

Monitoraggio integrato  
di un'area marino-costiera:  
la foce del fiume Volturno  
(Mar Tirreno centrale)

# Quaderni di Geofisica



Fiume Volturno

# 146



# Quaderni di Geofisica

## **Direttore Responsabile**

Silvia MATTONI

## **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



# Monitoraggio integrato di un'area marino-costiera: la foce del fiume Volturno (Mar Tirreno centrale)

## Integrated monitoring of a marine-coastal area: the Volturno River mouth (central Tyrrhenian Sea)

Luciana Ferraro<sup>1</sup>, Laura Giordano<sup>1</sup>, Sergio Bonomo<sup>1</sup>, Antonio Cascella<sup>2</sup>, Gabriella Di Martino<sup>1</sup>, Sara Innangi<sup>1</sup>, Serena Gherardi<sup>1</sup>, Stella Tamburrino<sup>1</sup>, Ines Alberico<sup>1</sup>, Francesca Budillon<sup>1</sup>, Vincenzo Di Fiore<sup>1</sup>, Michele Punzo<sup>1</sup>, Daniela Tarallo<sup>1</sup>, Erlisiana Anzalone<sup>1</sup>, Monica Capodanno<sup>1</sup>, Giuseppe Cavuoto<sup>1</sup>, Lorenza Evangelista<sup>1</sup>, Rosanna Ferraro<sup>1</sup>, Michele Iavarone<sup>1</sup>, Antonio Iengo<sup>1</sup>, Fabrizio Lirer<sup>1</sup>, Ennio Marsella<sup>1</sup>, Renata Migliaccio<sup>1</sup>, Flavia Molisso<sup>1</sup>, Nicola Pelosi<sup>1</sup>, Paola Rumolo<sup>1</sup>, Paolo Scotto di Vettimo<sup>1</sup>, Renato Tonielli<sup>1</sup>, Mattia Vallefucio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IAMC - CNR (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli)

<sup>2</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa)

**In copertina** Rilievo batimetrico della barra di foce del fiume Volturno (particolare)

**Come citare:** Ferraro L. et al., (2017). Monitoraggio integrato di un'area marino-costiera: la foce del Fiume Volturno (Mar Tirreno centrale). Quad. Geofis., 146: 1-70.

# Monitoraggio integrato di un'area marino-costiera: la foce del fiume Volturno (Mar Tirreno centrale)

**V**engono presentati i risultati dell'attività di monitoraggio svolta nel corso del progetto PONa3\_00363 I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale; [www.i-amica.it/i-amica/](http://www.i-amica.it/i-amica/)), nell'ambito delle attività relative all'Obiettivo Realizzativo 4.4 (Processi di interfaccia biosfera-idrosfera e funzionalità degli ecosistemi costieri). L'attività, che ha avuto come scopo l'acquisizione di conoscenze avanzate sulle dinamiche e/o variazioni nel tempo degli ecosistemi marino-costieri in relazione ai processi fisici, chimici e biologici che caratterizzano il loro habitat, si è sviluppata attraverso la sperimentazione di nuove metodologie di monitoraggio in relazione alle specifiche caratteristiche dell'area marino-costiera prospiciente la foce del fiume Volturno (Golfo di Gaeta). In particolare, oltre che sulle tecniche di monitoraggio classiche, lo studio si è principalmente focalizzato sulla acquisizione ed interpretazione di dati ambientali sia in colonna d'acqua che nei sedimenti a fondo mare e sulla identificazione di specie e/o associazioni di specie significative (*bio-indicatori*) da un punto di vista ambientale ed indicative dello stato di salute del sistema costiero. Poiché il sistema costiero rappresenta una struttura naturale complessa e delicata, la cui evoluzione è il risultato di delicati equilibri fisici, chimici e biologici, fortemente condizionabili dagli interventi antropici, l'attività di monitoraggio è stata integrata da studi sulla variazione della linea di costa, da studi sismostratigrafici della piana deltizia, sedimentologici e morfo-batimetrici dei fondali.

**T**his paper describes the results of the activities performed during the project PONa3\_00363 I-AMICA (High Technology Infrastructure for Climate and Environment Monitoring; [www.i-amica.it](http://www.i-amica.it)), as part of the activities of Development Objective 4.4 (Processes of the biosphere-hydrosphere interface and features of coastal ecosystems). Through the strengthening of scientific-technological infrastructure and equipment, I-AMICA was planned to increase the observational capacity of the monitoring of marine coastal ecosystems, particularly vulnerable in the sensitive Mediterranean area and strictly connected to the natural and anthropic continental system. For this reason research activities were mainly focused on the neritic environment adjacent to the shelf area of the Volturno River mouth (Gulf of Gaeta - central part of the Tyrrhenian Sea). Advanced knowledge on the dynamics in time of marine coastal ecosystems, in relation to the physical, chemical and biological processes that characterize their habitat, were acquired while new methods of integrated monitoring, in relation to the specific characteristics of the study area, were tested. Particular attention was given to the identification of bio-indicators in water column and sediment at sea floor. The monitoring was also integrated by studies on the shoreline changes, seismic stratigraphy of deltaic deposits and by sedimentology and morpho-bathymetry of the seabed.

## Introduzione

L'ambiente marino-costiero rappresenta un sistema molto articolato, strettamente in equilibrio con l'ambiente terrestre, nel quale convivono attraverso dinamiche diversificate ma fortemente interagenti, ecosistemi tipicamente marini ed ecosistemi di transizione. Il monitoraggio di tale sistema, anche se semplice dal punto di vista concettuale, dal punto di vista tecnico scientifico presenta non poche difficoltà in quanto rappresentazione dello stato ambientale di un ecosistema dinamico molto complesso in cui processi sia naturali che di origine antropica si sommano ed interagiscono modificandone le caratteristiche fisiche e biologiche. La tipologia delle coste così come la profondità del fondale, le caratteristiche

chimico-fisiche della colonna d'acqua, l'impatto antropico e gli sversamenti di materiale alle foci fluviali incidono fortemente sullo stato ambientale del sistema marino-costiero.

Ai fini di una giusta conservazione e di uno sfruttamento ecocompatibile di tale sistema l'attuazione di un programma di monitoraggio rappresenta il mezzo primario sia per vigilare e controllare le coste ed i fattori di pressione antropica e/o naturale, che incidono in modo significativo sull'ambiente marino, sia per attuare una corretta politica di protezione e di prevenzione dell'ambiente stesso e delle risorse marine da effetti dannosi.

La realizzazione di un programma di monitoraggio, con indagini su più matrici (acqua, sedimento, biota, etc.), avviene secondo precisi protocolli operativi attraverso l'esecuzione



ne di specifiche campagne di campionamento e misura. Le attività svolte nell'ambito del Progetto PONa3\_00363 I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale) sono state pianificate e realizzate tenendo in considerazione l'assetto naturale, profondamente alterato da un'intensa antropizzazione, della fascia costiera che si estende da Promontorio di Gaeta alla Foce del Fiume Volturno. Le tecniche di monitoraggio sperimentate attraverso l'analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici nei sedimenti e dei coccolitoforidi in colonna d'acqua, hanno permesso il riconoscimento di *bio-indicatori* in entrambe le matrici.

La conoscenza dello stato fisico del sistema costiero nel suo quadro naturale ed antropico, ha fornito un valido strumento per la determinazione di indicatori di stato e/o risposta da poter utilizzare per l'identificazione di uno schema per la programmazione di un corretto piano di Gestione Integrata.

## 1. La gestione integrata della fascia costiera

Oggi, le aree costiere dell'Unione Europea ospitano quasi la metà della popolazione comunitaria e producono gran parte della ricchezza economica dell'Unione.

Le attività dell'uomo sulla costa (gli scarichi civili, le attività industriali, la costruzione della viabilità, le opere di difesa della costa, i ripascimenti delle spiagge, la pesca, il diportismo, etc.) generano forti pressioni sull'ecosistema marino-costiero ed è fondamentale che ogni comunità si doti di uno strumento conoscitivo in grado di evidenziare e quantificare gli eventuali danni ambientali in atto, al fine di pianificare tempestivamente le opportune attività correttive.

La difesa del mare e delle coste è ormai da tempo un obiettivo concreto delle politiche comunitarie, obiettivo che fa da filo conduttore ai più ampi processi di gestione integrata (ICZM, Integrate Coastal Zone Management) delle zone costiere e di pianificazione degli spazi marittimi. Il concetto di gestione integrata presenta aspetti di estrema complessità che rendono difficile la sua applicazione concreta: ad oggi possiamo dire che si tratta di una sfida nella quale molti paesi sono impegnati a vari livelli ed intorno alla quale è aperto un ampio dibattito internazionale che ruota intorno al tema, più propriamente politico, del rapporto tra sviluppo economico e tutela ambientale ed a quello, più tecnico, dei modi con i quali affrontare la complessità offrendone una rappresentazione utile a prendere appropriate decisioni.

Il monitoraggio continuo dello stato di salute dell'ambiente permette di verificare la bontà delle azioni di mitigazione intraprese e quindi, se necessario, procedere ad una loro implementazione: si innesca così una sorta di processo ciclico capace di implementarsi e migliorarsi nel tempo. Elemento fondamentale di tale processo è la conoscenza approfondita dello stato dell'ambiente ed il controllo della

sua evoluzione.

Negli ultimi decenni la crescita dei porti, lo sviluppo dell'industria turistica e l'espansione delle città costiere, hanno portato ad una profonda trasformazione delle coste e delle adiacenti aree marine del Mediterraneo. Le diverse situazioni geopolitiche del Mediterraneo si aggiungono a questa complessità, aumentando i conflitti riguardanti l'uso dello spazio e le sfide ambientali.

### 1.1 Programmi di monitoraggio e aspetti normativi

I pilastri normativi atti a garantire un allineamento delle strategie ambientali dei paesi Europei hanno origine con la Convenzione di Barcellona che, attualmente, rappresenta lo strumento giuridico e operativo del Piano d'Azione delle Nazioni Unite per il Mediterraneo (MAP). Tale documento, costituito da 7 protocolli dedicati a problematiche specifiche come indicato nella Tabella 1, è entrato in vigore nel 1978, ed in Italia è stato ratificato il 3 febbraio 1979 (legge 25.1.1979, n. 30). Le Parti contraenti la Convenzione per la Protezione dell'Ambiente Marino e della Regione Costiera del Mediterraneo (Barcellona 1976-1995), ossia i 21 Stati del bacino del Mediterraneo e la Comunità Europea, hanno successivamente adottato il Protocollo sulla gestione integrata della zona costiera nell'ambito della Conferenza diplomatica plenipotenziaria tenutasi a Madrid nel gennaio 2008. Nel settembre 2010 il Consiglio ha adottato la decisione di ratificare il protocollo sulla gestione integrata delle zone costiere della Convenzione di Barcellona (decisione 2010/631/UE del Consiglio). Questa decisione conclusiva della UE segue la firma del protocollo adottato dal Consiglio il 4 dicembre 2008 (2009/89/CE) ed entrato in vigore il 24 marzo 2011, dopo essere stato ratificato da sei parti contraenti. La ratifica, o conclusione del protocollo indica che esso è diventato parte del diritto dell'Unione Europea e ha quindi effetti vincolanti.

Nel 2000, sulla base delle esperienze e dei risultati del Programma Dimostrativo, la Commissione adottò due documenti: "Gestione Integrata delle Zone Costiere: una Strategia per l'Europa" (COM/2000/547 del 17 settembre 2000) e una proposta di raccomandazione del Parlamento europeo e del Consiglio relativa all'attuazione della gestione integrata delle Zone Costiere in Europa (COM/2000/545 dell'8 settembre 2000). Successivamente, il Parlamento Europeo il 30 maggio 2002 adottò la Raccomandazione relativa all'Attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa (2002/413/CE).

Un altro strumento normativo caratterizzato da una maggiore applicabilità rispetto ai precedenti è la Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (2008/56/CE, "Marine Strategy Framework Directive", MSFD) la quale prevede che ogni Stato Membro sviluppi una strategia per il conseguimento o il mantenimento del Buono Stato Ambientale ("Good Environmental Status", GES) entro il 2020.

Protocollo	Campo di attività
Dumping	Prevenzione dell'inquinamento dovuto ad operazioni di immersione di navi ed aeronavi
Nuovo Protocollo Emergency	Cooperazione per prevenire l'inquinamento causato da navi e in situazione di emergenza
LBS (Land Based Sources)	Protezione dall'inquinamento di origine terrestre
SPA/BIO	Aree a protezione speciale e Diversità Biologica
Offshore	Protezione dall'inquinamento derivante dall'esplorazione dello sfruttamento della piattaforma continentale (fondo e sottofondo marino)
Hazardous wastes	Movimentazione transfrontaliera di rifiuti pericolosi e loro smaltimento
ICZM (Integrated Coastal Zone Management)	Gestione integrata aree costiere (definito da parte delle Parti Contraenti in sede di Conferenza delle Parti ad Almeria e firmato a Madrid, Spagna, nel gennaio 2008)

**Tabella 1.** Campi di attività dei protocolli della Convenzione di Barcellona.  
**Table 1.** Activity fields of Barcelona Convention protocols.

Con il Decreto Legislativo n.190/2010 di recepimento della Direttiva, l'Italia dispone del contesto giuridico per affrontare organicamente una protezione dei suoi mari basata sulla conoscenza effettiva dello stato dell'ambiente su scala nazionale. La decisione della Commissione europea del 1° settembre 2010 (2010/477/UE) delinea l'approccio da adottare per la determinazione del GES delineando 26 criteri e 56 indicatori associati a 11 descrittori qualitativi dell'ambiente marino. Il Buono Stato Ambientale è il concetto chiave della MSFD ed è da conseguirsi per ciascuna delle tre sub-regioni marine individuate per l'Italia: i) Mediterraneo occidentale, ii) Adriatico, iii) Ionio e Mediterraneo centrale.

Il modello che sta alla base della Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (2008/56/CE) individua nel monitoraggio marino, finalizzato alla conoscenza del contesto, la prima delle componenti operative del sistema di governance (Fig. 1).

Un programma di monitoraggio può essere considerato integrato quando fornisce dati rilevanti per i differenti descrittori, criteri e indicatori specificati nella MFSD, per almeno due stati Membri e raccolti con una metodologia comparabile.

Nella Tabella 2 vengono riportati gli elementi di monitoraggio previsti dalla MFSD e il confronto con gli elementi previsti dalle altre normative Europee sull'ambiente marino costiero.

Tra gli schemi logici utilizzabili, per la raccolta dei dati ambientali ai fini gestionali e del monitoraggio, lo schema DPSIR (*Driving, Pressures, State, Impact, Responses*) adottato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) è uno di quelli più interessanti. Tale schema nasce come valido metodo scientifico per la conoscenza degli ecosistemi e delle modificazioni prodotte dalle attività umane su di essi. All'interno di tale modello gli sviluppi di natura economica e sociale sono i fattori di fondo (*Driving*), che esercitano pressioni sull'ambiente (*Pressures*), le cui condizioni (*State*), come la disponibilità di risorse, il livello di biodiversità o la qualità dell'aria cambiano di conseguenza. Tutto ciò ha degli impatti (*Impact*) sulla salute umana, sugli ecosistemi e sui materiali per cui



**Figura 1** Schema di sviluppo circolare delle componenti operative della governance.  
**Figure 1** Diagram of circular development for the governance operating components.

Elementi di monitoraggio MSFD	Caratteristiche (se definite)	Direttiva Quadro sulle Acque	Direttiva Standard sulla Qualità Ambientale	Direttiva sugli Habitat	Direttiva Uccelli	Regolamento Quadro per la Raccolta dei Dati per la Politica Comune della Pesca
Phytoplankton, zooplankton	Composizione di specie	X				
Angiosperme, macroalghe, zoobenthos	Composizione di specie e biomassa	X				
Specie ittiche	Abbondanza, distribuzione, età/taglia				X	X
Rettili, mammiferi marini e altre specie protette	Range, dinamiche della popolazione, stato di salute				X	
Uccelli marini	Range, dinamiche della popolazione, stato di salute			X		
Habitat (predominanti, speciali, protetti, in via di estinzione)				X		
Correnti, profondità, copertura di ghiaccio marino		X				
Moto ondoso		X				
Mixing, tempo di residenza						
Fondale marino	Topografia, batimetria, struttura, composizione del substrato	X				
Temperatura, torbidità		X				
Upwelling, abrasione, estrazione						
Contaminanti	Variazione di concentrazione ed effetti biologici	X	X			
Ossigeno		X				
pH						
Rifiuti Marini						
Rumore sottomarino						
Patogeni microbici						
Specie non indigene						
Estrazione di specie selettive						X

**Tabella 2** Elementi di monitoraggio richiesti dalla normativa sul mare dell'UE.  
**Table 2** Key requirements of the EU Sea Directive.

vengono richieste risposte da parte della società (*Resposes*) che possono riguardare qualsiasi elemento del sistema, ovvero avere effetto direttamente sullo stato dell'ambiente o agire sugli impatti o sulle determinanti indirizzando e regolamentando opportunamente le attività umane.

La semplice messa a punto di un sistema di monitoraggio in grado di tenere sotto controllo gli effetti delle azioni, può apparire strumento di per se inadeguato se rapportato alla complessità del concetto di gestione integrata della fascia costiera e degli spazi marittimi, tuttavia, proprio grazie alla sua semplicità concettuale ed alla possibilità di avere risultati certi, condivisi e facilmente comunicabili, si trasforma in uno strumento potenzialmente più utile di quello che appare e quale efficace strumento di tutela ambientale.

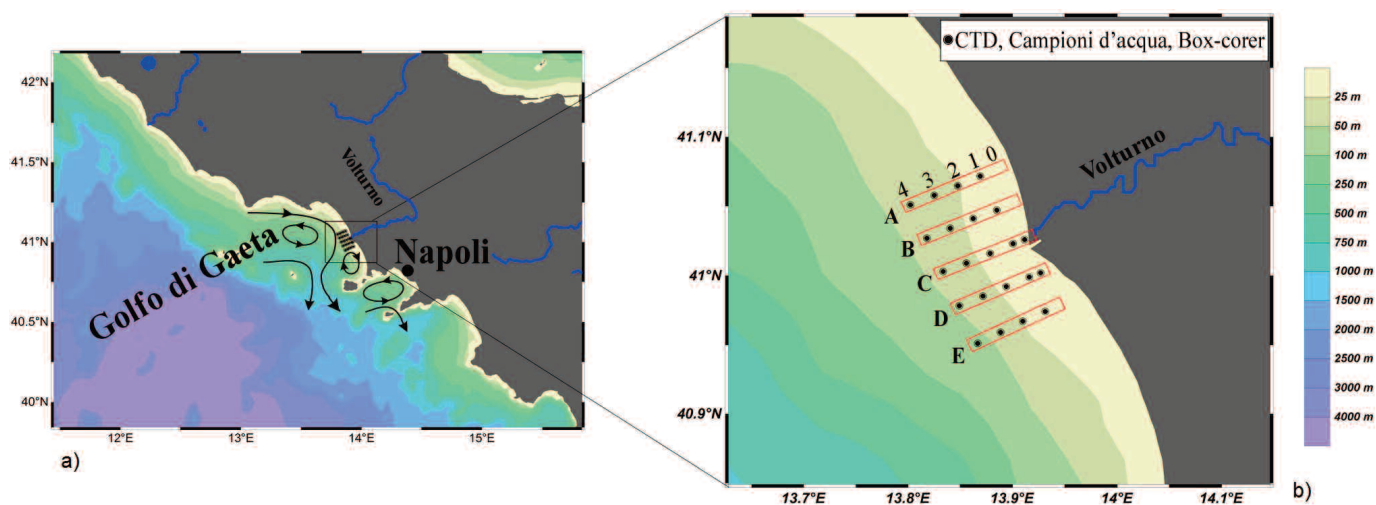
## 1.2 Stato dell'ambiente marino-costiero del Golfo di Gaeta: la foce del Fiume Volturno

La zona costiera campana rappresenta un valore da difendere in quanto su di essa si basa gran parte dell'economia della regione ed è, altresì, un sistema estremamente delicato sul quale si concentrano usi ed interessi molteplici, che, generano forti pressioni sulle varie componenti ambientali e la cui gestione è divenuta critica in quanto lo sviluppo di questa fascia del territorio non è stato mantenuto entro i limiti della tolleranza.

Il Litorale *Domitio*, caratterizzato da una costa bassa e sabbiosa, si estende per circa 50 km dalla Piana del Garigliano fino a Monte di Procida e rappresenta un ambiente condizionato prevalentemente dalla dinamica fluviale dei fiumi Garigliano e Volturno. Esso è fortemente compromesso da uno sfruttamento antropico del territorio, da un'intensa urbanizzazione, da attività agricole e zootecniche e da opere costiere, che ne hanno profondamente modificato sia l'assetto morfologico che il paesaggio naturale.

In tempi storici, dall'epoca greco-romana fino all'incirca al 1950, la morfo-evoluzione dell'intero litorale, dalla foce del Garigliano a Cuma, è segnata da una generale fase di progradazione e stabilità della linea di riva. A partire all'incirca dal 1950 e fino ad oggi, invece, l'incremento della domanda di territorio ha causato un generale e spinto arretramento della linea di riva, soprattutto nelle zone prossime alle foci dei due principali fiumi, connesso soprattutto alla costruzione di sbarramenti e briglie lungo i corsi fluviali, alla coltivazione di cave di sabbie negli alvei nonché direttamente sulle spiagge; tali asporti, pertanto, hanno determinato un pesante deficit nel bilancio sedimentario costiero. Inoltre la costruzione di strutture ed infrastrutture sui cordoni dunari e soprattutto nelle zone circostanti le foci, oltre che gli interventi di bonifica, regimazione ed arginatura fluviale, ha innescato il rapido smantellamento delle dune già minacciate dall'erosione, con notevole perdita di un territorio ad alta naturalità.

Il fiume Volturno, con una lunghezza di 175 km, è il più importante corso d'acqua della Campania, interessa tre province e presenta un bacino imbrifero di circa 5455 Km<sup>2</sup> ed ha origine in corrispondenza del Gruppo dei Monti della Meta-Mainarde. Il bacino, nel settore di piana, è caratterizzato dalla presenza dei canali paralleli di drenaggio dei Regi Lagni, che svolgono, anche se in maniera inadeguata, il compito per il quale furono progettati cioè quello di convogliare per 56 km le acque reflue di ben 126 comuni verso la costa, sfociando poco più a sud del fiume Volturno. La costa *domitia* rappresenta il punto di recapito anche di altri corsi d'acqua minori, quali il Fiume Savone, il Canale Agnena, l'alveo dei Camaldoli ed il termine ultimo del bacino del Lago di Patria. Quasi tutti i corsi d'acqua versano in condizioni di inquinamento a causa dell'immissione di reflui, civili ed industriali, e dell'abbandono incontrollato di rifiuti solidi.



**Figura 2** a) Ubicazione dell'area di studio con i modelli di circolazione costiera estiva e stagionale (modificati da De Pippo et al. [2003-2004]); b) griglia di campionamento con batimetria e posizionamento delle stazioni.  
**Figure 2** a) Location map of the study area with the path of summer and seasonal coastal circulation (modified from De Pippo et al. [2003-2004]); b) bathymetric and sampling location.

Stazione	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Profondità (m)
A1	41° 4' 18.2349"	13° 52' 9.0638"	15,9
A2	41° 3' 55.2191"	13° 50' 51.3489"	20,3
A3	41° 3' 29.5882"	13° 49' 29.8398"	29
A4	41° 3' 5.3311"	13° 48' 7.8950"	45,6
B1	41° 2' 50.3811"	13° 53' 5.0973"	15
B2	41° 2' 26.1193"	13° 51' 44.9426"	19,1
B3	41° 2' 2.0446"	13° 50' 25.5720"	26
B4	41° 1' 37.4505"	13° 49' 4.4711"	42,7
C0	41° 1' 35.0273"	13° 54' 41.1327"	9,9
C1	41° 1' 22.6846"	13° 54' 1.4714"	13,7
C2	41° 0' 58.5349"	13° 52' 41.7237"	18
C3	41° 0' 34.3373"	13° 51' 21.9503"	24,1
C4	41° 0' 9.8206"	13° 50' 1.0002"	40,1
D0	41° 0' 7.2170"	13° 55' 37.1981"	12,1
D1	40° 59' 54.9795"	13° 54' 57.8034"	14,1
D2	40° 59' 30.8409"	13° 53' 38.0789"	18,1
D3	40° 59' 6.6535"	13° 52' 18.2432"	24
D4	40° 58' 42.1825"	13° 50' 57.5299"	41,3
E1	40° 58' 27.6522"	13° 55' 53.7876"	15,7
E2	40° 58' 0.5918"	13° 54' 36.0170"	19,1
E3	40° 57' 33.1279"	13° 53' 18.2709"	27
E4	40° 57' 5.0934"	13° 52' 0.0392"	48,1

**Tabella 3** Coordinate geografiche e profondità delle stazioni di campionamento.

**Table 3** List of the studied stations, with geographical location and water depth.

Gran parte del corso fluviale del Volturno risulta antropizzato, con conseguente progressiva riduzione delle aree a coltivazione, ma con una sempre più diffusa ed intensiva coltivazione basata sull'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti con effetti diretti sulla qualità delle acque che sfociano direttamente in mare. La forte urbanizzazione, l'espansione turistica, in associazione alle attività agricole, zootecniche e di acquacoltura sono le principali forzanti antropiche che, insieme a pressioni di origine naturale, hanno provocato negli ultimi decenni il degrado della qualità ambientale della fascia costiera del Golfo di Gaeta. Inoltre l'intero Litorale *Domitio* rientra nell'elenco dei progetti integrati definitivi promossi e sostenuti dal Parlamento Europeo per la Gestione Integrata delle Zone Costiere attraverso 2 atti: EU COM 2000/547 (ICZM - una strategia per l'Europa) e EU Racc. 2002/413 (Raccomandazione agli stati Membri per l'implementazione dell'ICZM). La ricchezza naturalistica del territorio, seppur minacciata ed in parte compromessa, è testimoniata dall'istituzione di alcune Zone a Protezione Speciale (ZPS) e Siti di Importanza Comunitaria (SIC), da parte dell'Assessorato delle Politiche Territoriali ed Ambientali della Regione Campania nel 2005.

