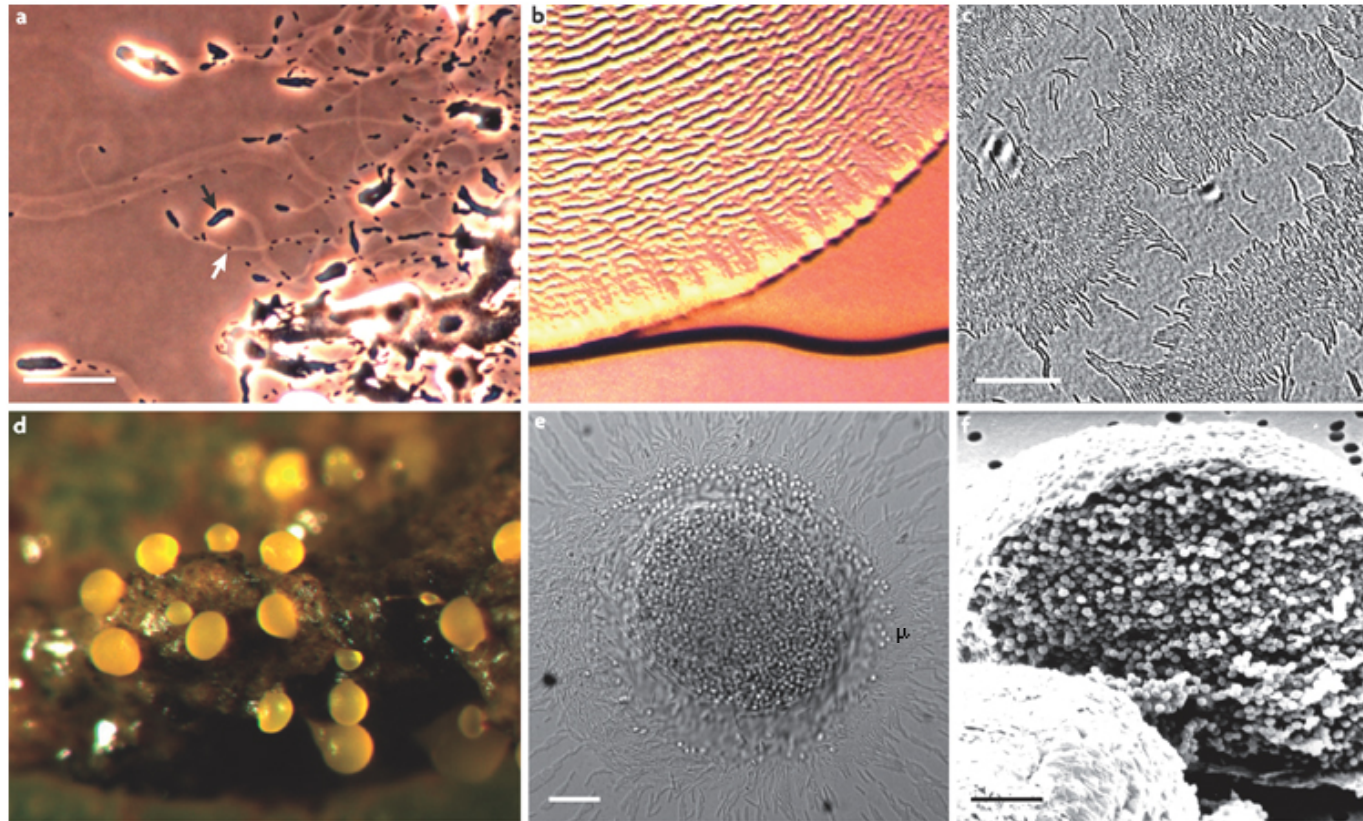
Il ciclo di vita di Mixococcus si può suddividere in una fase di crescita vegetativa nella quale sciame di cellule crescono si dividono e si muovono e aggrediscono altri batteri ed una fase di formazione di cumuli con produzione di spore. Esempio di differenziamento nei batteri

