

Autori

Adriana Zingone, Maria Cristina Buia, Cecilia Balestra, Marco Cannavacciolo, Raffaella Casotti, Fabio Conversano, Domenico D'Alelio, Iole Di Capua, Bruno Iacono, Daniele Iudicone, Lorenzo Longobardi, Maurizio Lorenti, Francesca Margiotta, Maria Grazia Mazzocchi, Marina Montresor, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Lucia Porzio, Vincenzo Rando, Maurizio Ribera d'Alcalà, Maria Saggiomo, Vincenzo Saggiomo, Diana Sarno, Ferdinando Tramontano, Gianluca Zazo, Valerio Zupo

Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli – Villa Comunale 80121, Napoli, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/0f59e22d-1db8-481e-a8b7-f2810fcfc178>

Referente Macrosito: Adriana Zingone.

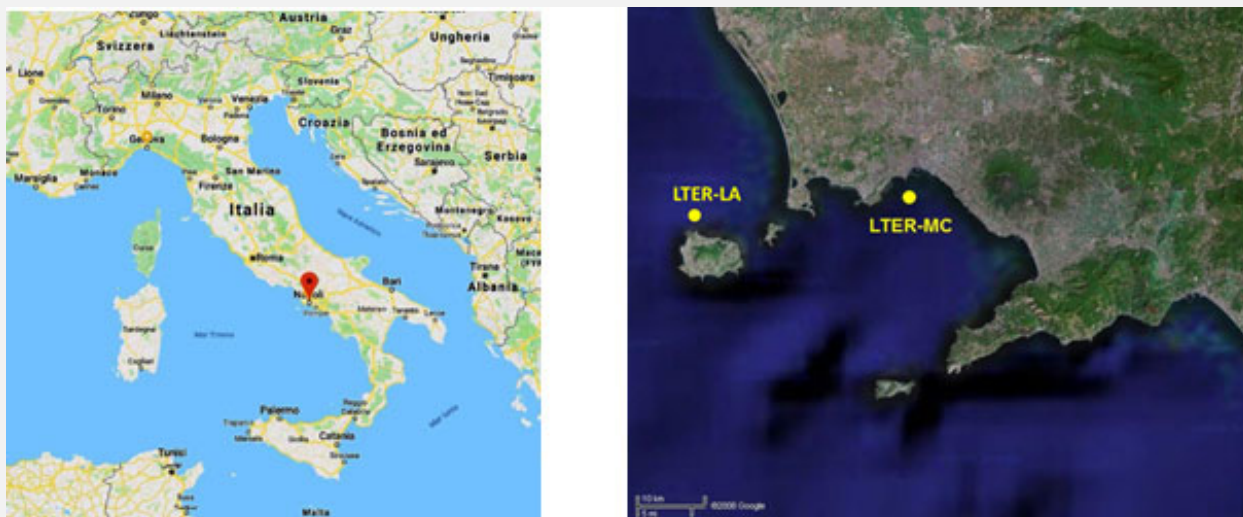


Fig. 1- Posizione geografica del macrosito Golfo di Napoli (Mar Tirreno) (sinistra) e posizione dei due siti di campionamento del plancton (LTER-MC) e del bentos (LTER-LA) all'interno del Golfo (destra)

Siti di ricerca:

LTER-MareChiara (LTER-MC), IT13-001-M

LTER-Lacco Ameno (LTER-LA), IT13-002-M

Tipologia di ecosistema: ecosistema marino costiero

Citare questo capitolo come segue: Zingone A., Buia M.C., Balestra C. *et al.* (2021). IT13-M Golfo di Napoli, p. 439-467. DOI: 10.5281/zenodo.5584753. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il Golfo di Napoli (Mar Tirreno Centrale, Mediterraneo Occidentale) si estende tra 40°50'-40°32'N e 13°52'-14°28'E, con un'area di 870 km² e una profondità media di 170 m. Lungo le sue coste, già abitate in epoca pre-romana, vivono circa 4 milioni di abitanti. L'attività delle grandi industrie è estremamente ridotta, mentre è significativa l'attività delle piccole aziende. Nel Golfo coesistono zone inquinate, fra cui Siti di Interesse Nazionale (SIN) quali Bagnoli-Coroglio e Napoli orientale, e zone ad alto grado di naturalità, quali le Aree Marine Protette di Punta Campanella e del Regno di Nettuno.

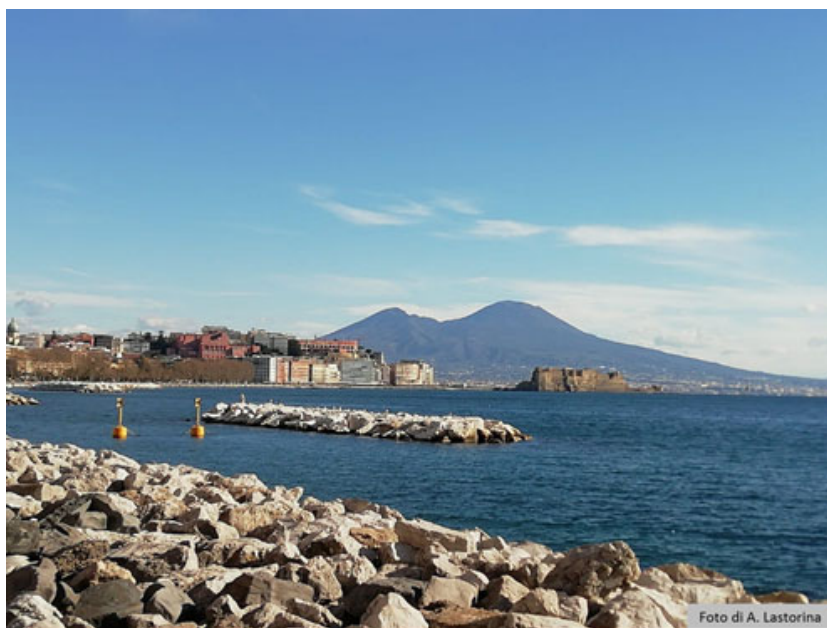


Fig. 2 - Veduta della zona costiera del Golfo di Napoli dalla Baia di Mergellina, con il Castel dell'Ovo e il Vesuvio sullo sfondo

Il macrosito comprende due stazioni di campionamento, una per lo studio del plancton ed una per lo studio del benthos. La zona di campionamento del plancton si trova al largo della città di Napoli, in un'area soggetta all'impatto della costa ma anche delle acque oligotrofiche del Tirreno. La zona di campionamento del benthos si trova sull'Isola di Ischia, nell'habitat ad alta valenza ecologica costituito dalle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile che sono distribuite lungo un'ampia fascia batimetrica in varie zone dell'isola. Un'ulteriore particolarità

di quest'area, derivante dalle sue caratteristiche vulcaniche, è la presenza di emissioni gassose di

CO₂ sul fondale marino, che consente di studiare gli adattamenti di organismi e sistemi bentonici all'acidificazione del mare, rappresentando una peculiare finestra su condizioni previste in un futuro ormai non lontano.

A supporto delle attività osservative svolte nel Golfo di Napoli, dal 2016 sono state installate due boe oceanografiche MEDA elastiche a breve distanza dalla costa, una di fronte alla Stazione Zoologica Anton Dohrn e una di fronte a Bagnoli. Tali boe sono attrezzate con sensori meteorologici, sonde profilanti multiparametriche e correntometri ADCP. I dati meteo-marini ad alta frequenza vengono trasmessi a terra in tempo reale attraverso un ponte Wi-Fi a larga banda ed anche tramite la rete GSM.

Abstract

The Gulf of Naples (Central Tyrrhenian Sea, Western Mediterranean Sea) extends between 40°50'-40°32'N and 13°52'-14°28'E, with an area of 870 km² and an average depth of 170 m. About 4 million people live along the coasts, which have been inhabited since the pre-Roman age. The Gulf is characterized by the contrast between highly polluted areas (Bagnoli-Coroglio, Eastern-Naples) and pristine sites identified as Marine Protected Areas (Punta Campanella, Regno di Nettuno). The macrosite includes two sampling stations, one for the study of plankton and one for the study of benthos. The plankton sampling area is located off the city of Naples, at the border between the eutrophic littoral area and the oligotrophic open waters. The benthic sampling site is occupied by the highly valuable *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows which extend over a wide bathymetric range along the Ischia Island coasts. A further peculiarity of this island stemming from its volcanic nature is represented by the CO₂ emissions from the seabed which allow to study the adaptations of organisms

and benthic ecosystems to acidification. In support to the observational activities, two MEDA-elastic buoys were installed in 2016 at a short distance from the coast, one off the Stazione Zoologica Anton Dohrn and the other off Bagnoli. The buoys are equipped with meteorological sensors, multi-parametric profiling probes and ADCP current-meters. High-frequency data are transmitted in real time via a broadband Wi-Fi bridge and also via the GSM network.

Autori

Adriana Zingone, Cecilia Balestra, Marco Cannavacciolo, Raffaella Casotti, Fabio Conversano, Domenico D’Alelio, Iole Di Capua, Daniele Iudicone, Lorenzo Longobardi, Francesca Margiotta, Maria Grazia Mazzocchi, Marina Montesor, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Maurizio Ribera d’Alcalà, Maria Saggiomo, Vincenzo Saggiomo, Diana Sarno, Ferdinando Tramontano, Gianluca Zazo

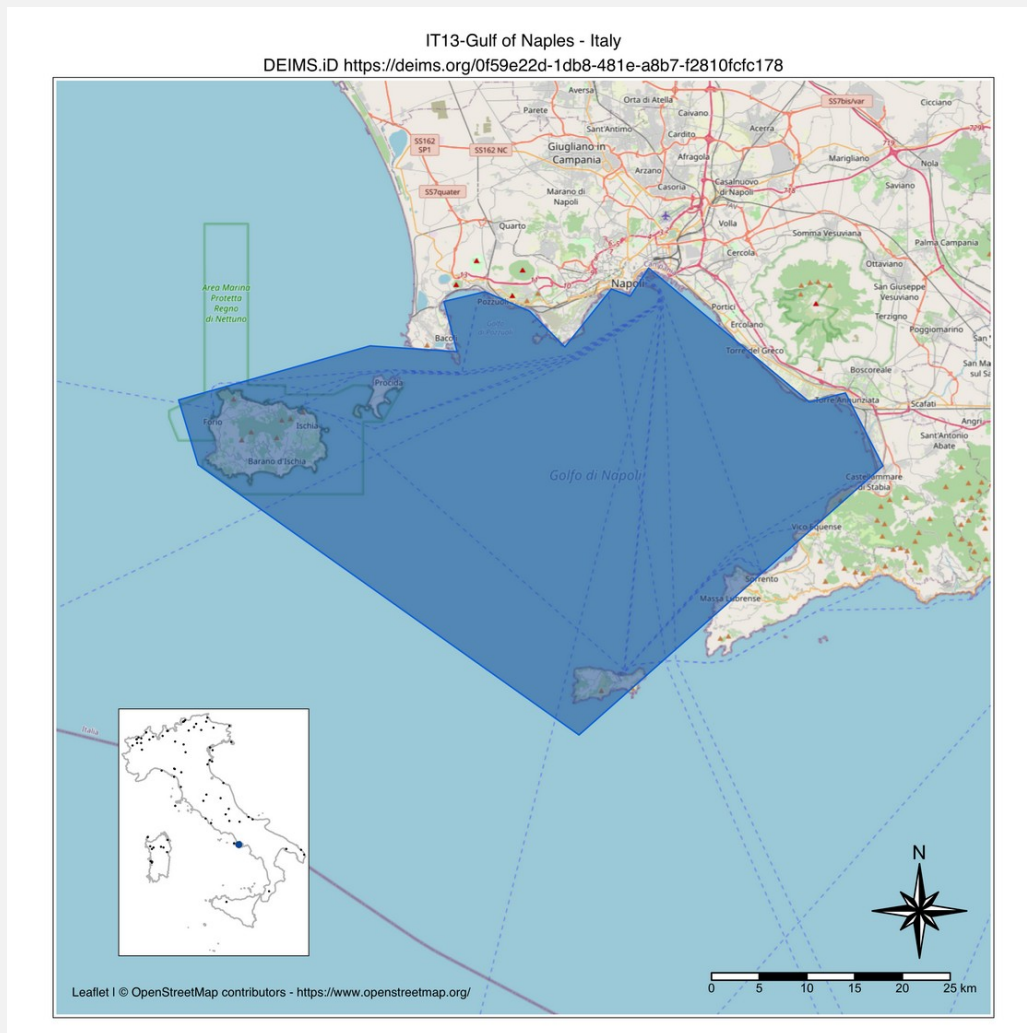
Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli, Villa Comunale, 80121 Napoli, Italia.

Sigla: IT13-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/0b87459a-da3c-45af-a3e1-cb1508519411>

Responsabile sito: Adriana Zingone.



Descrizione del Sito e delle sue finalità

I primi studi su specie animali e vegetali del Golfo di Napoli risalgono al secolo XIX e si sviluppano successivamente con la fondazione della Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN) nel 1872 (Issel 1934; Indelli 1944; De Angelis 1958; Hure & Scotto di Carlo 1968). L'ecologia delle comunità fito- e zooplanctoniche diventa tuttavia oggetto di studio continuativo negli anni '70 del secolo scorso (p.es., Carrada *et al.* 1982), e in particolare con l'inizio delle ricerche a lungo termine condotte alla stazione LTER-MC dal 1984 (Scotto di Carlo *et al.* 1985; Ribera d'Alcalá *et al.* 2004).