## 2. Sperimentazione di un piano di monitoraggio

Il raggiungimento ed il mantenimento di standard di qualità per la conservazione e lo sfruttamento ecocompatibile della

fascia marino-costiera, passano attraverso l'attuazione di programmi di monitoraggio con la finalità di vigilare e controllare le coste ed i fattori di pressione sia antropogenici che naturali che incidono, in modo significativo, sulla qualità dell'ambiente marino. L'attività di monitoraggio svolta alla foce del fiume Volturno ha previsto, oltre agli approcci classici per il monitoraggio ambientale, quali la valutazione dei livelli di contaminanti organici ed inorganici nei sedimenti, la sperimentazione di nuove tecniche attraverso l'analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici (sedimenti) e dei coccolitoforidi (colonna d'acqua) con il riconoscimento di *bio-indicatori* in entrambe le matrici.

L'area di indagine è stata individuata in base alla realtà territoriale ed alla maggiore pressione antropica e corrisponde all'area marino-costiera prospiciente la foce del fiume Volturno che abbraccia il settore di piattaforma continentale compreso tra l'isobata dei -5m e -50m (Golfo di Gaeta; Fig. 2). All'interno dell'area è stata identificata una griglia con stazioni distribuite secondo 5 transetti equidistanti tra loro ed ortogonali alla linea di costa (A-B-C-D-E; Fig. 2). I campioni sono stati numerati progressivamente da 1 a 4 e solo per i due transetti più prossimi alla foce del fiume Volturno (C e D) si sono acquisite anche le stazioni C0 e D0 (Fig. 2 – Tab. 3).

### 2.1 Mezzi navali e piano di campionamento

I mezzi navali adoperati per le campagne di monitoraggio sono stati tre: la nave *Astrea* gestita dall'ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, la nave *Urania* gestita dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e la moto barca "Idrosfera" gestita dalla società Idrosfera.

La nave *Astrea* è in grado di impiegare qualsiasi tipo di strumentazione, compatibilmente con le sue dimensioni (Fig. 3) ed è in grado di eseguire ricerche oceanografiche (biologiche, chimiche e fisiche) in zone litoranee, costiere ed in alto mare; raccolta dati in superficie e profondità (CTD, campionatura di acqua, ecc.); rimorchio ed impiego di R.O.V. (Remote Operated Vehicle), AUVs, boe oceanografiche e catene correntometriche e messa in opera ed impiego reti per pesca scientifica, pelagiche e da fondo.

La Nave *Urania* (Fig. 4), con autosufficienza di 45 giorni, è in grado di ospitare 36 uomini tra personale scientifico ed equipaggio. Accoglie laboratori per analisi, campionamento geologico, laboratori chimici e radiologici e consente l'elaborazione di dati di navigazione e geofisici e di dati acquisiti con R.O.V. e con sonda multiparametrica. È dotata di strumentazione geofisica e i sistemi di campionamento, operanti fino alle massime profondità del Mediterraneo.

La moto barca *Idrosfera* (Fig. 5) è un catamarano carrellabile, attrezzato per l'installazione dei più comuni sistemi di acquisizione dati in particolare in acque basse.

### 2.2 Caratteristiche dei fondali

Alla base di un completo piano di monitoraggio costiero si



deve prevedere sia un rilievo morfo-batimetrico che un rilievo sedimentologico. Il rilievo morfo-batimetrico va esteso in genere a tutto l'areale interessato dall'attività di monitoraggio e fornisce le informazioni morfologiche di base, ma può anche essere di supporto per lo studio delle variazioni della linea di costa, o per dare indicazioni sulla dinamica di correnti costiere e profonde. Il dato sedimentologico rappresenta invece una importante fonte di informazioni per conoscere le caratteristiche fisiche e idrodinamiche del sistema costiero e le modalità di trasporto dei sedimenti.



Figura 3 N/O ASTREA (ISPRA).  
Figure 3 R/V ASTREA (ISPRA).



Figura 4 N/O URANIA del CNR.  
Figure 4 R/V URANIA (CNR).



Figura 5 Moto Barca "Idrosfera".  
Figure 5 Powerboat "Idrosfera".

I risultati dello studio sedimentologico affiancati ai dati di carattere morfologico-batimetrico, contribuiscono a definire la morfodinamica evolutiva e quindi ad attuare strategie di difesa che salvaguardino e valorizzino le aree costiere.

### 2.2.1 Acquisizione ed elaborazione dati batimetrici

L'area di indagine si estende da costa verso largo fino ad una profondità inizialmente stimata di circa 200 metri, che in fase di acquisizione è stata estesa fino a circa 500 metri. Il rilievo batimetrico dell'area di studio è stato effettuato mediante Ecoscandaglio Multifascio (MBES) nel corso di tre campagne oceanografiche svolte tra gennaio-febbraio 2013 e giugno 2014, mirate al rilievo profondo la prima e dedicate al rilievo costiero la seconda e la terza. Il primo rilievo si è svolto a bordo della N/O "Urania" (Fig. 4), mentre i rilievi della zona costiera si sono svolti a bordo della M/B Idrosfera (Fig. 5). Sono stati utilizzati due modelli diversi di MBES: Kongsberg EM710 fino a profondità di 500 metri e SeaBat 7125 per il rilievo ad altissima risoluzione della fascia costiera compresa tra 1 e 16 metri di profondità (Fig. 6). L'area rilevata è stata compresa tra la minima navigabile verso costa, 2 metri di profondità, ed i 16 metri, fino a raccordarsi con il rilievo profondo per un totale di circa 20 Km<sup>2</sup> (Fig. 6).

#### Rilievo profondo

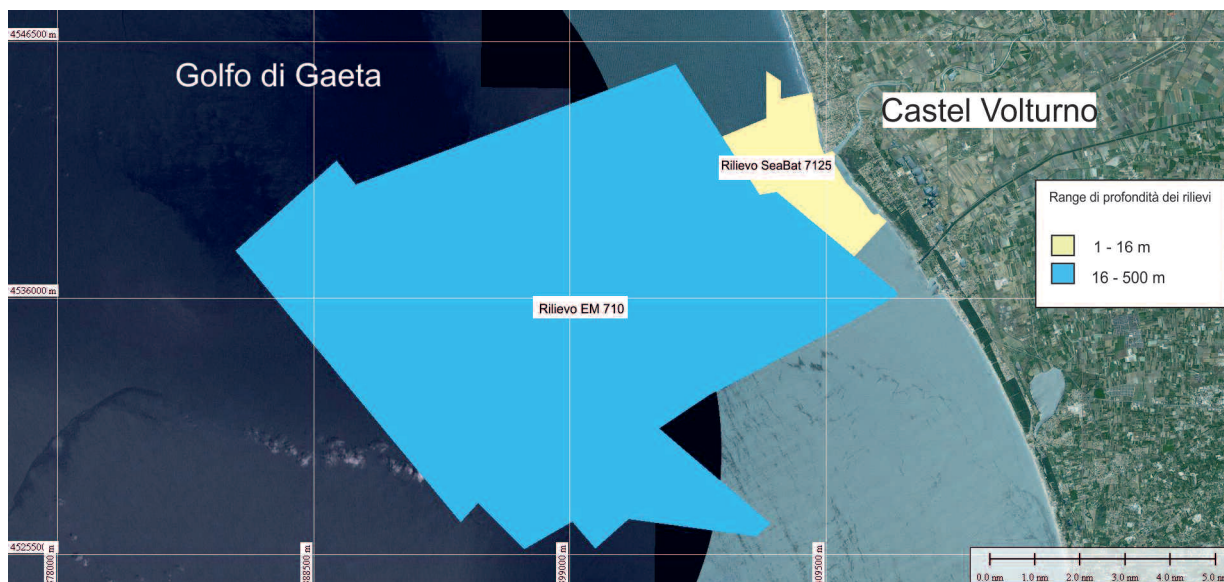
Il Multibeam Kongsberg EM710 è installato a scafo a profondità di circa 1,5 metri rispetto alla chiglia. I dati batimetrici

Nome Campagna Oceanografica	Periodo	NAVE
I-AMICA_2012_01	19-20 Giugno 2012	Astrea
I-AMICA_2012_02	22-23 Ottobre 2012	Astrea
I-AMICA_2013_01*	29 gennaio - 11 febbraio	Urania
I-AMICA_2013_02	15-16 giugno	Astrea
I-AMICA_2013_03	9-10 dicembre	Astrea
I-AMICA_2014_01	17-18 febbraio	Astrea
I-AMICA_2014_01	1-3 ottobre	Astrea

Tabella 4 Campagne di monitoraggio stagionale realizzate nei tre anni di attività del progetto (2012-2014).

Table 4 Seasonal monitoring cruises during the three years of the I-AMICA Project (2012-2014).

\*nel corso di tale campagna sono stati acquisiti i dati geofisici e morfobatimetrici.  
\*during this cruise geophysical and morphobatimetric data were acquired.



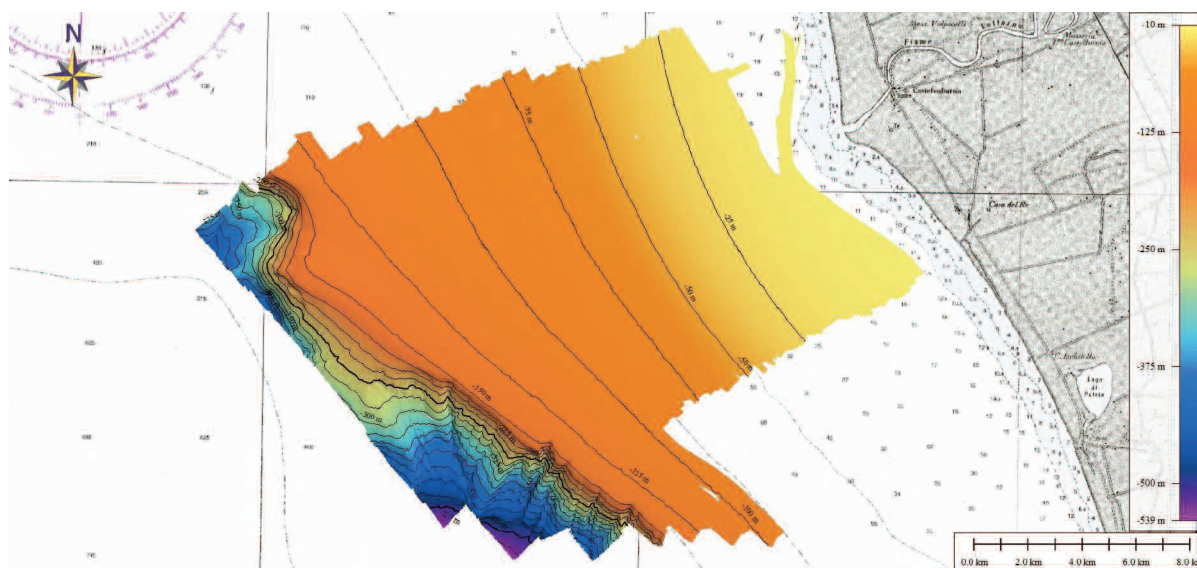
**Figura 6** Totale area acquisita nel corso delle campagne di acquisizione morfobatimetrica.  
**Figure 6** Work area acquired during morpho-bathymetric surveys.

sono stati acquisiti con il software Seafloor Information System (SIS). Una sonda di velocità montata in prossimità dei trasduttori ha fornito i valori di velocità del suono necessari per il corretto *beam-steering* ed una sonda multiparametrica è stata calata in acqua ogni 8 ore al fine di registrare i profili di velocità lungo la colonna d’acqua necessari per il calcolo delle profondità. La navigazione è stata gestita con il software PDS2000; le linee di acquisizione sono state pianificate e navigate in modo da avere almeno il 20-25% di sovrapposizione tra profili adiacenti per una copertura totale di circa 270 Km<sup>2</sup> (dato stimato per difetto). I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Caris Hips&Sips 7.0.2 e poi utilizzati per la generazione di un DTM con risoluzione di 5

metri e di un *contouring* con intervallo batimetrico di 25 metri (Fig. 7).

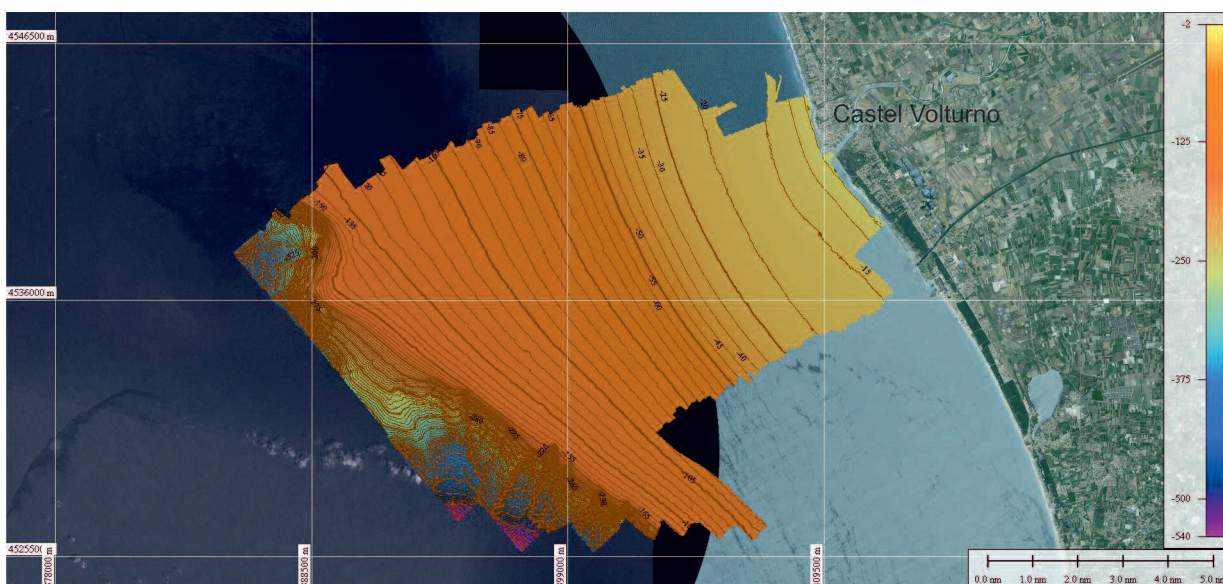
#### Rilievo costiero

Il Multibeam Reson Seabat 7125, ad altissima risoluzione con doppia frequenza operativa 200-400 kHz, ha la possibilità di registrare il segnale di *backscatter*, sia come Opzione-Sidescan Sonar, che come Snippet, consentendo la realizzazione di mosaici acustici ad altissimo dettaglio. Lo strumento è stato interfacciato con un sensore di moto Ixea Octans 3000 e con un GPS differenziale Trimble SPS852 GNSS Modular Receiver. In prossimità dei trasduttori è stata installata una sonda di velocità per il *beam steering* mentre un pro-

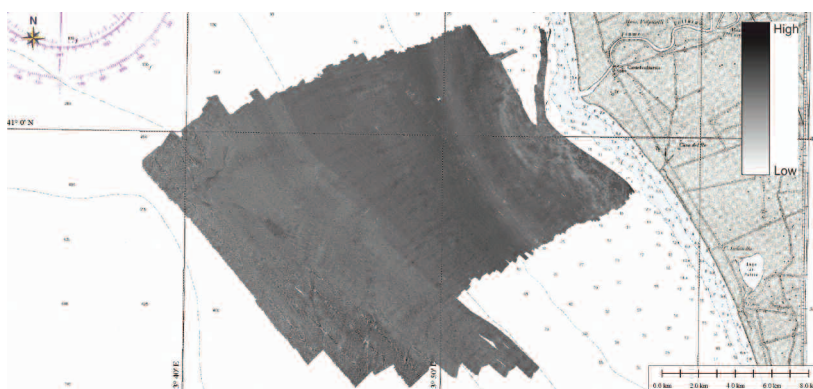


**Figura 7** DTM elaborato dell’area di studio (risoluzione 5 m). Proiezione UTM33N - WGS84.  
**Figure 7** Study area processed DTM (5 m resolution). Projection: UTM33N - WGS84.

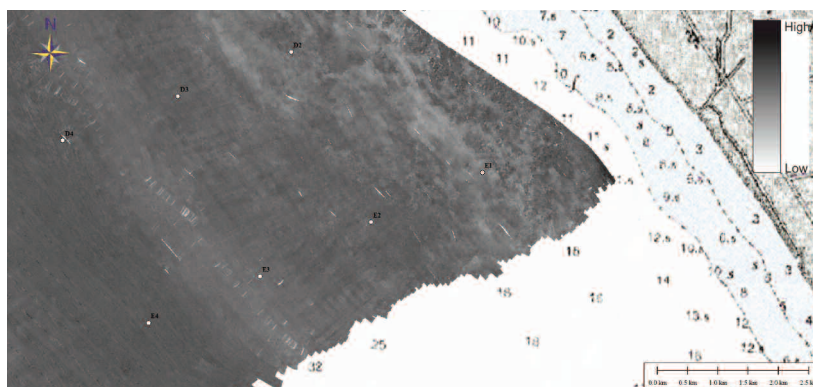




**Figura 8** Area totale acquisita derivante dalla integrazione dei dataset ottenuti con Multibeam EM710 e Seabat 7125.  
**Figure 8** Data integration from EM710 and SeaBat 7125 Multibeam dataset.



**Figura 9** Mosaico acustico dell'area acquisita alla foce del fiume Volturno ricavato con il processing dei dati di backscatter del Multibeam Simrad EM710.  
**Figure 9** Acoustic mosaic of the Volturno River mouth generated from Multibeam Simrad 710 backscatter data.



**Figura 10** Particolare del mosaico di backscatter della foce del fiume Volturno con il posizionamento delle campionature di fondo realizzate nel corso della campagna oceanografica I-AMICA\_2013\_01 (per il posizionamento delle stazioni di campionamento vedi Figura 2).  
**Figure 10** Backscatter mosaic of Volturno river mouth detail and bottom sampling positioning from I-AMICA\_2013\_01 Cruise (see Fig. 2 for bottom sampling coordinates).

filatore, che registra in modo diretto la velocità del suono, è stato utilizzato per acquisire i valori lungo la colonna d'acqua da inserire nel software di acquisizione per il calcolo corretto delle profondità. Il software di acquisizione PDS2000 è stato interfacciato con la strumentazione al fine di applicare in tempo reale ai dati batimetrici il posizionamento e le correzioni dovute al moto dell'imbarcazione. I dati sono stati acquisiti utilizzando la frequenza di 400 kHz e la modalità *equi-distant* per garantire la massima risoluzione possibile; le linee di navigazione sono state pianificate per ottenere una sovrapposizione del 20% tra spazzate adiacenti.

#### Processing dei dati morfobatimetrici

Utilizzando il modulo Editing, del software PDS2000 è stato possibile agire sia sui dati di navigazione che su quelli batimetrici, modificando all'occorrenza i filtri applicati in acquisizione. La curva di marea registrata durante i giorni di lavoro è stata applicata ai dati prima delle successive fasi di processing.

In fase di processing è stata rilevata una forte influenza sul dato da parte dell'apporto di acqua dolce proveniente dalla foce del fiume Volturno: il difetto di *frowning*, ovvero la curvatura degli *swath*

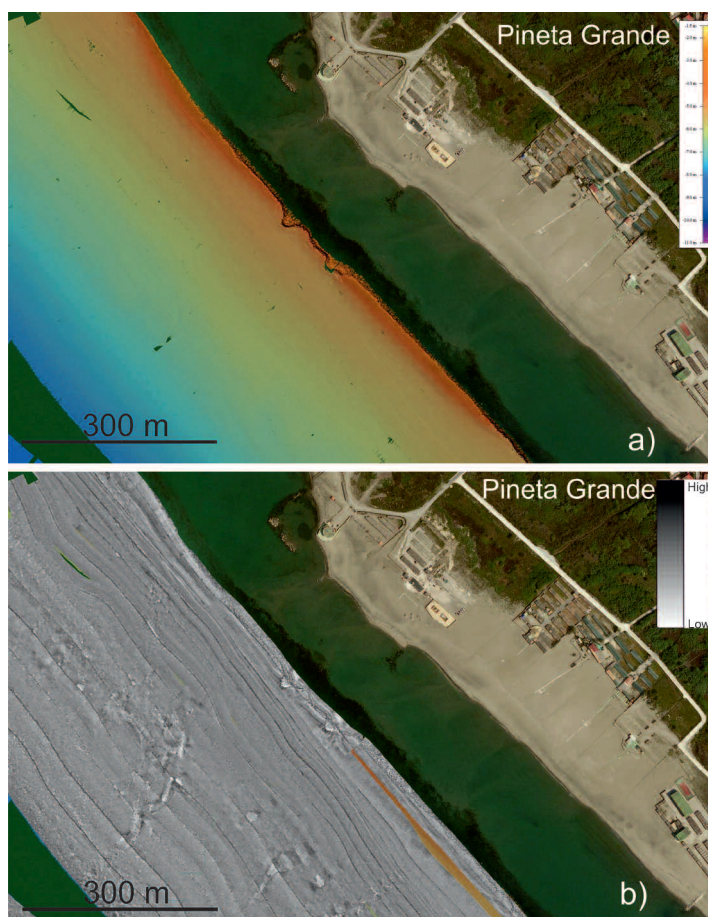
emessi, è stato risolto applicando una correzione al profilo di velocità del suono registrato in fase di acquisizione. Il dato processato è stato utilizzato per creare un DTM da integrare con i dati profondi ed un *contouring* batimetrico con intervallo di 5 metri (Fig. 8).

#### Segnale di backscatter

I moderni multibeam sono in grado di registrare, oltre all'informazione batimetrica, anche il segnale di *backscatter*, utile per la caratterizzazione litologica del fondo. Il segnale di *backscatter* rappresenta la quantità di onda che torna al ricevitore ed è strettamente dipendente, oltre che dall'angolo di incidenza, dalle caratteristiche fisiche del fondale marino (granulometria, tessitura, densità e rugosità o *roughness*). In generale, i sedimenti fini mostrano una intensità del *backscatter* bassa a causa della diminuzione in densità e velocità del suono; di contro i sedimenti grossolani presentano valori più alti grazie alla bassa porosità e una densità più alta dei sedimenti, oltre che ad una *roughness* maggiore. Nei sedimenti sabbiosi inoltre il *backscatter* diminuisce al diminuire della dimensione dei granuli. Grazie a queste sue caratteristiche, lo studio del segnale di *backscatter*, combinato con le informazioni batimetriche, consente di ricavare le caratteristiche morfo-litologiche del fondale marino. Nell'area di studio i dati di batimetria e di *backscatter* sono stati utilizzati per ricavare alcune caratteristiche fisiche, geologiche e biologiche del fondo marino, quali la *roughness*, la granulometria e l'eventuale presenza di copertura algale (come ad esempio *Posidonia oceanica*) ed altri biota. La figura 9 mostra il mosaico acustico a 5 metri di risoluzione dove è possibile osservare una variazione di *backscatter* di materiale meno riflettente nella parte costiera, rappresentato dai colori chiari, che si alterna a materiale più riflettente, rappresentato con colori scuri. Nella fascia compresa tra i -50 e i -70 metri di profondità sono visibili lingue di materiale maggiormente riflettente che si sviluppano perpendicolarmente alla linea di costa seguendo la pendenza batimetrica.

Tale dato è confermato dai risultati ottenuti dalle analisi granulometriche delle campionature a fondo mare (vedi par. 2.2.2) che rilevano come al variare della profondità, ad esempio lungo il transetto E1-E4, da costa verso largo, la litologia del fondo si modifica, passando da limo argilloso con una diminuzione della componente sabbiosa (Fig. 10), la diversa percentuale di quest'ultima potrebbe determinare la differente risposta acustica del segnale di *backscatter*.