Ciclo vegetativo di *Myxococcus xanthus*



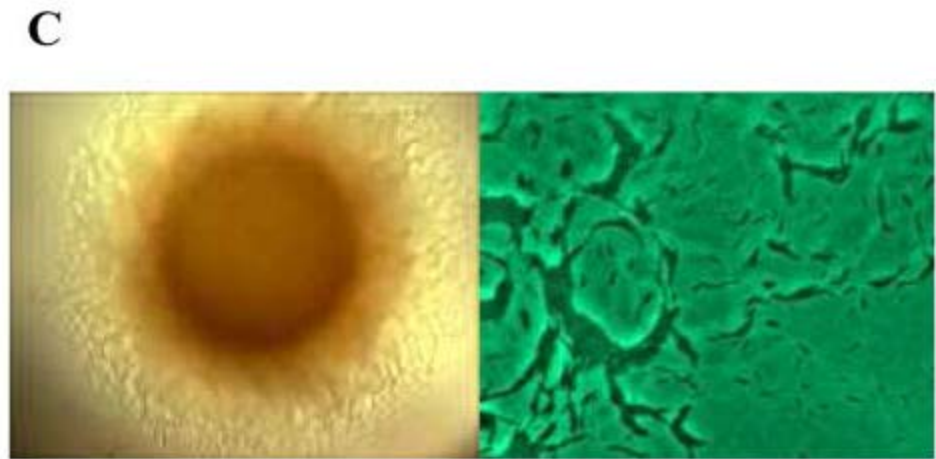
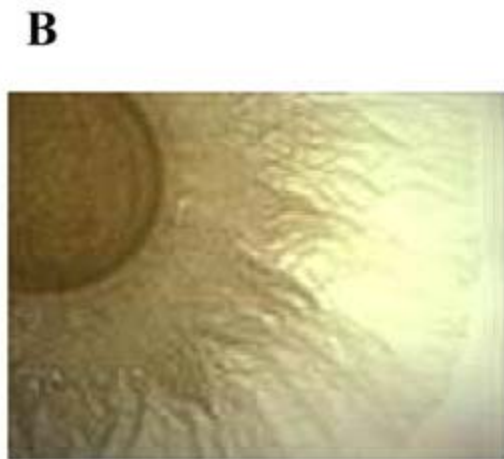
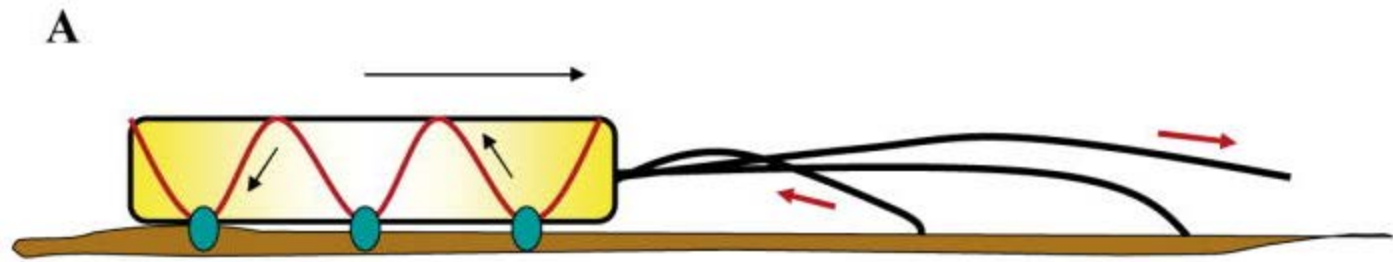
Crescita vegetativa. In una superficie solida in presenza di nutrienti, gruppi di cellule di *M.xanthus* (swarms - sciame) crescono, si dividono e si muovono verso l'esterno. In presenza di cellule lisate o di una preda le cellule si riuniscono a formare delle onde definite ripples o (strutture increspate).

