



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea  
SCIENZE BIOLOGICHE

TITOLO TESI

«L'olobionte delle alghe: comprendere le interazioni alghe-batteri»  
«The seaweed holobiont: understanding seaweed–bacteria interactions»

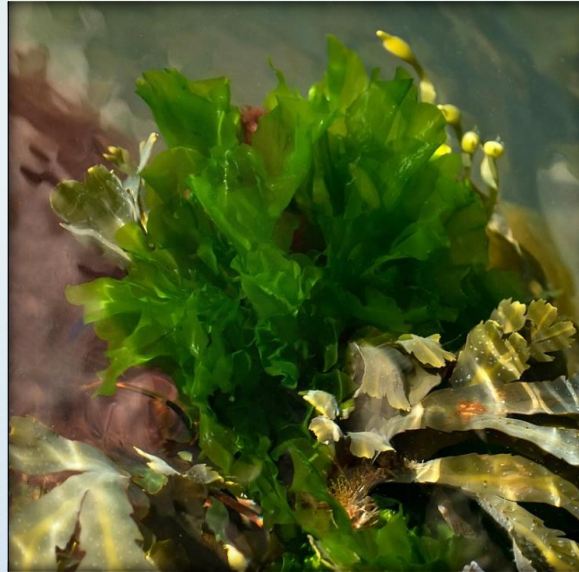
Tesi di Laurea di:  
Cecchi Anya

Docente Referente  
Chiar.mo Prof.  
Norici Alessandra

Sessione Febbraio 2024  
Anno Accademico 2022-2023

# INTRODUZIONE

**COSA?** Analisi dell'interazione macroalghe-batteri, ruolo funzionale dei batteri epifiti nel mantenimento della salute delle alghe e fattori ambientali che influenzano il mantenimento di questa interazione. Ruolo potenziale dei membri non batterici nell'olobionte.



[https://it.wikipedia.org/wiki/Ulva\\_lactuca#/media/File:Sea\\_lettuce\\_in\\_Brofjorden\\_1\\_-\\_cropped.jpg](https://it.wikipedia.org/wiki/Ulva_lactuca#/media/File:Sea_lettuce_in_Brofjorden_1_-_cropped.jpg)

**DOVE?**  
Ecosistemi acquatici.

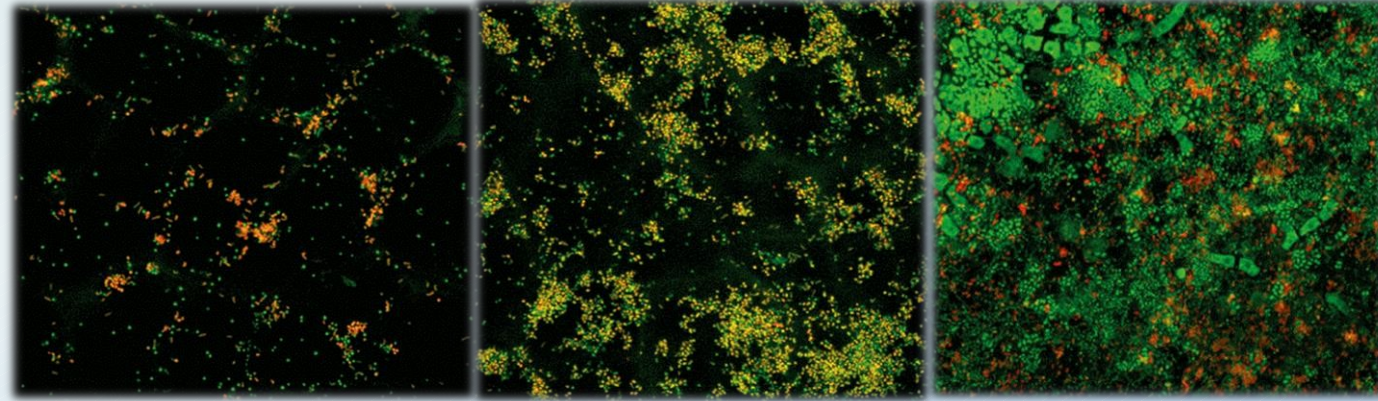
**CHI?** Un insieme specifico di epifite batteriche su un tipo di alga o epifite generaliste.