I mosaici acustici con risoluzione di 20 cm sono stati ottenuti con l'elaborazione dell'Opzione Side del Reson Seabat 7125; ciò è stato possibile grazie alle caratteristiche dello strumento e perché a basse profondità si ottengono mosaici parago-



**Figura 11** Confronto tra il rilievo batimetrico (a) e il mosaico acustico (b) ottenuti con il Reson Seabat 7125 ad una profondità compresa tra i -2 e -8 m.

**Figure 11** Bathymetric data (a) and acoustic mosaic (b) from Reson Seabat 7125 in the depth range -2 / -8 meter.

nabili all'utilizzo di un classico *side scan sonar*. La figura 11 mostra un esempio dell'acquisizione effettuata tra i -2 e -8 m di profondità; in particolare in alto è visualizzato il DTM, mentre in basso il mosaico acustico. Si può notare come alcune facies acustiche ben visibili nel *backscatter* non corrispondono a variazioni morfologiche evidenti, ma sono caratteristiche di una variazione composizionale e litologica del fondo. Questo può consentire di effettuare, in una seconda fase del monitoraggio, delle campionature mirate, in modo da tarare la risposta acustica e realizzare, successivamente, delle mappe bio-composizionali del fondo (*seabed map*).

#### Risultati

Il rilievo costiero ha evidenziato alcune variazioni morfologiche legate alla stagionalità: nella zona compresa tra -1 e -5 metri di profondità sono visibili strutture e forme di fondo e il confronto tra il rilievo effettuato nel periodo invernale (gennaio 2014) e quello nel periodo primaverile (giugno 2014) in aree adiacenti, evidenzia un cambiamento nella distribuzione del materiale sul fondo, che si manifesta con la formazione di una



barra nella stagione primaverile nel settore a nord della foce del fiume Volturno (Fig. 12).

Il rilievo invernale evidenzia invece la barra di foce ridossata alla sponda destra e raccordata alla barra sommersa nel tratto di costa a sud-est della foce (Fig. 13).

### 2.2.2 Sedimentologia dei fondali

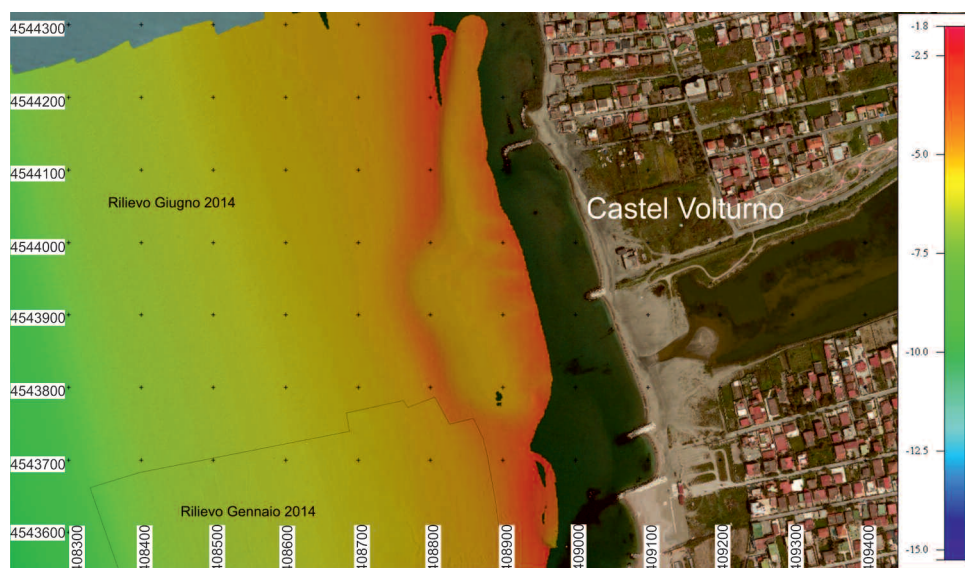
La fascia costiera campanana presenta diversi “domini litologici” distinti per genesi e modalità di evoluzione geomorfologica [Ferretti et al., 2003]. La distribuzione granulometrica dei sedimenti a fondo mare è controllata dalla profondità, e quindi dall’energia delle onde, dalla morfologia dei fondali, dall’esistenza di manufatti e ripascimenti, dall’azione di processi erosivi e dalla presenza di foci fluviali. In particolare si

possono riconoscere ampi litorali costituiti prevalentemente da sabbie, come ad esempio in corrispondenza delle vaste pianure alluvionali dei fiumi Garigliano e Volturno.

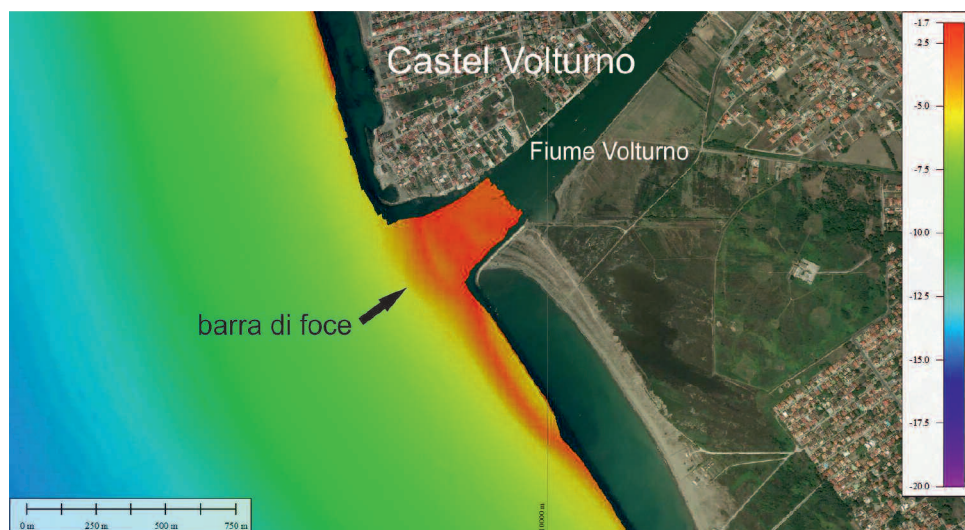
Lo studio svolto è stato finalizzato alla determinazione delle caratteristiche tessiturali ed alla distribuzione dei sedimenti superficiali presenti sui fondali compresi tra -9 m e -49 m di profondità per ognuno dei 22 campioni acquisiti per mezzo di box-corer nel corso delle campagne di monitoraggio stagionale (vedi par. 2.4.1).

#### Analisi granulometrica

Per ogni stazione di campionamento (Fig. 2) è stato prelevato un sub-campione dal livello superficiale (0-1 cm) di circa 50-100 grammi umidi di materiale rappresentativo. La pre-



**Figura 12** Confronto tra i rilievi svolti in periodi diversi e in aree adiacenti; si osserva la formazione di una barra sommersa tra 1 e 5 metri di profondità nel periodo primaverile (giugno 2014) a 250 metri dalla costa associata ad un trugolo ampio circa 50 m.  
**Figure 12** Bathymetric data collected in adjacent area in different time; during springtime (June 2014) a mouth bar between 1 meter and 5 meters depth compared at 250 meter of distance from the coast is evident.



**Figura 13** Rilievo batimetrico della barra di foce.  
**Figure 13** Bathymetric data showing the river mouth bar.

parazione di ogni campione consiste di diverse fasi per una durata complessiva di circa 7 giorni per sedimenti prevalentemente sabbiosi, mentre per sedimenti contenenti frazioni più fini sono necessari anche 10 giorni. Trattandosi di sedimenti composti da più frazioni granulometriche la procedura analitica è stata eseguita per via umida, per via secca e con il granulometro laser. I dati numerici ottenuti con le varie fasi analitiche sono stati utilizzati per la costruzione di curve cumulative e di frequenza. Per ogni campione sono stati calcolati i seguenti parametri fisici: diametro medio del campione  $M_z$  ( $\phi$ ), Classazione o Sorting ( $\phi$ ), Asimmetria  $Sk$  ( $\phi$ ) e Appuntimento Kurtosis o  $KG$  ( $\phi$ ) (Appendice 1). Le frazioni ottenute con le diverse tecniche sono state quindi classificate secondo la scala di Udden-Wentworth e le normative AGI 1977, 1994. Per la distribuzione delle principali classi granulometriche a fondo mare è stata utilizzata la tecnica dell'interpolazione spaziale attraverso il software ArcGis 9.3 (Fig. 14).

### Risultati

L'area marina prospiciente la foce del fiume Volturno è caratterizzata da fondali alquanto omogenei che non sembrano risentire dell'articolazione della fascia costiera. In particolare non è stata riscontrata la presenza di coperture vegetali cioè a testimonianza della persistenza degli apporti fluviali torbidi provenienti sia dal fiume Volturno che dal fiume Garigliano più a nord [La Monica e Raffi, 1996]. È possibile osservare un trend delle classi granulometriche (ghiaia, sabbia, limo e argilla; Appendice 1) generalmente parallelo alla linea di costa ed in progressiva traslazione verso il largo. Così come già identificato da De Pippo et al. [2003-2004] la distribuzione dei sedimenti lungo un profilo parallelo alla linea di costa

(trasetto C; Fig. 14) mostra un grande controllo fluviale in prossimità della foce del Volturno, ed un'influenza del fiume via via in diminuzione nelle parti adiacenti alla foce a causa della dinamica costiera (onde e correnti). Nella zona di piattaforma litoranea, a profondità compresa tra -8 e -15 m, prevalgono i sedimenti sabbioso-limosi con variabile frazione argillosa (Fig. 14). I valori del diametro medio dei sedimenti ( $M_z$ ), compresi tra  $3.04\phi$  e  $5.13\phi$ , sono nel loro complesso omogenei e mostrano una debole diminuzione verso costa, evidenziando un probabile controllo operato dall'azione delle correnti. La classazione, con valori compresi tra  $1.59\phi$  e  $2.41\phi$ , indica che questi sedimenti sono poco/scarsamente classati. Tali depositi sono prevalentemente localizzati nel settore nord-occidentale rispetto alla foce del fiume (campioni A1, B1, C0; Fig. 2). Una sedimentazione a componente prevalentemente limosa, con frazione sabbioso-argillosa più o meno variabile, si riscontra nella zona di *offshore* compresa tra i tra -15 e -50 m (Fig. 14). I limi con prevalente componente sabbiosa dominano i fondali fino a circa -30 m, mentre la frazione argillosa cresce sensibilmente andando verso le zone più distali fino a -50 metri di profondità. La distribuzione granulometrica di questi depositi ha valori di *sorting* compresi tra  $1.51\phi$  e  $2.34\phi$ , simili a quelli dei depositi sabbiosi, ad indicare un sedimento poco/scarsamente classato.

### 2.3 Il monitoraggio stagionale in colonna d'acqua

Nel campo del monitoraggio degli ambienti marino-costieri le analisi condotte in colonna d'acqua hanno il vantaggio di offrire un dato che rappresenta esattamente una "fotografia" della situazione presente al momento del campionamento. Infatti il controllo delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua consente di valutare tutti i fenomeni legati

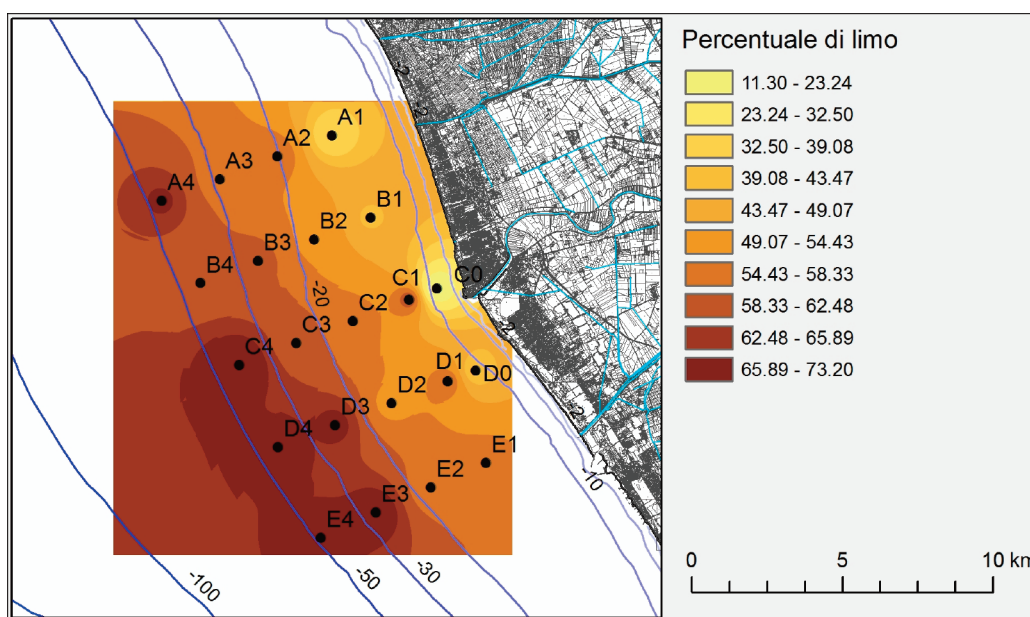


Figura 14 Esempio di distribuzione areale della percentuale di limo a fondo mare (campagna oceanografica I-AMICA\_2012\_01).  
 Figure 14 Spatial distribution of silt at sea floor (Oceanographic cruise I-AMICA\_2012\_01).

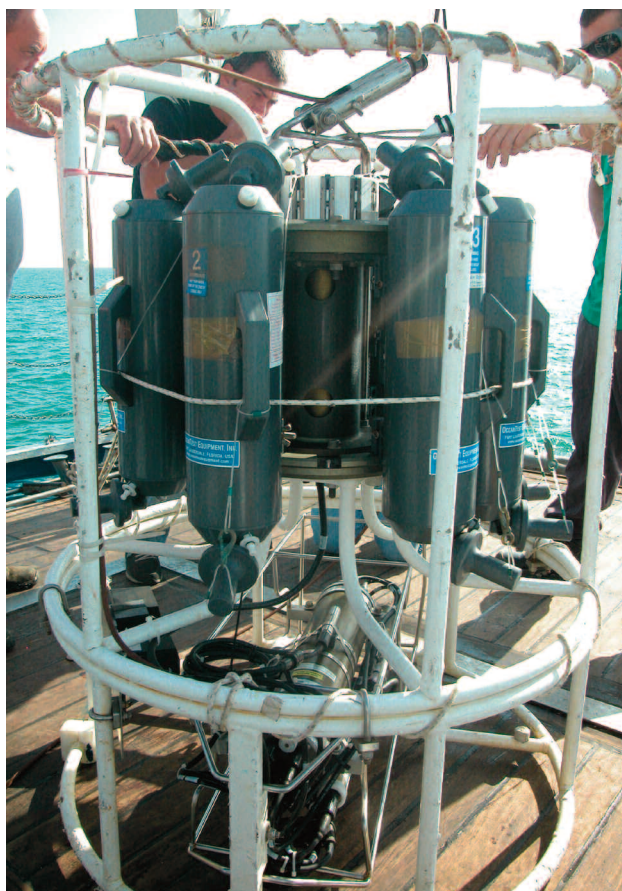


alla stagionalità e gli eventuali fenomeni “acuti” che si possono verificare in mare. Tale monitoraggio recupera informazioni sulla qualità delle acque costiere e fornisce una notevole mole di dati che, correlati a quelli biologici, permettono di comprendere meglio la biologia delle differenti specie presenti lungo la colonna d’acqua e all’interfaccia acqua-sedimento.

### 2.3.1 Metodi di campionamento ed analisi

I campionamenti d’acqua sono stati finalizzati allo studio delle associazioni viventi a Cocolitoforidi attraverso prelievi a diversa profondità. Gli strumenti campionatori utilizzati sono dotati infatti di un sistema di apertura e chiusura attivabile a profondità prescelte. I campioni d’acqua sono stati prelevati utilizzando le bottiglie Niskin installate sul frame della sonda multiparametrica a flusso controllato SBE 911 della Seabird (Fig. 15).

In ogni stazione sono state campionate un massimo di 3 quote. Durante la prima campagna di monitoraggio (I-AMICA\_2012\_01; tabella 3) si è calibrato il piano di campionamento dell’acqua prelevando campioni alle quote -5, -20 e -40 m. Successivamente si è scelto di campionare le quote -5, -15 e -30 m, risultate più idonee rispetto ai valori



**Figura 15** Bottiglie Niskin installate sulla struttura della sonda multiparametrica SBE 911.

**Figure 15** General Oceanics rosette equipped with 12 Niskin Bottles mounted on CTD SBE 911.

di torbidità, importante fattore limitante per tutto il comparto fitoplanctonico.

Per ogni quota sono stati raccolti 4 litri filtrati direttamente a bordo, utilizzando una pompa da vuoto con membrane in nitrocellulosa (diametro 47 mm) con porosità di 0.47  $\mu\text{m}$ . Terminata la filtrazione del campione si è conservato il filtro in una capsula petri sterile annotando la stazione, la profondità, la data e il volume filtrato ed asciugato in forno per 24 ore a 40°C.

### 2.3.2 Misurazione dei parametri chimico-fisici

La sonda multiparametrica permette il monitoraggio di vari parametri fisici, chimici e biologici nell’ambito di studi oceanografici della colonna d’acqua e l’individuazione di differenti masse d’acqua di diverse caratteristiche ed origini. La sonda utilizzata a flusso controllato è indispensabile per poter verificare il tempo di reazione del sensore di conducibilità e quindi poter sincronizzare le misure di temperatura e quelle di conducibilità per calcolare correttamente la salinità. I sensori installati hanno permesso di misurare valori di temperatura (C°), salinità (PSU), ossigeno disciolto (mg/l), pH e di calcolare la percentuale di attenuazione del segnale (*Beam Transmission*) traducibile in grado di trasparenza delle acque. I dati grezzi raccolti sono stati convertiti ed elaborati utilizzando il software SBE Data Processing (versione 7.21K) mentre per la rappresentazione in carta delle sezioni dei transetti campionati si è utilizzato il software Ocean Data View [Schlitzer R., 2013].

### 2.3.3 Cocolitoforidi

Il Nannoplankton calcareo rappresenta uno dei maggiori gruppi del fitoplancton marino ed è costituito quasi esclusivamente dai Cocolitoforidi, alghe unicellulari planctoniche fotosintetiche, che abitano le parti più superficiali della colonna d’acqua (soprattutto 50-100m), con concentrazioni medie comprese tra 100 e 300.000 cellule per litro, e che superano il 1.000.000 per litro durante le fasi di massima fioritura (*blooms*). I Cocolitoforidi sono distribuiti dall’ambiente pelagico a quello litorale e a tutte le latitudini, tranne a quelle superiori ai 70°N. Questi organismi fotosintetici dipendono direttamente dai parametri chimico-fisici della zona fotica (temperatura, salinità, luce e nutrienti disciolti) cosa che ne fa degli ottimi indicatori di variazioni climatiche e anche di variazioni ambientali legate alle attività dell’uomo, soprattutto in ambienti costieri. I Cocolitoforidi hanno la particolarità di sintetizzare un esoscheletro più o meno sferico, di dimensioni comprese tra 2 $\mu$  e 30 $\mu$ , chiamato Coccus, formato da un insieme di placchette di carbonato di calcio, chiamate Cocoliti, che hanno una struttura elaborata, e la loro funzione non è ancora ben chiara (Fig. 17). Le ipotesi includono: difesa contro la predazione da parte dello zooplancton, difesa contro le infezioni da batteri e virus, mantenimento del galleggiamento, rilascio di anidride

carbonica per la fotosintesi, filtro contro le dannose radiazioni ultraviolette della luce, nelle specie di profondità concentrazione della luce per la fotosintesi.

*Metodo di analisi*

Per le analisi al microscopio ottico un pezzetto di filtro, tagliato lungo il suo raggio, è stato fissato su un vetrino porta oggetto utilizzando l’adesivo della Norland Optical Adesive. La conta delle cellule è stata effettuata con un microscopio a luce polarizzatore Zeiss a 1000X (superficie di un campo visivo 0.047mm<sup>2</sup>).

La densità di cellule di Coccolitoforidi è stata calcolata usando la seguente equazione:  $CD=(A*N)/(a*v)$ , dove CD= densità cellulare (cellule/l); A= area di filtrazione totale (mm<sup>2</sup>); N= numero totale di cellule contate, a = area analizzata (mm<sup>2</sup>) e v = volume di acqua filtrata.

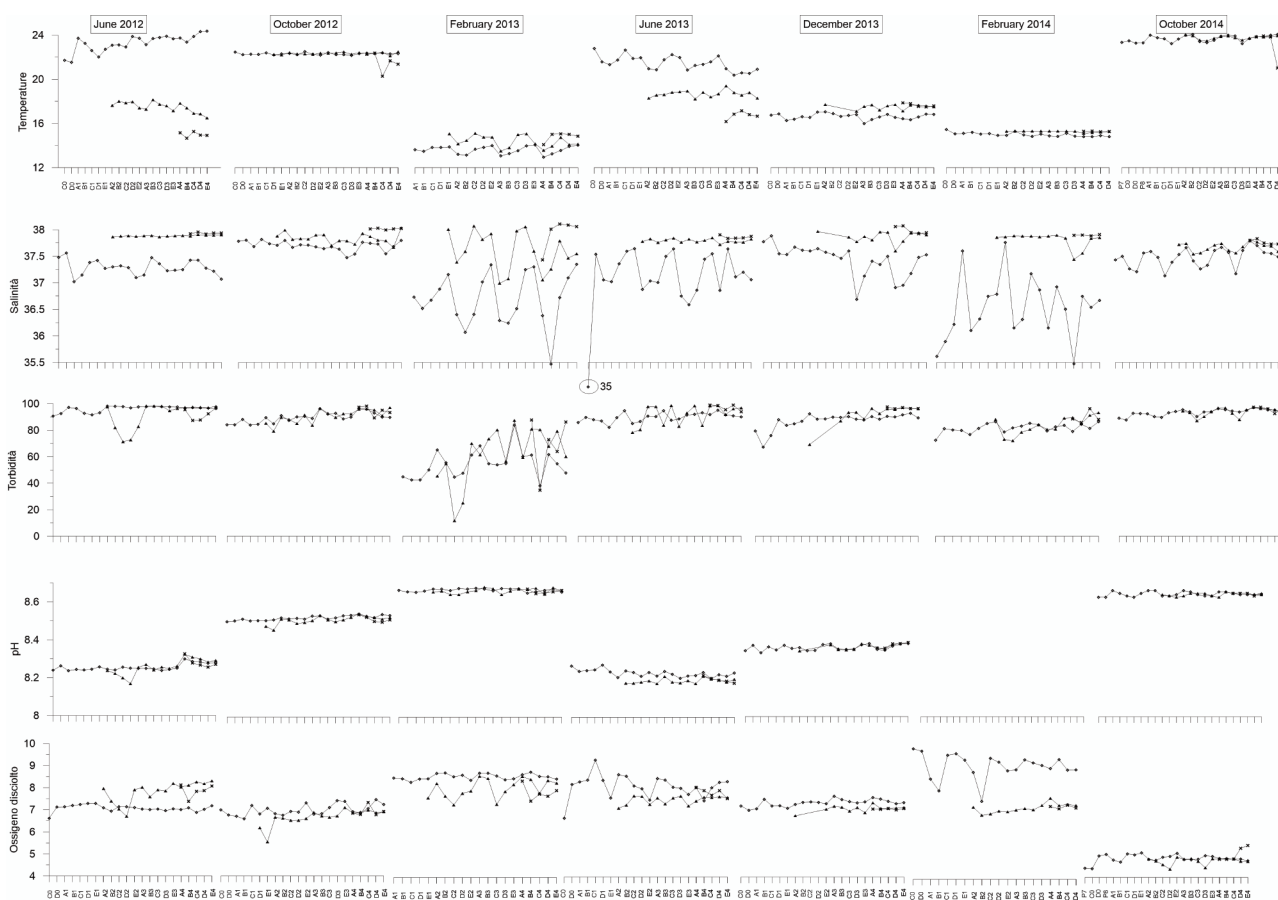
Contemporaneamente alla conta dei Coccolitoforidi viventi si è provveduto all’analisi quantitativa dei coccoliti rimaneggiati presenti in colonna d’acqua. Tale dato è direttamente proporzionale all’indice di runoff. Sono stati elaborati tutti i dati acquisiti nel corso delle campagne di monitoraggio stagionale ad eccezione dei dati della campagna I-AMICA\_2013\_3 (dicembre) a causa di un guasto al campionario d’acqua.

**2.3.4 Risultati**

*Parametri chimico-fisici*

L’analisi dei dati raccolti, nel periodo giugno 2012 - ottobre 2014, ha evidenziato il classico alternarsi di periodi a marcata stratificazione (periodo estivo) con periodi di intenso rimescolamento della colonna d’acqua (periodo invernale). Le temperature misurate sono comprese tra ~13 e ~25 C° e dai grafici si evince chiaramente come soltanto nel mese di giugno i valori di temperatura si differenziano in funzione della profondità (Fig. 16), mentre nei restanti periodi si osserva una generale omogeneizzazione di questi.

