

G. CARUSO¹, R. CALOGERO², A. LO GIUDICE¹, S. GRECO³, C. RIZZO^{1,4}

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Istituto di Scienze Polari (ISP), 98122 Messina, Italia

² Stazione Zoologica Anton Dornh - Dipartimento di Ecologia Marina Integrata, Villa Pace, Contrada Porticatello 29, 98167 Messina, Italia

³ Università di Scienze Gastronomiche, 12042 Pollenzo, Italia

⁴ Stazione Zoologica Anton Dornh - Dipartimento di Biotecnologie Marine Ecosostenibili, Villa Pace, Contrada Porticatello 29, 98167 Messina, Italia
corresponding author: gabriella.caruso@cnr.it

CARATTERIZZAZIONE DEI TASSI ENZIMATICI MICROBICI IN SITI COSTIERI CALABRESI

CHARACTERIZATION OF MICROBIAL ENZYMATIC RATES IN COASTAL CALABRIAN MARINE SITES

Abstract - *This study focuses on the organic matter decomposition mediated by microbial communities in three coastal Tyrrhenian sites, where this process was studied during two consecutive years (autumn and summer), to evaluate in water, sediment and sand matrices the role of microbial activities in recycling carbon and phosphorus organic polymers. Intense decomposition processes were observed during summer, especially in the sand; conversely, no significant spatial trends were detected. The measured activity rates suggest the presence of an active microbial community involved in biogeochemical fluxes and an ecosystem characterized by good functionality and an optimal ecological status.*

Keywords: *organic matter, microbes, enzymes, Calabrian coastal sites, Tyrrhenian Sea.*

Introduzione - La stima dell'attività di decomposizione microbica dei polimeri organici può fornire una alternativa rapida per determinare la qualità ambientale di siti marini. Pochi studi sono finora disponibili sui processi di turnover della materia organica in mar Tirreno (Caruso *et al.*, 2013; Caroppo *et al.*, 2025). Nell'ambito del progetto interdisciplinare CRIMAC, finalizzato alla caratterizzazione di siti costieri calabresi, sono stati determinati i tassi enzimatici microbici su diverse matrici ambientali al fine di valutare il ruolo delle comunità microbiche nei processi biogeochimici e verificare se il metabolismo microbico possa rappresentare un parametro utile per caratterizzare le condizioni di differenti ambienti marino-costieri.

Materiali e metodi - In autunno 2022 ed estate 2023 sono stati eseguiti dei campionamenti in tre siti costieri calabresi prospicienti le aree di Reggio Calabria (RC), Gioia Tauro (GT) e Vibo Valentia (VV). Per ciascun sito sono stati prelevati campioni di acqua di mare, sedimento e sabbia in corrispondenza di tre stazioni dislocate lungo un transetto parallelo alla linea di costa (Fig. 1). I tassi enzimatici microbici sono stati misurati mediante incubazione dei campioni con composti fluorogenici riconosciuti come substrati dagli enzimi leucin-aminopeptidasi (LAP), beta-glucosidasi (GLU) e fosfatasi alcalina (AP), correlati rispettivamente alla degradazione di proteine, polisaccaridi e fosfati organici. I valori sono stati convertiti in microgrammi di carbonio e di fosforo potenzialmente rilasciati utilizzando i fattori di conversione riportati in Caruso (2010) e, per sabbia e sedimento, normalizzati al peso secco. Sono stati inoltre misurati temperatura e salinità delle acque. Il dataset ottenuto per ciascuna matrice (acqua, sedimento, sabbia) è stato sottoposto ad analisi della varianza (ANOVA) a 2 vie, utilizzando come fattori le variabili "sito" e "stagione" tramite il software PRIMER 6 (Clarke and Gorley, 2006). Correlazioni significative fra i tassi enzimatici sono state rilevate mediante calcolo dei coefficienti di correlazione di Pearson (Excel software).



Fig. 1 - Siti campionati lungo la fascia costiera calabrese.
Stations sampled along the Calabrian coastal zone.

Risultati - I valori di temperatura sono oscillati tra 17,6 e 19,8°C in autunno e 26,7 e 35,4°C in estate; quelli di salinità tra 31,6 e 37,53 psu e fra 30,4 e 37,70 psu nelle stesse stagioni, rispettivamente (dati non mostrati). L'andamento dei tassi di attività enzimatica misurati nelle tre matrici analizzate è mostrato in Fig. 2. Sono stati osservati livelli di attività microbica differenti in base alla matrice analizzata, con incrementi generalmente osservati nella stagione estiva per tutti gli enzimi esaminati. In generale, i valori dei tassi enzimatici hanno seguito un gradiente decrescente nell'ordine LAP>AP>GLU, suggerendo processi di decomposizione più attivi sulla componente proteica rispetto ai fosfati organici e ai polisaccaridi.