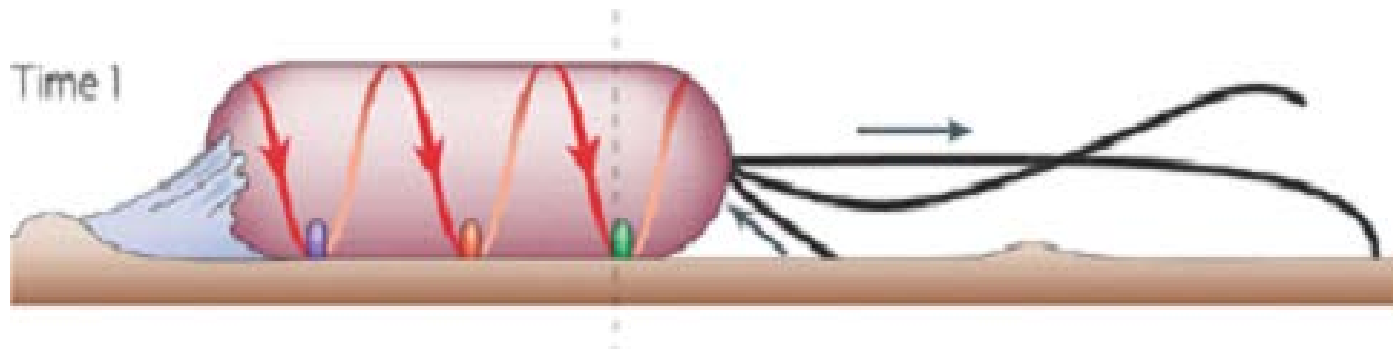
Nel caso ci siano pochi nutrienti le cellule si aggregano (10^5 - 10^6) a formare dei cumuli (mounds) che si trasformeranno in corpi fruttiferi. Le cellule bastoncellari presenti nei corpi fruttiferi danno origine alle spore che sono metabolicamente inattive ma molto più resistenti al calore e alla essiccazione. Le cellule bastoncellari non differenziate in spore rimangono all'esterno in cerca di nutrienti. Quando i nutrienti ritorneranno disponibili le spore germineranno completando il ciclo.