Fig. 3 - Campionamento di zooplankton al sito LTER-MC

La stazione di campionamento LTER-MC è localizzata di fronte alla città di Napoli, a circa 2 miglia da Castel dell'Ovo, in corrispondenza dell'isobata di 75 m (40°48.5'N, 14°15'E). La posizione del sito fu individuata sulla base dei risultati di uno studio effettuato nella parte interna del Golfo nell'estate del 1983, in modo tale da rappresentare le acque costiere del Golfo non direttamente impattate dagli scarichi urbani, ma interessate anche dallo scambio con le acque oligotrofiche del Tirreno Centrale (Zingone *et al.* 1990). Dall'avvio della serie temporale nel gennaio 1984 i campionamenti sono proseguiti con cadenza quindicinale fino al luglio 1991 e ripresi con cadenza settimanale nel febbraio 1995, dopo 4 anni di interruzione.

Informazioni supplementari sulla distribuzione delle comunità planctoniche a diverse scale spaziali e temporali sono state raccolte nel corso di varie campagne oceanografiche nel Golfo di Napoli dalla fine degli anni '70 e in cicli annuali occasionalmente effettuati su altre stazioni del Golfo. Negli anni 2000-2005 sono state campionate, a frequenza

quindicinale, diverse stazioni dell'area più costiera dell'intera Regione Campania (<http://www.sidimar.tutelamare.it>).

Fanno parte della serie LTER-MC analisi delle seguenti variabili:

- fisiche: temperatura, irradianza;
- chimiche: salinità, ossigeno disciolto, nutrienti inorganici ed organici, carbonio e azoto particellato, carbonio organico disciolto;
- biologiche: fluorescenza, clorofilla, pigmenti fotosintetici, picoplancton e batteri eterotrofi, fitoplancton, mesozooplancton.

Le attività più recenti comprendono:

- analisi della struttura e dinamica della rete trofica con approcci modellistici dal 2014;
- raccolta di dati in continuo da boe oceanografiche dal 2016;
- visualizzazione dei dati idrografici, fito e zooplankton <http://szn.macisteweb.com> dal 2014;
- variabilità spaziale del plancton nella baia di Napoli con termosalinografo/fluorimetro dal 2016;
- microturbolenza lungo la colonna d'acqua dal 2016;
- distribuzione del picoplancton e fitoplancton con citofluorimetria (CytoSense/CytoSub) dal 2016;
- partecipazione al campionamento sincrono mondiale dell'Ocean Sampling Day (OSD);
- monitoraggio di macroplancton gelatinoso (dal 2019).
- Alcune attività e analisi di dati relativi al sito LTER-MC sono state limitate a determinati periodi di tempo:
- microzooplankton (ciliati) (1997-2009);
- tassi riproduttivi del copepode *Centropages typicus* (1995-2017)

- calcolo dei tassi di mortalità naturale non dovuta a predazione nelle popolazioni di copepodi (2013);
- diversità dei protisti con tecniche di High Throughput Sequencing-metabarcoding di sequenze diagnostiche di DNA (2011-2014);
- diversità batterica con tecniche di High Throughput Sequencing-metabarcoding di sequenze diagnostiche di DNA (2014-2015);
- abbondanze di virus marini liberi (2014);
- biomassa media di singole specie del mesozooplankton (2015);
- studio di una fioritura estiva di plancton in mesocosmi in presenza di microplastiche (estate 2016);
- analisi quali-quantitativa di sostanze di origine lipidica nel fitoplancton (2016-2018);
- biologia riproduttiva e risposta genica allo stress nel copepode *Temora stylifera* (2016-2018).

Oltre che per la raccolta dell'importante serie di dati, unica nel Mediterraneo per risoluzione tassonomica, il sito LTER-MC è utilizzato come 'laboratorio naturale' nel quale vengono condotte, per periodi limitati, ricerche mirate a testare ipotesi nate dalle osservazioni a lungo termine e rispondere a domande fondamentali, ancora aperte, che riguardano la biodiversità e l'ecologia del plancton. Le attività di campionamento e analisi e gli studi condotti sulla base dei dati o di campionamenti mirati vengono effettuate da ricercatori, tecnologi e tecnici della SZN, con la partecipazione di studenti di laurea e dottorato avvicendatisi negli anni. Alcune attività si giovano di collaborazioni esterne nazionali o internazionali.

Risultati

La ricerca ecologica alla stazione LTER-MC si è rivelata negli anni una risorsa preziosa per la comprensione del sistema planctonico del Golfo di Napoli, dando spunto e fornendo materiale e dati ad oltre 140 studi che hanno affrontato numerosi temi riguardanti il plancton marino, recentemente sintetizzati in una rassegna (Zingone *et al.* 2019). Fra i temi affrontati, in particolare negli ultimi anni, vanno evidenziati: i) la biodiversità studiata con approcci tassonomici, sia morfologici che molecolari, riguardante specie selezionate, gruppi di specie o l'intera comunità planctonica; ii) i cicli stagionali, la variabilità interannuale e le tendenze a scala decadale; iii) le interazioni interspecifiche realizzate attraverso relazioni trofiche. I risultati di questi studi nel loro complesso dimostrano il grande valore delle serie temporali, le quali, oltre a registrare fluttuazioni e tendenze del sistema, svolgono un ruolo primario nello sviluppo della conoscenza scientifica del plancton, con ricadute molto al di là della scala e dell'interesse locale.

La stazione LTER-MC è uno dei pochi siti di ricerca a lungo termine in cui la diversità del plancton marino è regolarmente monitorata a livello di specie, con studi tassonomici dettagliati basati su microscopia e, particolarmente per il fitoplancton, su analisi molecolari. Questi studi hanno portato, negli anni, alla descrizione di più di 20 specie nuove e all'identificazione di circa 750 taxa microalgali e di 212 taxa mesozooplanktonici. Questi numeri sono tuttavia certamente sottostimati perché molti gruppi (soprattutto fra i protisti, ma anche fra i metazoi) necessitano ancora di indagini tassonomiche approfondite a livello morfologico e molecolare. L'alta diversità specifica di fito – e zooplankton al sito LTER-MC è probabilmente dovuta alle caratteristiche sub-tropicali del Mediterraneo, in contrasto con la posizione geografica del bacino, e all'influenza nel Golfo di Napoli di acque sia costiere che di largo. Le accurate osservazioni tassonomiche condotte nel sito LTER-MC hanno anche portato ad una conoscenza approfondita delle specie algali tossiche presenti nel Golfo e della loro stagionalità, e hanno permesso di rilevare la presenza di un certo numero di specie aliene potenzialmente invasive. Fra le specie reponsabili di fioriture nocive è stata recentemente descritta la nuova specie tossica *Azadinium dexteroporum* (Percopo *et al.* 2013). La ricerca sulla diversità del plancton a LTER-MC si è negli anni ampliata a considerare diversi aspetti relativi all'identità delle specie, come la filogenesi, i cicli vitali, le caratteristiche biochimiche, fisiologiche e metabolomiche, le strategie di alimentazione, il

comportamento, nonché aspetti ecologici come la fenologia delle specie e la loro diversità durante le fioriture.

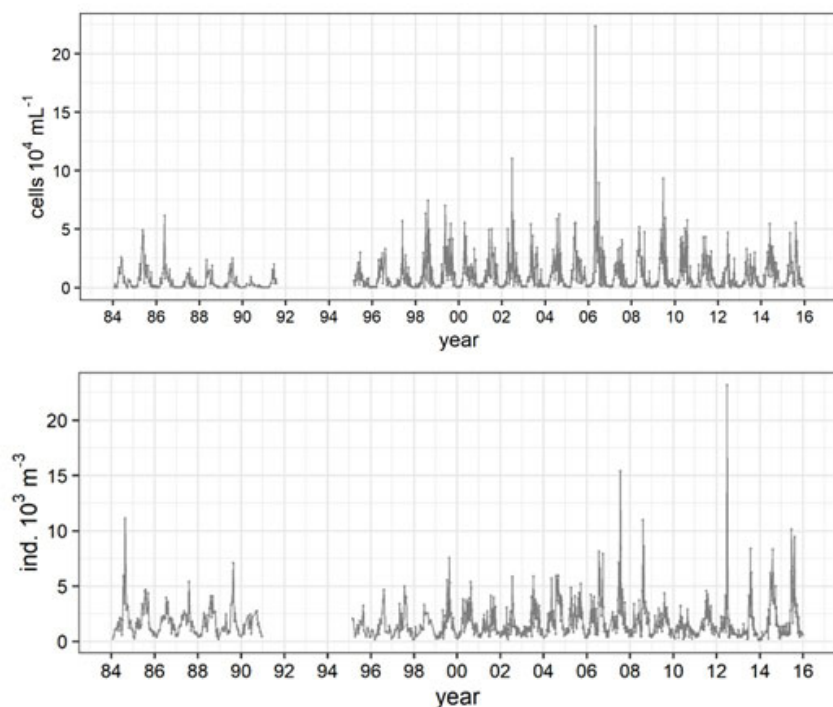


Fig. 4 - Variabilità interannuale delle abbondanze totali fitoplanctoniche (pannello superiore) e mesozooplanctoniche (pannello inferiore) alla stazione LTER-MC negli anni 1984-2015 (dati non pubblicati)

et al. 2018). Fra i copepodi, che rappresentano il gruppo più numeroso del mesozooplankton, due fra le specie più abbondanti, *Acartia clausi* e *Centropages typicus*, hanno mostrato cambiamenti nella fenologia, con un significativo anticipo del loro ciclo stagionale in relazione ad anomalie positive di temperatura, una risposta osservata anche in altre specie zooplanctoniche a diverse latitudini in relazione ai cambiamenti climatici (Mackas *et al.* 2012). La scomparsa di alcune specie di copepodi tipici di aree confinate e l'aumento del contributo di altre specie caratteristiche invece di acque aperte (Mazzocchi *et al.* 2012) suggeriscono inoltre che la stazione LTER-MC abbia acquisito, almeno negli anni fino al 2006, un carattere meno costiero, confermando il segnale già evidenziato dalla diminuzione della biomassa vegetale.

Dall'analisi dell'andamento temporale del plancton della stazione LTER-MC alle scale stagionali e decadali è stata evidenziata una notevole variabilità interannuale (Fig. 4), con pochi trend significativi nelle prime due decadi della serie (Ribera d'Alcalà *et al.* 2004; Mazzocchi *et al.* 2011). Fra questi, sono stati evidenziati un aumento della temperatura estiva dell'acqua superficiale, una diminuzione della biomassa fitoplanctonica (come clorofilla *a*) e una diminuzione delle dimensioni cellulari del fitoplancton, principalmente a causa di un aumento percentuale delle diatomee di piccola taglia, un trend che si è invertito negli ultimi anni (Sarno & Zingone, dati non pubblicati, in Morabito

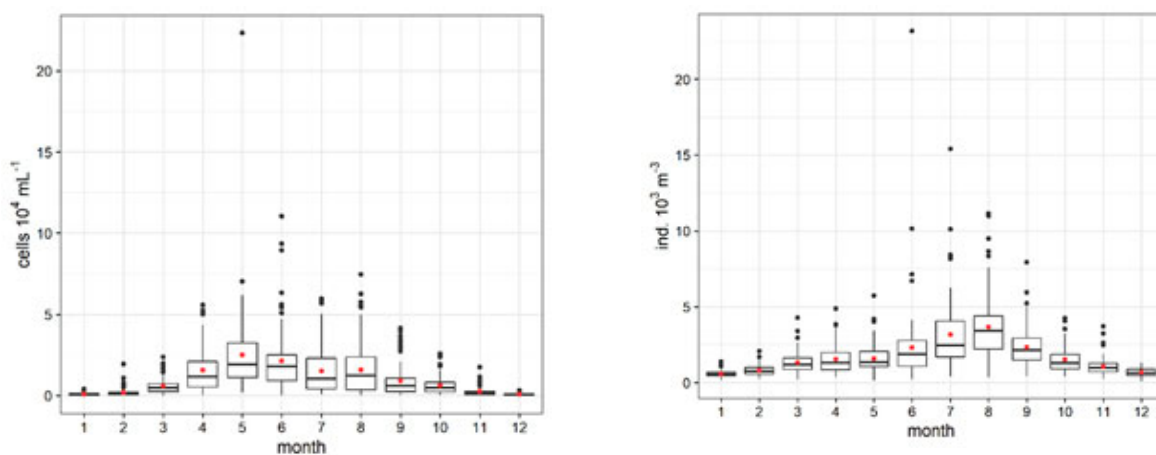


Fig. 5 - Ciclo medio annuale delle abbondanze totali fitoplanctoniche (sinistra) e mesozooplanctoniche (destra) alla stazione LTER-MC nel periodo 1984-2015 (dati non pubblicati)

Dal complesso dei risultati emerge che il principale forzante del sistema pelagico locale è la stagionalità, che ne influenza profondamente le componenti abiotiche e biotiche (fito-, micro- e mesozooplankton) (Fig. 5). Nonostante l'elevata variabilità interannuale osservata nelle caratteristiche ambientali, le diverse fasi del ciclo annuale si ripetono negli anni sia per le comunità planctoniche nel loro insieme che per le specie più comuni. Si osservano infatti successioni stagionali regolari sia, nei copepodi, tra le specie più abbondanti di calanoidi (Mazzocchi *et al.* 2012) e tra le specie congeneriche di *Clausocalanus* e *Oithona* (Mazzocchi & Ribera d'Alcalà 1995), sia, nel fitoplancton, tra i dinoflagellati del genere *Triplos*, le diatomee del genere *Pseudo-nitzschia* e le diverse specie di criptofite (Tunin-Ley *et al.* 2009; Ruggiero *et al.* 2015; Cerino & Zingone 2006). Questi risultati evidenziano un'insospettata resilienza delle comunità costiere e suggeriscono che la successione stagionale è principalmente regolata da fattori biologici, quali i cicli vitali, i tratti fisiologici specie-specifici e le interazioni fra specie.