**PERCHÉ?** Le comunità batteriche epifite sono essenziali per il normale sviluppo morfologico dell'alga ospite. L'associazione stabile con partner batterici ne determina la crescita, l'approvvigionamento dei nutrienti nonché la protezione dalla colonizzazione e dalla predazione.



# COMUNITÀ BATTERICHE ASSOCIATE AD OSPITI MACROALGALI

- ❑ Specificità dell'ospite.
- ❑ Presenza di epifite generaliste comuni a tutte o molte macroalghe → taxa comuni a livello di phylum o classe (*alfaproteobatteri*, *gammaproteobatteri*, *bacteroidetes* e *cianobatteri*).



<https://academic.oup.com/femsre/article/37/3/462/585525>

- ❑ Le macroalghe marine ospitano un gruppo eterogeneo di batteri con densità variabile a seconda della specie macroalgale, della sezione del tallo e della stagione. (*Lachnit et al. 2011*) → specifica composizione invernale ed estiva ricorrente negli anni.
- ❑ Variazioni e somiglianze influenzate da limitazioni metodologiche → *Ulva lactuca* (*U. australis*).

- ❑ Composizione della comunità determinata dalla funzione piuttosto che dall'identità tassonomica → comunità batterica di *U. Australis* (*Burke et al. 2011b*): funzioni principali costantemente presenti e mancanza di comunanza nella composizione tassonomica a livelli più bassi.

# FATTORI CHE INFLUENZANO LA COMPOSIZIONE DELLE COMUNITÀ BATTERICHE

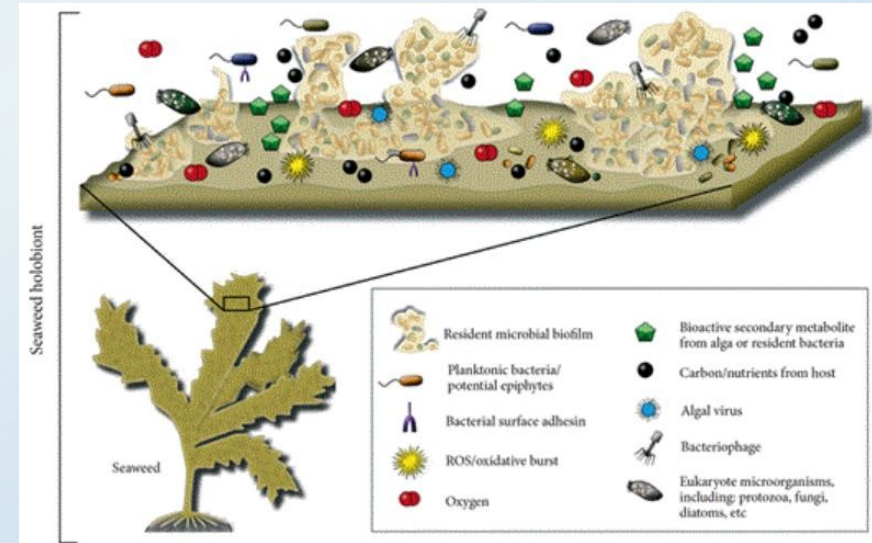
Proprietà biologiche, fisiche e chimiche → ruolo nella strutturazione qualitativa e quantitativa della comunità.

Parametri:

- Metaboliti algali
- Comunità microbica residente esistente con il suo pool di metaboliti secondari
- Condizioni fisico-chimiche sulla superficie del tallo ( $O_2$ ,  $CO_2$ )

Molti parametri sono soggetti a modulazioni giornaliere o stagionali.

I batteri devono possedere tratti adattivi che riflettono queste condizioni di nicchia.



<https://academic.oup.com/femsre/article/37/3/462/585525?login=false>

**OSSIGENO:** generato tramite fotosintesi.

qPCR → batteri ossidanti l'ammonio abbondanti sulla superficie delle alghe (1% dei totali).

$O_2$  può essere dannoso per gli epifiti batterici con la produzione di ROS (ioni superossido e perossido di idrogeno → *Weinberger, 2007*).