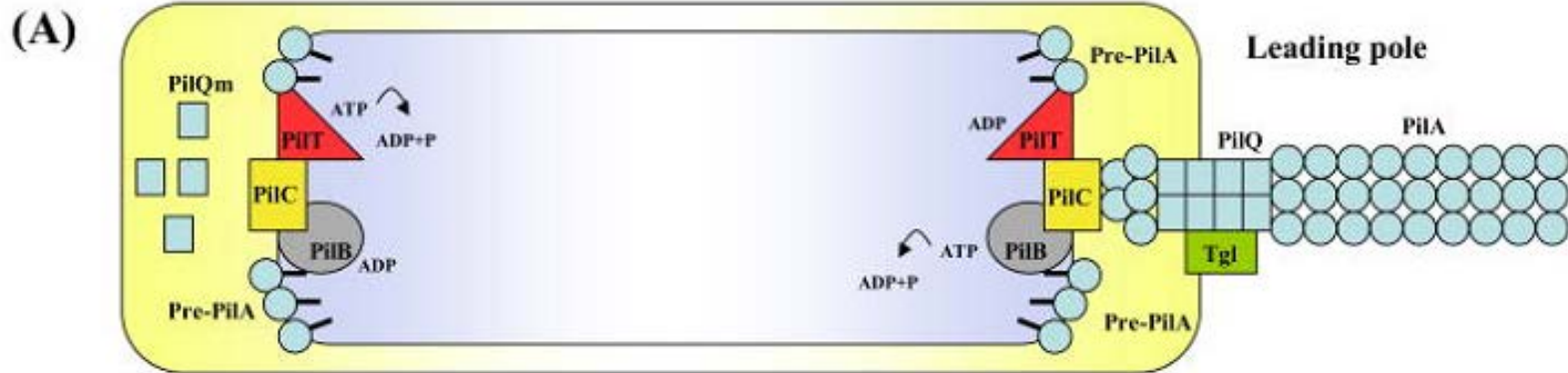
Nature Reviews | Microbiology

- | *Myxococcus xanthus* cells move as groups by social motility (black arrow) and as single cells by adventurous motility (white arrow). Cells preferentially follow the paths of other cells. b | *M. xanthus* cells moving in ripples to consume *Escherichia coli* as prey⁴¹. Ripples have a wavelength of 100 μm . c | Peripheral rods form a monolayer of cells between fruiting bodies that can move as reversing accordion waves d | A *M. xanthus* fruiting body on animal dung⁹⁵. Fruiting bodies are 0.1–0.2 mm in diameter. e | An optical slice of a fruiting body. Note that the spores are contained in the fruiting body and peripheral rods appear as a monolayer around the fruiting body. f | A fruiting body that was cut to reveal the spores within. All scale bars are 15 μm .
- Le cellule di *Mixococcus xanthus* si muovono come gruppi nella modalità sociale (freccia nera) o come singole cellule nella modalità avventurosa (freccia bianca). Le cellule in genere seguono le tracce di altre cellule. b) *M. xanthus* effettuano un movimento ad onde per nutrirsi di cellule di *E. coli*. Le onde hanno un'ampiezza di 100 μm . c) i batteri periferici formano





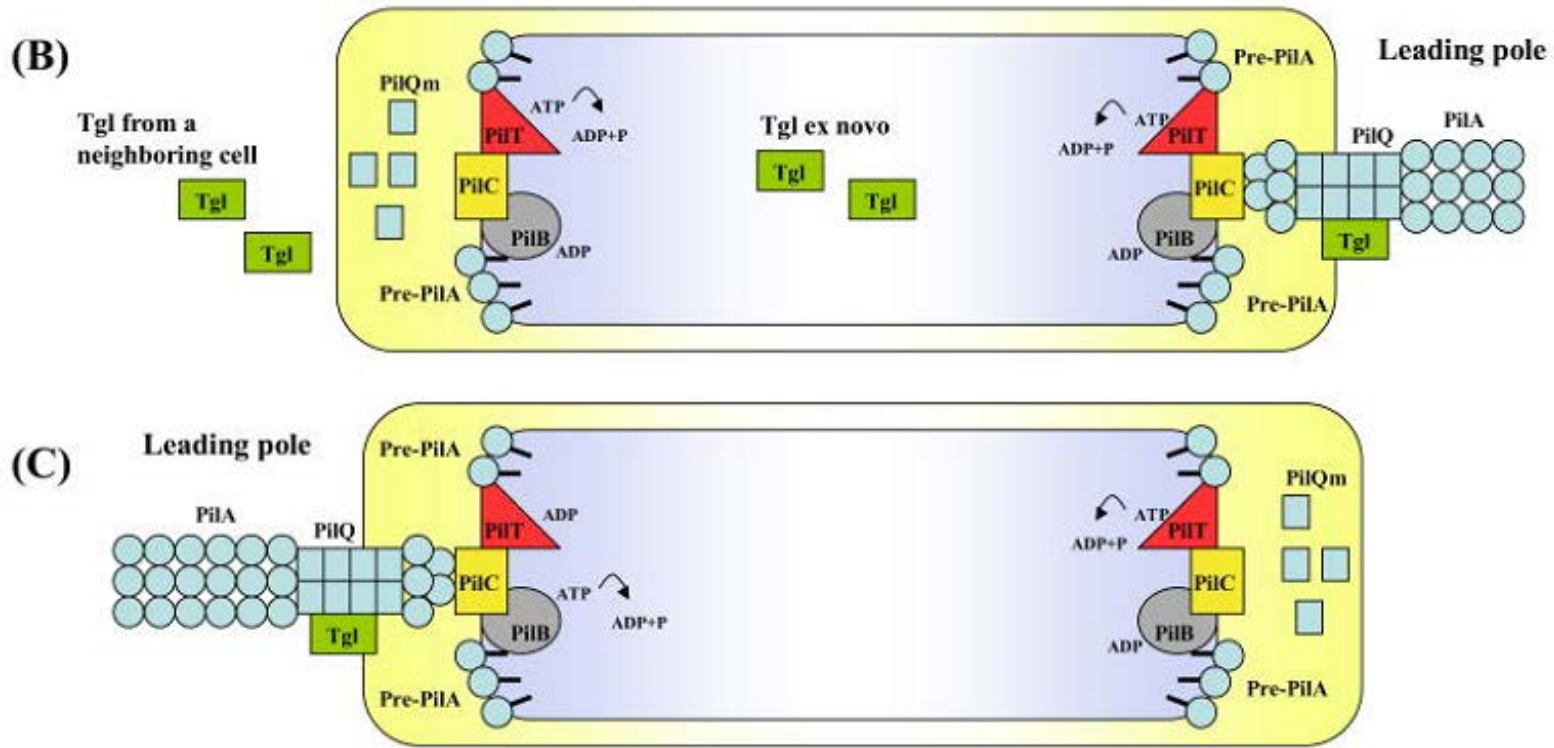
Social motility is mediated by the extension and retraction of type IV pili (black tendrils) at the leading pole of a cell. Adventurous motility involves multiple transient adhesion complexes (coloured ovals on the bottom of cells) that are located throughout the length of a cell