Dalle variazioni di salinità delle acque si deduce un forte controllo da parte del fiume che, in funzione delle variazioni di portata stagionale, aumenta o diminuisce l’impatto sull’ecosistema marino costiero. La “diluizione”, cioè la diminuzione dei valori di salinità indotta dal fiume, caratterizza i primi 10-15 metri della colonna d’acqua ed è chiaramente osservabile durante il mese di febbraio a causa dell’aumento della piovosità (Fig. 16). Nel mese di giugno, nonostante le ridotte precipitazioni, la stratificazione termica permette di osservare un’estensione delle acque dolci del Volturno e la loro relazione con le correnti presenti nel Golfo di Gaeta, così come già evidenziato da altri autori [De Pippo et al., 2003-2004; Iermano et al., 2012], attraverso l’alternanza nella direzione



**Figura 16** Dati stagionali CTD lungo i transetti A-B-C-D-E corrispondenti alle quote di campionamento dei Coccolitoforidi (-5m, -15m, -30m).

**Figure 16** CTD seasonal data acquired from the selected hydrographic stations across the transects A-B-C-D-E.

delle correnti costiere che deviano verso nord-ovest o verso sud-est le acque del fiume.

Il grado di torbidità, rilevato con il parametro *Beam transmission*, ha evidenziato una più o meno perenne presenza di materiale solido in sospensione che raggiunge i suoi massimi valori durante il mese di febbraio. Di particolare interesse risulta la presenza di un consistente strato di fondo (circa 5 metri) con valori di torbidità perennemente elevati. I valori di pH, misurati durante tutto il periodo di indagine, oscillano da 8.2 a 8.7 con un chiaro trend stagionale, con i valori più bassi nel mese di giugno, valori che raddoppiano ad ottobre sino ad arrivare ai più alti a febbraio. Fa eccezione

ottobre 2014, periodo in cui il pH ha raggiunto valori comparabili con quelli di febbraio 2013 (Fig. 16).

La quantità di ossigeno disciolto, modulata dalle variazioni di abbondanza dei produttori primari e dall'interscambio con l'atmosfera, presenta valori compresi tra ~6 e ~10 mg/l (Fig. 16); fanno eccezione i valori registrati durante la campagna di ottobre 2014, con densità comprese tra 4 e 5 mg/l, valori decisamente inferiori rispetto all'intero periodo di monitoraggio.

*Coccolitoforidi*

Nonostante il Mar Mediterraneo sia un mare oligotrofico, quindi piuttosto povero di nutrienti, in esso è presente una

TAXA	Gruppo ecologico*
<b>Heterococcolithophores</b>	
<i>Braarudosphaera bigelowii</i> - (Gran & Braarud, 1935) Deflandre, 1947	Ms <sup>a</sup>
<i>Calcidiscus leptoporus</i> - (Murray and Blackman, 1898) Loeblich and Tappan, 1978	Ms <sup>a</sup>
<i>Calciosolenia</i> spp. - Gran, 1912	Ms <sup>a</sup>
<i>C. brasiliensis</i> - (Lohmann, 1919) Young et al., 2003	Ms <sup>a</sup>
<i>Ceratolithus cristatus</i> - Kamptner, 1950	Ms <sup>a</sup>
<i>Coronosphaera</i> spp. - Gaarder, 1977	UPZ <sup>b</sup>
<i>C. binodata</i> - Kamptner, 1927) Gaarder, 1977	UPZ <sup>b</sup>
<i>C. mediterranea</i> - (Lohmann, 1902) Gaarder, 1977	UPZ <sup>b</sup>
<i>Discosphaera tubifera</i> - (Murray & Blackman 1898) Ostenfeld 1900	UPZ <sup>b</sup>
<i>Emiliania huxleyi</i> - (Lohmann 1902) Hay & Mohler 1967	Pb <sup>c</sup>
<i>Gephyrocapsa</i> spp - Kamptner, 1943	Pb <sup>c</sup>
<i>G. oceanica</i> - Kamptner, 1943	Pb <sup>c</sup>
<i>Helicosphaera</i> spp - Kamptner, 1954	Ms <sup>a</sup>
<i>H. carteri</i> - (Wallich, 1877) Kamptner, 1954	Ms <sup>a</sup>
<i>Pleurochrysis</i> spp. - Pringsheim, 1955	Ms <sup>a</sup>
<i>Rhabdosphaera xiphos</i> - (Deflandre & Fert, 1954) Norris, 1984	UPZ <sup>b</sup>
<i>R. clavigera</i> - Murray & Blackman, 1898	UPZ <sup>b</sup>
<i>Syracosphaera</i> spp - Lohmann, 1902	Ms <sup>a</sup>
<i>S. tumularis</i> - (Lohman, 1912) Janin, 1987	Ms <sup>a</sup>
<i>S. histrica</i> - Kamptner, 1941	Ms <sup>a</sup>
<i>S. pulchra</i> - Lohman, 1902	UPZ <sup>b</sup>
<i>Umbellosphaera tenuis</i> - (Kamptner, 1937) Paasche, 1955	UPZ <sup>b</sup>
<i>Umbilicosphaera</i> spp. - Lohmann 1902	Ms <sup>a</sup>



TAXA	Gruppo ecologico*
<b>Other calcareous taxa</b>	
<i>Thoracosphaera heimii</i> - (Lohmann, 1919) Kamptner, 1944	
<b>Holococcolithophores</b>	
Holococcolithophores spp.	UPZ <sup>b</sup>
<i>Helicosphaera carteri</i> HOL { <i>Syracolithus catilliferus</i> } - (Kamptner, 1937) Deflandre, 1952	UPZ <sup>b</sup>
<i>Scyphosphaera apsteinii</i> HOL { <i>Syracolithus schilleri</i> } - (Kamptner, 1927) Loeblich & Tappan, 1952	UPZ <sup>b</sup>
<i>Syracosphaera anthos</i> HOL { <i>Periphyllophora mirabilis</i> } - (Schiller, 1925) Kamptner, 1937	UPZ <sup>b</sup>
<i>S. pulchra</i> HOL { <i>Calyptosphaera oblonga</i> } - Lohmann, 1902	
UPZ <sup>b</sup>	

**Tabella 5** Lista delle specie di Coccolitoforidi identificate in colonna d'acqua con l'appartenenza ai gruppi ecologici: Ms, Miscellanea; UPZ, Zona Fotica Superiore; Pb, gruppo dei Placoliti [Incarbona et al., 2010].

**Table 5** List of species identified in water samples, and their assigned ecological groups: Ms, Miscellaneous; UPZ, Upper Photic Zone; Pb, Placolithbearing taxa [Incarbona et al., 2010].

\*Significato ecologico generale: <sup>a</sup>vive senza preferenza di profondità ed all'interno di un ampio intervallo di preferenze ecologiche; <sup>b</sup>Taxa con strategia di vita K, specializzati a vivere in acque superficiali calde subtropicali e in grado di sfruttare un minimo flusso di nutrienti; <sup>c</sup>Taxa con strategia di vita r in grado di sfruttare rapidamente la disponibilità di nutrienti, considerati indicatori di elevate condizioni di produttività.

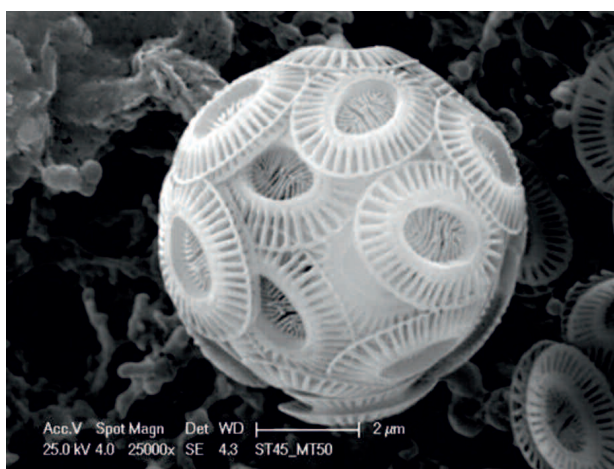
\*Overall ecological significance: a without a certain (known) depth preference and within a wide range of ecological preferences; b K-strategist taxa, specialized to live in warm subtropical surface waters and to exploit a minimum flux of nutrients; c r-strategist taxa which rapidly exploit the availability of nutrients, proxy for high productivity conditions.

grande biodiversità e circa il 28% delle specie presenti sono endemiche di questo mare. Tutto ciò è dovuto principalmente alla presenza di habitat diversificati che favoriscono l'insorgenza di nicchie ecologiche ma anche alle condizioni idrologiche e climatiche proprie di questo bacino. Un'eccezione alla condizione oligotrofica si riscontra nei pressi delle foci di alcuni grandi fiumi che vi affluiscono, dal Nilo al Rodano, dall'Ebro al Po, che sulle coste del Mediterraneo con i loro delta formano ecosistemi ben definiti. Il fiume Volturno non fa eccezione così come la biocenosi a Coccolitoforidi viventi in prossimità del suo estuario, ben rappresentata con una distribuzione spaziale chiaramente condizionata sia da fattori oceanografici locali che stagionali, entrambi modulati dalla presenza del fiume. Il numero di specie identificate (Tab. 5) ed i valori di densità registrati durante le campagne sono chiaramente correlati alle stagioni di campionamento.

L'associazione è dominata dalla specie *Emiliania huxleyi* (Fig. 17 e 18), taxon opportunist a strategia di vita r, che presenta i suoi massimi valori durante il mese di ottobre (2012-2014). Seguono in abbondanza gli Holococcolithophores, la *Syracosphaera pulchra* e la *Rhabdosphaera xiphos*, tipiche specie caratteristiche della parte sommitale della zona fotica, abbondanti soltanto nei mesi estivi, con strategia di vita K (Fig. 18). Di particolare interesse si è rivelata la distribuzione

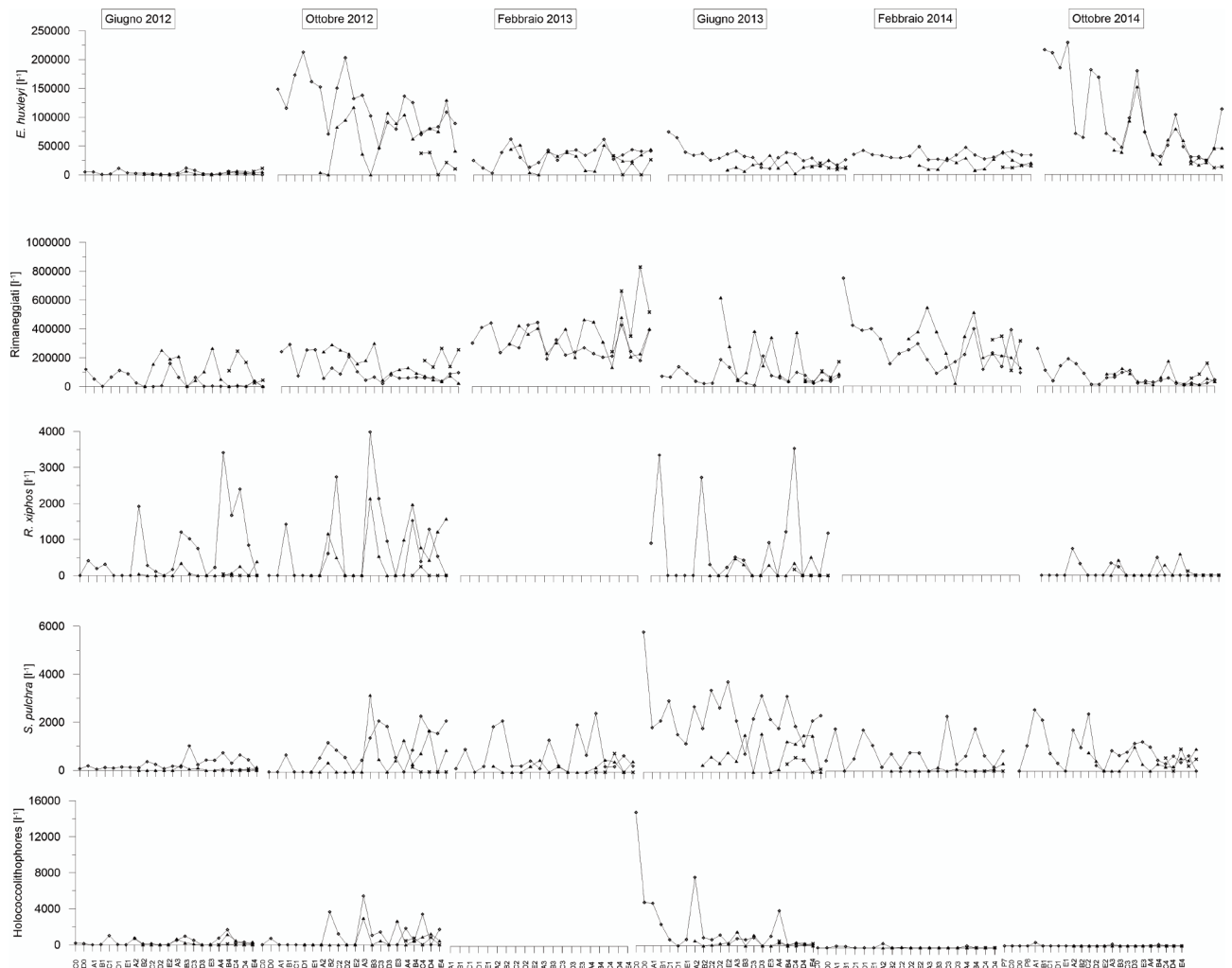
areale della *R. xiphos*, distribuzione fortemente anticorrelata con gli apporti provenienti dal fiume Volturno.

Tale risultato è avvalorato non solo dai dati CTD ma anche dai valori di abbondanza dei coccoliti rimaneggiati, presenti in colonna d'acqua, e strettamente correlati al *runoff* del fiume [Bonomo et al., 2014].



**Figura 17** Coccosfera di *Emiliania huxleyi*, specie vivente dominante nell'area in studio (diametro 7  $\mu$ m).

**Figure 17** *Emiliania huxleyi* coccosphere, living species dominant in the study area (diameter 7  $\mu$ m).



**Figura 18** Distribuzione dei principali taxa di Coccolitoforidi identificati in colonna d'acqua (sulle ascisse le stazioni di campionamento; sulle ordinate i valori di abbondanza espressi in n° di coccoliti per litro).

**Figure 18** Distribution of the main living coccolithophores in the water column (sampling stations on the x axis; abundance values on the ordinate axis - n° coccoliths per liter).

Dall'analisi dell'indice di biodiversità Shannon-H (Fig. 19), si evince un graduale e costante impoverimento dell'associazione a Coccolitoforidi con una sempre più marcata dominanza della specie *E. huxleyi* a discapito delle altre. Tale trend può essere correlato all'aumento del particolato in sospensione (torbidità "Beam trasmission") proveniente dal bacino del fiume Volturno. Infatti, ad eccezione di *E. huxleyi*, i Coccolitoforidi risultano particolarmente sensibili alle variazioni d'intensità della luce ovvero al fattore che ne regola la penetrazione lungo la colonna d'acqua (torbidità).

#### 2.4 Il monitoraggio stagionale dei sedimenti marini

Lo studio dei fondali marini e l'analisi delle caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti riveste una notevole importanza nella valutazione dell'ambiente marino. I sedimenti, infatti, possono svolgere un ruolo di trasporto diretto dei contaminanti e possono inoltre fungere da

ricettacolo transitorio e definitivo degli stessi. Inoltre i livelli sedimentari più superficiali sono sede di un complesso sistema ecologico, quali le comunità bentoniche e le praterie a *Posidonia oceanica*, che possono essere comparati a "registratori" che "memorizzano" il mutarsi delle condizioni ambientali, agendo come memoria dell'aggressione o disturbo a cui la colonna d'acqua e i fondali sono stati sottoposti [e.g. Ros and Cardell, 1991]. In particolare il comparto microfaunistico rappresenta un importante serbatoio di biodiversità ed ha un ruolo fondamentale nell'equilibrio degli ecosistemi [e.g. Danovaro, 2000]. La maggiore e pressoché immediata reattività e suscettibilità espresse in intervalli temporali (da qualche settimana a qualche mese) del meiobenthos, nei confronti di variegate tipologie di stress ambientale, possono essere utilizzate per una valutazione dello stato dei sedimenti a fondo mare [Coccioni et al., 2003]. Nell'ambito delle comunità meiobentoniche i foraminiferi, per le loro caratteristiche autoe-

cologiche, vengono sempre più utilizzati per programmi di monitoraggio finalizzati sia a evidenziare sintomi di degrado dell'habitat marino sia per attestare l'efficacia di progetti di ripristino [vedi Debenay et al., 1996]. Nell'area di studio sono state analizzate anche le associazioni a nannofossili calcarei poiché la loro abbondanza e distribuzione areale fornisce indicazioni sulla dinamica delle correnti, del trasporto e della dislocazione dei sedimenti, del flusso e della quantità di materiale terrigeno così da risultare utili per studi paleoclimatici delle aree soggette all'influenza del fiume Volturno.

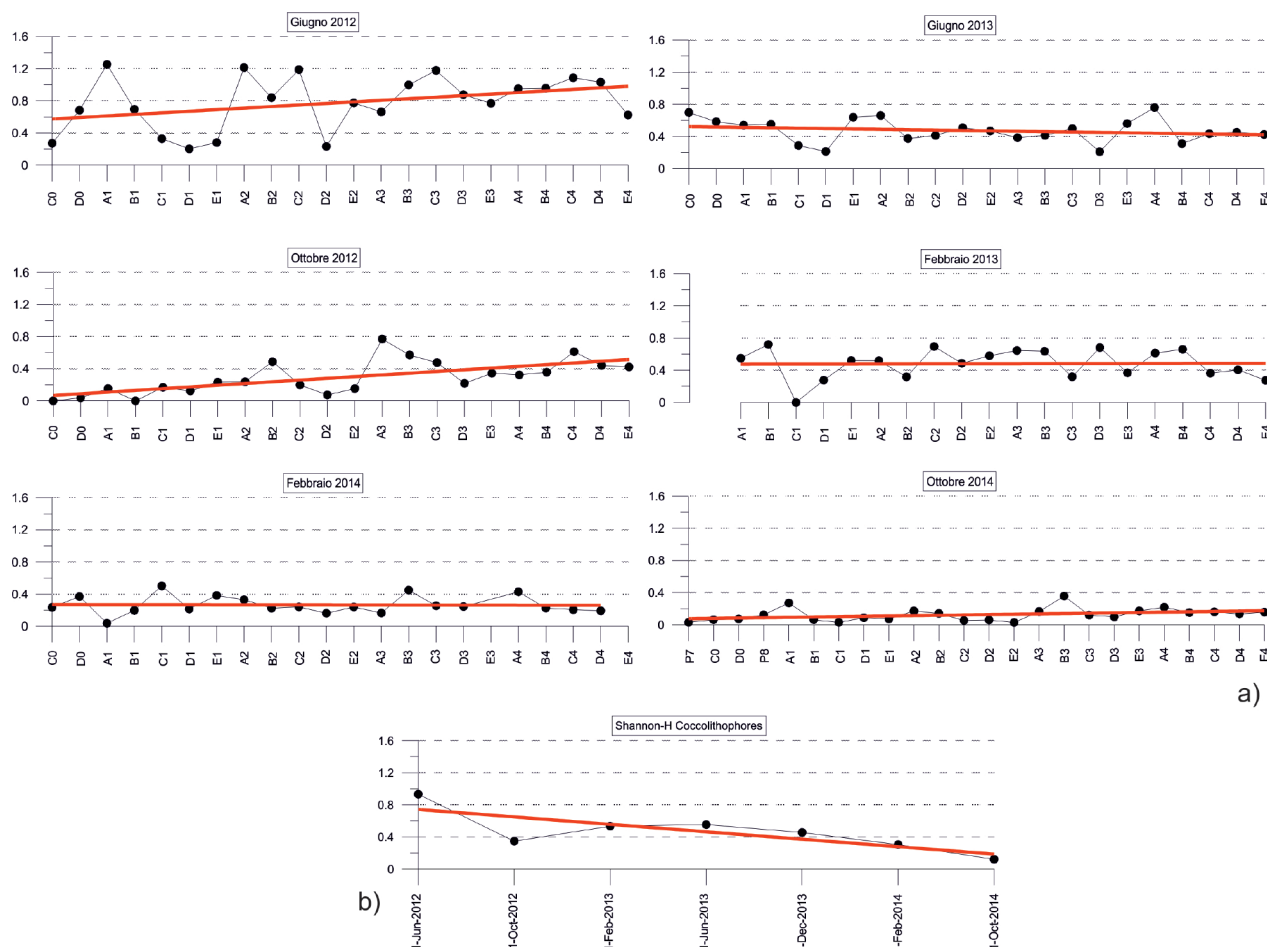
Al fine di avere un quadro esaustivo delle condizioni al fondo mare è stata realizzata una caratterizzazione chimico-fisica e geochemica dei sedimenti. Sulla base delle conoscenze sul comportamento chimico di alcuni analiti in ambiente marino e sulla base della scarsa variabilità stagionale di concentrazione della maggior parte dei microinquinanti per l'area di studio, le analisi geochemiche sono state eseguite solo su un numero selezionato di campagne di monitoraggio stagionale (vedi par. 2.4.2).

### 2.4.1 Metodi di campionamento e modalità di prelievo

Come strumento di campionamento è stato utilizzato il box-corer che permette di ottenere un ampio volume di sedimentazione con una profondità di penetrazione di circa 30 cm e di avere il minimo disturbo per il campionamento all'interfaccia acqua-sedimento, così da preservare le caratteristiche al fondo mare, importanti per le indagini quantitative del meio-benthos e del macro-benthos e dei processi geochemici. Infatti date le modalità di campionamento e di recupero, il campione, ed in particolare la sua parte centrale, può essere considerato indisturbato.

Su tutti i campioni di sedimento prelevati sono stati misurati, per ogni livello campionato: T°, pH e Eh. Per ogni stazione di campionamento sono stati prelevati i seguenti sub-campioni:

- livello superficiale (0-1 cm): 4 campioni per analisi della microfauna e microflora (3 campioni per analisi foraminiferi bentonici e 1 campione per analisi nannofossili calcarei) – 1 campione per analisi granulometriche;



**Figura 19** a) Indice di biodiversità (Shannon-H) calcolato per le campagne di monitoraggio stagionale per stazione di campionamento, da terra verso mare; b) indice di biodiversità medio calcolato per l'intera area in esame per le 7 campagne di monitoraggio.  
**Figure 19** a) Biodiversity index (Shannon-H) calculated for sampling station, from the ground to the sea; b) average of biodiversity index calculated for the study area for the 7 monitoring campaigns.

- livello 0-10 cm: 2 campioni per analisi geochimiche (campagne I-AMICA\_2012\_01, I-AMICA\_2013\_01 e I-AMICA\_2014\_02) – 1 campione per analisi granulometriche;
- livello 10-25 cm: 2 campioni per analisi geochimiche (campagne I-AMICA\_2012\_01, I-AMICA\_2013\_01 e I-AMICA\_2014\_02) – 1 campione per analisi granulometriche (questo livello è stato campionato solo nel corso della campagna I-AMICA\_2012\_01);
- 1 carotina di sedimento di 25 cm per analisi ad alta risoluzione per lo studio della distribuzione del plancton calcareo (campionata solo per la campagna I-AMICA\_2012\_01).

Il prelievo ed il campionamento dei sedimenti per le analisi micropaleontologiche sui foraminiferi bentonici è stato eseguito in conformità con le raccomandazioni dettate dal Protocollo FOBIMO [Schönfeld et al., 2012].

#### 2.4.2 Analisi geochimiche

Per raggiungere o mantenere il buono stato chimico delle aree marino-costiere, le Regioni devono applicare, per alcune sostanze dannose per l'uomo e per l'ambiente circostante, degli standard di qualità ambientali così come riportati nel decreto D.Lgs 152/2006 sulle norme in materia ambientale. In particolare, lo studio degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) in ambienti costieri riveste grande importanza poiché tali aree sono biologicamente attive e ricevono notevoli immissioni di inquinanti attraverso scarichi costieri che minacciano le risorse biologiche. I PolichloroBifenili (PCB) e i Pesticidi OrganoClorurati (OCP), invece, rivestono un ruolo più pericoloso in quanto persistono nell'ambiente e nel corpo umano a causa di una elevata stabilità e scarsa reattività con altre molecole organiche. Essi, infatti, sono ampiamente diffusi, soggetti a trasporto su lunghe distanze, e tendono al bioaccumulo provocando un'ampia gamma di effetti tossici. Gli inquinanti inorganici invece, come gli elementi maggiori, minori ed in tracce (cui fanno parte i cosiddetti metalli pesanti) possono essere introdotti nei sistemi acquatici come conseguenza di molteplici processi sia naturali (ad es. erosione continentale, eruzioni vulcaniche) che antropici. Sebbene basse concentrazioni di molti elementi siano necessarie per lo sviluppo delle attività metaboliche degli organismi viventi, viceversa alte concentrazioni possono risultare tossiche. Esistono, tuttavia, alcuni elementi definiti non essenziali, quali Cadmio, Mercurio, Nichel e Piombo, che non hanno un ruolo riconosciuto nei sistemi biologici e mostrano un'azione tossica anche a basse concentrazioni, rappresentando un alto rischio per la salute dell'uomo e degli organismi animali e vegetali.

