

# Ricostruzione della variabilità biogeochimica nel Mediterraneo: risposta microbica ai cambiamenti globali.

R. La Ferla, M. Azzaro, G. Caruso, G. Maimone, L.S. Monticelli, R. Zaccone  
*Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, CNR, Messina, Italia*  
rosabrina.laferla@iamc.cnr.it

**SOMMARIO:** I processi microbici coinvolti nei cicli biogeochimici sono stati investigati nel Mediterraneo come strumento di valutazione per i cambiamenti climatici globali. Il Mediterraneo è risultato un ecosistema particolarmente sensibile alla variabilità climatica ed instabile nei suoi equilibri trofici. Negli strati profondi, è stato enfatizzato il contributo microbico al metabolismo eterotrofico in relazione alle dinamiche circolatorie e alla disponibilità di sostanza organica da degradare. Negli strati fotici, è stata osservata un'alternanza stagionale tra metabolismo autotrofico ed eterotrofico. Tale evidenza suggerisce che fasi climatiche di raffreddamento e di riscaldamento, stimolando in maniera contraria e opposta la comunità microbica, potrebbero portare il Mediterraneo ad agire rispettivamente come *sink* o *source* di CO<sub>2</sub>.

## 1 RUOLO DEI MICRORGANISMI MARINI E RELAZIONI CON I CAMBIAMENTI CLIMATICI

### 1.1 Cicli biogeochimici nel mare

I mari e gli oceani svolgono un ruolo fondamentale nella evoluzione dei processi biogeochimici dei principali elementi (quali C, N e P), così come nel modulare il clima dell'intero pianeta. Il ciclo biogeochimico del carbonio, in particolare, riveste una importanza fondamentale nell'equilibrio della biosfera.

Scambi di CO<sub>2</sub> tra atmosfera e oceano dipendono fortemente dalla pompa biologica che tramite l'attività microbica provvede alla sua assimilazione negli strati superficiali e alla sua remineralizzazione lungo tutta la colonna d'acqua. Le attività della comunità microbica possono modificare il funzionamento di un ecosistema marino, rendendolo *sink* o *source* di CO<sub>2</sub> nella biosfera. Gli oceani inoltre mitigano gli effetti dell'aumento di CO<sub>2</sub> atmosferica sequestrandola negli strati profondi.

L'influenza dei cambiamenti climatici sulla variabilità biogeochimica dell'oceano, e quindi sul funzionamento e la struttura delle biocenosi microbiche marine, non è ancora studiata in maniera approfondita e non è quindi

chiara l'interdipendenza fra clima, ciclo del carbonio e microrganismi (Hoppe *et al.*, 2002). Inoltre, mentre molta enfasi è stata data allo studio dei processi produttivi della sostanza organica negli strati fotici, poco interesse è stato rivolto alle fasi degradative, che peraltro hanno luogo nel biota marino superficiale e profondo.

### 1.2 Importanza del Mediterraneo nel contesto dei cambiamenti climatici globali

Nell'ambito degli studi sul Mediterraneo, solo in questi ultimi anni sono state programmate ricerche volte a studiare la variabilità dei processi biogeochimici microbici in relazione alle forzanti climatiche. Il Mediterraneo rappresenta uno degli ecosistemi più oligotrofici del mondo. È un mare semi-chiuso, molto sensibile ai cambiamenti climatici per via delle sue dimensioni, dei brevi tempi di residenza delle masse d'acqua e degli alti tassi di turnover della sostanza organica rispetto agli oceani. Pertanto, è ritenuto un bacino idoneo per studi a medio e lungo termine dei cambiamenti ambientali globali. Inoltre, in esso hanno luogo su scala relativamente ridotta i principali processi dinamici oceanici (formazione di acque

intermedie e profonde, fenomeni di upwelling, trasporto laterale dalla *continental shelf* etc.). Già negli anni 90, il settore orientale di tale bacino è stato interessato dall'evento climatico denominato Eastern Mediterranean Transient (EMT), sviluppatosi nel Mar Egeo e successivamente diffusosi nell'intero bacino, con forti implicazioni sulle dinamiche di circolazione e sull'assetto ecologico (Roether *et al.*, 1996). In questo lavoro vengono esaminati in maniera sinottica i risultati di numerose campagne multidisciplinari condotte nel Mediterraneo, al fine di stimare l'importanza di alcuni processi microbici in relazione alla variabilità climatica. Lo studio affronta inoltre l'attuale dibattito scientifico riguardante la natura eterotrofica o autotrofica degli ambienti oceanici.