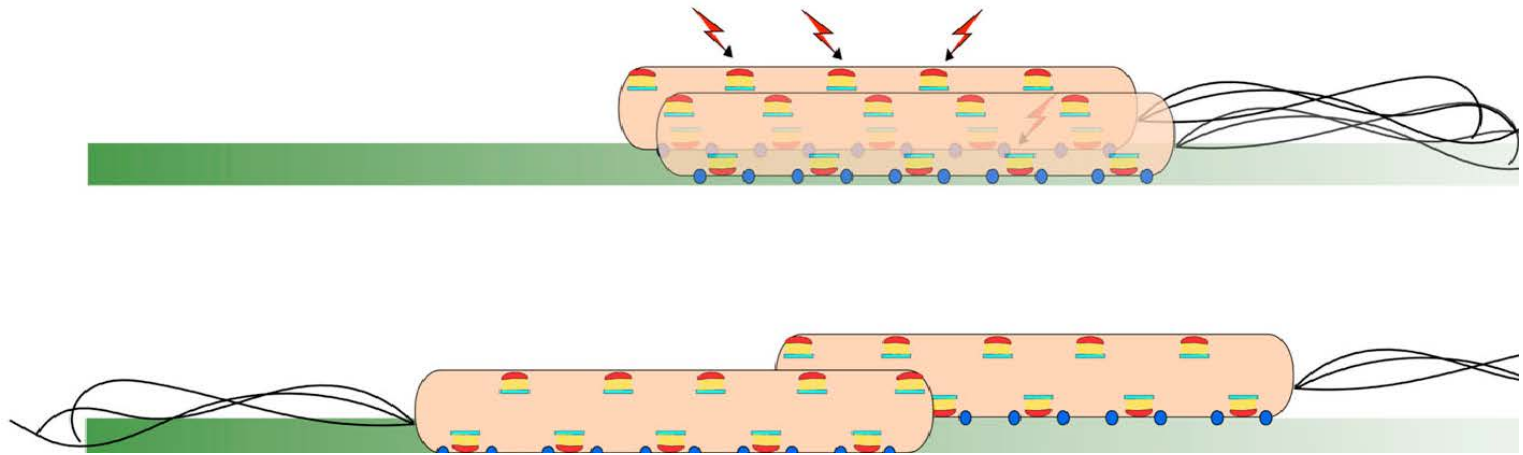
(A) PilA è la subunità principale del pilo di tipo IV ed è localizzata al polo anteriore della cellula. E' una proteina solubile che viene secreta attraverso il canale formato da PilQ.

Tgl è una lipoproteina necessaria per il corretto assemblaggio del canale PilQ. Tgl svolge un ruolo cruciale in quanto si localizza solo ad un polo della cellula

In mutanti Tgl-difettivi non si ha assemblaggio del pilo a causa della mancanza di canale PilQ. PilQ in questi mutanti si trova in forma monomerica ma può ripolimerizzare se il mutante Tgl - viene messo in contatto con cellule Tgl+.



(B) Quando la cellula cambia orientamento Tgl si sposta dall'altro polo , la traslocazione di Tgl è facilitata dal contatto cellula-cellula.
 (C) Una volta arrivato al polo opposto Tgl attiva il canale PilQ ed induce il trasporto e l'assemblaggio del filamento PilA. La presenza dei componenti disassemblati ad entrambi i poli facilita la riorganizzazione del pilo all'altra estremità.



Schematic representation of FrzCD-GFP clusters stimulated by cell contacts and aligning. The stimulus generating from the cell contact is translated in the two adjacent cells and one or two of them will reverse the direction of movement in response.