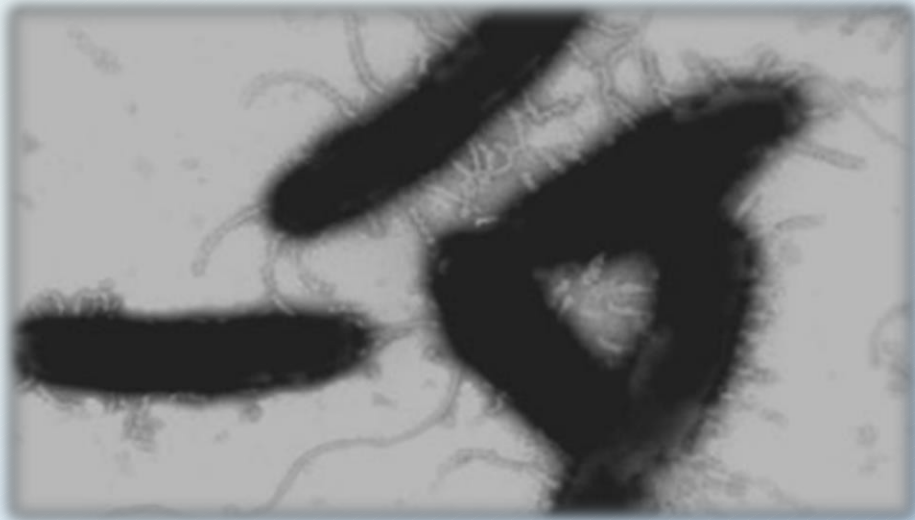
Espressione di perossidasi, catalasi e altre ossidasi da parte dei batteri per degradare i ROS.



# POLIMERI E NUTRIENTI

- ❖ Costituenti ricchi di C delle pareti (agar, cellulosa) → biopolimeri fonte di nutrienti per batteri marini.
- ❖ Impatto dannoso della degradazione sull'ospite se non controllata.
- ❖ Batteri associati stabili o a lungo termine potrebbero non avere la capacità di degradazione del polimero → (Thomas et al., 2008): *Pseudoalteromonas tunicata* contiene strutture per legare il polimero (cellulosoma parziale) ma è privo di enzimi per l'idrolisi.

*P. Tunicata* wild-type



- ❖ Batteri con tratti di degradazione → patogeni opportunisti, saprofiti, simbionti commensali o mutualistici.
- ❖ *P. tunicata* utilizza i monomeri derivanti dalla degradazione (cellulosa, xilano).
- ❖ La degradazione batterica è fondamentale per il ciclo globale del C e dei nutrienti.
- ❖ Corretta degradazione utilizzata per convertire i polimeri delle macroalghe in biocarburanti.

# CHIMICA DELLE DIFESE E DEI METABOLITI SECONDARI

Influenza dei metaboliti secondari sulla colonizzazione batterica → formazione del biofilm batterico e composizione della comunità batterica in laboratorio e sul campo. Individuati sia estratti grezzi di macroalghe che metaboliti specifici.

***Delisea pulchra*** (alga rossa) produce furanoni alogenati → interferiscono con l'imbrattamento superficiale, mantengono la salute e le prestazioni riproduttive della macroalga (*Campbell et al., 2011*).



[https://en.wikipedia.org/wiki/Delisea\\_pulchra#/media/File:Delisea\\_japonica\\_-\\_National\\_Museum\\_of\\_Nature\\_and\\_Science,\\_Tokyo\\_-\\_DSC07636.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/Delisea_pulchra#/media/File:Delisea_japonica_-_National_Museum_of_Nature_and_Science,_Tokyo_-_DSC07636.JPG)

La variabile sensibilità dei singoli batteri a specifici metaboliti influenza la composizione delle comunità batteriche epifite.

Comuni metaboliti (DMSP, prolina e alanina) inibiscono l'attacco superficiale di batteri specifici promuovendo l'attaccamento di altri.

**Bromoficolidi** → metaboliti algali antifungini. Distribuiti irregolarmente sulla superficie → formazione di molte micronicchie specifiche → influenza nella diversità microbica complessiva.



# MECCANISMI DI ATTACCAMENTO E COMPETIZIONE DI SUPERFICIE

Appendici batteriche per l'adesione → specificità dell'ospite.

*P. tunicata* adeso ad *U. lactuca* mediante pili dell'emoagglutinina sensibile al mannosio. Sistema integrato ad altri meccanismi di adesione (fibre curli-proteiche, diverse proteine divergenti dei pili).