Fra queste ultime, le interazioni trofiche all'interno del comparto planctonico sono state analizzate a livello specifico utilizzando LTER-MC come sistema modello (D'Alelio *et al.* 2015, 2016a, b). Da questo studio è emerso che la rete trofica cambia in funzione delle diverse caratteristiche della colonna d'acqua: dominano i legami fra fito – e mesozooplankton quando il sito è in condizioni eutrofiche a causa dell'influenza di acque costiere, mentre dominano i legami del microbial loop quando il sito è occupato dalle acque oligotrofiche di largo. Inoltre, la stessa comunità, grazie alla sua diversità biologica, può rispondere in modo adattativo alle oscillazioni tra condizioni trofiche diverse, essendo i vari consumatori in grado di cambiare le preferenze alimentari in base alle risorse disponibili.

Di particolare interesse, fra gli studi affrontati negli ultimi anni, si sono rivelati i risultati di indagini molecolari condotte su DNA ambientale (metabarcoding) ottenuto da campioni d'acqua prelevati a LTER-MC. Nel caso del fitoplancton, questo approccio permette di stimare con maggiore obiettività, omogeneità e risoluzione la diversità di questi microorganismi, molti dei quali sono difficilmente identificabili in microscopia ottica e a volte persino in microscopia elettronica. I primi studi, condotti con la tecnica del clonaggio, hanno permesso di tracciare la stagionalità di flagellati unicellulari planctonici e di diatomee tossiche del genere *Pseudo-nitzschia*, che include moltissime specie pressoché indistinguibili se non con approcci molecolari (McDonald *et al.* 2007a, b; Ruggiero *et al.* 2015). Più recentemente, l'introduzione delle tecnologie di High Throughput Sequencing (HTS) ha permesso di ottenere una panoramica completa dell'intera comunità a protisti, evidenziandone molti aspetti di diversità finora non conosciuti (Piredda *et al.* 2017a, b, 2018). I risultati ottenuti dimostrano fra l'altro l'opportunità di condurre questo tipo di studi in siti di ricerca a lungo termine, dove le informazioni sulla biodiversità genetica possono essere inquadrare in un contesto ecologico, permettendo, ad esempio, inferenze sulla relazione fra biodiversità e fattori ambientali e previsioni a lungo termine sui cambiamenti di biodiversità e sui suoi impatti sull'ecosistema marino.

Numerose sono state negli anni le tesi di laurea, master e dottorato di ricerca che hanno affrontato e sviluppato tematiche collegate al programma LTER-MC, in alcuni casi per studi ecologici basati su elaborazioni statistiche e modellistiche del dataset, in altri per attività complementari riguardanti particolari aspetti dell'ecologia del plancton.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Le attività alla stazione LTER-MC sono state sempre finanziate da fondi FOE della SZN e, nel corso degli anni, sono state supportate anche da vari programmi nazionali, quali i progetti MIUR-SINAPSI, VECTOR e RITMARE e internazionali quali LIFE+ ENVEUROPE e EU-BioMarKs, nonché da Infrastrutture di Ricerca Europee (ESFRI) quali EMBRC e LifeWatch. LTER-MC è inoltre parte di networks internazionali che, pur non prevedendo fondi per la ricerca, costituiscono un'opportunità per collaborazioni. Fra questi: la rete internazionale dei Genomic Observatories (GOs), i gruppi di lavoro SCOR (Scientific Committee on Ocean Research), l'IOC-IGMETS (International Group for Marine Ecological Time Series), l'ICES-WGZE (Working Group of Zooplankton Ecology), l'ICES-WGIMT (Working Group of Integrated Morphological and Molecular Taxonomy) e l'IOC-

TrendsPO (Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans).

Attività di divulgazione

Il sito LTER-MC è stato protagonista di alcuni degli eventi di divulgazione realizzati in occasione dell'iniziativa *Cammini LTER* (Bergami *et al.* 2018). Nel luglio 2015 è stato organizzato il Cammino in bicicletta *Mesothalassia*, dal sito LTER di Marina di Petacciato a quelli del Golfo di Napoli, il cui tema portante era l'importanza delle acque e degli esseri viventi ad essa associati nella produzione delle risorse primarie. Un nutrito gruppo di ricercatori della Stazione Zoologica ha dato il proprio contributo in occasione degli eventi di divulgazione tenutisi a Vietri sul Mare (Salerno) sul tema delle risorse ittiche e le loro relazione con il plancton, a Ischia (Napoli) sul tema la vita sul fondo del mare e l'acidificazione degli oceani e, a Napoli, sul ruolo degli ecosistemi pelagici e nel funzionamento del Pianeta Terra. In particolare, alla sede di Napoli della Stazione Zoologica, in occasione di *Mesothalassia* si è tenuto un evento 'porte aperte' con osservazioni di campioni di plancton al microscopio. Nell'ottobre 2017, i ricercatori che collaborano al programma LTER-MC hanno contribuito all'organizzazione del Cammino in bicicletta *Antropica*, da Napoli a Taranto, il cui tema principale è stato il rapporto tra salute degli ecosistemi e attività umane, in particolare quelle industriali. Il macrosito Golfo di Napoli è stato presentato in un articolo divulgativo focalizzato sui cambiamenti degli ecosistemi per la rivista *Sapere*; inoltre, le ricerche LTER condotte nel Golfo di Napoli sono state illustrate in diversi articoli pubblicati sulla rivista *La nuova ecologia*. Una menzione particolare merita il libro *Uno scienziato a pedali* (D'Alelio & Rigatti 2017) in cui si racconta l'esperienza di *Mesothalassia* arricchendola di contenuti scientifico-divulgativi inerenti al plancton, con riferimento agli studi condotti a LTER-MC, agli ecosistemi marini in generale e ai principi fondamentali dell'Ecologia. Inoltre, in questo libro viene anche raccontata sinteticamente la storia della nascita della serie temporale LTER-MC.

La serie LTER-MC è stata oggetto di comunicazioni orali e poster presentati in numerosi eventi di divulgazione tenutisi a Napoli, fra cui: l'evento per *Tara Oceans* (ottobre 2014), *FuturoRemoto* (ottobre 2015), la *Naples Shipping Week* (giugno 2016) il *Convegno sulla Baia di Napoli* (ottobre 2016) e sugli *Stati Generali del Mare in Campania* (ottobre 2017). Nel 2018 le attività di ricerca di lungo termine condotte nel Golfo di Napoli sono state divulgate sotto forma di conferenze-spettacolo ideate da D. D'Alelio nell'ambito di diversi festival culturali, come l'*European Researchers' Night* (tappa di Napoli, 28 settembre), il *Festival della Scienza* (Genova, 1° novembre), *FuturoRemoto* (Napoli, 10 novembre) e *BookSophia* (Massa Lubrense, Napoli, 5 dicembre). Infine, le ricerche sul plancton condotte alla stazione LTER-MC sono state presentate in diverse scuole della Campania tra il 2017 e il 2019, nel corso di incontri con gli alunni e il personale docente che si sono svolti con attività teoriche e pratiche, come iniziative ludico-scientifiche.

Prospettive future

Diverse sfide si prospettano per le attività osservative condotte al sito LTER-MC e, più in generale, nel Golfo di Napoli, che concernono essenzialmente aspetti organizzativi e gestionali, socio-politici e scientifici.

Dal punto di vista gestionale, negli ultimi anni sono state investite molte energie per favorire l'evoluzione del progetto di ricerca a lungo termine sull'ecologia del plancton verso un vero e proprio Osservatorio, con l'ambizione di costituire una risorsa per una platea più ampia di portatori di interesse, inclusi ricercatori di altri istituti, studenti, e autorità preposte alla salvaguardia dell'ambiente e alla salute dei cittadini. Questa svolta, facilitata anche dalla partecipazione ai progetti LIFE + ENVEUROPE e MIUR-RITMARE, ha comportato già alcuni cambiamenti verso una migliore gestione dei dati, concretizzatisi nella messa a punto di procedure di controllo di qualità e nella partecipazione ad iniziative di condivisione di dati e metadati (DEIMS). Nel breve termine, l'obiettivo è la pubblicazione dei dati raccolti, che saranno finalmente disponibili per utenti esterni e interoperabili, in piena sintonia

con le idee e la strategia dell'Open Science e i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable, Wilkinson *et al.* 2016).

Per quanto riguarda gli aspetti scientifici, oltre trent'anni di studi hanno dimostrato la rilevanza e la potenzialità di LTER-MC sia nell'evidenziare gli andamenti del plancton a diverse scale temporali, sia nello stimolare ricerche complementari che hanno ampliato notevolmente la nostra conoscenza degli organismi e del sistema planctonico nel loro complesso (Zingone *et al.* 2019). In prospettiva, si prevede di analizzare ulteriormente il ricco dataset raccolto con un ampio spettro di strumenti numerici, per studiare le tendenze evidenziate per temperatura, clorofilla e dimensione del fitoplancton, e le significative variazioni nell'abbondanza e nella fenologia di alcune specie, che potrebbero avere un ruolo di 'sentinelle' di cambiamenti ambientali. Particolare attenzione verrà data alle analisi volte ad estrarre, dalla complessità dei dati, elementi sintetici che possano dare risposte a domande di tipo socio-economico, ad esempio indicatori della qualità ambientale e dello stato delle risorse marine, aspetti fondamentali per la tutela degli ecosistemi con ricadute anche sulla salute umana, le attività turistiche e la pesca.

Il sito LTER-MC ha da sempre accolto e testato nuove tecnologie ed approcci osservativi, utilizzando, ad esempio, citofluorimetri, profilatori di turbolenza e termosalinografi in continuo che hanno prodotto una ricchezza di dati ancora tutta da esplorare. Sono oggi in fase di acquisizione sistemi automatici di rilevamento della diversità del plancton attraverso immagini in continuo corredate da procedure di identificazione automatizzata. Gli approcci molecolari e il metabarcoding, sperimentati con successo a LTER-MC fin dai loro primi sviluppi, hanno dimostrato il vantaggio del loro utilizzo nei siti di ricerca a lungo termine, dove le solide conoscenze di base consentono di disegnare in modo ottimale gli esperimenti e di interpretarne correttamente i risultati aumentandone la fruibilità. In questa direzione, è stato di recente dato il via ad un *Osservatorio Marino Aumentato* che integra approcci tradizionali e -omici con registrazioni tramite boe con sensori ottici e acustici e campionatori biomolecolari. L'Osservatorio Aumentato mira a una dettagliata caratterizzazione delle comunità di plancton (meta-barcoding e meta-genomica) e delle loro funzioni (meta-trascrittomica), includendo anche indagini su taxa planctonici finora trascurati (ad esempio, macroplancton gelatinoso e ittioplancton) ma fondamentali nello studio delle reti trofiche pelagiche.

L'ampliamento delle ricerche e della disponibilità dei dati che si prospetta a breve termine costituiranno importanti elementi di attrazione anche per collaboratori esterni, sfruttando la partecipazione di LTER-MC a reti e infrastrutture di ricerca. Inoltre, un rapporto più diretto con la società e le sue esigenze richiederà azioni adeguate di divulgazione, formazione e collaborazione con altri enti ed istituzioni attivi sul territorio. L'ambizione è consolidare il sito LTER-MC come un'infrastruttura di ricerca utilizzabile per una gestione informata dell'ambiente pelagico marino a scala regionale e disponibile per la ricerca scientifica nazionale e internazionale.

Abstract

The long-term time series LTER-MC for the study of plankton and water column characteristics was established in January 1984 in the inner Gulf of Naples. The LTER-MC sampling site is located in front of the city of Naples, about 2 miles off Castel dell'Ovo, on the 75 m isobath (40° 48.5'N, 14° 15'E), at the border between the eutrophic coastal waters and the oligotrophic open waters of the Tyrrhenian Sea. Sampling was carried out at fortnight frequency until 1991 and at weekly frequency since 1995 when the series has been resumed after a 4-years interruption (1991-1994). The following environmental variables are regularly monitored: temperature, irradiance, salinity, dissolved oxygen, inorganic and organic nutrients, carbon and particulate nitrogen, dissolved organic carbon; the biological variables include: fluorescence, chlorophyll and other photosynthetic pigments, picoplankton and heterotrophic bacteria, phytoplankton, mesozooplankton. In addition to the collection of these important datasets, the station is used as a 'natural laboratory' for targeted researches and experiments to test hypotheses arising from the long-term observations and to address still unanswered questions

concerning plankton ecology. Sampling and analyses are carried out by researchers, technologists and technicians of the Stazione Zoologica Anton Dohrn, with the participation, over the years, of numerous undergraduate and PhD students. Some activities benefit from national or international collaborations.