Per l'area di studio è stata scelta la determinazione analitica di IPA (14 congeneri), PCB (19 congeneri) e OCP (19 congeneri) su di un numero selezionato di campioni di sedimento marino

nonché il contenuto in elementi maggiori, minori ed in tracce (Al, Fe, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sr, V e Zn). Considerato che l'area di campionamento è prospiciente una foce fluviale, si è deciso di aggiungere alla lista di composti organici ritenuti prioritari dalle autorità nazionali e comunitarie anche il perilene. La presenza di questo composto, un IPA di gruppo 3 [IARC, 1997] “non classificabile come cancerogeno per l'uomo”, in ambiente marino può dare informazioni circa l'origine pirolitica (dovuta a combustione incompleta ad alte temperature di sostanza organica) o diagenetica (per degradazione in situ di precursori biogenici) dei composti analizzati e spesso si ritrova associato ad immissioni in ambiente marino da parte di fiumi. Alcuni studi suggeriscono, infatti, che concentrazioni di perilene superiori al 10% rispetto al totale degli isomeri penta aromatici è indice di una probabile origine diagenetica, mentre concentrazioni inferiori al 10% di una probabile origine pirolitica di tale composto [La Flamme and Hites, 1978; Venkatesan, 1988; Baumard et al., 1998].

Per tutti i campioni prelevati è stato valutato il contenuto di materia organica totale (definito come TOC, Total Organic Matter) espresso in percentuale e utile per valutare il possibile effetto di adsorbimento di microinquinanti e il contenuto di azoto totale (espresso come TN, Total Nitrogen).

#### Metodi di preparazione

I campioni per le analisi geochimiche sono stati opportunamente omogeneizzati e conservati a  $-20^{\circ}\text{C}$  sino all'arrivo in laboratorio dove sono stati dapprima essiccati in stufa a  $30^{\circ}\text{C}$ , poi passati al vaglio dei 2mm, polverizzati ed infine conservati in contenitori in HDPE con sotto tappo a una temperatura di  $4^{\circ}\text{C}$ . Un'aliquota di ciascun campione è stata destinata alla determinazione del peso secco del campione (evaporazione a  $105^{\circ}\text{C}$ ) mentre la restante parte è stata utilizzata per le analisi geochimiche.

Le sezioni di seguito riportate illustrano le metodologie di preparazione e le tecniche analitiche adottate.

#### Determinazione analitica di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), PolichloroBifenili (PCB) e Pesticidi OrganoClorurati (OCP)

La determinazione dei composti organici selezionati è stata effettuata mediante 3 fasi di lavorazione:

- 1) estrazione mediante estrattore accelerato con solvente mediante ASE 200 della ditta Dionex-ThermoFisher (Metodo EPA 3545A: *pressurized fluid extraction*);
- 2) purificazione per mezzo di tecnica SPE: per PCB e OCP è stato utilizzato il metodo EPA 3620C: *Florisil clean up*. Per gli IPA è stato utilizzato il metodo EPA 3630C: *Silica gel clean up*);
- 3) analisi quali-quantitativa mediante gascromatografia accoppiata a spettrometria di massa (EPA 8270D – *semi-volatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry GC\_MS*) per la determinazione di IPA, mentre per i PCB e gli OCP è stato stati determinati per

mezzo di spettrometria di massa Ion Trap in modalità MS-MS.

La procedura fin qui descritta ha previsto l'aggiunta al campione, in fase di preparazione, di uno standard di estrazione (SS) e in fase di analisi di uno standard interno (IS) al fine di monitorare i valori del recupero dei diversi analiti nelle varie fasi di lavoro.

Il riconoscimento e la quantificazione dei singoli congeneri ricercati sono basati sul confronto dei tempi di ritenzione dei picchi del cromatogramma ottenuto dall'analisi dell'estratto organico e dell'identificazione del loro rapporto m/z.

La determinazione quantitativa è stata effettuata mediante retta di calibrazione a 5 punti. Si fa presente che per ciò che concerne la somma dei congeneri di PCB è stata utilizzata la modalità lower bound ovvero si è supposto che il contributo di ogni congenere non rilevabile sia pari a zero. Lo standard di matrice utilizzato per verificare le prove di recupero e l'affidabilità delle misure è stato lo Standard Reference Material 1941b – "Organics in marine sediment" – National Institute of Standard & Technology.

Nella Tabella 6 sono riportati i congeneri delle varie famiglie di inquinanti organici analizzati.

Famiglia	Congeneri
<b>Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)</b>	Fenantrene - Antracene - Fluorantene - Pirene - Benzo(a)antracene - Crisene - Benzo(b)fluorantene - Benzo(k+j)fluorantene - Benzo(e)pirene - Benzo(a)pirene - Perilene - Indeno(123cd)pirene - Benzo(ghi)perilene - Dibenzo(ah)antracene
<b>Policlorobifenili (PCB)</b>	Come sommatoria dei congeneri: PCB-28, PCB-52, PCB-77, PCB-81, PCB-101, PCB-114, PCB-123, PCB-105, PCB-167, PCB-170, PCB-118, PCB-126, PCB-128, PCB-138, PCB-153, PCB-156, PCB-169, PCB-189 e PCB-180
<b>Pesticidi Organoclorurati (OCP)</b>	$\alpha$ -esaclorocicloesano - $\beta$ -esaclorocicloesano - $\gamma$ -esaclorocicloesano (Lindano) - Aldrin - Dieldrin - DDD, DDE, DDT (come somma degli isomeri 2,4 e 4,4) - Eptacoloro - Eptacoloro epossido - Ossiclordano - Cis-clordano - Trans-clordano - Trans-nonacloro - cis-nonacloro - Eldrin Mirex - Metossicloro - Esaclorobenzene

**Tabella 6** Elenco dei singoli congeneri di IPA, PCB e OCP determinati nei sedimenti marini.

**Table 6** List of single PAH, PCB and OCP congeners analysed in marine sediments.

*Determinazione analitica di elementi maggiori, minori ed in traccia* (Al, Fe, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sr, V e Zn)

La determinazione analitica degli elementi selezionati è stata effettuata mediante l'adozione di un metodo di attacco totale del campione (EPA 3052). Per la digestione totale dei sedimenti è stato utilizzato il forno a microonde focalizzate MARS XP-1500 plus tramite una procedura a doppio step. La prima fase di digestione consiste nella disgregazione totale del campione con l'aggiunta di una miscela acida (HNO<sub>3</sub>, HCl e HF) mentre la seconda fase consiste nel tamponamento dell'acido fluoridrico con l'aggiunta di una soluzione al 4% di acido bórico.

L'analisi degli elementi è stata effettuata tramite utilizzo di spettrometro ad emissione atomica accoppiato a plasma indotto ICP-AES [Metodo EPA, 6010C]. La tecnica di quantificazione è stata quella dello standard esterno con curve di calibrazione a 5 punti mentre lo standard di matrice utilizzato per verificare le prove di recupero e l'affidabilità delle misure è stato il PACS-2 "Marine sediment Reference Materials for trace Metals and other Constituents" (Esquimalt harbour) - National Research Council Canada.

*Determinazione di Carbonio Organico Totale (TOC) e Azoto Totale (TN)*

Il metodo analitico utilizzato è quello riportato in "Metodologie Analitiche di Riferimento" [ICRAM, 2001]. Un'aliquota di circa 25 mg di campione di sedimento viene prelevata (pesata con la precisione di 0.1 mg), acidificata con 1M di HCl e posta in stufa a 60°C. Il campione così preparato è inserito all'interno dell'Analizzatore Elementare con un flusso di He di 300 ml/min e di ossigeno di 250 ml/min. La temperatura del forno di combustione e di ossidazione dell'analizzatore è stata rispettivamente di 1020 e 650°C. Il 30% dei campioni è stato ripetuto almeno 2 volte per verificare la riproducibilità dei valori con un errore associato sulla singola misura del  $\pm 5\%$ . Inoltre, ogni 8 campioni è stato misurato uno standard di riferimento (Acetanilide - N:C 10.6%:71.2%). La tecnica utilizzata per la quantificazione del carbonio organico totale e dell'azoto totale nei campioni è quella dello standard esterno con retta di calibrazione a 5 punti. Lo standard di matrice utilizzato per verificare le prove di recupero e l'affidabilità delle misure è stato lo Standard Reference Material 1941b – "Organics in marine sediment" – National Institute of Standard & Technology.

Per la rappresentazione grafica della distribuzione quantitativa stagionale del TOC è stata utilizzata la tecnica dell'interpolazione spaziale attraverso il software ArcGis 9.3; i dati per ogni singolo campione sono riferiti alla percentuale di sostanza organica presente nel campione.

### 2.4.3 Foraminiferi bentonici

I Foraminiferi (regno Protista, phylum Sarcodina, superclasse Rizopoda, classe Granuloreticulosa, ordine



Foraminiferida) sono un gruppo di organismi unicellulari distribuiti in tutti gli ambienti acquatici, in grado di adattarsi sia agli ambienti dulcicoli che a quelli marini anche con forti variazioni di salinità, ossigenazione e pH. Per la loro ampia distribuzione e la loro abbondanza sono tra i componenti più importanti nello studio dei sedimenti marini. In base al loro modo di vita si dividono in planctonici e bentonici; i primi vivono sospesi nelle masse d'acqua di tutti gli oceani e mari a profondità variabile, mentre i secondi vivono sul fondo del mare nei primi centimetri di sedimento (organismi infaunali), nella parte superiore del sedimento (epifaunali), o anche attaccati alla vegetazione marina (forme epifite).

L'abbondanza e la distribuzione dei foraminiferi bentonici è influenzata da diversi parametri ambientali (temperatura, salinità, batimetria, tipologia del fondale in cui vivono, materia organica, nutrienti, ossigeno disciolto, ecc.) e dalla presenza di sostanze inquinanti presenti nei sedimenti, in particolare nelle aree marino-costiere sottoposte ad elevata pressione antropica [Alve, 1991; Yanko and Flexer, 1991; Coccioni et al., 2003; Burone et al., 2006]. Poiché nei sedimenti i foraminiferi sono molto più abbondanti di tanti altri organismi marini, nel corso degli ultimi dieci anni, si è molto diffuso nella comunità scientifica il loro uso in studi sulla valutazione della qualità ambientale di aree marino-costiere [Murray, 1991; Alve, 1995; Scott et al., 2005].

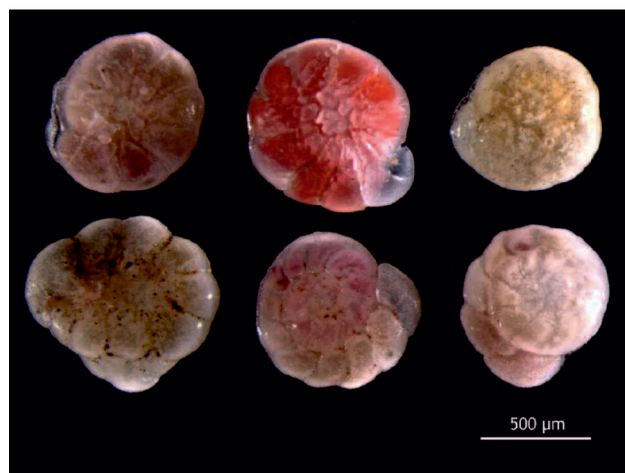
Le variazioni dei parametri ambientali e la presenza di inquinanti nei sedimenti possono influenzare sia la distribuzione che la composizione e la struttura delle associazioni a foraminiferi bentonici come ad esempio l'incremento di poche specie opportuniste. È stato inoltre riscontrato come, in aree soggette ad elevato stress ambientale, singoli individui possano essere affetti da anomalie morfologiche del guscio e la dimensione degli stessi possa essere sensibilmente ridotta [Yanko et al., 1999]. Quindi, sulla base di tali caratteristiche è possibile ottenere utili indicazioni sullo stato delle condizioni ambientali che caratterizzano un particolare ecosistema. Inoltre, confrontando i modelli di distribuzione delle singole specie con quelli degli elementi inquinanti è, talvolta, possibile individuare alcuni taxa che possono essere considerati *bio-indicatori*, in quanto mostrano un preciso segnale in corrispondenza di un determinato tipo di inquinamento.

Nel corso dell'ultimo decennio numerosi studi hanno confermato la validità di tali organismi come strumento nel monitoraggio ambientale [Barras et al., 2014; Armynot du Châtelet et al., 2004; Bergamin et al., 2009; Romano et al., 2009].

#### Metodo di campionamento ed analisi

L'indagine è stata svolta sui 22 campioni di sedimento raccolti nel corso delle 7 campagne di monitoraggio stagionale (vedi par. 2.4.1). I campioni sono stati prelevati e trattati seguendo il protocollo metodologico FOBIMO [Schönfeld et al., 2012]. Al fine di studiare le associazioni viventi ogni campione è stato sottoposto ad osservazione al microscopio

binoculare (Leica MZ6) e solo gli individui con una chiara colorazione rosa (o rossa a seconda della specie) in tutte o solo nelle ultime camere, sono stati considerati come fauna vivente (Fig. 20). Successivamente gli individui raccolti per ogni campione sono stati archiviati in slide micropaleontologiche e classificati tassonomicamente. Data la scarsa abbondanza di individui per ogni campione si è presa in esame tutta la frazione ottenuta dal lavato contando tutti gli individui viventi presenti.



**Figura 20** Esemplari della specie di foraminifero bentonico *Ammonia beccarii* (Linneo); al centro un individuo vivo colorato con Rosa Bengala.

**Figure 20** Living and dead specimens of the benthic foraminiferal species *Ammonia beccarii* (Linneo).

Sulle associazioni rinvenute per singola campagna stagionale è stato calcolato l'indice biotico Shannon-Weaver index (H) o indice di biodiversità. Tale indice è basato sul numero di individui e sul numero di taxa, il suo valore può variare tra  $\sim 0$  (comunità dominata da un singolo taxa) a valori più alti, i quali indicano una comunità con molti taxa equamente rappresentati. Tale indice viene usato per misurare gli effetti della qualità dell'habitat sia in condizioni fisiologicamente normali, che deviate o soggette a inquinamento. Negli studi di carattere ambientale è ampiamente diffuso l'utilizzo di sistemi informatici geografici, in particolare allo scopo di mappare la distribuzione quantitativa stagionale dei foraminiferi a fondo mare è stata utilizzata la tecnica dell'interpolazione spaziale attraverso il software ArcGis 9.3.

#### 2.4.4 Nannofossili calcarei

I Coccoliti vengono dispersi nel mare in seguito alla morte dei Coccolitoforidi (vedi par. 2.4.2) con la conseguente rottura della Cocosfera (o durante i periodi di massima fioritura perché prodotti in sovrannumero), affondano lungo la colonna d'acqua e si depositano sul fondo del mare. Dopo la sedimentazione e l'accumulo sul fondo sono soggetti a quei pro-

cessi che portano alla loro fossilizzazione. I fossili di Coccolitoforidi sono chiamati Nannofossili calcarei.

I rapidi cambiamenti evolutivi e la straordinaria abbondanza con cui si ritrovano nei sedimenti marini rende i nannofossili calcarei ideali sia per la datazione ad alta risoluzione dei sedimenti marini che per lo studio delle variazioni climatiche del passato più remoto. Inoltre la distribuzione nel tempo e nello spazio di esemplari rimaneggiati, che di solito disturbano il segnale biostratigrafico, può fornire utili informazioni circa la dinamica delle correnti, del trasporto e della dislocazione dei sedimenti, del flusso e della quantità di materiale terrigeno così da risultare utile per studi paleoclimatici di aree di piattaforma continentale in particolare soggette all'influenza dei fiumi.

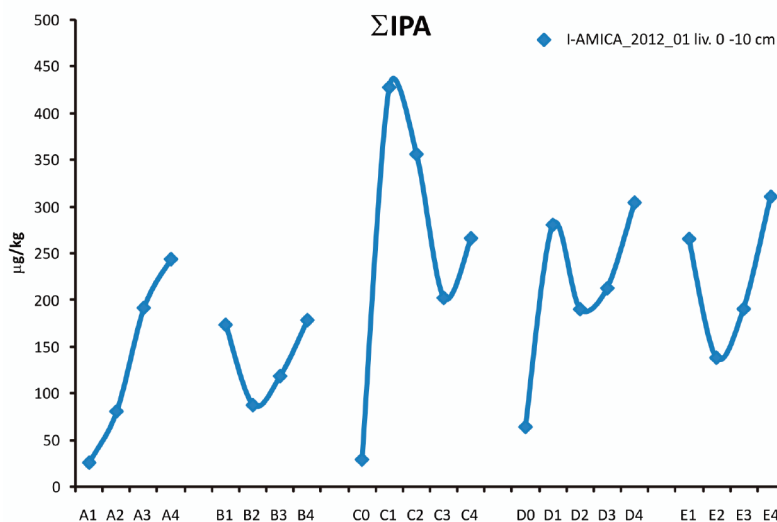
#### Metodo di campionamento ed analisi

Nel corso delle campagne di monitoraggio stagionale, in tutte le stazioni campionate sono stati prelevati campioni di sedimento per lo studio delle associazioni a nannofossili calcarei. I 158 campioni analizzati sono stati prelevati nei primi 0,3 cm di sedimento nella parte superficiale del campione prelevato con box-corer. Per effettuare l'analisi sono stati preparati dei vetrini secondo il metodo standard *smear slide* descritto da Bown [1998], quindi è stata eseguita un'analisi semi-quantitativa, osservando i vetrini con un microscopio a luce polarizzata a 1250 ingrandimenti. L'abbondanza delle specie in posto è stata valutata su 300 coccoliti in posto (cioè appartenenti ai Coccolitoforidi viventi nella colonna d'acqua soprastante) ed espressa in percentuale. L'abbondanza delle specie rimaneggiate (cioè di quelle specie appartenenti ad intervalli stratigrafici più vecchi delle specie attuali ma con evidenti segni di dissoluzione e/o ricristallizzazione degli elementi tassonomici principali, e trasportati nell'area di studio dal fiume Volturno) è stata valutata sul totale dei coccoliti/nannoliti identificati nel conteggio dei 300 coccoliti in posto.

#### 2.4.5 Risultati

##### Geochimica dei sedimenti

Le concentrazioni di tutti gli analiti sono risultate al di sotto dei valori richiesti dalla normativa vigente in Italia e in particolare dal D.Lgs 152/2006 parte III Tab. 2/A (Standard di qualità nei sedimenti). In particolare la determinazione analitica degli IPA, è stata eseguita sulle campionature relative a due campagne di monitoraggio ambientale sul livello corrispondente ai primi 10 cm di sedimento campionato per



**Figura 21** Grafico riportante la distribuzione degli IPA (espressi come sommatoria di 14 congeneri) analizzati durante la campagna I-AMICA\_2012\_01. **Figure 21** Distribution of IPA analyzed in surface sediment during cruise I-AMICA\_2012\_01 (sampling stations are reported on the x axis while  $\Sigma$ IPA expressed in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  are reported on the y axis).

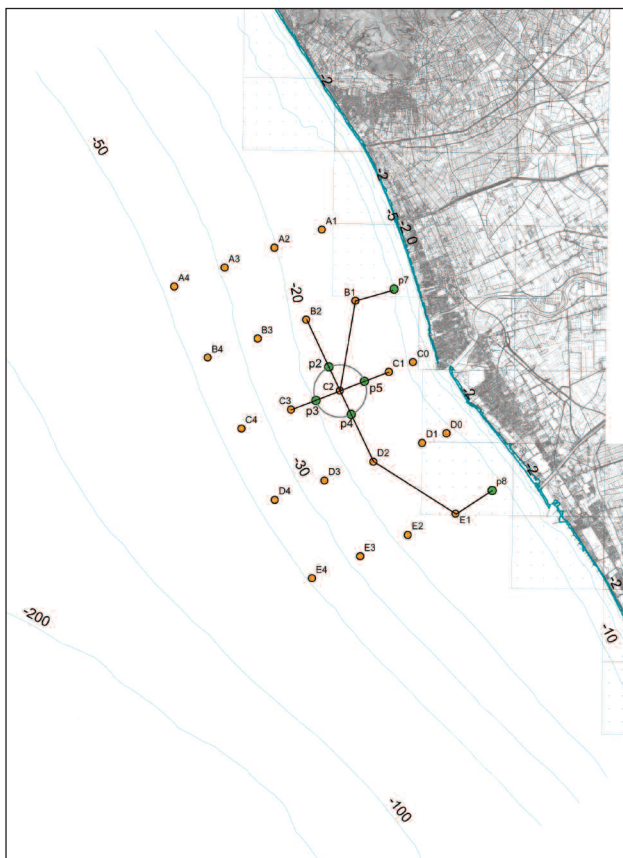
mezzo di box-corer. Per la prima campionatura (campagna I-AMICA\_2012\_01) la sommatoria degli IPA mostra un intervallo di concentrazione che varia da 26.6 microg/kg sino a 427.4 microg/kg (Fig. 21; Appendice 2).

Sulla base delle indicazioni fornite da tali risultanze analitiche, ed in particolare per la maggiore concentrazione del perilene rispetto agli altri analiti, nel corso della campagna I-AMICA\_2014\_02 è stata eseguita una campionatura di dettaglio (Fig. 22) ad integrazione della maglia di campionamento di base (Fig. 2). Sono stati pertanto acquisiti 4 campioni P2, P3, P4 e P5, nell'intorno della stazione C2 ed aggiunti altri due punti di prelievo sotto costa (P7 e P8) rispettivamente a nord e a sud della foce del fiume Volturno.

I risultati ottenuti per questa campionatura mostrano valori della somma degli IPA che variano tra 18.3 microg/kg e 340.1 microg/kg (Appendice 2). In particolare, i punti P2, P3, P4 e P5 confermano la presenza di una maggiore concentrazione della somma di IPA rispetto all'intorno del punto C2, mentre nella campionatura d'integrazione sotto costa in prossimità della foce, si registrano valori molto bassi.

La presenza in quantità considerevoli di perilene nei campioni analizzati, ha dato una prima indicazione sull'origine e la distribuzione del materiale organico riscontrato nell'area di studio. Ad una prima analisi si potrebbe pensare che, l'origine di questo congenere non tossico, possa essere diagenica ed avere origine dal materiale proveniente dal fiume Volturno dove la presenza di microorganismi (batteri, funghi, etc.) o anche piante ed insetti, degrada molecole-precursori fino alla sintesi del perilene [Grice et al., 2009]. Questo potrebbe essere un punto di partenze per un'analisi più





**Figura 22** Ubicazione delle stazioni di campionamento P2, P3, P4, P5, P7 e P8 acquisite nel corso della campagna I-AMICA\_2014\_02 ad integrazione della maglia di campionamento di base (Fig. 2).

**Figure 22** Location map of the stations P2, P3, P4, P5, P7 and P8 acquired during cruise I-AMICA\_2014\_02 as integration of the first sampling cruise (Fig. 2).

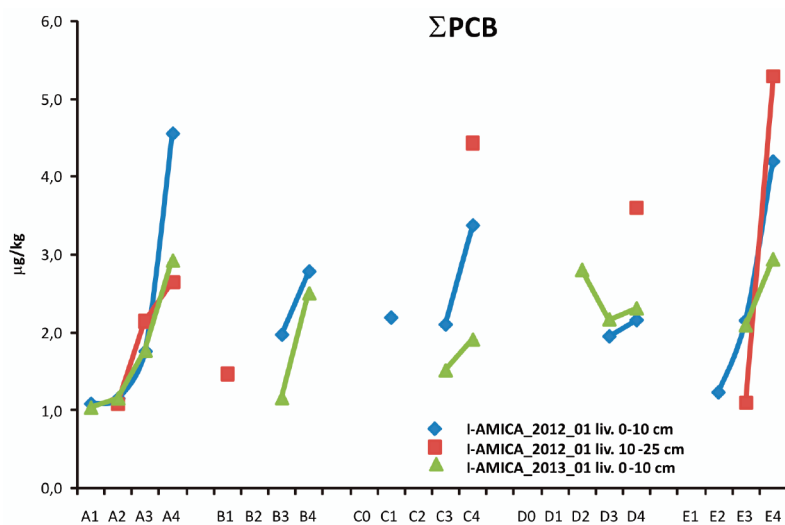
somma dei PCB risulta inferiore ad 1 microg/kg. Per gran parte dei campioni del livello 10-25 cm la somma dei PCB risulta inferiore ad 1 microg/kg, mentre la restante parte mostra concentrazioni paragonabili a quelle del livello superiore. Fanno eccezione i campioni C4, D4 e E4 per i quali la somma dei PCB è maggiore rispetto a quella del livello superiore. La variazione di concentrazione evidenziate, tuttavia, sono imputabili alla sensibilità strumentale piuttosto che a reali cambiamenti delle condizioni ambientali.

Nella campagna I-AMICA\_2013\_01 è stato analizzato solo il livello 0-10 cm per il quale la somma dei PCB risulta compresa 1.04 microg/kg e 2.93 microg/kg. Complessivamente le due campagne di monitoraggio ambientale non presentano rilevanti variazioni di concentrazione dei PCB per il livello 0-10 cm, ad eccezione dei campioni A4, C4 ed E4 per i quali le concentrazioni risultano più elevate nella prima campagna di monitoraggio.