Nelle acque, gli enzimi LAP e AP hanno mostrato un'attività predominante, raggiungendo valori massimi di 7,31 e 9,36 nmol/l/h, rispettivamente. Nel sedimento sono stati registrati valori enzimatici circa 1-2 ordini di grandezza superiori rispetto alle acque (LAP: 16,55-231,44 nmol/g/h; AP: 16,08-106,31 nmol/g/h), con picchi generalmente estivi. Nella matrice sabbia sono stati riscontrati valori significativamente ($p < 0,01$) più elevati rispetto all'acqua e al sedimento, in particolare nel sito RC in estate. L'analisi della varianza (ANOVA) secondo i fattori sito e stagione ha evidenziato differenze significative legate alla stagionalità ma non al sito (Tab. 1). Una stima delle quantità di carbonio e fosforo potenzialmente mobilizzate dall'attività microbica è riportata in Tab. 2, dove la stagione estiva risulta caratterizzata da un maggiore apporto di carbonio e fosforo resi biodisponibili dall'attività metabolica microbica, in particolare nella sabbia. In estate, sono state registrate numerose correlazioni fra LAP e GLU nell'acqua (Pearson $r = 0,592$, $p < 0,05$), fra LAP e AP nel sedimento (0,679, $p < 0,05$) e fra LAP-GLU e LAP-AP nella sabbia (0,891; 0,942, $p < 0,01$ rispettivamente), suggerendo una sinergia fra i cicli di carbonio e fosforo. Al contrario, in autunno una correlazione diretta è stata osservata per i valori di AP con LAP e GLU (0,721; 0,794, $p < 0,01$, rispettivamente) solo nel sedimento.

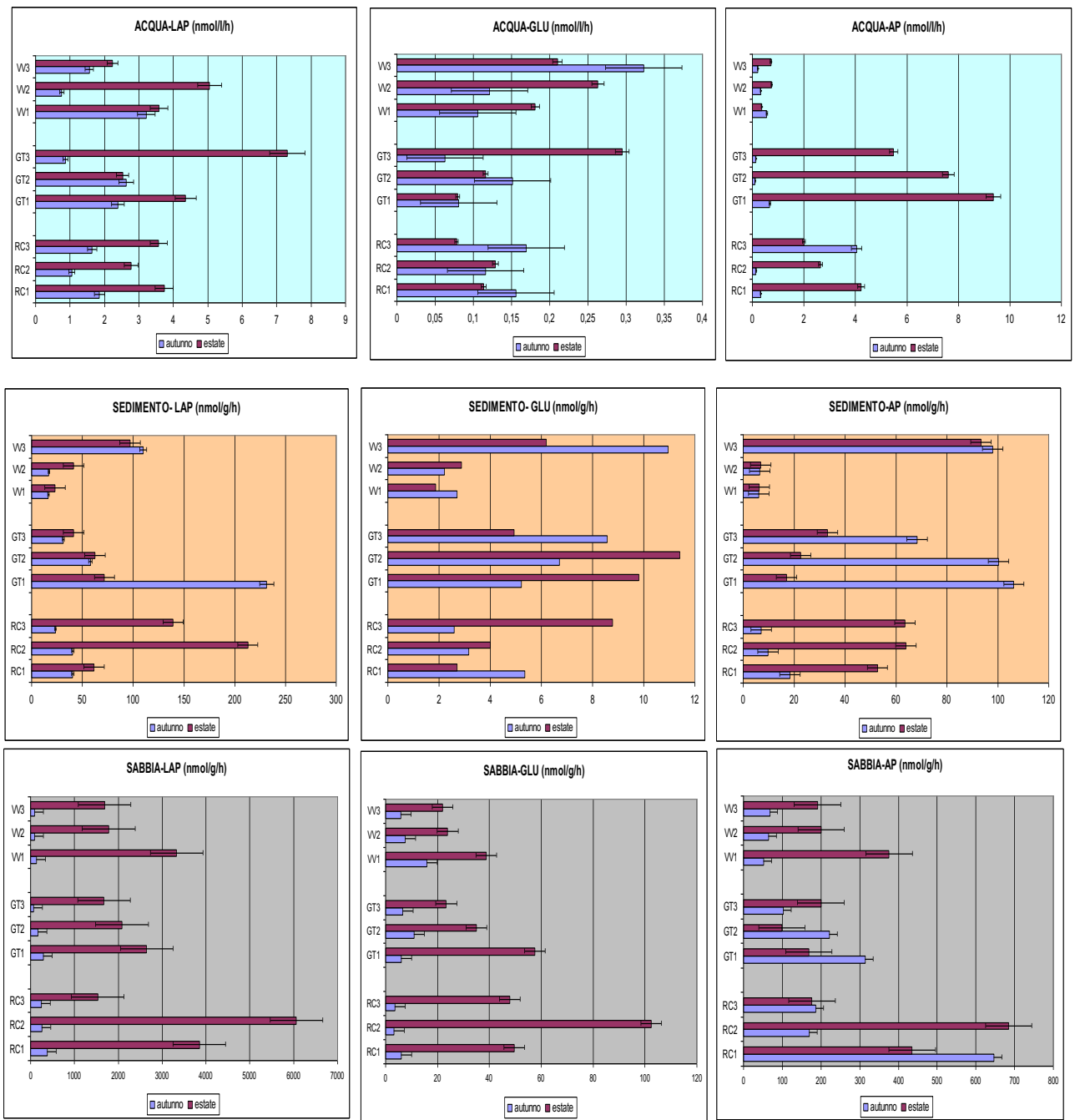


Fig. 2 - Tassi di attività enzimatiche (Leucin AminoPeptidasi, LAP; Beta-Glucosidasi, GLU; Fosfatasi Alcalina, AP) integrati misurati in acqua, sedimento e sabbia.
Integrated enzymatic activity rates (Leucin AminoPeptidase, LAP; Beta-Glucosidase, GLU; Alkaline Phosphatase, AP) measured in water, sediment and sand.