Autori

Maria Cristina Buia, Bruno Iacono, Maurizio Lorenti, Lucia Porzio, Vincenzo Rando, Valerio Zupo

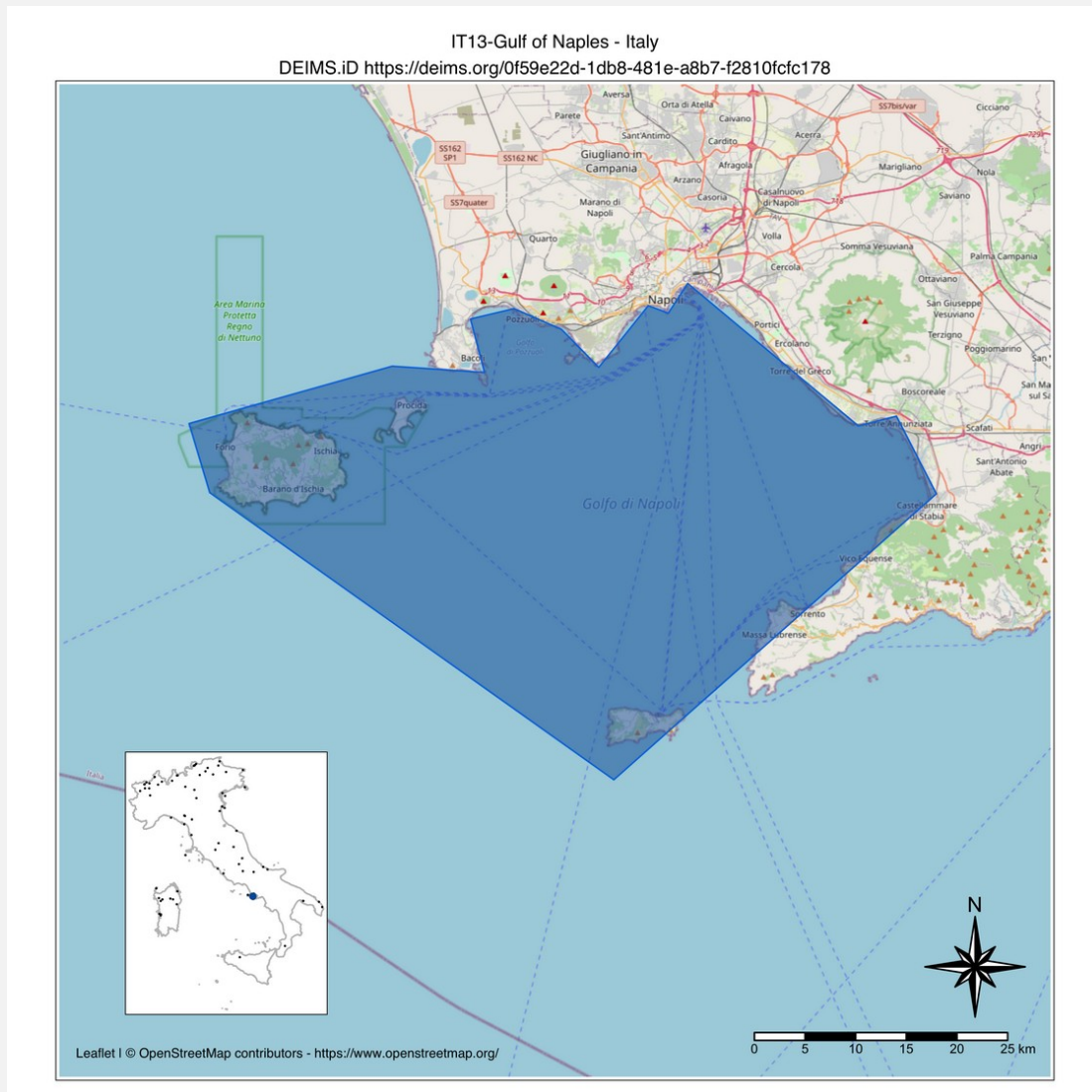
Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli - Punta S. Pietro s/n 80077, Ischia (Napoli), Italia.

Sigla: IT13-002-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/4a05a2fb-0015-4310-96d5-a94c019bda58>

Responsabile sito: Maria Cristina Buia.



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Sin dalla fondazione della Stazione Zoologica nel 1872, la biodiversità delle specie bentoniche dell'area flegrea è stata oggetto di studio e approfondimento. L'area ha rappresentato infatti un importante confine climatico coincidente, da una parte, con l'estremo nord dell'area di espansione delle specie che colonizzavano il Mediterraneo meridionale e, dall'altra, con l'estremo sud dell'area di espansione delle specie che preferivano regimi climatici più freddi. L'area è inoltre caratterizzata da una notevole varietà di ambienti sommersi, come attestato dalle diverse aree marine protette (AMP) che sono state nel tempo istituite. Fra queste figura il 'Regno di Nettuno', che comprende il mare che circonda l'Arcipelago Flegreo, formato dalle isole di Ischia, Procida e Vivara. Alla istituzione di questa AMP (GU nr. 85 il 10.4 2008) ha contribuito anche il personale della SZN con lo studio di fattibilità (Gambi *et al.* 2003). Tra gli ecosistemi più rappresentativi dell'area figurano le praterie a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, già descritte da Funk (1927) e Parenzan (1956). Questa fanerogama, endemica del Mar Mediterraneo, è considerata un elemento biologico di qualità e quindi indicatrice dello stato ecologico dei sistemi costieri. Sin dal 1969, pur se in maniera discontinua, il sistema *Posidonia*



Fig. 6 - Sito del Castello (CA), caratterizzato da emissioni gassose (a destra)

dell'isola di Ischia è stato oggetto di ricerche multidisciplinari (Mazzella *et al.* 1991, 1992) che la successiva integrazione con approcci diversificati (da quello ecosistemico ed ecofisiologico a quello genetico e molecolare) ha permesso di approfondire con conoscenze sulla biologia della pianta, sulla diversità delle comunità ad essa associate, nonché sulle risposte adattative al variare delle condizioni ambientali e delle scale spazio-temporali. Tali ricerche hanno consentito al contempo di individuare i descrittori e le metodiche di studio (*in situ* ed in laboratorio) più idonee, tutt'ora in uso nella comunità scientifica internazionale (Zupo *et al.* 2001; Buia *et al.* 2004; Pergent *et al.* 2005; Waycott *et al.* 2006; Lopez y Rojo *et al.* 2011).



Fig. 7 - Il sito LTER-Lacco Ameno (LA) con l'ubicazione dei punti di campionamento lungo tutta l'estensione della prateria a *Posidonia oceanica*

A seguito della mappatura delle praterie attorno a Ischia nel 1979 (Colantoni *et al.* 1982), le ricerche si sono concentrate principalmente nel settore nord dell'isola, dove, antistante l'abitato di Lacco Ameno,

è ubicata la prateria LTER-LA, scelta per la sua estensione ininterrotta tra 0,5 e circa 35 m di profondità e per la sua elevata complessità strutturale (Procaccini *et al.* 2003). A partire dagli anni '80 del secolo scorso, ad alcune profondità critiche a cui corrispondevano delle discontinuità ambientali (-1, -3, -5, -10, -15 e -25 m) sono stati condotti campionamenti non regolari ma con cadenze varie (mensili e stagionali) per studiare la biodiversità delle comunità associate e le relazioni trofiche all'interno del sistema (Mazzella *et al.* 1989, 1992, 1994; Gambi *et al.* 1992; Cookson & Lorenti 2001). A questo proposito, rilevante è stata l'individuazione di sostanze chimiche che trasmettono informazioni fra organismi diversi (infochimici), liberate da alcune diatomee epifite delle foglie, che regolano la distribuzione, ad esempio, di molluschi e decapodi e che possono avere un ruolo determinante nella loro dinamica di popolazione (Zupo 1994). Negli anni '88-'89 è stata effettuata un'altra ricerca a cadenza mensile, tesa a studiare il ciclo di crescita e di produzione della pianta a due profondità (5 e 22 m) (Buia *et al.* 1992). I

risultati di tale ricerca hanno permesso di elaborare un modello predittivo della produzione basato esclusivamente sulla temperatura (Zupo *et al.* 1997). Tuttavia, anche la luce gioca un ruolo rilevante nella crescita e distribuzione batimetrica di *P. oceanica*. Lo studio condotto sulle caratteristiche fotosintetiche alle due profondità di 5 e 22 m ha evidenziato infatti come le limitazioni di luce siano responsabili delle differenze nei cicli di crescita e nei tassi di produzione tra le due stazioni di 5 e 22 m (Modigh *et al.* 1998). Successivamente, i dati ottenuti con misure di fluorescenza variabile modulata (Pulse-Amplitude-Modulation, PAM) hanno attestato un minore dispendio nei meccanismi di fotoprotezione per le piante profonde, garantendo così la stessa efficienza fotosintetica (Lorenti *et al.* 2006). Questi risultati sono stati successivamente confermati dalla integrazione di tecniche molecolari. Così, una simile efficienza fotosintetica tra piante adattate a diversi regimi luminosi è garantita, nelle piante superficiali, da un aumento dell'espressione genica legata alla fotosintesi e, nelle piante profonde, da minori valori del coefficiente di saturazione della luce (Ek). Queste diverse strategie di adattamento alla luce spiegano altresì la disgiunzione genetica dei cloni lungo il gradiente batimetrico (Migliaccio *et al.* 2005; Dattolo *et al.* 2013, 2014).

Dall'analisi storica dei dati di densità delle piante di *Posidonia* è emersa una alterazione strutturale, soprattutto negli stand più superficiali (Zupo *et al.* 2006, 2006b; Buia *et al.* in preparazione). Tale regressione sembra sia da imputare alla forte antropizzazione a cui il sito è sottoposto (la popolazione dell'abitato antistante triplica nella stagione estiva) e all'intensa attività di ancoraggio nella stagione estiva. In considerazione di queste alterazioni e delle caratteristiche biologiche della pianta (a crescita estremamente lenta), il prelievo di piante è stato ridotto al minimo per non incidere ulteriormente sulla struttura dell'habitat e quindi sulla complessità del sistema. Mantenendo il monitoraggio di base sul sito LTER-LA, dal 2005 le ricerche si sono intensificate su un'altra prateria storica, situata sempre sul versante settentrionale dell'isola, quella del Castello Aragonese (CA), compresa nella fascia batimetrica tra 3 e 6 m, in cui emissioni naturali di CO₂ abbassano il pH naturale a un valore coincidente con quello predetto per il 2100 (Hall-Spencer *et al.* 2008). La presenza di *Posidonia* lungo il gradiente di acidità (8,1 – 7,8) rappresenta un laboratorio naturale in cui valutare, a diverse scale temporali, le risposte del sistema ad un cambiamento delle condizioni chimiche del nostro mare.

I dati raccolti nel sito LTER-LA dal 1976 ad oggi e presenti su supporto cartaceo e/o elettronico si riferiscono a:

- densità della prateria (dal 1976 ad oggi con cadenza annuale, anche se non continua, lungo un transetto di profondità (*monitoraggio in corso*) o su reticolo spaziale mediante tecnica di interpolazione (kriging) (1992 e 2000, 2015);
- descrittori morfometrici della pianta (con cadenza mensile, 1981-1982 e 1988-1989; 1985, 1987, 1988, 2001, 2004, 2007, 2016);
- diversità tassonomica della comunità macroalgale epifita (cadenza mensile, 1981-1982 e 1988-1989);
- composizione dell'epifauna associata (1981-1982 e 1988-1989);
- produzione pregressa (tecnica indiretta di retrodatazione tramite lepidocronologia (2007-1972);
- misure di temperatura in continuo dal 2011 (*monitoraggio in corso*).

In particolare, i dati di densità, morfometria e produzione (tramite retrodatazione lepidocronologica) sono inseriti in un data base di tipo relazionale (POSWARE). I dati sulle alghe epifite (per ora solo le liste di specie) sono inseriti in un data base relazionale (ALGAEBRA) sulla flora del Golfo di Napoli. I dati sulla epifauna (fauna vagile) associata al sistema sono inseriti nel data base elettronico "AMP Regno di Nettuno".

Altri dati sono desumibili da pubblicazioni e tesi specialistiche e si riferiscono a:

- mappa dei descrittori morfo-metrici mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- mappa dei valori di copertura della comunità macroalgale epifita mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- composizione e struttura dell'epifauna associata (2007, 2011);

- mappa della comunità a borers mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- produzione “*in situ*” (tecnica diretta di marcaggio, cadenza mensile, 1988-1989, -5 e -22m);
- mappa di produzione pregressa (tecnica indiretta di retrodatazione tramite lepidocronologia) mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000-1996);
- mappa di biomassa della pianta e degli epifiti mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- mappa di diversità genetica mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- parametri fotosintetici della pianta (in laboratorio, cadenza stagionale, 1992);
- risposta fotobiologica della pianta *in situ* (cadenza stagionale, -5 e -22m, 2005-2006 e 2011);
- C e N dei diversi comparti della pianta (cadenza stagionale, 1999-2002 e 2011);
- nutrienti inorganici dell’acqua e del sedimento, salinità (cadenza mensile, 1999-2002 e 2011);
- temperatura, PAR e profondità Secchi (cadenza mensile nel 1990 e bimensile negli anni 1999-2002);
- salinità ed ossigeno disciolto (cadenza bimensile, 1999-2002).

I dati, raccolti nel sito del CA dal 2007 ad oggi, si riferiscono a:

- densità della prateria (2007, 2009, 2011, 2014, 2015);
- descrittori morfo-metrici della pianta (2007, 2009, 2011-2015);
- produzione pregressa della pianta (tecnica indiretta di retrodatazione “lepidocronologia” (2007-1993);
- produzione “*in situ*” della pianta (tecnica diretta di marcaggio: 2007, 2009, 2014, 2015);
- diversità comunità epifita associata (2007, 2012-2015);
- diversità e caratteristiche funzionali macrofauna associata (2008, 2010-2012);
- meccanismi molecolari di adattamento (2010, 2011, 2014, 2015);
- fluorescenza PAM (2007, 2011, 2014, 2015);
- C e N dei diversi comparti della pianta (2011, 2013);
- temperatura e acidità (2007, 2009-2016).

Parte dei dati sono stati inseriti negli archivi dell’“OA-ICC data compilation” con DOI: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.890444>;

I dati ecologici minimi garantiti a lungo termine sono:

- densità della prateria (annuale) (LA: -5, 10, 15 e 22m; CA: sito acido);
- T°C (in continuum) LA:5m, 10, 15 e 22m; CA: sito acido);
- pH (CA: sito acido).