L'analisi quantitativa del contenuto in elementi maggiori, minori ed in tracce è stata effettuata per le campagne I-AMICA\_2012\_01 (livello 0-10 cm e 10-25 cm) e I-AMICA\_2013\_01 (livello 0-10 cm) (Appendice 2). Il confronto tra i dati del livello superficiale e quelli del livello sottostante, relativi alla campagna I-AMICA\_2012\_01, non mette in luce, per i vari elementi determinati, marcate variazioni di concentrazione in profondità se non alcuni arricchimenti variamente distribuiti lungo i 5 transetti per gli elementi: Ba, Sr, V e Cr. In particolare Cr e V sono considerati elementi sensibili ai cambiamenti delle condizioni di ossido-riduzione della colonna d'acqua mentre Ba e Sr (normalizzati rispetto a elementi terrigeni quali Al o Ti) forniscono indicazioni circa la produttività e l'input atmosferico terrigeno,

approfondita sull'origine terrestre di alcune molecole organiche riscontrate durante il monitoraggio [Chunqing et al., 2000]. Per quanto concerne il contenuto di OCP le concentrazioni risultano tutte al di sotto del limite di quantificazione strumentale (<0.002 mg/kg).

La somma dei PCB (Fig. 23; Appendice 2), risulta compresa tra 1.09 microg/kg e 4.55 microg/kg per la prima campagna di monitoraggio (campagna I-AMICA\_2012\_01) per i campioni del livello 0-10 cm, mentre per il livello più profondo 10-25 cm tra 1.09 microg/kg e 5.19 microg/kg. Per il livello 0-10 cm, i risultati ottenuti mostrano, per tutti i transetti, concentrazioni di PCB maggiori nei campioni più distanti dalla costa. Fa eccezione il transetto C (ubicato in prossimità della foce del fiume Volturno) lungo il quale per il campione intermedio C2, la



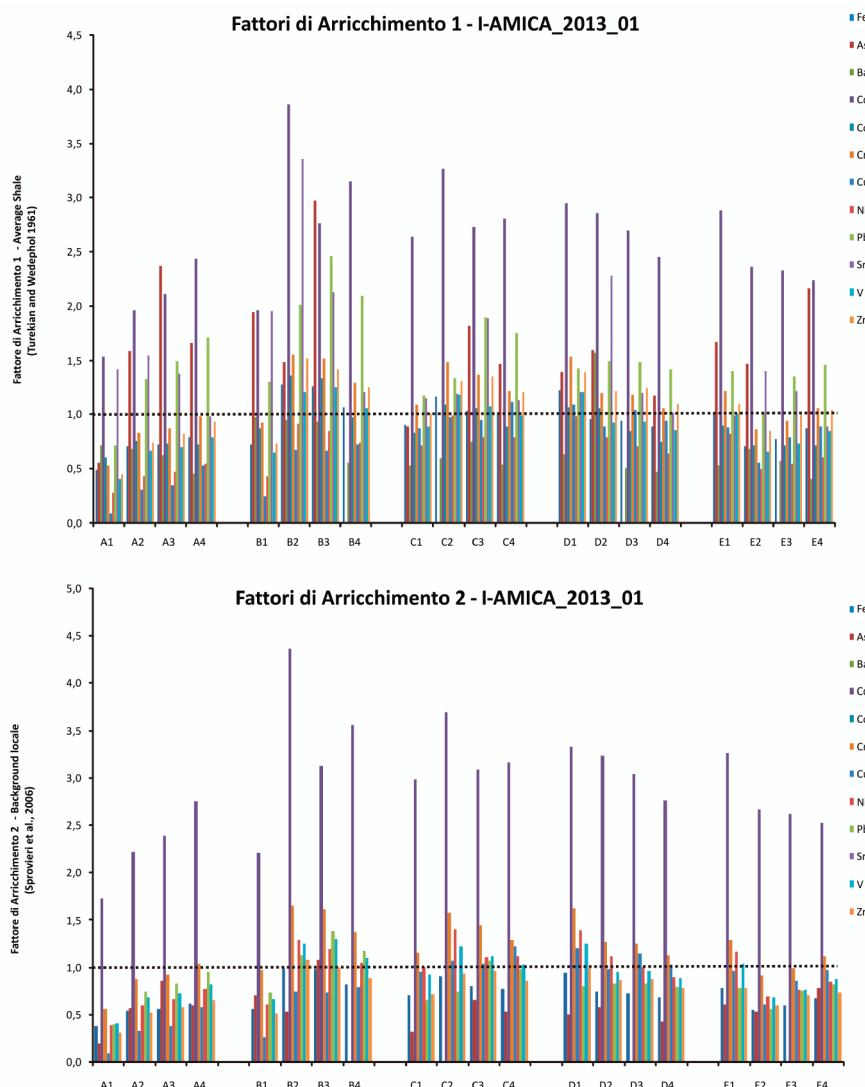
**Figura 23** Grafico riportante la distribuzione dei PCB analizzati (espressi come sommatoria di 14 congeneri).

**Figure 23** Distribution of PCB analyzed in surface sediment during the cruises I-AMICA\_2012\_01 and I-AMICA\_2013\_01 (sampling stations are reported on the x axis while  $\Sigma$ PCB expressed in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  are reported on the y axis).

ma tutti possono anche essere legati ad immissioni nell'ambiente acquatico da parte di attività antropiche. A tal proposito per poter discernere il contributo naturale da quello antropico nello studio della distribuzione degli analiti determinati, ognuno di essi è stato normalizzato ai valori di Al di uno *shale* medio internazionale [Enrichment Factor1; Turekian and Wedephol, 1961] in modo da standardizzare la concentrazione rispetto ai cambiamenti di composizione mineralogica e di granulometria dell'area (Figura 24). Inoltre è stata valutata anche la normalizzazione rispetto ai valori di background naturale locale non affetto da contaminazione antropica [Enrichment Factor 2; Sprovieri et al., 2006; Figura 24].

Sebbene la normalizzazione sia un passaggio cruciale nella valutazione dell'influenza delle attività antropiche in una

data area, è pur vero che la scelta dei valori di riferimento può influenzare fortemente l'interpretazione dei dati prodotti. Basti pensare che l'adozione di valori di normalizzazione relativi a campioni con composizione chimiche e mineralogiche che si discostano fortemente da quelle dell'area in esame, così come quelli ottenuti attraverso l'utilizzo di tecniche di campionamento ed analitiche differenti, possono produrre valori di arricchimento non veritieri. Entrambe le normalizzazioni applicate non hanno evidenziato significativi arricchimenti ( $EF1$  e  $EF2 < 1$ ), per entrambi i livelli 0-10 e 10-25 cm ad eccezione del Fe che risulta lievemente arricchito ( $1.01 < EF1 < 1.42$  per i transetti A, C, D ed E;  $1.06 < EF2 > 1.11$  solo per due campioni del transetto D). Ciò suggerisce una prevalente origine naturale di tutti gli elementi analizzati per l'area oggetto del monitoraggio.



**Figura 24** Distribuzione dei fattori di arricchimento stimati vs lo *shale* medio di Turekian and Wedephol 1961 (EF1) e vs il background naturale locale di Sprovieri et al. 2006 (EF2) per la campagna I-AMICA\_2013\_01.

**Figure 24** Enrichment factors for the different trace elements between the studied sediments against average shale values [Turekian and Wedephol, 1961] (EF1) and against natural local background [Sprovieri et al., 2006] (EF2) for the cruise I-AMICA\_2013\_01.

TAXA
<b>Astrorhizida</b>
<i>Lagenammina atlantica</i> (Cushman, 1944)
<b>Buliminda</b>
<i>Bolivina alata</i> (Seguenza, 1862)
<i>Bolivina catanensis</i> (Seguenza, 1862)
<i>Bolivina dilatata</i> (Reuss, 1850)
<i>Bolivina spathulata</i> (Williamson, 1858)
<i>Buccella granulata</i> (di Napoli Alliata, 1952)
<i>Bulimina costata</i> (d'Orbigny, 1852)
<i>Bulimina elongata</i> (d'Orbigny, 1826)
<i>Bulimina marginata</i> (d'Orbigny, 1826)
<i>Globocassidulina subglobosa</i> (Brady, 1881)
<i>Rectuvigerina phlegeri</i> (Le Calvez, 1958)
<i>Reussella spinulosa</i> (Reuss, 1850)
<i>Uvigerina mediterranea</i> (Hofker, 1932)
<b>Lituolida</b>
<i>Ammoscalaria pseudospiralis</i> (Williamson, 1858)
<i>Nouria polymorphinodes</i> (Heron-Allen & Earland, 1914)
<i>Reophax nanus</i> (Rhumbler, 1913)
<i>Reophax scorpiurus</i> (de Montfort, 1808)
<b>Miliolida</b>
<i>Peneroplis</i> sp.
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck, 1804)
<b>Rotaliida</b>
<i>Ammonia gaimardi</i> (d'Orbigny, 1906)
<i>Ammonia parkinsoniana</i> (d'Orbigny, 1839)
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman, 1926)
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Elphidium granosum</i> (d'Orbigny, 1826)
<i>Elphidium incertum</i> (Williamson, 1858)
<i>Elphidium punctatum</i> (Terquem, 1878)
<i>Elphidium</i> sp.
<i>Haynesina depressula</i> (Walker & Jacob, 1798)
<i>Hyalinea balthica</i> (Schröter, 1783)
<i>Nonion commune</i> (d'Orbigny, 1846)
<i>Nonionella turgida</i> (Williamson, 1858)
<i>Valvulineria bradyana</i> (Fornasini, 1900)
<b>Textulariida</b>
<i>Bigenerina cylindrica</i> (Cushman, 1922)
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson, 1858)
<i>Textularia calva</i> (Lalicker, 1940)

**Tabella 7** Lista delle specie di Foraminiferi bentonici identificati nei sedimenti a fondo mare.

**Table 7** List of benthic foraminiferal species identified in bottom sediments.

Minime risultano anche le variazioni di concentrazione dei vari analiti tra i diversi transetti, verosimilmente legate a variazioni puntuali della composizione mineralogica e granulometrica dei sedimenti piuttosto che a input legati ad attività antropiche.

Per la campagna I-AMICA\_2013\_01, le risultanze analitiche non mostrano rilevanti variazioni di concentrazione per tutti gli elementi rispetto alla campionatura precedente, ad eccezione della stazione D1 per la quale si osservano concentrazioni maggiori per tutti gli elementi. Ciò è da attribuire molto probabilmente ad un problema di contaminazione durante le operazioni di campionamento e preparazione del campione per le analisi. I fattori di arricchimento EF1 ed EF2 per questa campionatura mostrano, invece, lievi e moderati arricchimenti per la gran parte degli elementi (Figura 25). In particolare, i maggiori EF1 sono registrati per l'As ( $0 < EF1 < 3$ ), il Cd ( $1.5 < EF1 < 3.9$ ), il Pb ( $0.7 < EF1 < 3.4$ ) e lo Sr ( $0.9 < EF1 < 3.4$ ), mentre EF2 mostra valori maggiori di 2 solo per il Cd ( $1.7 < EF2 < 4.4$ ).

Il confronto tra i valori dei fattori di arricchimento utilizzati per questa campagna mette in evidenza moderati arricchimenti di elementi potenzialmente legate ad attività antropiche, oltre allo Sr che risulta generalmente una componente terrigena, con un comune elemento, il Cd. In questo contesto, bisogna ricordare quanto detto in precedenza circa l'importanza della scelta dei valori per la normalizzazione, perché infatti può verificarsi un mascheramento o una sovrastima delle reali componenti naturali o antropiche sull'ambiente in base all'utilizzo di valori corrispondenti o meno alla composizione litologica dell'area studiata. Difatti As, Cd e Pb si ritrovano spesso associati ad attività antropiche (fertilizzanti, insetticidi, acque di scarico, combustione di oli e carbone) ma sono anche elementi caratteristici delle rocce vulcaniche che caratterizzano il settore NE-SW della Campania e che quindi possono essere veicolati attraverso il sistema fluviale del Volturno direttamente all'ambiente marino. La variazione di concentrazione di alcuni elementi tra una campagna e l'altra può essere imputata verosimilmente sia a un cambiamento delle condizioni chimico-fisiche della colonna d'acqua e dei sedimenti, sia a un maggiore apporto fluviale che può comportare quindi un maggiore carico a mare di determinati elementi.

Le analisi di azoto totale (TN) hanno messo in evidenza che i valori di concentrazioni sono sempre molto bassi ed in genere al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento. Per le analisi del carbonio organico totale (TOC) i risultati mostrano valori di concentrazione maggiori dell'1% solo su alcuni campioni e per alcune stagionalità. I valori medi di concentrazione più alti si riscontrano durante il mese di gennaio 2013 (Appendice 3). In particolare il valore di 2.39% si evidenzia nel campione C4 nella campagna di ottobre 2012 (Appendice 3). I valori più significativi, che si riscontrano nelle stazioni ubicate più a largo e nel settore di sud-est,

mostrano chiaramente come la distribuzione della materia organica sia legata alla distribuzione delle granulometrie più sottili e all'apporto di acque provenienti dal fiume Volturno.

#### Foraminiferi bentonici

Nella valutazione complessiva della qualità ambientale, non si è trovata una significativa corrispondenza tra i dati chimici e lo studio della biocenosi a foraminiferi bentonici. Questo dato può essere attribuito ai bassi valori di concentrazioni dei vari analiti (organici e inorganici) riscontrati nei sedimenti. I foraminiferi sono stati quindi utilizzati per evidenziare eventuali sintomi di degrado dell'habitat dovuti principalmente al cambiamento di alcuni parametri ambientali strettamente influenzati dall'apporto delle acque provenienti dal fiume Volturno.

L'associazione a foraminiferi bentonici è costituita da 36 taxa, suddivisi in 6 differenti generi così come riportato nella Tabella 7. L'associazione è dominata da 3 specie: *Ammonia tepida*, *Bulimina elongata* e *Rectuvigerina phlegeri* (Fig. 25) pre-

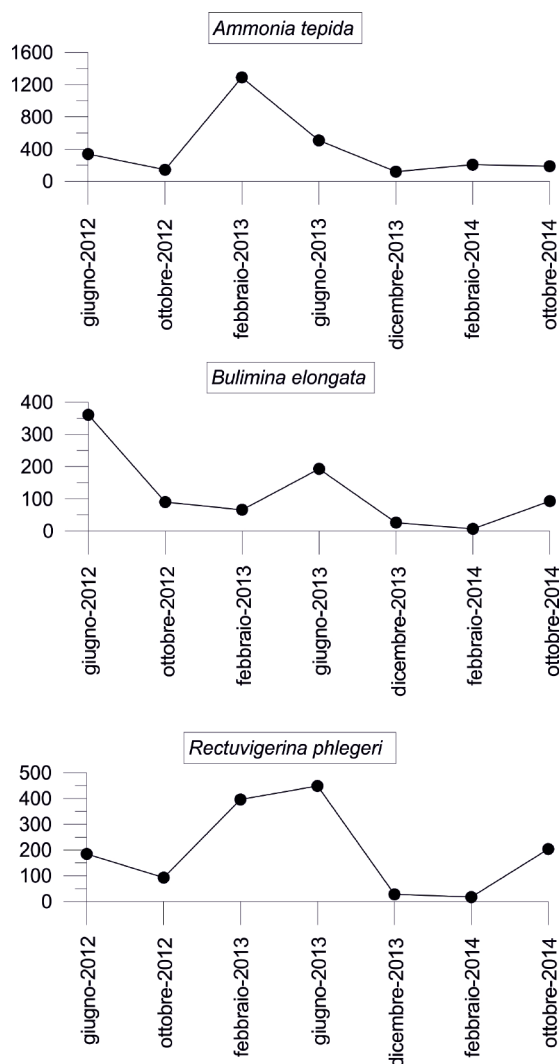
senti in tutte le stagioni di campionamento con percentuali >5% in almeno un campione.

*Ammonia tepida* e *Bulimina elongata* presentano una distribuzione areale molto simile con i massimi valori di abbondanza registrati a giugno 2012 e gennaio-febbraio 2013, nelle aree direttamente sottoposte agli apporti fluviali provenienti sia dal Volturno che dai canali dei Regi Lagni ubicati a nord e a sud della foce del fiume stesso (Fig. 26). Tali specie sono in grado di vivere in ambienti dove le condizioni ecologiche al fondo possono considerarsi "stressate", con salinità più alta o più bassa rispetto al valore medio dell'acqua marina [Scott et al., 2001; Frontalini and Coccioni, 2008], causata in questo caso dall'apporto delle acque continentali provenienti dal bacino del fiume Volturno e dai Regi Lagni. In letteratura la specie *A. tepida* viene riportata come opportunista, caratteristica di ambienti marino-costieri, lagunari e deltizi [Jorissen, 1988; Almogi-Labin et al., 1992; Coccioni, 2000; Melis and Violanti, 2006; Frontalini et al., 2009] mentre *B. elongata* è una specie tipica di piattaforma con fondali pelitici, indicativa di ambiente con moderata/elevata produttività [Eberwein and Mackensen, 2008] nonché di eutrofizzazione [Mojtahid et al., 2006].

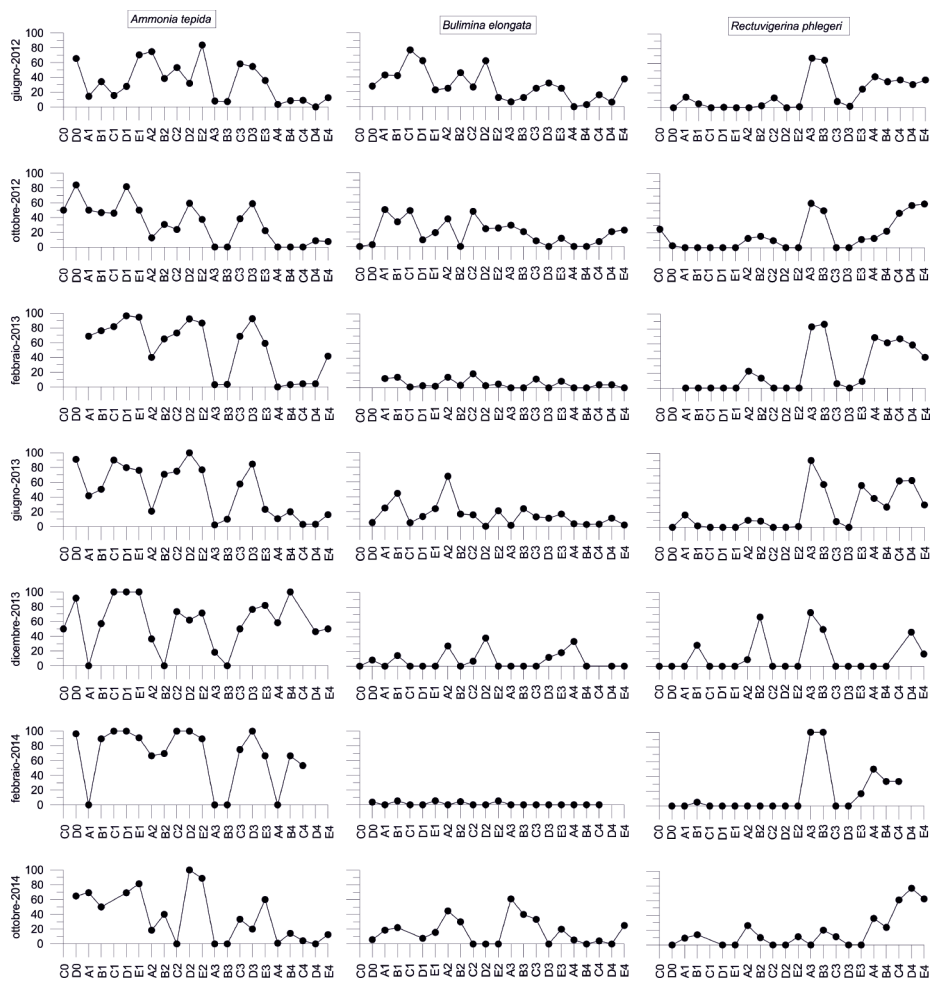
La *R. phlegeri* presenta le massime abbondanze tra gennaio-febbraio 2013 e giugno 2012 (Fig. 25) con una distribuzione areale abbastanza in antitesi con quella di *A. tepida* e *B. elongata*. Tale specie infatti è localizzata nel settore nord occidentale dell'area di studio non direttamente sottoposto all'azione del fiume Volturno (Fig. 26). In letteratura viene in genere associata ad ambienti di piattaforma caratterizzati da basso contenuto di ossigeno [Sgarrella and Moncharmont-Zei, 1993] ma è stata anche segnalata, associata al *Nonion commune*, in fondali con alti livelli di ossigeno [Diz and Frances, 2008]. Nell'area di studio la sua distribuzione sembra essere anticorrelata con gli apporti dal continente e correlata invece ad aree più distali con condizioni di discreta ossigenazione al fondo. Tale risultato è altresì confermato dai dati stagionali di ossigenazione e torbidità (*Beam-transmission*) registrati a fondo mare (vedi Fig. 18).

Dall'analisi dell'indice di Shannon-H, calcolato per le singole campagne, è stato possibile osservare un graduale e costante aumento della biodiversità procedendo da terra verso mare (Fig. 27), allontanandosi quindi dalle aree strettamente sottoposte agli apporti provenienti dal continente. Inoltre, esaminando il valore medio di tale indice, da giugno 2012 ad ottobre 2014 (Fig. 28), si osserva come questo decresca sensibilmente e costantemente evidenziando un progressivo e graduale impoverimento dell'associazione a foraminiferi bentonici, indice di evidenti condizioni di stress ambientale a fondo mare.

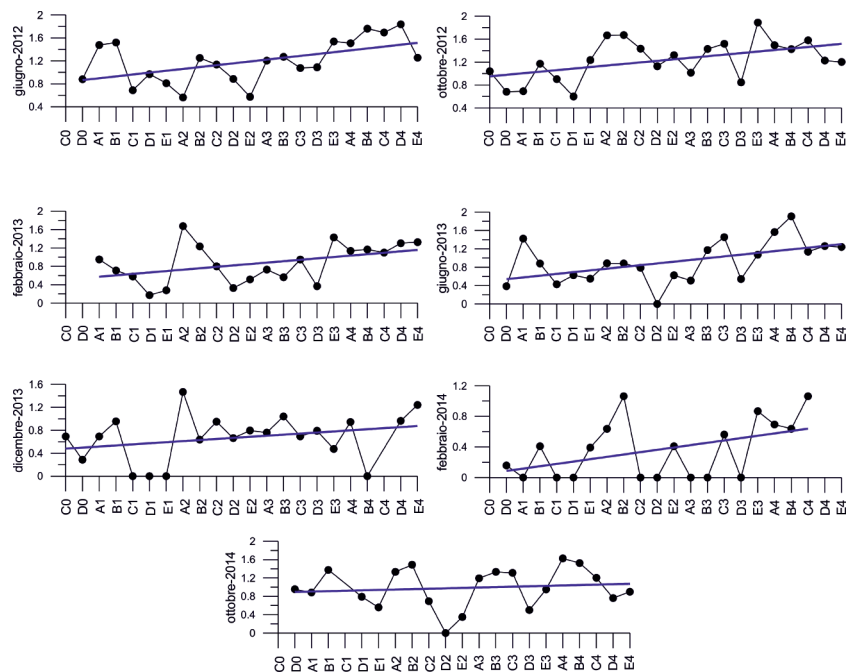
Il fiume Volturno immettendo acque dolci determina una associazione oligotipica caratterizzata dalla proliferazione di poche specie tolleranti variazioni anche significative di salinità e di sostanza organica come *Ammonia tepida* e *Bulimina elongata*.



**Figura 25** Valori di abbondanza (numero di individui totali) delle tre specie dominanti nelle campagne di monitoraggio.  
**Figure 25** Abundance values (total number of specimens) of the three dominant species for the oceanographic monitoring cruises.