Tab. 1 - Valori F e livello di probabilità (in parentesi) ottenuti dall'analisi della varianza a due vie (ANOVA) effettuata sulle tre matrici, considerando le variabili "sito" e "stagione"; * =5% probabilità; **=1% probabilità

*F values and probability level (in brackets) obtained from two-ways Analysis of Variance (ANOVA) performed on the three matrices, considering the variables "site" and "season"; * =5% probability; **=1% probability*

Fattori		LAP	B-GLU	AP
Acqua	Sito	0,476 (0,842)	0,916 (0,547)	0,788 (0,627)
	Stagione	9,665 (0,014)*	0,283 (0,608)	5,847 (0,042)**
Sedimento	Sito	1,012 (0,493)	1,703 (0,233)	1,145 (0,425)
	Stagione	0,443 (0,524)	0,183 (0,679)	0,149 (0,709)
Sabbia	Sito	1,159 (0,419)	0,780 (0,633)	1,527 (0,281)
	stagione	28,354 (0,0007)**	17,068 (0,003)**	1,001 (0,346)

Tab. 2 - Quantità di Carbonio e Fosforo (rispettivamente in μgC e μgP) potenzialmente mobilizzate dagli enzimi leucin aminopeptidasi (LAP), beta- glucosidasi (GLU) e fosfatasi alcalina (AP) nelle tre matrici esaminate (acqua, sedimento e sabbia).

Amounts of Carbon and Phosphorus (in $\mu\text{g C}$ and $\mu\text{g P}$ respectively) potentially mobilized by leucine aminopeptidase (LAP), beta-glucosidase (GLU) and alkaline phosphatase (AP) in the three examined matrices (waters, sediments and sand).

		LAP (μgC)	B-GLU (μgC)	AP (μgP)
Autunno	Acqua	0,128 \pm 0,002	0,010 \pm 0,0002	0,022 \pm 0,003
	Sedimento	4,547 \pm 0,051	0,380 \pm 0,004	1,449 \pm 0,008
	Sabbia	13,818 \pm 0,084	0,528 \pm 0,005	6,295 \pm 0,023
Estate	Acqua	0,281 \pm 0,003	0,012 \pm 0,001	0,114 \pm 0,001
	Sedimento	6,003 \pm 0,005	0,420 \pm 0,003	1,239 \pm 0,004
	Sabbia	197,159 \pm 11,55	3,204 \pm 0,008	8,717 \pm 0,005

Conclusioni - L'indagine condotta ha permesso di acquisire un dataset originale sui tassi di attività enzimatica e sul ruolo della comunità microbica in un'area del Tirreno meridionale prospiciente le coste calabresi, ambiente finora poco studiato. Sono stati valutati i flussi di fosforo inorganico e di carbonio potenzialmente mobilizzati dall'attività microbica, con la sabbia che rappresenta la matrice più attiva dal punto di vista metabolico. Le attività enzimatiche misurate raggiungono livelli elevati nella stagione estiva nella matrice sabbia. Al contrario, non si evidenziano chiari gradienti in relazione al sito di campionamento. Considerando il ruolo dei processi microbici nel riciclo della materia organica, i valori riscontrati suggeriscono la presenza di una comunità microbica attiva nei flussi biogeochimici e di un ecosistema caratterizzato da buona funzionalità e da uno stato ecologico ottimale.

Bibliografia

- CAROPPO C., CARUSO G., BERGAMASCO A., DECEMBRINI F. (2025) - Phytoplankton diversity and size structure in the Central-Southern Tyrrhenian Sea: implications for microbial functioning. *Microb. Ecol.*, <https://doi.org/10.1007/s00248-025-02650-w>
- CARUSO G. (2010) - Leucine Aminopeptidase, β -Glucosidase and Alkaline Phosphatase Activity Rates and Their Significance in Nutrient Cycles in Some Coastal Mediterranean Sites. *Mar. Drugs*, **8**: 916-940. <https://doi.org/10.3390/md8040916>
- CARUSO G., MONTICELLI L.S., LA FERLA R., MAIMONE G., AZZARO M., *et al.* (2013) - Patterns of Prokaryotic Activities and Abundance among the Epi-Meso and Bathypelagic Zones of the Southern-Central Tyrrhenian Sea. *Oceanography* **1**: 105. <https://doi.org/10.4172/ocn.1000105>
- CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. (2006) - PRIMER v6: User Manual/Tutorial (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research). PRIMER-E, Plymouth.