Risultati

La *baseline* della ricerca a lungo termine prevede il monitoraggio annuale dello stato della prateria di LTER-LA alle due profondità di 5 e 22 m, rappresentative di condizioni del sistema (superficiale e profondo), e l’acquisizione di dati di temperatura. A partire dal 2016 si sono aggiunte anche le batimetriche di 10 e 15 m. Nell’arco temporale 1979-2018, a livello strutturale è evidente l’impatto provocato dagli ancoraggi (non regolamentati) nel periodo estivo. Il risultato è una diminuzione della complessità dell’habitat, con valori di densità delle piante al di sotto del valore considerato normale per le singole batimetriche (Fig. 8) ad indicare un’alterazione in atto. La regressione è stata confermata dall’applicazione dell’indice BIPO, il cui

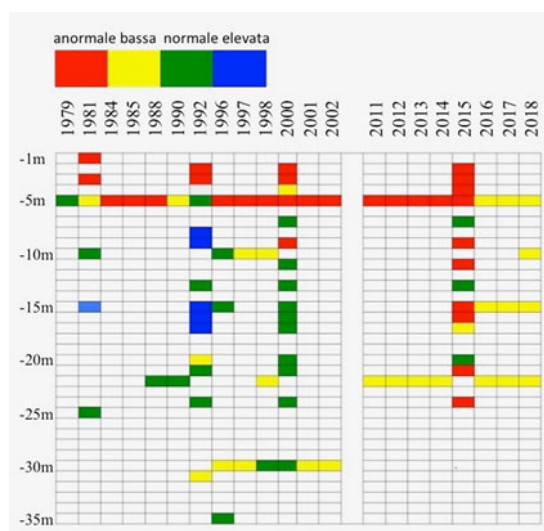


Fig. 8 - Variazione spazio-temporale delle classi di densità della prateria a *Posidonia oceanica* lungo il transetto di profondità del sito LTER-LA

valore indica come ‘sufficiente’ lo stato ecologico della prateria (Porzio e Buia, in preparazione).

Le diminuzioni di densità osservate lungo il transetto di profondità sono evidenti anche su scala più ampia: dal confronto di mappe di interpolazione, ottenute in anni differenti (1992, 2000 e 2015) su un’area di 64.000 m², è evidente una cronica tendenza all’omogeneizzazione della primitiva anisotropia strutturale (Fig. 9), con una previsione allarmante per un futuro ormai prossimo (Fig. 10) (Buia *et al.* in preparazione).

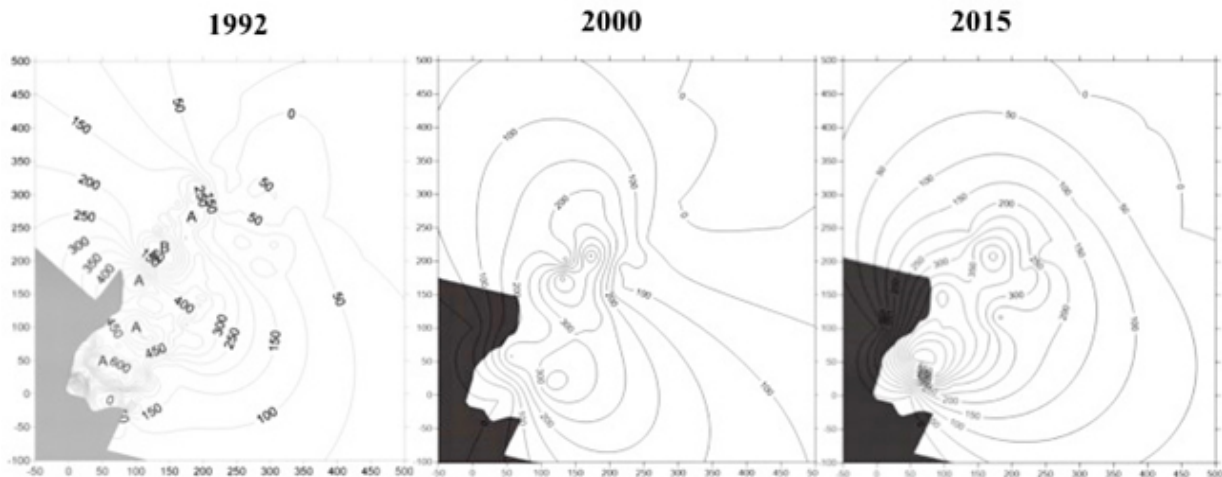


Fig.9 - Variazione pluriannuale delle mappe di densità della prateria di *Posidonia oceanica* nel sito LTER-LA mediante tecnica di interpolazione (kriging)

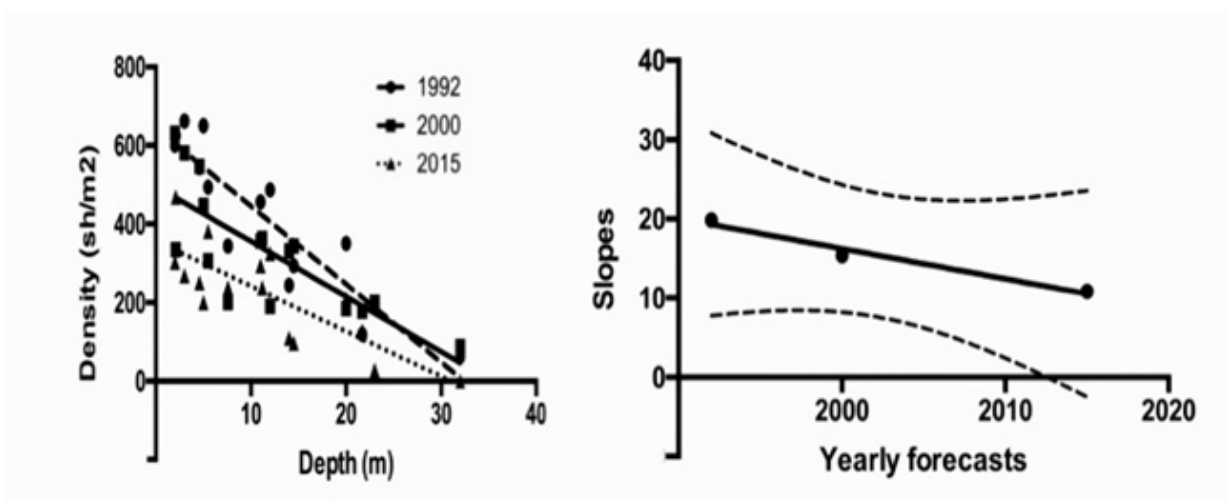


Fig.10 - Variazione temporale delle linee di tendenza ottenute per la densità della prateria al variare della profondità (a sinistra) e previsione del pattern per gli anni futuri (a destra)

Le misure di temperatura sono state eseguite in due periodi distinti (1990 e 1997-2001) con strumenti diversi operati da barca (termometro a rovesciamento nel primo caso, sonda multiparametrica nel secondo) e con diverse frequenze. Dalla metà del 2011 si è scelto di adottare un monitoraggio in continuo mediante loggers dislocati *in situ* a profondità rappresentative, con intervallo di misura di 15 minuti (Lorenti, dati non pubblicati). Ciò ha permesso di avere una visione molto più completa del regime di temperatura a cui è sottoposta la prateria. Anche in questo caso, alle due profondità di 5 e 22 m sono state aggiunte quelle di 10 e 15 m con l’obiettivo di monitorare l’ambiente termico in zone di transizione. Osservando gli andamenti termici nelle sole due stazioni di 5 e 22 m per il periodo 2012-2017 (Fig. 11), l’altezza dei box per la stazione superficiale dà conto di una maggiore dispersione dei valori centrali rispetto al sito profondo, dovuta evidentemente al più accentuato andamento stagionale.

Dalla comparazione degli andamenti termici del sito LA con la stazione acidificata del CA (pH=7.8) (quest'ultima posta ad una quota leggermente superiore rispetto a quella superficiale di LA), le temperature mostrano un profilo pressoché analogo in termini di grado di dispersione e andamento pluriennale (Fig. 11). Grazie alle misure in continuo è emersa l'esistenza di un regime notevolmente variabile sul breve periodo, anche su base diurna, a carico della stazione di 22 m di LA, con presenza di estremi dovuti verosimilmente ad approfondimenti dello strato più caldo e al movimento di onde di termocline nel periodo primaverile-estivo (Fig. 12).

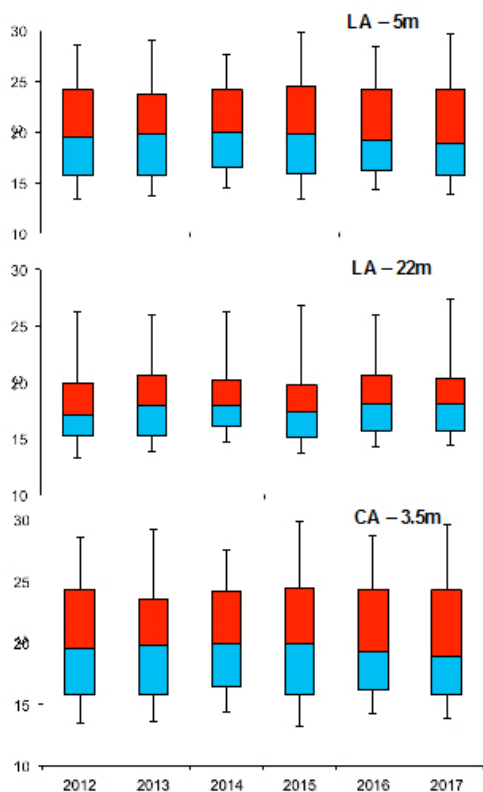


Fig. 11 - Rappresentazione grafica dei valori annuali di temperatura ottenuti dai loggers dislocati in situ

Il sito acidificato ha permesso di valutare gli effetti dell'acidificazione anche sulle comunità associate. Si osserva un impoverimento della flora epifita (macro e micro) delle foglie, sia in termini di copertura sia di diversità specifica e funzionale (Martin *et al.* 2008; Porzio *et al.* in preparazione). Questo impoverimento del feltro epifita è responsabile di una differente composizione tassonomica della

fauna vagile associata al manto fogliare, non accompagnata da una diminuzione di specie, ed è quindi da considerarsi come un risultato indiretto dell'acidificazione (Garrard *et al.* 2014). Anche i meccanismi di chemiorecezione tra *Posidonia* ed epifauna associata vengono alterati, mettendo a rischio la sopravvivenza di invertebrati

Lo studio degli effetti indotti da acidificazione sul sistema *Posidonia* nel sito acido del Castello Aragonese (CA) ha confermato l'elevata plasticità di questa fanerogama ai cambiamenti ambientali. La risposta ad una cronica esposizione a condizioni acide dimostra come la pianta sia capace di modulare il metabolismo del C e dell'N senza modificare i propri tassi fotosintetici e quelli di produzione (Scartazza *et al.* 2017a). Questi ultimi possono venire alterati (positivamente o negativamente) qualora un altro fattore di stress (es., aumento dei nutrienti nell'ambiente) si sovrapponga a quello del pH (Lauritano *et al.* 2015; Ravaglioli *et al.* 2017). L'importanza di questo sito naturalmente acidificato consiste nella possibilità di verificare l'importanza della scala temporale nella valutazione delle risposte all'acidificazione. Infatti trapianti di *Posidonia* da pH 8,1 a pH 7,8, ivi mantenuti per 4 settimane, hanno evidenziato l'insorgenza di stress cellulare (es. frammentazione del DNA, condensazione della cromatina, allargamento del reticolo endoplasmatico) a differenza di piante da lungo tempo in condizioni acide (Koutalianou *et al.* in press).

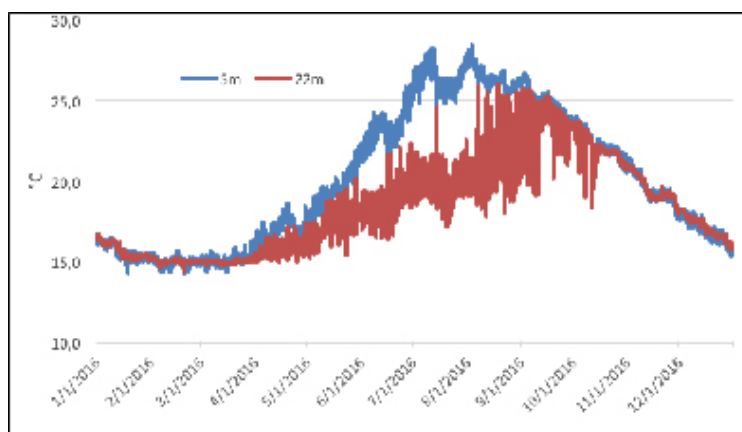


Fig. 12 - Esempio della variabilità del regime termico sul breve periodo, a carico soprattutto della stazione più profonda di 22 m di LA

chiave dello strato fogliare (Zupo *et al.* 2015), sottolineando così come le risorse trofiche del sistema *Posidonia* siano in grado di spiegare la sua biodiversità funzionale (Pergent *et al.* 2014; Zupo *et al.* 2017).

Attività di divulgazione

Il personale della sede di Ischia della Stazione Zoologica ha da sempre divulgato nelle scuole primarie e secondarie dell'isola (con mostre itineranti, proiezioni, seminari e dimostrazioni pratiche) la rilevanza del sistema *Posidonia*. I dati disponibili per il sito LTER-LA hanno così consentito di sottolineare l'importanza degli studi a lungo termine per valutare gli impatti delle pressioni antropiche e dei cambiamenti climatici al fine di maturare una maggiore coscienza civica tesa alla salvaguardia e conservazione della biodiversità marina.