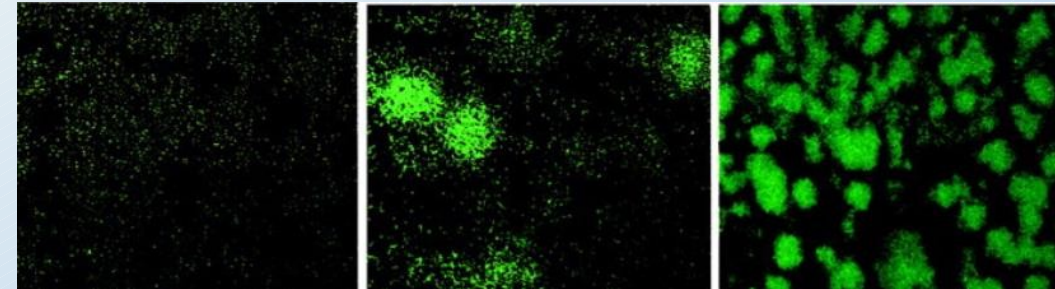
Adesione e competizione con altri epifiti microbici per spazio e nutrienti nel biofilm → produzione di metaboliti chimici antagonisti (antibiotici).



*P. tunicata* e *P. gallaeciensis* sono concorrenti superiori → I ceppi mutanti (no antibiotici) sono meno competitivi. Sono scarsi invasori di biofilm prestabiliti sulle superfici artificiali e di macroalghe → comunità epifite naturali prestabilite resistenti all'introduzione di nuovi membri.

Metaboliti antagonisti vantaggiosi durante lo stabilimento precoce.

*P. tunicata*

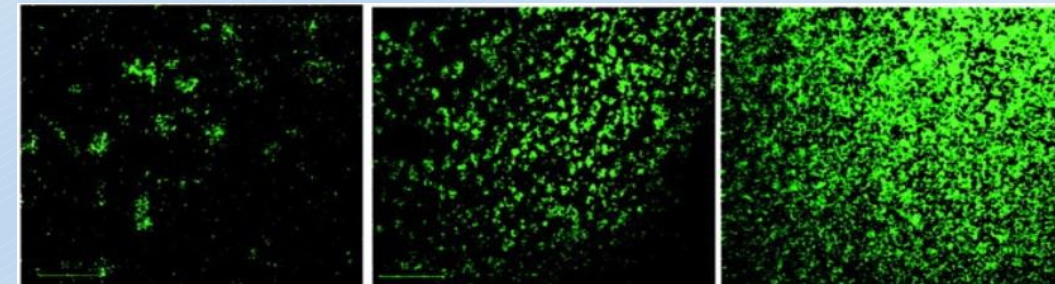


24h

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15811995/>  
48h

72h

*P. gallaeciensis*



24h

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15811995/>  
48h

72h

# RUOLO DEGLI EPIFITI BATTERICI

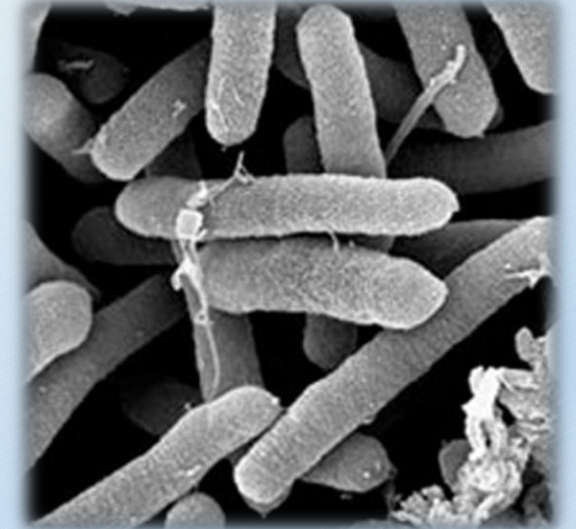
- Fornitura CO<sub>2</sub>.
- Fornitura azoto fisso → *L. dendroidea* con cianobatteri azoto fissatori.
- Assistere o integrare la produzione primaria.
- Sviluppo morfologico delle macroalghe → *U. lactuca* coltivata axenicamente -> morfologia anormale.  
**Tallusina** → fattore di morfogenesi (segnale universale).
- Induzione morfologica limitata a *Cytophaga* – *Flavobacterium* – *Bacteroides*.
- *Pseudoalteromonas* di *U. lactuca* → proprietà antivegetative.
- Studi effettuati su ceppi coltivati.
- Ruolo eziologico come agenti patogeni → stress legato al cambiamento climatico.
- Malattia sbiancante in *D. pulchra* → 2 agenti patogeni (***Nautella italic*** e ***P. galleciensis***).  
Presenza di un gene comune codificante per un attivatore trascrizionale di tipo Lux-R.  
Difesa chimica di una *D. pulchra* sana basata su furanoni -> bloccanti del QS.  
Estate -> perdita di furanoni -> maggiore incidenza di sbiancamento.