## 2 ATTIVITÀ DI RICERCA

### 2.1 Area di studio e metodologie

Le campagne oceanografiche sono state effettuate nell'ambito di numerosi progetti condotti dal nostro istituto dal 1995 al 2005 (Fig.1). L'intero *data set* ha coperto parametri idrologici, trofici e microbiologici, con particolare attenzione alla biomassa (analisi d'immagine), alle attività idrolitiche (leucina-amino-peptidasi,  $\beta$ -glucosidasi e fosfatasi alcalina), di produzione batterica (incorporazione di  $^3\text{H}$ -leucina) e respiratorie (attività ETS) lungo l'intera colonna d'acqua. Dettagli metodologici sono riportati da Zaccone *et al.* (2003), La Ferla *et al.* (2005).

## 3 RISPOSTA MICROBICA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Connessioni tra variabilità dei processi microbici e variabilità climatica sono state evidenziate sia negli strati profondi che superficiali del Mediterraneo. Il quadro sinottico ottenuto ha mostrato che esse sono modulate sia da andamenti geografici che dalla stagionalità. Nella zona afotica, le nostre ricerche hanno messo in luce come l'attività microbica ed in particolare respiratoria, sia un ottimo indicatore delle fasi evolutive delle masse d'acqua in relazione alla disponibilità di sostanza organi-

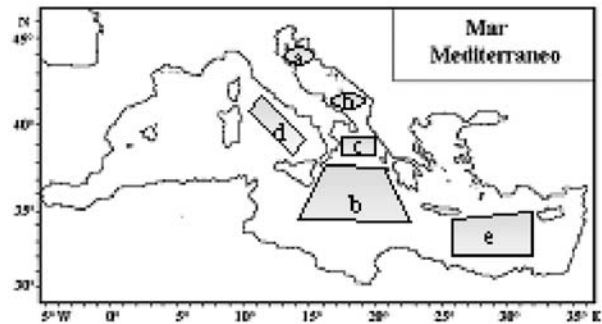


Figura 1: Aree di studio nell'ambito dei progetti PRISMA2 (a), SINAPSI (b), OTRANTO (c), FIRB, CIESM-SUB1 e SUB2 (d), LIWEX-POEM (e).

ca "giovane" ed in particolare nella sua frazione disciolta (La Ferla e Azzaro, 2001; La Ferla *et al.*, 2005). Tale comportamento, non osservato negli oceani, sembra essere in stretta relazione con il trasporto di carbonio organico preformato sia attraverso processi di advezione laterale dalla "*continental shelf*" che attraverso processi di diffusione di acque di nuova formazione, intermedie e profonde. Ciò enfatizza il contributo delle attività microbiche al metabolismo eterotrofico degli oceani.

Inoltre, lo stretto accoppiamento tra attività respiratoria microbica e gli andamenti circolatori delle masse d'acqua ha evidenziato implicazioni ecologiche derivate dalla diffusione dell'EMT nelle profondità del Mar Ionio (La Ferla e Azzaro, 2001). In tale contesto, uno dei più evidenti segnali in risposta a tale evento da parte della comunità microbica, è stata l'accelerazione dei processi di remineralizzazione nelle acque profonde del bacino orientale del Mediterraneo (La Ferla *et al.*, 2003; Zaccone *et al.*, 2003).

Nella zona eufotica, la variabilità climatica si riflette nella variabilità del bilancio metabolico del carbonio. Da un decennio la natura autotrofica o eterotrofica degli oceani, e le dirette conseguenze sui *sinks* e *sources* di C nella biosfera, sono oggetto di dibattito scientifico. I rapporti ottenuti dai tassi di idrolisi, respirazione e produzione primaria e batterica nell'Adriatico Settentrionale, erroneamente ritenuto per antonomasia un sistema produttivo, hanno messo in evidenza come il metabolismo del comparto microbico favorisca i processi degradativi nei periodi estivi, in relazio-

ne diretta con l'incremento della temperatura (La Ferla *et al.*, 2002).

Ulteriori indagini hanno evidenziato significative correlazioni positive fra i processi eterotrofici e la temperatura e confermano che il bilancio del carbonio tende verso l'autotrofia in inverno, quando è presente un surplus di sostanza organica autoctona (Fig. 2). È invece negativo o prossimo all'equilibrio in estate, in seguito ad uno sbilanciamento verso la remineralizzazione, confermando la necessità di fonti alloctone di sostanza organica (Sempère *et al.*, 2000).