Nell'ambito di manifestazioni culturali isolate come quelle organizzate da "Scuola Scienza e Società" (Coordinata da Pietro Greco), dalla Scuola di Formazione Politica Kosmopolis (Diocesi di Ischia), dalla Università di Pollenzo (Slow Food di Ischia e Procida) negli anni 2014-2018 si sono tenute lezioni teorico-pratiche e seminari su argomenti legati ai sistemi vegetati come l'erosione della biodiversità, gli habitat verdi sommersi, gli effetti dei cambiamenti climatici e il contributo della scienza partecipata alla ricerca.

Infine, il sito LTER-LA ha partecipato alla giornata divulgativa in occasione dell'iniziativa *Cammini LTER – Cammino Mesothalassia*, svoltasi a Ischia nel luglio 2015.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Le attività alla stazione LTER-LA sono state sempre finanziate da fondi FOE della SZN e, nel corso degli anni, in varia misura, da programmi internazionali (COST 647), nazionali (quali SINAPSI, VECTOR, RITMARE) e regionali (Regione Campania).

Prospettive future

Come anticipato, lo stato ecologico della prateria di Lacco Ameno è risultato, nell'arco temporale 1979-2018, molto degradato a causa soprattutto dell'intensa attività antropica a cui è sottoposta l'area, particolarmente nel periodo estivo. Il continuo delle ricerche si avvarrà quindi di tecniche non distruttive per l'acquisizione di dati direttamente *in situ*. Il monitoraggio di base dei dati di T dell'acqua (in continuo) e densità (annuale) della prateria verrà assicurato non solo alle profondità di 5 e 22 m ma anche a quelle intermedie di 10 e 15 m, implementate negli ultimi anni per evidenziare discontinuità ecologiche in corrispondenza di discontinuità termiche.

L'ampio set di dati lepidocronologici consentirà l'analisi pregressa dei due comparti della pianta (rizoma e foglie) anche per gli anni di cui non si dispongono dati sia per il sito LA sia CA, quindi anche in condizioni di acidificazione. In particolare, i valori ottenuti alla scala spaziale del kriging consentiranno la visualizzazione di pattern spaziali e temporali del funzionamento della pianta; la sovrapposizione di mappe strutturali e funzionali potrà fornire informazioni predittive utili alla conoscenza della dinamica della pianta. Il set di dati di retrodatazione della produzione, disponibile anche per altre praterie dell'Isola di Ischia non sottoposte a disturbo, verrà analizzato nella prospettiva di valutare le capacità della pianta di rispondere a pressioni di diversa natura.

Abstract

The Lacco Ameno (LTER-LA) site (40° 41' 582"N, 13° 53' 361"E) has been investigated since the mid 1970s with a variety of approaches aimed at studying the structure, the functioning and the communities associated to the *Posidonia oceanica* seagrass system that characterizes the area. Over the years (although mostly not on a regular basis), these research activities have led to the acquisition of a substantial amount of data spanning from environmental variables and meadow structure to the seagrass biology and the faunal/floral diversity, generally collected in the frame of different research

projects and discussed in specific publications. As requested by the program schedule, the meadow structure is currently monitored through shoot density estimates at selected depths (annual scale, as of 1979) and the mapping of spatial patterns of plant distribution over the whole site (decadal scale, as of 1992). Further, one major environmental factor represented by water temperature variation is recorded on a continuous basis at the same selected depths as shoot density since 2011. Overall, a decline in the status of the LTER-LA *P. oceanica* meadow is indicated by the depletion of absolute values of shoot density and the disruption of spatial patterns, especially at the shallowest depths, likely triggered by anthropogenic disturbance. Further studies on the *P. oceanica* system around the island of Ischia are being conducted at the Castello Aragonese (CA) site (Lat 40° 43' 849"N; Lon 13° 57' 089"E) characterized by the presence of CO₂-emitting volcanic vents. The latter activities are providing insights into the environmental determinants, in a changing environment, of the long-term evolution of beds formed by this seagrass which constitute a major contributor to the health of coastal the latter activities are providing insights into the environmental determinants of the long-term evolution, in a changing environment, of beds formed by this seagrass which constitute a major contributor to the health of coastal seas.

Bibliografia citata nel testo

- Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. (2004). Seagrass systems. In: Gambi M.C. e Dappiano M. (Eds.), Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study. *Biologia Marina Mediterranea* 11(Suppl. 1): 133-183. Erredi Grafiche Editoriali, Genova.
- Buia M.C., Zupo V., Mazzella L. (1992). Primary production and growth dynamics in *Posidonia oceanica*. *PSZNI Marine Ecology* 13: 2-16.
- Carrada G.C., Hopkins T.S., Bonaduce G., Ianora A., Marino D., Modigh M., Ribera d'Alcalà M., Scotto di Carlo B. (1982). Variability in the hydrographic and biological features of the Gulf of Naples. *PSZN Marine Ecology* 1: 105-120.
- Cerino F., Zingone A. (2006). A survey of cryptomonad diversity and seasonality at a coastal Mediterranean site. *European Journal of Phycology* 41: 363-378.
- Colantoni P., Gallignani P., Fresi E., Cinelli F. (1982). Patterns of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds around the Island of Ischia (Gulf of Naples) and in adjacent waters. *Marine Ecology* 3: 53-74.
- Cookson L.J., Lorenti M. (2001). A new species of limnoriid seagrass borer (Isopoda) from the Mediterranean. *Crustaceana* 74: 339-346.
- D'Alelio D., Libralato S., Wyatt T., Ribera d'Alcalà M. (2016a). Ecological-network models link diversity, structure and function in the plankton food-web. *Scientific Reports* 6: 21806.
- D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., Zingone A., Di Capua I., Franzè G., Margiotta F., Saggiomo M., Ribera d'Alcalà M. (2015). The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. *Marine Ecology* 36: 1155-1170.
- D'Alelio D., Montresor M., Mazzocchi M.G., Margiotta F., Sarno D. and Ribera d'Alcalà M. (2016b). Plankton food webs: to what extent can they be simplified? *Advances in Oceanography and Limnology* 7: 67-92.
- D'Alelio D., Rigatti E. (2017). Uno scienziato a pedali. Ediciclo Editore, pp. 139.
- Dattolo E., Gu J., Bayer P.E., Mazzuca S., Serra A., Spadafora A., Bernardo L., Natali L., Cavallini A., Procaccini G. (2013). Acclimation to different depths by the marine angiosperm *Posidonia oceanica*: transcriptomic and proteomic profiles. *Frontiers in Plant Science* 4: 195.
- Dattolo E., Ruocco M., Brunet C., Lorenti M., Lauritano C., Sanges R., De Luca P., Procaccini G. (2014). Response of the seagrass *Posidonia oceanica* to different light environments: insight from a combined molecular and photo-physiological study. *Marine Environmental Research* 101: 225-236.
- De Angelis C.M. (1958). Seasonal variation of plankton collected in the Gulf of Naples during 1954-1955. *Rapp Comm int Mer Médit* 14: 245-254.
- Funk G. (1927). Die Algenvegetation des Golfs von Neapel. *Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli* 7 (suppl.): pp. 507+ 20 Tavv.
- Gambi M.C., de Lauro M., Iannuzzi F. (2003). Ambiente marino costiero e territorio delle isole flegree (Ischia, Procida e Vivara, Golfo di Napoli). Risultati di uno studio multidisciplinare. Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli. Memorie dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche. Liguori ed., pp. 425, ISBN 88-207-3557-1.
- Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V. (1992). Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of the *Posidonia oceanica* leaf stratum: structural and trophic analyses. *P.S.Z.N. I: Marine Ecology* 13: 17-39.

-
- Garrard S.L., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Zupo V., Paterson D.M., Buia M.C. (2014). Indirect effects may buffer negative responses of seagrass invertebrate communities to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461: 31-38.
- Hall-Spencer J.M., Rodolfo-Metalpa R., Martin S., Ransom E., Fine M., Turner S.M., Rowley S.J., Tedesco D., Buia M.C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* 454: 96-99.
- Hure J., Scotto di Carlo B. (1968). Comparazione tra lo zooplankton del Golfo di Napoli e dell'Adriatico meridionale presso Dubrovnik. *Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli* 36: 21-102.
- Indelli E. (1944). Il microplankton di superficie del Golfo di Napoli. *Acta Pontificia Academia Scientiarum* 8: 91-100.
- Issel R. (1934). Ciclo annuale del microplankton di superficie nel golfo di Napoli (golfo interno) (Introduzione illustrata all'indagine ecologica). *Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli* 14: 1-50.
- Keegan B.F. (1991). CEC/COST 647. Coastal Benthic Ecology. Activity report 1988-1991. Report EUR 13945 EN. ISBN: 2-87263-071-6.
- Keegan B.F. (1992). CEC/COST 647. Coastal Benthic Ecology. Species and time series data analysis in coastal benthic ecology. Report EUR 13978 EN. ISBN 2-87263-072-4.
- Koutalianou M., Buia M.C., Katsaros C. (in press). In situ experiments on the effect of low pH on the ultrastructure of the seagrasses *Cymodocea nodosa* and *Posidonia oceanica*. *Mediterranean Marine Science*.
- Lauritano C., Ruocco M., Dattolo E., Buia M.C., Silva J., Santos R., Olivè I., Costa M.M., Procaccini G. (2015). Response of key stress-related genes of the seagrass *Posidonia oceanica* in the vicinity of submarine volcanic vents. *Biogeosciences* 12: 4185-4194.
- Lopez Y., Royo C., Pergent G., Alcoverro T., Buia M.C., Casazza G., Martínez-Crego B., Pérez M., Silvestre F., Romero J. (2011). The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological Indicators* 11: 557-563.
- Lorenti M., Gera A., Lassauque J., Mattera F., Buia M.C. (2006). Comparative *in situ* estimates of the photosynthetic activity of *Posidonia oceanica*: RLC and maximum quantum yield measurements. In: Gambi M.C., Borg J.A., Buia M.C., Di Carlo G., Pergent-Martini C., Pergent G., Procaccini G. (Eds), *Proceedings MSW – Malta 2006*, *Biologia Marina Mediterranea* 13 (4): 56-59.
- Mackas D., Greve W., Edwards M., Chiba S., Tadokoro K., Eloire D., Mazzocchi M.G., Batten S., Richardson A., Johnson C. (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* 97: 31-62.
- Martin S., Rodolfo-Metalpa R., Ransome E., Rowley S., Buia M.C., Gattuso J.P., Hall-Spencer J.M. (2008). Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters* 4: 689-692.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V. (1992). Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. In: John D., Hawkins S.J., Price J.H. (Eds). *Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos*. Oxford, Clarendon Press: 165-187.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G., Scipione M.B., Zupo V. (1991). Primary production of *Posidonia oceanica* and the vagile fauna of leaf stratum: a spatio-temporal analysis in a meadow off the island of Ischia (Gulf of Naples, Italy) – In: Keegan B.F. (Ed.), *Space and Time Series Data Analysis in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organized within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology*. Commission of the European Communities: 519-540.
- Mazzella L., Buia M.C., Spinoccia L. (1994). Biodiversity of epiphytic diatom community on leaves of *Posidonia oceanica*. In: Marino D. & Montresor M. (Eds), *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium*, Biopress Limited: 241-251.

- Mazzella L., Scipione M.B., Buia M.C. (1989). Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadow. P.S.Z.N.I.: Marine Ecology 10: 107-129.
- Mazzocchi M.G., Ribera d'Alcalà M. (1995). Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. ICES Journal of Marine Science 52: 679-691.
- Mazzocchi M.G., Licandro P., Dubroca L., Di Capua I., Saggiomo V. (2011). Zooplankton associations in a Mediterranean long-term time-series. Journal of Plankton Research 33: 1163-1181.
- Mazzocchi M.G., Dubroca L., Garcia-Comas C., Di Capua I., Ribera d'Alcalà M. (2012). Stability and resilience in coastal copepod assemblages: The case of the Mediterranean long-term ecological research at Station MC (LTER-MC). Progress in Oceanography 97:135-151.
- McDonald S.M., Sarno D., Scanlan D.J., Zingone A. (2007a). Genetic diversity of eukaryotic ultraphytoplankton in the Gulf of Naples during an annual cycle. Aquatic Microbial Ecology 50: 75-89.
- McDonald S.M., Sarno D., Zingone A. (2007b). Identifying *Pseudo-nitzschia* species in natural samples using genus-specific PCR primers and clone libraries. Harmful Algae 6: 849-860.
- Migliaccio M., De Martino F., Silvestre F., Procaccini G. (2005). Meadow-scale genetic structure in *Posidonia oceanica*. Marine Ecology Progress Series 304: 55-65.
- Modigh M., Lorenti M., Mazzella L. (1998). Carbon assimilation in *Posidonia oceanica*: biotic determinants. Botanica Marina 41: 249-256.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A. *et al.* (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. Science of the Total Environment 627: 373-387.
- Parenzan P. (1956). Biocenologia dei fondi marini a *Zoosteracee*. Bollettino di Zoologia, XXIII(II): 62 1-63 7.
- Percopo I., Siano R., Rossi R., Soprano V., Sarno D., Zingone A. (2013). A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. Journal of Phycology 49: 950-966.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.-F., Buia M.-C., Calvo S., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Angel Mateo M., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Thibaut T., Tomasello A., Verlaque M. (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. Mediterranean Marine Science 15: 462-473.
- Pergent-Martini C., Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquegneau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., Cossu A., Di Maida G., Dural B., Francour P., Gobert S., Lepoint G., Meinesz A., Molenaar H., Mansour H.M., Panayotidis P., Peirano A., Pergent G., Piazza L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B. (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. Bioindicators 5: 213-230.
- Piredda R., Claverie J.M., Decelle J., de Vargas C., Dunthorn M., Edvardsen B., Eikrem W., Forster D., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Romac S., Sarno D., Stoeck T., Zingone A. (2018). Diatom diversity through HTS-metabarcoding in coastal European seas. Scientific Reports 8: 18059.
- Piredda R., Sarno D., Lange C.B., Tomasino M.P., Zingone A., Montresor M. (2017a). Diatom resting stages in surface sediments: a pilot study comparing Next Generation Sequencing and Serial Dilution Cultures. Cryptogamie Algologie 38: 31-46.
- Piredda R., Tomasino M., D'Erchia A., Manzari C., Pesole G., Montresor M., Kooistra W., Sarno D., Zingone A. (2017b). Diversity and temporal patterns of planktonic protist assemblages at a Mediterranean Long Term Ecological Research site. FEMS Microbiology Ecology 93: fiv200.