# RUOLO DEGLI EPIFITI BATTERICI

Attivazione dei meccanismi di virulenza basata su QS → *N. Italic* e *P. galleciensis* → da commensali a patogeni.

- Malattia da putrefazione delle alghe → abbondanza di *Pseudoalteromonas sp.* e *Vibrio sp.*
- Colonizzatori secondari che agiscono come saprofiti o decompositori.
- Molti batteri ospitano enzimi per la degradazione → passaggio da commensali a saprofiti in condizione di infezione o stress dell'ospite.



<https://www.vivasanint.com/en-us/pseudoalteromonas-ferment-extract-z%20674>

*Pseudoalteromonas*

## ALTRI MEMBRI MICROBICI DELL'ALGA OLOBIONTE

- *Crenarchaeota* mesofili → ossidazione ammoniacca.
- Abbondanza e diversità di gruppi di microbi eucariotici (dinoflagellati, ciliati, diatomee, amebe, funghi).
- Interazioni patogene o saprofite.
- Funghi epifiti ed endofiti come fonte di composti difensivi naturali.
- Virus a DNA dell'alga bruna filamentosa *Ectocarpus* → fino al 50% della popolazione infetta.

## BIBLIOGRAFIA

Lachnit T Meske D Wahl M Harder T & Schmitz R (2011) Epibacterial community patterns on marine macroalgae are host-specific but temporally variable. *Environ Microbiol* 13 : 655–665.

Burke C Thomas T Lewis M Steinberg P & Kjelleberg S (2011b) Composition, uniqueness and variability of the epiphytic bacterial community of the green alga *Ulva australis*. *ISME J* 5: 590–600.

Weinberger F (2007 ) Pathogen-induced defense and innate immunity in macroalgae. *Biol Bull* 213: 290–302.

Tommaso T Evans FF Schleheck D *et al.* (2008) Analysis of the *Pseudoalteromonas tunicata* genome reveals properties of a surface-associated life style in the marine environment. *PLoS UNO* 3:e3252.

Campbell AH Harder T Nielsen S Kjelleberg S & Steinberg PD (2011 ) Climate change and disease: bleaching of a chemically defended seaweed. *Global Change Biol* 17:2958–2970.



## RIASSUNTO

Le alghe (macroalghe) formano un gruppo diversificato e ubiquitario di organismi fotosintetici che svolgono un ruolo essenziale negli ecosistemi acquatici. Questi ingegneri dell'ecosistema contribuiscono in modo significativo alla produzione primaria globale e sono i principali formatori di habitat sulle coste rocciose nelle acque temperate, fornendo cibo e riparo alla vita acquatica. Come altri organismi eucarioti, le macroalghe ospitano una ricca diversità di microrganismi associati con funzioni legate alla salute e alla difesa dell'ospite. In particolare, le comunità batteriche epifite sono state segnalate come essenziali per il normale sviluppo morfologico dell'algale ospite, e si ritiene che i batteri con proprietà antivegetative proteggano le macroalghe chimicamente indifese dalla colonizzazione secondaria dannosa da parte di altri epibioti microscopici e macroscopici. Questa stretta relazione suggerisce che le macroalghe e i batteri epifiti interagiscono come un'entità funzionale unificata o olobionte, analogamente alla relazione precedentemente suggerita nei coralli. Inoltre, dato che l'impatto delle malattie negli ecosistemi marini è apparentemente in aumento, comprendere il ruolo dei batteri come saprofiti e agenti patogeni nelle comunità di alghe può avere importanti implicazioni per le strategie di gestione marina. Questa recensione riporta i recenti progressi nella comprensione delle interazioni macroalghe-batteri con riferimento alla diversità e al ruolo funzionale dei batteri epifiti nel mantenimento della salute delle alghe, evidenziando il concetto di olobionte.