Nel Tirreno, in cui predominano fenomeni di *export production*, e nello Ionio, in cui predominano processi di trasporto laterale, i rapporti metabolici sembrano sbilanciati rispettivamente verso l'autotrofia e l'eterotrofia, pur con oscillazioni legate alla variabilità dei forzanti fisici ed in particolare della temperatura (La Ferla *et al.*, 2005).

L'alternanza tra fasi di autotrofia ed eterotrofia, come evidenziato, pur se con diverso grado, in tutti i bacini studiati suggeriscono che il Mediterraneo costituisce un ecosistema particolarmente instabile nei suoi equilibri trofici e vulnerabile alle mutevoli condizioni climatiche. È quindi ipotizzabile che fasi climatiche di raffreddamento e di riscaldamento, stimolando in maniera contraria e opposta il metabolismo microbico, possano portare il Mediterraneo ad agire rispettivamente come serbatoio o sorgente di CO<sub>2</sub>.

#### 4 PROSPETTIVE FUTURE

Scenari futuri di bilancio metabolico del Mediterraneo potranno essere chiariti in seguito all'elaborazione dei dati sperimentali nell'ambito del progetto multidisciplinare sulla "Vulnerabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climatici e loro ruolo nei cicli del carbonio mediterraneo" (VECTOR). Tale progetto di forte impatto scientifico, avviato nel 2006, mira al monitoraggio di stazioni fisse nel Tirreno e Adriatico, così come dei bacini orientale e occidentale, in modo da acquisire serie temporali con cadenza stagionale durante un

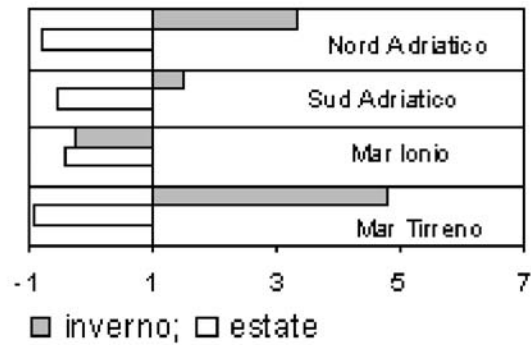


Figura 2: Rapporto Produzione Primaria/Respirazione (PP/R) calcolato per le diverse aree studiate da dati integrati nella zona fotica. I rapporti sono stati calcolati da dati espressi in mg C m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup>. L'equilibrio tra PP e R è rappresentato da un rapporto uguale a 1.

periodo complessivo di due anni. In tale contesto, l'integrazione con dati pregressi risulterà utile per meglio comprendere l'attuale evoluzione biogeochimica e climatologica del Mediterraneo. I dati microbiologici sono in fase di elaborazione e verranno inseriti nella banca dati del progetto per formulare modelli previsionali climatologici, nell'ambito di una collaborazione con i principali *networks* di ricerca ambientale.

#### 5 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Hoppe H.G., Gocke K., Koppe R., Begler C., 2002. Bacterial growth and primary production along a north-south transect of the Atlantic Ocean. *Nature*, 416: 168-171.
- La Ferla R., Azzaro M., 2001. Microbial respiration in the Levantine Sea: evolution of the oxidative processes in relation to the main Mediterranean water masses. *Deep-Sea Res. (Part I)*, 48(10): 2147-2159.
- La Ferla R., Azzaro M., Civitarese G., Ribera d'Alcalà M., 2003. Distribution patterns of carbon oxidation in the Eastern Mediterranean Sea: evidence of changes in the remineralization processes. *J. Geophys Res.*, 108(C9): 8111.
- La Ferla R., Azzaro F., Azzaro M., Caruso G., Decembrini F., Leonardi M., Maimone G., Monticelli L.S., Raffa F., Santinelli C., Zaccone R., Ribera d'Alcalà M., 2005. Microbial contribution to carbon biogeo-

- chemistry in the Central Mediterranean Sea: variability of activities and biomass. *J. Mar. Sys.*, 57: 146-166.
- Roether W., Manca B.B., Klein B., Bregant D., Georgopoulos D., Beitzel V., Kovacevic V., Luchetta A., 1996. Recent changes in the Eastern Mediterranean deep water. *Science*, 271: 333-335.
- Sempéré R., Charrière B., Van Wambeke F., Cauwet G., 2000. Carbon inputs of the Rhone River to the Mediterranean Sea: biogeochemical implications. *Global Biogeochem. Cycles*, 14: 669-681.
- Zaccone R., Monticelli L.S., Seritti A., Santinelli C., Azzaro M., Boldrin A., La Ferla R., Ribera d'Alcalà M., 2003. Bacterial processes in the intermediate and deep layers of the Ionian Sea in winter 1999. *J. Geophys Res.*, 108(C9): 8117.