- Procaccini G., Buia M.C., Perez M., Pergent G., Pergent-Martini C., Romero J. (2003). The seagrasses of the Mediterranean. In: Green P. and Short F.T. (Eds). World Atlas of Seagrasses. Unep WCMC, University of California Press 48-58.
- Ravaglioli C., Lauritano C., Buia M.C., Balestri E., Capocchi A., Fontanini D., Pardi G., Tamburello L., Procaccini G., Bulleri F. (2017). Nutrient enrichment offsets negative effects of ocean acidification in seagrass meadows. *Scientific Report 7*: 13732.
- Ribera d'Alcalà M., Conversano F., Corato F., Licandro P., Mangoni O., Marino D., Mazzocchi M.G., Modigh M., Montresor M., Nardella M., Saggiomo V., Sarno D., Zingone A. (2004). Seasonal patterns in plankton communities in a pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): an attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina* 68: 65-83.
- Ruggiero M.V., Sarno D., Barra L., Kooistra W.H.C.F., Montresor M., Zingone A. (2015). Diversity and temporal pattern of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) through the molecular lens. *Harmful Algae* 42: 15-24.
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017a). Carbon and Nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica* is altered by seawater acidification. *Science of the Total Environment* 607-608: 954-964.
- Scotto di Carlo B., Tomas C.R., Ianora A., Marino D., Mazzocchi M.G., Modigh M., Montresor M., Petrillo L., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Zingone A. (1985). Uno studio integrato dell'ecosistema pelagico costiero del Golfo di Napoli. *Nova Thalassia* 126: 99-128.
- Tunin-Ley A., Ibañez F., Labat J.-P., Zingone A., Lemée R. (2009). Phytoplankton biodiversity and NW Mediterranean Sea warming: changes in the dinoflagellate genus *Ceratium* in the 20th century. *Marine Ecology Progress Series* 375: 85-99.
- Waycott M., Procaccini G., Les D. and Reusch T.H.B. (2006). Genetic studies in seagrasses: molecular systematics to population genetics and beyond. In: Larkum A.W.D., Orth R.J., Duarte C (Eds). *Biology, Ecology and Conservation*. Springer, The Netherlands.
- Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E., Bouwman J., Brookes A.J., Clark T., Crosas M., Dillo I., Dumon O., Edmunds S., Evelo C.T., Finkers R., Gonzalez-Beltran A., Gray A.J.G., Groth P., Goble C., Grethe J.S., Heringa J., 't Hoen P.A.C., Hooft R., Kuhn T., Kok R., Kok J., Lusher S.J., Martone M.E., Mons A., Packer A.L., Persson B., Rocca-Serra P., Roos M., van Schaik R., Sansone S.-A., Schultes E., Sengstag T., Slater T., Strawn G., Swertz M.A., Thompson M., van der Lei J., van Mulligen E., Velterop J., Waagmeester A., Wittenburg P., Wolstencroft K., Zhao J., Mons B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3: 160018.
- Zingone A., Montresor M., Marino D. (1990). Summer phytoplankton physiognomy in coastal water of the Gulf of Naples. *PSZNI: Marine Ecology* 11: 157-172.
- Zingone A., D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., LTER-MC team (2019). Time series and beyond: multifaceted plankton research at a marine 8 Mediterranean LTER site. *Nature Conservation* 34: 273-310.
- Zupo V. (1994). Strategies of sexual inversion in *Hippolyte inermis* Leach (Crustacea, Decapoda) from a Mediterranean seagrass meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 178: 131-145.
- Zupo V., Alexander T., Edgar G. (2017). Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *Royal Society Open Science* 4: 160515.
- Zupo V., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Procaccini G. (2006a). Temporal variations in the spatial distribution of shoot density in a *Posidonia oceanica* meadow and patterns of genetic diversity. *Marine Ecology* 27: 328-338.
- Zupo V., Buia M.C., Mazzella L. (1997). A production model for *Posidonia oceanica* based on temperature. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44: 483-492.

-
- Zupo V., Maibam C., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Lorenti M., Patti F., Fink P. (2015). Chemoreceptor of the seagrass *Posidonia oceanica* by benthic invertebrates is altered by seawater acidification. *Journal of Chemical Ecology* 41: 766-779.
- Zupo V., Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Scipione M.B. (2006b). A small-scale analysis of the spatial structure of a *Posidonia oceanica* meadow off the Island of Ischia (Gulf of Naples, Italy): Relationship with the seafloor morphology. *Aquatic Botany* 84: 101-109.
- Zupo V., Nelson W.G., Gambi M.C. (2001). Measuring invertebrate grazing on seagrasses and epiphytes. In: Short F. *et al.* (Eds.). *Global seagrass research methods*, 271-292.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Balzano S., Sarno D., Kooistra W.H.C.F. (2011). Effects of salinity on the growth rate and morphology of ten *Skeletonema* strains *Journal of Plankton Research* 33: 937-945.
- Barra L., Ruggiero M.V., Sarno D., Montresor M., Kooistra W.C.H.F. (2013). Strengths and weaknesses of microarray approaches to detect *Pseudo-nitzschia* species in the field. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 6705-6718.
- Berline L., Siokou-Frangou L., Marasovic I., Vidjak O., Fernandez de Puellas M.L.F., Mazzocchi M.G., Assimakopoulou G., Zervoudaki S., Fonda-Umani S., Conversi A., Garcia-Comas C., Ibanez F., Gasparini S., Stemmann L., Gorsky G. (2012). Intercomparison of six Mediterranean zooplankton time series. *Progress in Oceanography* 97: 76-91.
- Castellani C., Licandro P., Fileman E., Di Capua I., Mazzocchi M.G. (2015). *Oithona similis* likes it cool: evidence from two long-term time series. *Journal of Plankton Research* 38: 703-717.
- Cianelli D., D'Alelio D., Uttieri M., Sarno D., Zingone A., Zambianchi E., Ribera d'Alcalà M. (2017). Disentangling physical and biological drivers of phytoplankton dynamics in a coastal system. *Scientific Report* 7: 15868.
- Cocito S., Lombardi C., Ciuffardi F., Gambi M.C. (2012). Colonization of Bryozoa on seagrass *Posidonia oceanica* 'mimics': biodiversity and recruitment pattern over time. *Marine Biodiversity* 42(2): 189-201.
- Corriero G. *et al.* (including Buia M.C., Gambi M.C., Giangrande A., Guglielmo R., Lorenti M., Mazzocchi M.G., Patti F.P., Sarno D., Scipione M.B., Zingone A., Zupo V.) (2016). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: a case study on marine habitats along the Italian coast. *Aquatic Conservation* 26: 392-409.
- Crise A., Kaberi H., Ruiz J., Zatsepin A., Arashkevich E., Giani M., Karageorgis A.P., Prieto L., Pantazi M., Gonzalez-Fernandez D., Ribera D'alcalà M., Tornero V., Vassilopoulou V., Durrieu De Madron X., Guieu C., Puig P., Zenetos A., Andral B., Angel D., Altukhov D., Ayata S.D., Aktan Y., Balçoğlu E., Benedetti F., Bouchoucha M., Buia M.C. *et al.* (2015). A MSFD complementary approach for the assesment of pressures, knowledge and data gaps in Southern European Seas: the PERSEUS experience. *Marine Pollution Bulletin* 95: 28-39.
- D'Alelio D., Libralato S., Wyatt T., Ribera d'Alcalà M. (2016a). Ecological-network models link diversity, structure and function in the plankton food-web. *Scientific Reports* 6: 21806.
- D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., Zingone A., Di Capua I., Franzè G., Margiotta F., Saggiomo M., Ribera d'Alcalà M. (2015). The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. *Marine Ecology* 36: 1155-1170.
- D'Alelio D., Montresor M., Mazzocchi M.G., Margiotta F., Sarno D. and Ribera d'Alcalà M. (2016b). Plankton food webs: to what extent can they be simplified? *Advances in Oceanography and Limnology*, 7: 67-92.
- D'Alelio D., Ribera d'Alcalà M., Dubroca L., Sarno D., Zingone A., Montresor M. (2010). The time for sex: a biennial life cycle in a marine planktonic diatom. *Limnology and Oceanography* 55: 106-114.

- Dattolo E., Gu J., Bayer P.E., Mazzuca S., Serra A., Spadafora A., Bernardo L., Natali L., Cavallini A., Procaccini G. (2013). Acclimation to different depths by the marine angiosperm *Posidonia oceanica*: transcriptomic and proteomic profiles. *Frontiers in Plant Science* 4: 195.
- Dattolo E., Ruocco M., Brunet C., Lorenti M., Lauritano C., Sanges R., De Luca P., Procaccini G. (2014). Response of the seagrass *Posidonia oceanica* to different light environments: insight from a combined molecular and photo-physiological study. *Marine Environmental Research* 101: 225-236.
- Davies N., Field D., Amaral-Zettler L., Clark M.S., Deck J., Drummond A., Faith D.P., Geller J., Gilbert J., Glöckner F.O., Hirsch P., Leong J.-A., Meyer C., Obst M., Planes S., Scholin C., Vogler A.P., Gates R.D., Toonen R., Berteaux-Lecellier V., Barbier M., Barker K., Bertilsson S., Bicak M., Bietz M.J., Bobe J., Bodrossy L., Borja A., Coddington J., Fuhrman J., Gerdt G., Gillespie R., Goodwin K., Hanson P.C., Hero J.M., Hoekman D., Jansson J., Jeanthon C., Kao R., Klindworth A., Knight R., Kottmann R., Koo M.S., Kotoulas G., Lowe A.J., Marteinson V.T., Meyer F., Morrison N., Myrold D.D., Pafilis E., Parker S., Parnell J.J., Polymenakou P.N., Ratnasingham S., Roderick G.K., Rodriguez-Ezpeleta N., Schonrogge K., Simon N., Valette-Silver N.J., Springer Y., Stone G.N., Stones-Havas S., Sansone S.-A., Thibault K.M., Wecker P., Wichels A., Wooley J.C., Yahara T., Zingone A., GOs-COS (2014). The founding charter of the Genomic Observatories Network. *GigaScience* 3: 2.
- Degerlund M., Huseby S., Zingone A., Sarno D., Landfald B. (2012). Functional diversity in cryptic species of *Chaetoceros socialis* Lauder (Bacillariophyceae). *Journal of Plankton Research* 34: 416-431.
- Di Capua I., Maffucci F., Pannone R., Mazzocchi M.G., Biffali E., Amato A. (2017). Molecular phylogeny of Oncaeidae (Copepoda) using nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS rDNA). *PLoS One* 12: e0175662.
- Di Capua I., Mazzocchi M.G. (2017). Non-predatory mortality in Mediterranean coastal copepods. *Marine Biology* 164: 1-12.
- Donnarumma L., Lombardi C., Cocito S., Gambi M.C. (2014). Settlement pattern of *Posidonia oceanica* epibionts along a gradient of ocean acidification: an approach with mimics. *Mediterranean Marine Science*, 15: 498-509.
- Escalera L., Italiano A., Pistocchi R., Montresor M., Zingone A. (2018). *Gonyaulax hyalina* and *G. fragilis* (Dinoflagellata), two names associated with 'mare sporco', indicate the same species. *Phycologia* 57: 453-64.
- Forster D., Dunthorn M., Mahé F., Dolan J., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Christen R., Claverie J., Decelle J., Edvardsen B., Egge E., Eikrem W., Gobet A., Kooistra W.C.H.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Pernice M.C., Romac S., Shalchian-Tabrizi K., Simon N., Richards T.A., Santini S., Sarno D., Siano R., Vaulot D., Wincker P., Zingone A., De Vargas C., Stoeck T. (2016). Benthic protists: the under-charted majority. *FEMS Microbiology Ecology* 92: fiw120.
- Franzé G., Modigh M. (2013). Experimental evidence for internal predation in microzooplankton communities. *Marine Biology* 160: 3103-3112.
- Garrard S.L., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Zupo V., Paterson D.M., Buia M.C. (2014). Indirect effects may buffer negative responses of seagrass invertebrate communities to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461: 31-38.
- Hughes B.B., Beas-Luna R., Barner A.K., Brewitt K., Brumbaugh D.R., Cerny-Chipman E.B., Close S.L., Coblenz K.E., De Nesnera K.L., Drobnitch S.T. (2017). Long-term studies contribute disproportionately to ecology and policy. *BioScience* 67: 271-281.
- Huseby S., Degerlund M., Zingone A., Hansen E. (2012). Metabolic fingerprinting reveals differences between northern and southern strains of the cryptic diatom *Chaetoceros socialis*. *European Journal of Phycology* 47: 480-489.