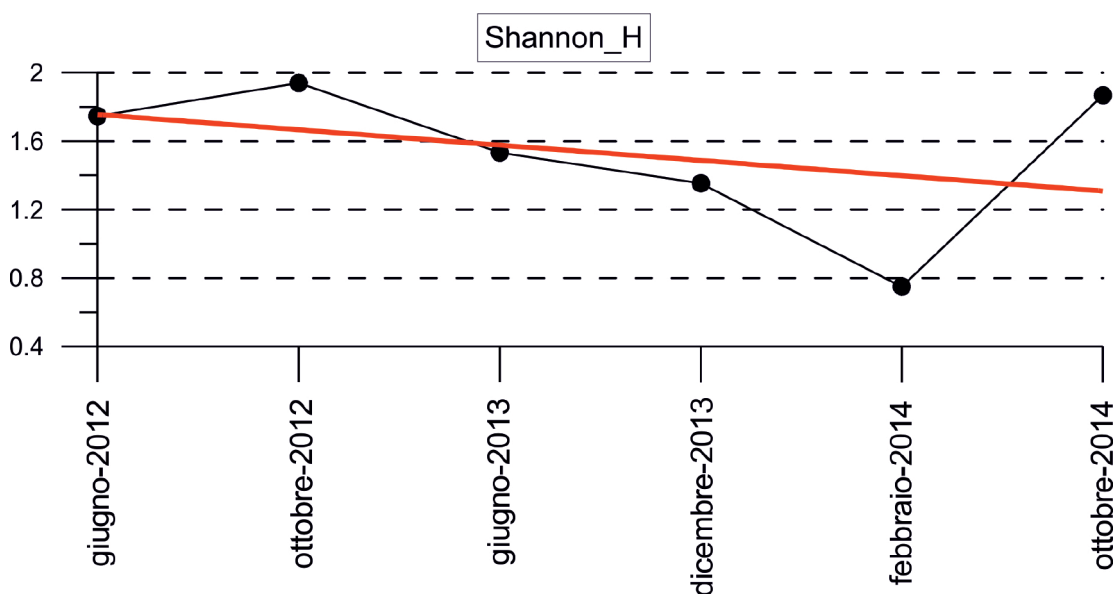


**Figura 26** Valori di abbondanza stagionali (%) delle tre specie dominanti per singolo campione.  
**Figure 26** Seasonal abundance values (%) of the three dominant species for single sample.



**Figura 27** Indice di biodiversità stagionale Shannon-H calcolato per singolo campione da costa verso largo (vedi figura 2).  
**Figure 27** Shannon-H calculated for single sample from coast to see (see figure 2 for samples location).





**Figura 28** Indice di biodiversità stagionale Shannon-H medio calcolato per le 7 campagne di monitoraggio.  
**Figure 28** Average values of Shannon-H calculated for single sample for the 7 oceanographic monitoring cruises.

Nelle aree non direttamente influenzate dall'azione del *runoff* fluviale, si riscontra invece un sensibile aumento della biodiversità; in tali aree l'associazione risulta dominata dalla specie *Rectuvigerina phlegeri*.

#### *Nannofossili calcarei*

Tra i taxa considerati in posto, la specie più abbondante è risultata *Emiliania huxleyi*, mentre sono presenti con abbondanze basse ma comunque significative: *Syracosphera pulchra*, *Rhabdosphera xiphos*, *Pleurochrysis* spp., *Umbellosphaera tenuis*, gli olococcoliti e *Umbilicosphaera* spp. Le specie rimaneggiate sono risultate tutte molto abbondanti, raggiungendo anche il 90% delle associazioni, in particolare nei siti posti di fronte e a sud della foce del fiume Volturno. Le associazioni ritrovate riflettono in linea di massima la composizione e la distribuzione delle rispettive comunità viventi nella colonna d'acqua soprastante, suggerendo una bassa influenza delle correnti di fondo per quanto riguarda la risospensione e la ridistribuzione del sedimento e del suo carico di coccoliti [Bonomo et al., 2014]. Tale risultato sembrerebbe in accordo con i modelli di corrente pubblicati da De Pippo et al. [2003-2004]. Le differenze di composizione tra le associazioni del sedimento e quelle viventi possono essere dovute a diversi fattori quali: potenziale di conservazione, velocità di sedimentazione, attività di organismi limivori che "bioturbano" il sedimento, differenza tra periodi di riproduzione e periodo di campionamento. Soprattutto il rimescolamento del sedimento da parte di organismi limivori comporta la perdita del segnale di stagionalità all'interno dei sedimenti. L'abbondante presenza di taxa rimaneggiate, di età Cretacico-Olocene, è principalmente dovuta all'apporto terrigeno proveniente dal fiume,

il cui bacino idrografico è costituito prevalentemente da rocce sedimentarie di età Cretaceo-Pliocenica [Bonardi et al., 1988]. La presenza di abbondanti fossili rimaneggiati si è rivelata utile per fornire informazioni circa la dinamica del trasporto dei sedimenti lungo la costa che risultano più abbondanti nelle stazioni situate a sud della foce del Volturno e confermano la presenza di una corrente con direzione prevalente NordOvest-SudEst così come già documentato dai lavori di De Pippo et al. [2003-2004] e Iermano et al. [2012].

### 3. Analisi storica delle variazioni della linea di costa nella piana del fiume Volturno

Negli ultimi secoli la pressione antropica ha causato una forte variazione del sistema costiero, le zone umide sono state sostituite dai campi agricoli, dalle strade, dalle aree urbanizzate e dalle industrie. La perdita di naturalità delle aree costiere è prodotta principalmente all'erosione costiera (circa il 65%) e dalla diffusione delle abitazioni "urban sprawl", delle infrastrutture e delle aree produttive (16%). In tale contesto è di fondamentale importanza comprendere le relazioni che intercorrono tra le variazioni della linea di costa e le trasformazioni antropiche quali strumenti indispensabili per una corretta gestione della fascia costiera. Le variazioni della linea di costa rappresentano un indicatore ambientale in grado di individuare: a) le aree esposte ad erosione; b) le attività produttive ed i beni esposti a rischio, c) le zone in cui intervenire prioritariamente per mitigare il rischio.

Nel corso dell'ultimo secolo, la fascia costiera della piana del fiume Volturno, estesa dalla città di Mondragone al Lago



**Figura 29** La fascia costiera della Piana del Fiume Volturno. In alto a destra è riportato l'inquadramento dell'area di studio.  
**Figure 29** Location map of the study area.

Patria (Fig. 29), è stata esposta a profonde trasformazioni causate dalla crescente densità abitativa e dalle attività antropiche. Per tale area è stata eseguita l'analisi delle variazioni della linea di riva e sono state individuate le principali trasformazioni territoriali realizzate dalla metà del 1700 ad oggi.

### 3.1 Metodologia

Lo studio delle variazioni della linea di costa e delle principali trasformazioni territoriali è stato realizzato attraverso l'analisi comparata in ambiente GIS (Geographic Information System) della cartografia storica dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI), delle Carte Tecniche Regionali,

delle ortofoto e delle immagini satellitari (tabella 8). Per l'area di studio, le carte storiche dell'IGMI sono disponibili dalla metà del 1700; tuttavia sono state utilizzate solo le carte in scala 1:25.000 valide in termini di accuratezza di ubicazione geografica per analisi quantitative in ambiente GIS.

Tutti i documenti elencati nella tabella 8 sono stati georiferiti nel sistema UTM WGS84.

Le principali trasformazioni antropiche del territorio sono state riconosciute attraverso l'analisi visiva dei documenti disponibili, mentre gli algoritmi implementati nell'applicativo DSAS (Digital Shoreline Analysis System, estensione del software ArcGIS - ESRI, Redlands, California), hanno consentito di individuare le variazioni della linea di costa nell'intervallo temporale 1817-2012 lungo 161 transetti con equidistanza di 200 m.

Per l'analisi delle variazioni della linea di costa è fondamentale una precisa ubicazione geografica e una dettagliata digitalizzazione delle linee di costa. Considerato che l'area di studio è localizzata in un ambiente microtidale, la linea di costa è stata considerata uguale a quella riportata nel documento storico o immagine satellitare, in accordo con Alberico et al. [2011]. Per la stessa ragione sono stati trascurati gli effetti sulla posizione della linea di costa causati dalle maree giornaliere e stagionali. Il confronto di due linee di costa consecutive nel tempo ha consentito di comprenderne le variazioni per differenti intervalli temporali (Fig. 30) [Thieler and Danforth, 1994; Addo et al., 2008; Houser et al., 2008; Leyland and Darbya, 2008; Alberico et al., 2011] mentre, la regressione lineare, pesata realizzata su più linee di costa comprese nell'intervallo temporale 1997-2012, ha consentito invece di definirne il trend [Morton et al., 2004] (Fig. 31).

Date	Input data	Data Source holder	Scale
1817	Topographic and hydrographic map of areas close to Naples	Historical map of IGM	1:25.000
1860	The map of the kingdom of Naples	Historical map of IGM	1:20.000
1936	IGM topographic map	Topographic map	1:25.000
1957	IGM topographic map	Topographic map	1:25.000
1987	IGM topographic map	Topographic map	1:25,000
1989	Orthophoto map	The Ministry for the Environment, Land and Sea	1:10.000
1997	Orthophoto map	The Ministry for the Environment, Land and Sea	1:10.000
1998	Technical map	Campania region	1:5.000
2002	Google Earth image		
2004	Google Earth image		
2006	Orthophoto map	The Ministry for the Environment, Land and Sea	1:10.000
2010	Google Earth image		
2012	DAEDALUS image	Consorzio TELAER STA	Pixel size:1.3m

**Tabella 8** Documenti utilizzati per l'analisi comparata dell'evoluzione della fascia costiera della piana del Fiume Volturno.  
**Table 8** Documents used in the comparative analysis of the shoreline evolution of the Volturno River Plain.

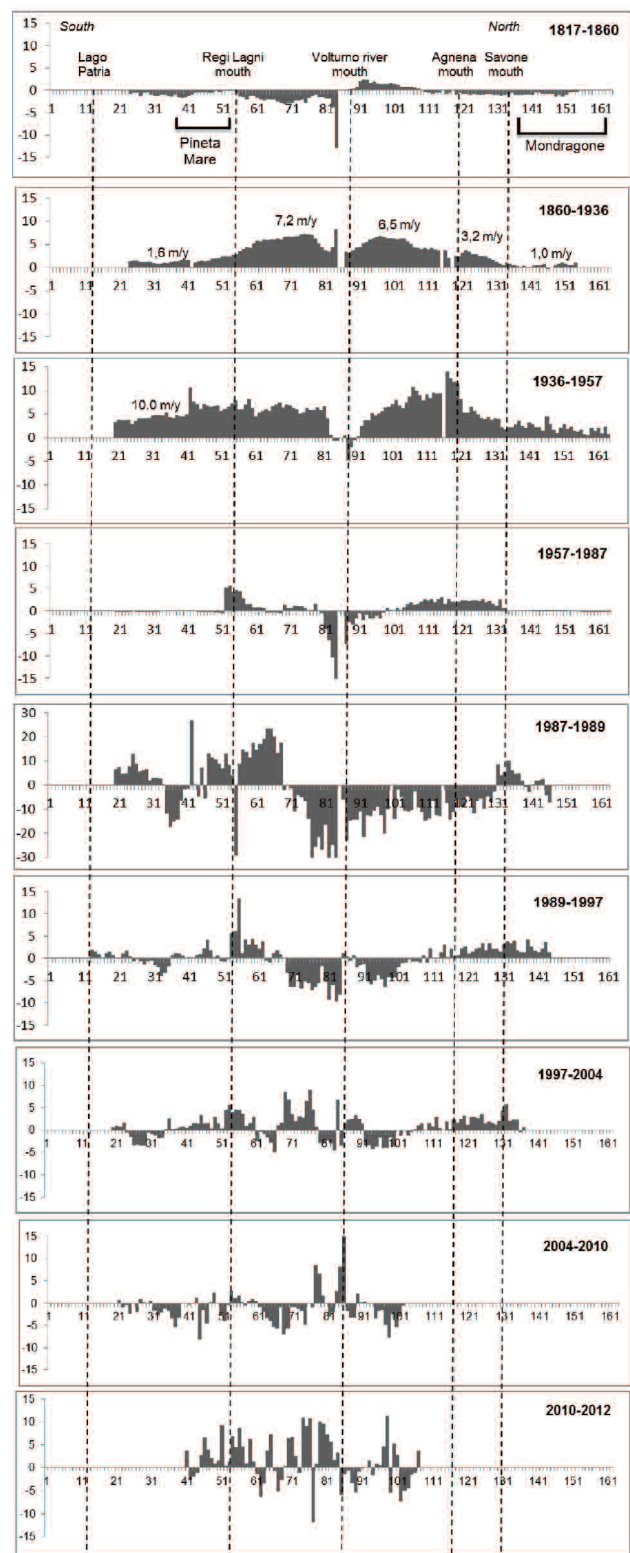


### 3.2 Analisi dei dati

#### Variazioni della linea di riva

Il confronto tra due linee di costa successive nel tempo ha permesso di identificare le principali variazioni subite dalla fascia costiera tra il 1817 ed il 2012 (Fig. 30).

Cocco e De Pippo [1988] descrivono la forma della costa per



**Figura 30** Confronto di due linee di costa consecutive nel tempo e relative variazioni.  
**Figure 30** Comparison of two successive shoreline in time and related changes.

l'anno 1600 d.C. attraverso l'allineamento delle torri di guardia costiere, identificando così a partire dal 1809 una progradazione della costa con un valore medio di 1m/anno.

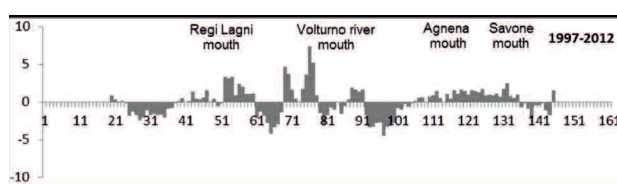
Dal 1817 al 1860, il tratto di costa compreso tra Lago Patria e la foce del Fiume Volturno subisce un arretramento con valori di erosione che aumentano verso nord. A Nord della sponda destra del Fiume Volturno la costa si presenta in erosione ma con ridotti valori di arretramento (Fig. 30).

Dal 1860 al 1936 l'intera linea di costa subisce una fase di avanzamento con i tassi più elevati nel settore prossimo alla foce del Fiume Volturno. Tale progradazione si conserva anche dopo il 1936. A partire dagli anni sessanta, le aree costiere subiscono una profonda trasformazione fortemente legata alla presenza dell'uomo e alle sue opere. A nord del Lago Patria si osserva una relativa stabilità. La linea di costa risulta in accrezione alla foce dei Regi Lagni, le aree prossime alla foce del Fiume Volturno sono in erosione con tassi medi pari a -3,6 m/anno, mentre l'area ubicata a nord della foce mostra una costa in accrezione con valori medi di 1,7 m/anno (Fig. 30).

Dal 1987 al 1989, in soli tre anni, l'estensione delle aree esposte ad erosione aumenta in maniera significativa, esse si estendono dal Villaggio Agricolo (vedi mappa storica del 1936) alla località Panetelle (vedi mappa storica del 1936). Il settore costiero prossimo alla foce dei Regi Lagni risulta invece in avanzamento (Fig. 32).

Dal 1989 al 1997 l'area esposta a erosione è limitata alle zone prossime alla foce del fiume Volturno con tassi medi compresi tra -3 e -6 m/anno; a nord del fiume si ha accrezione con valori medi pari a 2 m/anno mentre in prossimità della foce dei Regi Lagni il valore sale fino a 4,8 m/anno (Fig. 30). Dal 1997 al 2004 la sponda sinistra del fiume si presenta ancora in erosione mentre la sponda destra subisce una fase di avanzamento. Verso sud per un settore di circa 2 km la linea di costa è in avanzamento con un valore 4 m/anno; in particolare si osserva un avanzamento nell'area prossima alla foce dei Regi Lagni mentre a sud della località Pineta Mare si ha erosione con valori medi pari a -2 m/anno. A nord della foce del fiume Volturno, per un settore lungo circa 2,5 km si ha erosione con un valore medio di -2 m/anno mentre oltre il canale Agnena la linea di costa è in avanzamento con un valore di 1.9 m/anno (Fig. 30).

Dal 2004 al 2010 la sponda sinistra del fiume Volturno è ancora in avanzamento mentre l'area ubicata immediatamente a nord e la sponda destra sono in erosione.



**Figura 31** Variazioni della linea di costa tra il 1997 ed il 2012 (m/anno).  
**Figure 31** Shoreline change between 1997 and 2012 (m/year).

Dal 2010 al 2012 è evidente l'alternarsi di tratti di costa in erosione ed in avanzamento (Fig. 30). L'analisi di regressione lineare pesata realizzata per l'intervallo temporale 1997-2012 mostra un'alternanza di settori in avanzamento ed in erosione con valori medi compresi tra  $\pm 2\text{m}/\text{anno}$  (Fig. 31).

*Le trasformazioni della fascia costiera dagli inizi dell'ottocento ad oggi*

La carta storica del 1817 mostra un paesaggio naturale ed i piccoli centri urbani di Mondragone, San Nicola, Sant'Angelo e San Vito. L'abitato di Castel Volturno, fatta eccezione per poche masserie sparse sul territorio, è l'unico centro urbano prossimo alla fascia costiera. Una serie di cordoni dunari, con quote comprese tra i 3 ed i 5 m, è riportata lungo costa in destra del Fiume Volturno. L'unico asse viario presente è quello che conduce da Castel Volturno a Capua (Fig. 32a).

Nelle carte del 1860, sul lato destro della foce del Fiume Volturno è evidente un piccolo gruppo di case molto prossimo alla costa e un'estesa pineta su entrambi i lati del Fiume denominate "Pineta di Mondragone" e "Pineta di Castel Volturno". Quest'ultima si estende fino al Lago Patria ed è caratterizzata dalla presenza di zone umide denominate "Palude di Fossa Piena" e "il Pantano". L'area a sud dei Regi Lagni mostra una densa rete di canali artificiali (Fig. 32b).

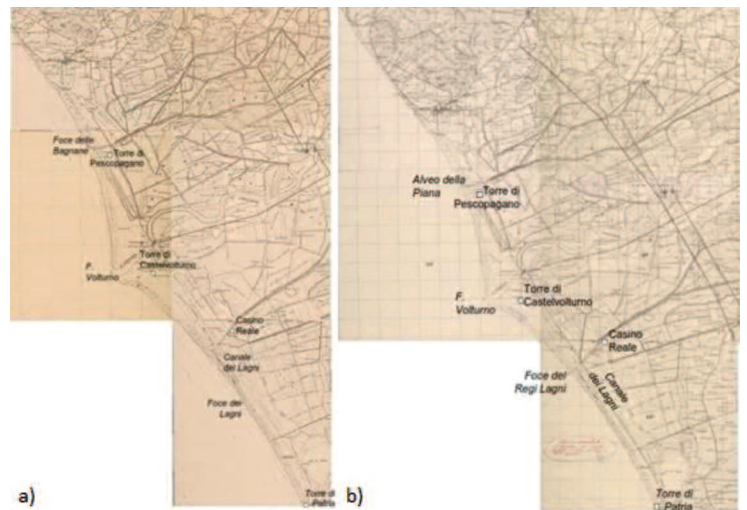
Nella cartografia del 1817, la città di Castel Volturno si presenta con un'estensione prossima a quella evidenziata nelle cartografie più antiche mentre la città di Mondragone si estende verso la costa. È evidente una densificazione della rete viaria (Fig. 33a).

Nella cartografia del 1936 la città di Mondragone raggiunge la costa mentre il nucleo storico della città di Castel Volturno non mostra ampliamenti. Sul lato destro del fiume Volturno a circa 900 metri dalla costa sorge un piccolo agglomerato di case denominato Villaggio Agricolo. La rete viaria è più densa (Fig. 33b).

Nella cartografia del 1957 Mondragone appare più estesa e un agglomerato di edifici è prossimo alla costa. Lungo la Strada Statale 7Quater (la Domiziana) sono evidenti lo sviluppo della città di Castel Volturno e la presenza di diverse costruzioni isolate. A nord del Lago Patria si registra un piccolo aumento di residenze ed uno stabilimento balneare proprio a ridosso della costa (Fig. 34a).



**Figura 32** Carte storiche del 1817 (a) e del 1860 (b).  
**Figure 32** Historical maps of 1817 (a) and 1860 (b).



**Figura 33** Carte storiche del 1907 (a) e del 1936 (b).  
**Figure 33** Historical maps of 1907 (a) and 1936 (b).



**Figura 34** Carte storiche del 1957 (a) e del 1987 (b).  
**Figure 34** Historical maps of 1957 (a) and 1987 (b).



Nella cartografia del 1987 è evidente lo sviluppo urbano della città di Mondragone lungo la costa (Fig. 34b). Un'area urbana poco densa caratterizza il settore costiero prossimo alla foce del Canale Agnena, mentre da tale canale fino a nord della foce dei Regi Lagni, fatta eccezione per la riserva naturale dei Variconi la densità dell'ambiente urbano è molto alta. A sud della Foce dei Regi Lagni è evidente una ampia area urbanizzata con porticciolo annesso ed opere di difesa costiera (Villaggio Coppola). Un aumento di residenze è ancora evidente tra il Villaggio Coppola e il Lago Patria. Negli anni successivi al 1987 dalla cartografia tecnica (Fig. 35a), dall'immagine satellitare Daedalus del 2012 (Fig. 35b) e dalle immagini Google Earth (Fig. 36) si possono osservare limitati incrementi delle aree urbanizzate.

### 3.3 Risultati

Nel corso dell'ultimo secolo la fascia costiera della piana del fiume Volturno, come molte altre aree italiane di piana costiera [Aucelli et al., 2009; Bellotti, 2000; Pranzini, 2001; Alberico et al., 2011], è stata erosa nella zona di foce ed ha mostrato condizioni di stabilità o di progradazione nelle aree adiacenti grazie alla redistribuzione dei sedimenti erosi nelle aree di delta ad opera delle correnti lungo costa.

A partire dagli anni settanta la crescente pressione antropica ha condizionato in maniera significativa la naturale evoluzione del tratto costiero esaminato. In particolare su un tratto di costa di circa 45 km, sono state realizzate 52 opere di difesa costiera, 2 porti turistici e 4 opere di difesa portuale. La diffusa antropizzazione durante questo intervallo temporale è probabilmente responsabile dell'alternanza di aree in avanzamento e di aree in erosione che hanno caratterizzato la costa dagli anni novanta in poi.

### 4. Evoluzione della fascia marina prospiciente la costa

La conoscenza della stratigrafia del sottofondo in aree marino-costiere è di notevole importanza, perché il sistema di piattaforma interna rappresenta un archivio ad alto potenziale di conservazione dei livelli da evento (event beds: tempestiti, livelli vulcanoclastici, depositi da flussi di piena fluviale, superfici erosive, etc.) e registra le migrazioni dei litosomi di spiaggia, consentendo pertanto una ricostruzione degli eventi geologici che hanno impattato lungo le fasce costiere.

È noto che le oscillazioni eustatiche del tardo Pleistocene-Olocene [Grant et al.,

2012] hanno determinato la migrazione dei sistemi costieri verso terra e verso mare in funzione delle variazioni della posizione della linea di riva. Tuttavia negli ultimi 5 ka i sistemi costieri hanno migrato in misura minore (relativamente alle variazioni osservabili alla scala geologica) come conseguenza della stabilizzazione del livello marino intorno alla posizione attuale, successivamente al rapido innalzamento eustatico post-glaciale, che si è realizzato tra i 18 ka e i 5 ka BP [Lambeck et al., 2004]. Le variazioni di ordine minore, osservabili alla scala storica e generazionale (vedi cap. 3), sono imputabili a variazioni nell'apporto sedimentario [Budillon et al., 2012; Lirer et al., 2013; Sacchi et al., 2014a], a subsidenze o ad *uplift* locali [Carbognin et al., 2004; Vilardo et al., 2009] e/o glacioisostatiche [Antonoli e Silenzi, 2007], a movimenti vulcano-tettonici [Milia et al., 2006; Sacchi et al., 2014b].

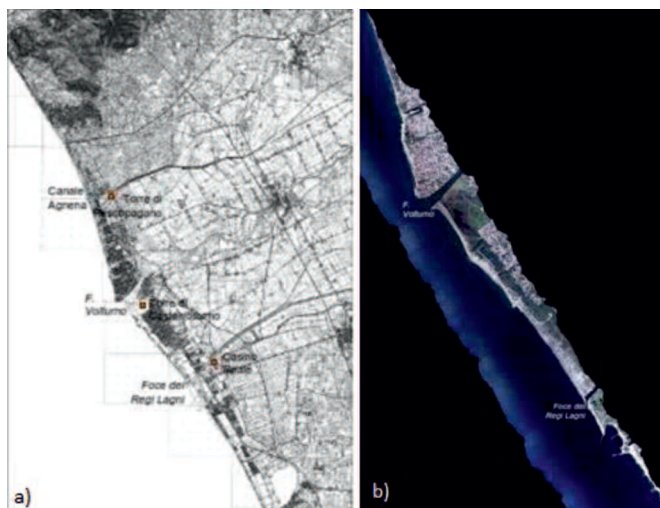


Figura 35 Carta Tecnica della Regione Campania (a), immagine satellitare Daedalus (b).

Figure 35 Technical map of Campania Region (a), Daedalus satellite image (9).