- Iermano I., Liguori G., Iudicone D., Buongiorno Nardelli B., Colella S., Zingone A., Saggiomo V., Ribera d'Alcalà M. (2012). Filament formation and evolution in buoyant coastal waters: observation and modelling. *Progress in Oceanography* 106: 118-137.
- Kooistra W.H.C.F., Sarno D., Hernández-Becerril D.U., Assmy P., Di Prisco C., Montresor M. (2010). Comparative molecular and morphological phylogenetic analyses of taxa in the Chaetocerotaceae (Bacillariophyta). *Phycologia* 5: 471-500.
- Lamari N., Ruggiero M.V., d'Ippolito G., Kooistra W.H.C.F., Fontana A., Montresor M. (2013). Specificity of lipoxygenase pathways supports species delineation in the marine diatom genus *Pseudo-nitzschia*. *PLoS One* 8: e73281.
- Lauritano C., Ruocco M., Dattolo E., Buia M.C., Silva J., Santos R., Olivè I., Costa M.M., Procaccini G. (2015). Response of key stress-related genes of the seagrass *Posidonia oceanica* in the vicinity of submarine volcanic vents. *Biogeosciences* 12: 4185-4194.
- Logares R., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Christen R., Claverie J.-M., Decelle J., Dolan J.R., Dunthorn M., Edvardsen B., Gobet A., Kooistra W.C.H.F., Mahé F., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Pernice M.C., Romac S., Shalchian-Tabrizi K., Simon N., Stoeck T., Santini S., Siano R., Wincker P., Zingone A., Richards T.A., De Vargas C., Massana R. (2014). Patterns of rare and abundant marine microbial eukaryotes. *Current Biology* 24: 813-821.
- Lopez Y., Royo C., Pergent G., Alcoverro T., Buia M.C., Casazza G., Martínez-Crego B., Pérez M., Silvestre F., Romero J. (2011). The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological Indicators* 11: 557-563.
- Mackas D., Greve W., Edwards M., Chiba S., Tadokoro K., Eloire D., Mazzocchi M.G., Batten S., Richardson A., Johnson C. (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* 97: 31-62.
- Mahadik G.A., Castellani C., Mazzocchi M.G. (2017). Effect of diatom morphology on the small-scale behavior of the copepod *Temora stylifera* (Dana 1849). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 493: 41-48.
- Maibam C., Fink P., Romano G., Buia M.C., Butera E., Zupo V. (2015). *Centropages typicus* (Crustacea, Copepoda) reacts to volatile compounds produced by planktonic algae. *Marine Ecology* 36: 819-934.
- Maibam C., Fink P., Romano G., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Butera E., Zupo V. (2014). Relevance of wound-activated compounds produced by diatoms as toxins and infochemicals for benthic invertebrates. *Marine Biology* 161: 1639-1652.
- Massana R., Gobet A., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Chambouvet A., Christen R., Claverie J.M., Decelle J., Dolan J.R., Dunthorn M., Edvardsen B., Forn I., Forster D., Guillou L., Jaillon O., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Mahé F., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Pernice M.C., Probert I., Romac S., Richards T., Santini S., Shalchian-Tabrizi K., Siano R., Simon N., Stoeck T., Vaultot D., Zingone A., De Vargas C. (2015). Marine protist diversity in European coastal waters and sediments as revealed by high-throughput sequencing. *Environmental Microbiology* 17: 4035-4049.
- Mazzocchi M.G., Dubroca L., Garcia-Comas C., Di Capua I., Ribera d'Alcalà M. (2012). Stability and resilience in coastal copepod assemblages: The case of the Mediterranean long-term ecological research at Station MC (LTER-MC). *Progress in Oceanography* 97: 135-151.
- Mazzocchi M.G., Licandro P., Dubroca L., Di Capua I., Saggiomo V. (2011). Zooplankton associations in a Mediterranean long-term time-series. *Journal of Plankton Research* 33: 1163-1181.
- Montresor M., Di Prisco C., Sarno D., Margiotta F., Zingone A. (2013). Diversity and germination patterns of diatom resting stages at a coastal Mediterranean site. *Marine Ecology Progress Series* 484: 79-95.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., De Olazabal A., Di Capua I.,

-
- Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network Patterns fluctuations drivers. *Science of the Total Environment* 627: 373-387.
- Nanjappa D., d'Ippolito G., Gallo C., Zingone A., Fontana A. (2014). Oxylipin diversity in the diatom family Leptocylindraceae reveals DHA derivatives in marine diatoms. *Marine Drugs* 12: 368-384.
- Nanjappa D., Kooistra W.H.C.F., Zingone A. (2013). A reappraisal of the genus *Leptocylindrus* (Bacillariophyta) with the addition of three species and the erection of *Tenuicylindrus* gen nov. *Journal of Phycology* 49: 917-936.
- Percopo I., Siano R., Rossi R., Soprano V., Sarno D., Zingone A. (2013). A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. *Journal of Phycology* 49: 950-966.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.-F., Buia M.-C., Calvo S., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Angel Mateo M., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Thibaut T., Tomasello A., Verlaque M. (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science* 15: 462-473.
- Piredda R., Claverie J.M., Decelle J., de Vargas C., Dunthorn M., Edvardsen B., Eikrem W., Forster D., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Romac S., Sarno D., Stoeck T., Zingone A. (2018). Diatom diversity through HTS-metabarcoding in coastal European seas. *Scientific Reports* 8: 18059.
- Piredda R., Sarno D., Lange C.B., Tomasino M.P., Zingone A., Montresor M. (2017a). Diatom resting stages in surface sediments: a pilot study comparing Next Generation Sequencing and Serial Dilution Cultures. *Cryptogamie Algologie* 38: 31-46.
- Piredda R., Tomasino M., D'Erchia A., Manzari C., Pesole G., Montresor M., Kooistra W.H.C.F., Sarno D., Zingone A. (2017b). Diversity and temporal patterns of planktonic protist assemblages at a Mediterranean Long Term Ecological Research site. *FEMS Microbiology Ecology* 93: fiw200.
- Ravaglioli C., Lauritano C., Buia M.C., Balestri E., Capocchi A., Fontanini D., Pardi G., Tamburello L., Procaccini G., Bulleri F. (2017). Nutrient enrichment offsets negative effects of ocean acidification in seagrass meadows. *Scientific Report* 7: 13732.
- Ruggiero M.V., D'Alelio D., Ferrante M.I., Santoro M., Vitale L., Procaccini G., Montresor M. (2018). Clonal expansion behind a marine diatom bloom. *ISME Journal* 12: 463-472.
- Ruggiero M.V., Sarno D., Barra L., Kooistra W.H.C.F., Montresor M., Zingone A. (2015). Diversity and temporal pattern of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) through the molecular lens. *Harmful Algae* 42, 15-24.
- Ruocco N., Mutalipassi M., Pollio A., Costantini S., Zupo V., Costantini M. (2018). First evidence of *Halomicronema metazoicum* (Cyanobacteria) free-living on *Posidonia oceanica* leaves. *PLoS One* 13: e0204954.
- Sabia L., Costanzo A., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Zingone A., Margiotta F. (2019). Assessing the quality of biogeochemical coastal data: a step-wise procedure. *Mediterranean Marine Science* 20: 56-73.
- Sarno D., Zingone A., Montresor M. (2010). A massive and simultaneous sex event of two *Pseudo-nitzschia* species. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 57: 248-255.
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017a). Carbon and Nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica* is altered by seawater acidification. *Science of the Total Environment* 607-608: 954-964.

-
- Tesson S.V.M., Montresor M., Procaccini G., Kooistra W.H.C.F. (2014). Temporal changes in population structure of a marine planktonic diatom. *PLoS One* 9: e114984.
- Turner L.M., Ricevuto E., Massa-Gallucci A., Lorenti M., Gambi M.C., Calosi P. (2016). Metabolic responses to high pCO₂ conditions at a CO₂ vent site in the juveniles of a marine isopod assemblage. *Marine Biology* 163: 1-11.
- Vasapollo C., Gambi M.C. (2012). Spatio-temporal variability in *Posidonia oceanica* seagrass meadows off the Western Mediterranean: Shoot density and plant features. *Aquatic Biology* 16: 163-175.
- Vasapollo C., Villano L., Gambi M.C. (2015). Spatio-temporal variability of borer polychaete in *Posidonia oceanica* beds and its relation to meadow structure. *Mediterranean Marine Science* 16: 136-146.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Cinar M.E., García Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Froglià C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A., San Martín G., Giangrande A., Katağan T., Ballesteros E., Ramos-Esplá A., Mastrototaro F., Ocaña O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. (2010). Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD) Part I Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science* 11: 381-493.
- Zingone A., Dubroca L., Iudicone D., Margiotta F., Corato F., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Sarno D. (2010). Coastal phytoplankton do not rest in winter. *Estuaries and Coasts* 33: 342-361.
- Zingone A., Harrison P.J., Kraberg A., Lehtinen S., Mcquatters-Gollop A., O'Brien T., Sun J., Jakobsen H.H. (2015). Increasing the quality comparability and accessibility of phytoplankton species composition time-series data. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 162: 151-160.
- Zingone A., Philips E.J., Harrison P.A. (2010). Multiscale variability of twenty-two coastal phytoplankton time series: a global scale comparison. *Estuaries and Coasts* 33: 224-229.
- Zupo V., Alexander T., Edgar G. (2017). Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *Royal Society Open Science* 4: 160515.
- Zupo V., Jüttner F., Maibam C., Butera E., Blom J.F. (2014). Apoptogenic metabolites in fractions of the benthic diatom *Cocconeis scutellum parva*. *Marine Drugs* 12: 547-567.
- Zupo V., Maibam C., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Lorenti M., Patti F., Fink P. (2015). Chemoreceptor of the seagrass *Posidonia oceanica* by benthic invertebrates is altered by seawater acidification. *Journal of Chemical Ecology* 41: 766-779.
- Zupo V., Maibam C., Fink P., von Elert E. (2015). Effect of storage on the fatty acid content of foods for post-larvae of the crustacean decapod *Hippolyte inermis*. *Invertebrate Reproduction and Development* 59: 45-54.
- Zupo V., Mutalipassi M., Fink P., Di Natale M. (2017). Effect of ocean acidification on the communications among invertebrates mediated by plant-produced Volatile Organic Compounds. *Global Journal of Ecology* 1: 12-18.
- Zupo V., Mutalipassi M., Ruocco N., Glaviano F., Pollio A., Langellotti A.L., Romano G., Costantini M. (2019). Distribution of toxigenic *Halomicronema* spp. in adjacent environments in the Island of Ischia: comparison of strains from thermal waters and free living in *Posidonia oceanica* meadows. *Toxins* 11: 99.

Publicazioni non-ISI

- Gaonkar C.C. (2016). Diversity, distribution and evolution of the planktonic diatom family Chaetocerataceae. PhD thesis, Open University, London.
- Mahadik G.A. (2014). The role of copepod grazing in the dynamics of phytoplankton blooms. PhD thesis, Open University, London.
- Mazzocchi M.G., Di Capua I. (2013). Gulf of Naples LTER-MC (Site 59). In: ICES Zooplankton Status Report 2010-2011, ICES Cooperative Research Report 318: 171-173.

-
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017b). The effect of acidification on carbon and nitrogen metabolism of *Posidonia oceanica* in a natural CO₂ vent system (Sixth International Symposium. Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: problems and Measurement Techniques. Livorno (Italy) September 28-29, 2016 / edited by Claudio Conese. – Firenze: Firenze University Press 112: 75-79.
- Scartazza A., Moscatello S., Gavrichkova O., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2018). Seawater carbonate chemistry and carbon and nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica*. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.890444>.
- Zingone A., Sarno D. (2012). Gulf of Naples LTER-MC (Site 59) In: *ICES Phytoplankton and Microbial Plankton Status Report 2009/2010*, International Council for the Exploration of the Sea Copenhagen 313: 148-149.

Libri e Capitoli di libri

- Bertoni R., Cindolo C., Cocciufa C., Freppaz M., Mason F., Matteucci G., Pugnetti A., Ravaioli M., Rossetti G., Zingone A. (2012). Le ragioni della ricerca ecologica a lungo termine. In: Bertoni R. (ed) *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine* (LTER-ITALIA). Aracne Editrice, Roma: 15-22.
- Zingone A., Buia M.C. (2012). Golfo di Napoli. In: Bertoni R. (ed) *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine* (LTER-ITALIA) Aracne Editrice, Roma: 189-196.
- Zingone A., Montresor M., Sarno D. (2017). Un tesoro di biodiversità invisibile nella Baia di Napoli In: *Aveta A., Marino B.G., Amore R. (Eds). La Baia di Napoli. Vol. 1 Artstudiopaparo srl Napoli: 61-65.*
- Zupo V. (2020). Co-evolution of the shrimp *Hippolyte inermis* and the diatoms *Cocconeis* spp. in *Posidonia oceanica*: sexual adaptations explained by ecological fitting. In: Merillon J.-M. & Ramawat K.G. (Eds), *Co-evolution of secondary metabolites*, Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76887-8_27-1.

Articoli divulgativi

- Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6.
- D'Alelio D., Bergami C. (2016). Come cambiano i nostri ecosistemi? Sapere, N. Dicembre, Dedalo Edizioni.
- D'Alelio D., Rigatti E. (2017). Uno scienziato a pedali. Ediciclo Editore, pp. 139.
- D'Alelio D. (2017). Clima e plastica minacciano il plancton. La Nuova Ecologia, N. Giugno: 74-75.
- D'Alelio D. (2018). Fioriture tossiche. La Nuova Ecologia, N. Gennaio: 70-71.
- D'Alelio D. (2018). Imparare, pedalare, divulgare. La Nuova Ecologia, N. Maggio: 74-76.

Sitografia

- <http://www.sidimar.tutelamare.it>
<http://szn.macisteweb.com>
<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.890444>