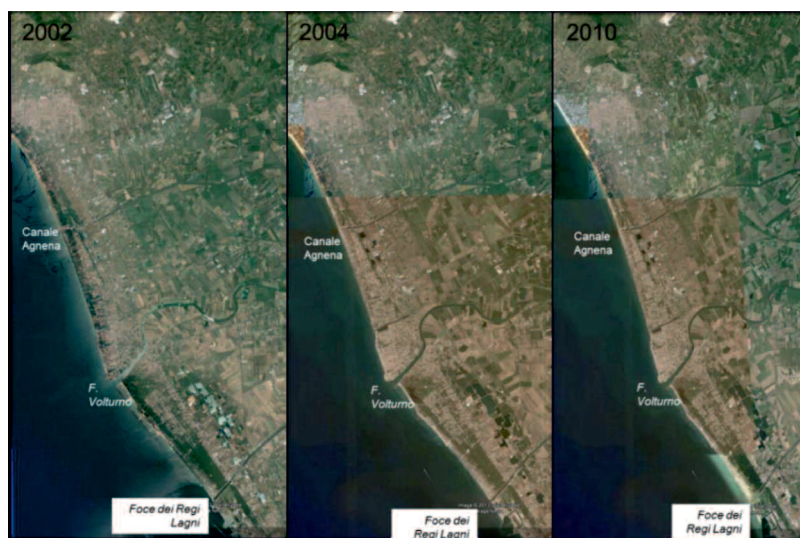


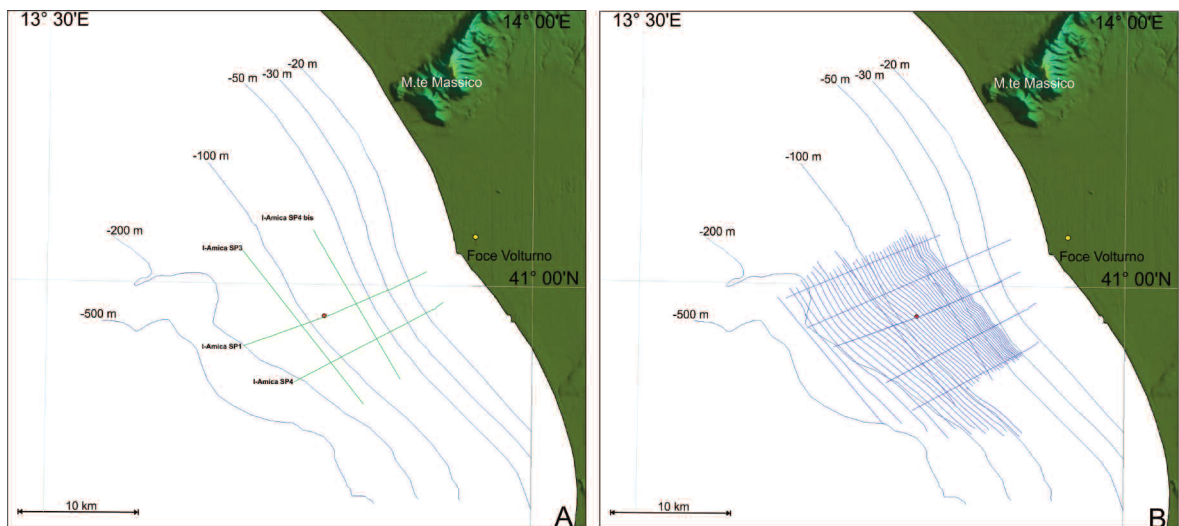
Figura 36 Immagini da Google Earth.  
Figure 36 Images from Google Earth.

### 4.1 Inquadramento geologico

La Piana Campana ed il Golfo di Gaeta si impostano in un settore ribassato del basamento carbonatico meso-cenozoico (oltre 3 s twtt) lungo il margine tirrenico appenninico, orientato perpendicolarmente alla catena, e colmato da migliaia di metri di sedimenti clastici e vulcano-clastici del Quaternario. Savelli e Wezel [1979] inclusero questa struttura, analogamente ad altre lungo il margine campano, tra i “bacini estensionali peritirrenici”, in quanto geneticamente collegato all’apertura del Mar Tirreno meridionale. La baia di Gaeta include tre profondi bacini sedimentari settentrionale, centrale e meridionale [Torrente e Milia, 2013] con una complessa compagine stratigrafica : un deposito sin-rift pliocenico (unità PP), presente nei bacini settentrionale e centrale, è sepolto da un deposito aggradante (unità A, 1.2-0.7 Ma) del Pleistocene inferiore, che sutura i dislivelli morfo-strutturali; una successione del Pleistocene medio (unità B, 0.7-0,4 Ma), si è deposta nei tre bacini con geometrie di aggradazione laterale; successivamente, un ampio deposito (unità C)

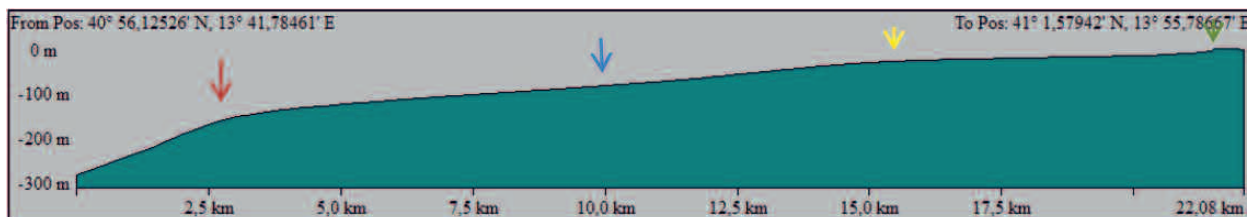
marca lo spostamento del sistema piattaforma-scarpata verso mare a partire dai 0.4 Ma per oltre 20 km [Torrente and Milia, 2013; Milia and Torrente, 2014]. Dal Pliocene superiore hanno avuto origine i complessi vulcanici delle Isole Pontine, Ischia, Procida e Campi Flegrei e l’edificio di Roccamonfina [Torrente et al., 2010 e riferimenti]. Recentemente sono stati localizzati nel sottofondo del Golfo di Gaeta altri edifici vulcanici di età compresa tra il tardo Pleistocene e 0.1 Ma [Zitellini et al., 1984; Bartole et al., 1984; de Alteriis et al., 2006; Torrente and Milia, 2013]. Le unità oloceniche di piattaforma che registrano la trasgressione post-glaciale e a partire dai 5000 anni la regressione sedimentaria del tardo Olocene [Sacchi et al., 2014a], sono state interessate da fenomeni di *creep* nel settore di prodelta del fiume Volturno [Iorio et al., 2014].

Nelle aree costiere, i sondaggi evidenziano la presenza in sottosuolo di depositi vulcanoclastici relativi alla deposizione dell’Ignimbrite Campana (CGT, 39 ka BP) [De Vivo et al., 2001]. La parte sommitale di tale deposito (CGT), intensa-



**Figura 37** A) Ubicazione delle linee sismiche Sparker (traccia in verde); la carota a gravità C5 (in rosso) mentre il sondaggio CV005 (in giallo, da Amorosi et al., 2012) sono state utilizzate per calibrare alcuni orizzonti sismici; B) ubicazione delle linee sismiche Subbottom Chirp (traccia in blu).

**Figure 37** A) Navigation track of Sparker profiles (green lines); gravity core C5 (red dot) and CV005 borehole (yellow dot) are also located and were used to calibrate seismic horizons; B) navigation track of Subbottom Chirp profiles (black lines).



**Figura 38** Profilo topografico terra-mare (dx-sx) nel settore prospiciente la foce del Fiume Volturno. Le frecce indicano la rottura di pendenza tra margine di piattaforma e scarpata (rosso, -150 m), tra il piede del prodelta e piattaforma esterna (blu, -70 m), del fronte deltizio (giallo, -25 m) e della barra di foce (verde, -8 m).

**Figure 38** Topographic profile off the Volturno river mouth. A number of breaks in slope occur along deep and mark the continental shelf edge (red, -150 m), the prodelta closure (blue, -70 m), the delta front closure (yellow, 25 m), the river mouth bar (green, -8 m).



mente pedogenizzato, risulta essere a circa -28 m nei settori circostanti la Foce del fiume Volturno, mentre si approfondisce oltre i -30 m, precedendo verso i Campi Flegrei [Amorosi et al., 2012]. Al di sopra del CGT sono stati segnalati depositi alluvionali, palustri, lagunari, estuarini e marini in diacronia ed eteropia di facies, con geometrie tipiche dei cicli regressivi-trasgressivi nelle aree costiere [Amorosi et al., 2012]. Gli autori evidenziano una fase di re-incisione dell'alveo fluviale nel TGC guidata anche dalla fase di regressione eustatica che da circa 39 ka a 20 ka BP ha portato la linea di riva da circa -60 m a circa -120 m rispetto alla posizione attuale. Recentemente è stato identificato il tefra relativo alla deposizione del Tufo Giallo Napoletano, in una carota in scarpata superiore a largo di Cuma [Iorio et al., 2014] e l'orizzonte sismico corrispondente è stato localizzato anche in piattaforma continentale nella zona meridionale del Golfo di Gaeta [Aiello et al., 2017].

#### 4.2 Acquisizione e analisi dei dati geofisici

Sono stati analizzati i dati sismo-acustici (Subbottom Chirp e Sparker; Fig. 37) e di batimetria, acquisiti con ecoscandaglio multifascio (vedi par. 2.2.1). I dati Subbottom Chirp e Sparker sono stati acquisiti nell'ambito del progetto PON I-AMICA (campagna I-AMICA\_2013\_01). Nel corso della campagna I-AMICA\_2013\_01 i dati Sub-Bottom CHIRP sono stati acquisiti con il sistema Chirp Sub-Bottom Profiler III contemporaneamente ai rilievi batimetrici multibeam, a bordo della N/O Urania.

I dati sono stati acquisiti con il Software SwanPro 2.02 utilizzando un intervallo di campionamento di 32 microsecondi ed una finestra di acquisizione di: 525 ms. La lunghezza totale delle linee acquisite è di circa 700 Km. Per i dati Sparker è stato utilizzato il Software di acquisizione Triton SB-L 7.2 con un intervallo di 125 microsecondi ed una finestra di acquisizione di 1000 ms. La lunghezza totale di linee acquisite è di circa 78 Km. I dati sismoacustici acquisiti forniscono informazioni rispettivamente sui primi 30-50 m e 100-200 m del sottofondo marino.

La calibrazione degli orizzonti stratigrafici nelle sezioni sismiche di alta risoluzione è stata effettuata utilizzando la carota a gravità C5 [Margaritelli et al., 2016], prelevata durante la campagna I-AMICA\_2013\_01 (7,11 m di penetrazione) e con i dati bibliografici e litologici dei sondaggi alla foce del fiume Volturno [sondaggio CV005; Amorosi et al., 2012; Sacchi et al., 2014a].

Una zona acusticamente sorda si amplia dalla linea di riva fino a -53 m, per circa 9 km dalla costa e corrisponde ai settori di piattaforma interna caratterizzati da livelli sabbioso-siltosi, gas biogenico nei livelli permeabili, sigillati da livelli pelitici. In questo settore non è possibile avere informazioni dalla stratigrafia sismica, se non una scansione a bassa risoluzione di passaggi

verticali di facies attribuibili a corpi deposizionali di ampio spessore.

#### 4.3 Risultati

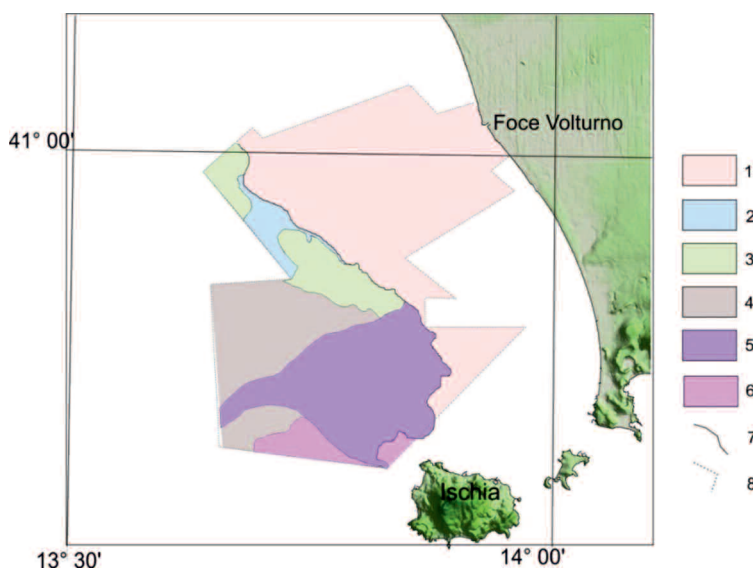
##### La topografia sottomarina

Il settore di piattaforma continentale in cui si è stata rilevata la batimetria è ubicato nella zona antistante la foce del fiume Volturno per una distanza di circa 20 km (Fig. 6).

La topografia sottomarina presenta un declivio naturale con isobate in pianta convesse verso mare che corrispondono alla zona di prodelta del fiume Volturno. Alcune blande rotture di pendenza nel profilo topografico nel settore antistante la foce (Fig. 38) marcano i passaggi tra ambienti deposizionali (fronte deltizio, prodelta, piattaforma esterna, scarpata), ma sono anche in parte condizionati da alcune morfologie sepolte.

Nelle aree di scarpata si distinguono settori in cui sono attivi processi erosivi e fenomeni di arretramento del ciglio di piattaforma e settori a sedimentazione prevalentemente emipelagica (Fig. 40).

Un sistema di incisioni lineari si sviluppa dal ciglio della piattaforma su un fronte di circa 18 km e configura la testata del Canyon di Cuma che è in collegamento con un canale meandrificato dai -700 m circa, probabilmente alimentato da correnti di torbida; lateralmente al sistema torbiditico si distinguono aree a fondo piatto e bassa pendenza ( $<2^\circ$ ) che costituiscono probabilmente aree di recapito dei depositi di tramicazione dal canyon e dei mass flow dalle zone della scarpata in arretramento (Fig. 39).



**Figura 39** Sistemi erosivo-deposizionali in piattaforma-scarpata continentale: 1) aree di piattaforma, 2) aree di scarpata, 3) aree di scarpata in erosione, 4) aree di recapito in scarpata di depositi di tramicazione e trasporto in massa, 5) testata del Canyon di Cuma, 6) aree a substrato vulcanico sub-affiorante, 7) ciglio della piattaforma, 8) limite delle aree rilevate per il Progetto I-AMICA e per altri progetti istituzionali dell'IAMC - CNR.

**Figure 39** Erosional-depositional sectors: 1) continental shelf; 2) continental slope; 3) erosional processes along the continental slope; 4) areas of mass flow and overbank deposits; 5) Cuma canyon head; outcropping volcanic; 7) shelf edge; 8) surveyed areas.

### La stratigrafia del sottofondo

I profili orientati trasversalmente alle isobate evidenziano le geometrie delle unità sismo-stratigrafiche e dei riflettori che le compongono. Procedendo da terra verso mare (Fig. 40) si osservano:

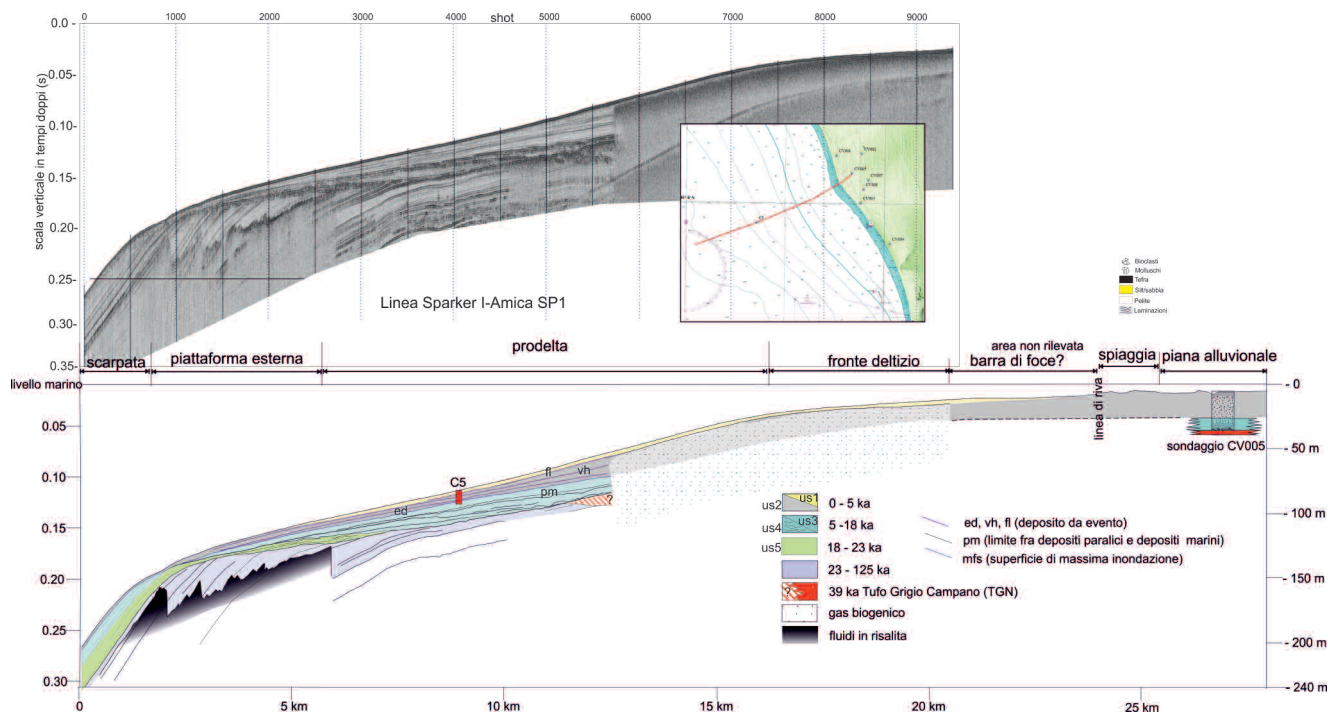
- una unità superficiale (us1), spessa fino a 5 ms caratterizzata da geometrie tipo toplap fino a -30 ms di profondità e geometrie oblique con riflettori crenulati fino a -100 ms; nel complesso l'unità si rastrema verso terra ad *onlap* e verso mare a *downlap* sull'unità sottostante;
- una unità sepolta (us2) cuneiforme (spessore max 30 ms) che si rastrema in prossimità del ciglio di piattaforma, il cui limite superiore è un riflettore ad alta ampiezza ed indistinto riconoscibile verso terra fino a -60 ms (al di sotto del quale si osserva zona sorda); la base di questa unità è una superficie di *downlap* costituita da un riflettore ad alta ampiezza e alta continuità laterale che costituisce un livello sismico guida in tutta l'area (orizzonte mfs);
- una unità a riflessioni parallele e continue (unità us3) con spessore max di 15 ms che si rastrema verso mare sull'unità sottostante;
- una unità a geometria irregolare (unità us4) e con riflessioni interne disomogenee e lateralmente discontinue che si rastrema verso mare alla profondità di -180 ms; la base è costituita da una superficie erosiva che tronca le riflessioni oblique dell'unità sottostante, correlabile alla superficie di esposizione subaerea durante la fase di mas-

sima regressione glacio-eustatica, il cui massimo sviluppo si è realizzato circa 20 ka BP a scala globale [Lamberk and Chappell, 2001];

- una unità spessa fino a 20 ms (us5) ubicata in piattaforma esterna e scarpata superiore costituita da riflettori obliqui, correlabile con i depositi di basso stazionamento eustatico;
- un ampio cuneo progradante costituito da varie sequenze deposizionali che corrispondono all'unità C di Torrente e Milia [2013] e datato 400-20 ka e di cui nella presente sezione è visibile solo la parte più esterna.

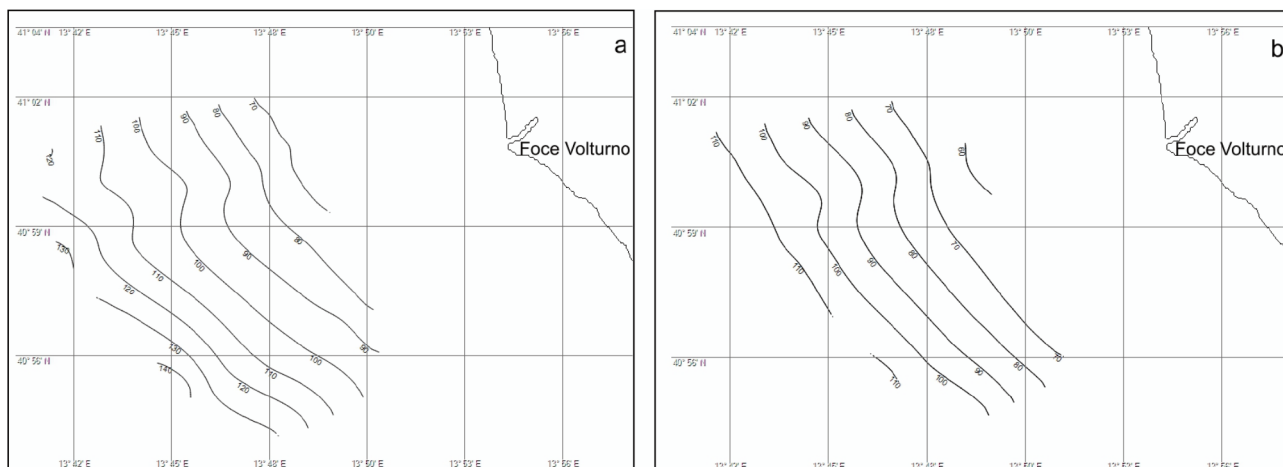
In base agli orizzonti identificati nella carota C5 e considerando i criteri stratigrafico-sequenziali, che ben si applicano in questo contesto, si è realizzata una correlazione terra-mare fino al sondaggio CV005 posto a sud dell'alveo fluviale, 2.1 km dalla riva a quota + 3 m [Amorosi et al., 2012; Sacchi et al., 2014a].

In figura 40 è mostrata la linea Sparker I\_Amica SP1 calibrata nel tratto più superficiale dal carotaggio a gravità C5. È ipotizzabile sulla base delle correlazioni con i livelli guida, che l'unità us1 e us2 rappresentino la fase di progradazione sedimentaria del fronte costiero e deltizio post- 5 ka BP. Le unità us3 e us4 rappresentano invece la fase di trasgressione degli ambienti deposizionali verso terra, relativa all'innalzamento glacio-eustatico post-glaciale tra i 18 e i 5 ka BP (Fig. 40).



**Figura 40** Linea Sparker I\_Amica SP1 alla foce del Fiume Volturno. Le unità us3 e us4 marcano le fasi di retrogradazione deltizia durante la risalita glacio-eustatica post-glaciale, mentre le unità us2 e us1 registrano la progradazione deltizia del tardo olocene.

**Figure 40** Sparker line I\_Amica SP1 off the Volturno river mouth. Units us3 and us4 record the retrogradational phases of deltaic lithosomes due to the fast post-glacial sea level transgression, whereas units us2 and us1 mark the progradational phase of deltaic environment during late Holocene.



**Figura 41** a) profondità (m) della superficie tempo-trasgressiva (pm) che segna il passaggio fra deposizione paralica di ambienti di transizione e sedimentazione marina durante la fase di risalita eustatica post-glaciale; b) profondità (m) dell'orizzonte guida vh, che include livelli vulcanoclastici depositi tra 3.7 e 4.5 ka BP intercettati nella Carota C5 (Margaritelli et al., [2016]).

**Figure 41** a) depth (in metre) of the time-transgressive horizon (pm), marking the passage from littoral to marine deposition, during the post-glacial sea level transgression; b) depth (in metre) of the vh seismic marker, here interpreted as the seismic expression of the tefra layers intercepted in C5 core between 3.5 and 4.5 m bsf (3.7-4.5 ka BP, according to Margaritelli et al. [2016]).

L'orizzonte diacrono pm marca il passaggio tra sedimentazione paralica e sedimentazione marina (Fig. 41), quindi il limite fra us3 e us4 non ha la stessa età in tutti i punti bensì e più recente procedendo verso costa. L'orizzonte vh (Fig. 41) è la rappresentazione acustica complessiva di una serie di livelli vulcanoclastici centimetrici che in carota giacciono fra -3.8 m e -4.5 m e che sono stati correlati all'attività vulcanica flegrea e vesuviana tra 3.0 e 4.5 ka BP [Margaritelli et al., 2016]. L'orizzonte fl corrisponde ad un livello sabbioso/siltoso con litici rimaneggiati e ad alto contenuto di materiale organico, che determina un picco di suscettività magnetica. Questo livello potrebbe rappresentare un evento di piena fluviale post 2ka BP. La zona acusticamente sorda corrisponde al settore di fronte deltizio, che poggia su livelli vulcanoclastici e alluvioni. Il settore a maggiore acclività e con riflessioni distinte e continue lateralmente marca il settore di prodelta e di piattaforma esterna (Fig. 41). Il profilo topografico anomalo (numerose rotture di pendenza nei primi 50 m di profondità), l'ampiezza della zona acusticamente sorda e la stratigrafia del sondaggio CV005 lasciano ipotizzare la presenza dei depositi relativi al Tufo Grigio Campano (TGC) oltre l'attuale linea di riva almeno fino alla profondità di 50 m circa (a 8 km dalla riva).

Questa ipotesi è compatibile con la quota del paleolivello di riva che, al momento della eruzione del TGC, era intorno ai -65 (+/-10 m) [Waelbroek et al., 2002], e giustifica la rapida progradazione sedimentaria che il sistema deltizio ha subito da circa 6 ka ad oggi [Amorosi et al., 2012; Sacchi et al., 2014a], dovuta ad uno spazio di accomodamento limitato.

## 5. Sismica multicanale ad alta risoluzione "Bay Cable"

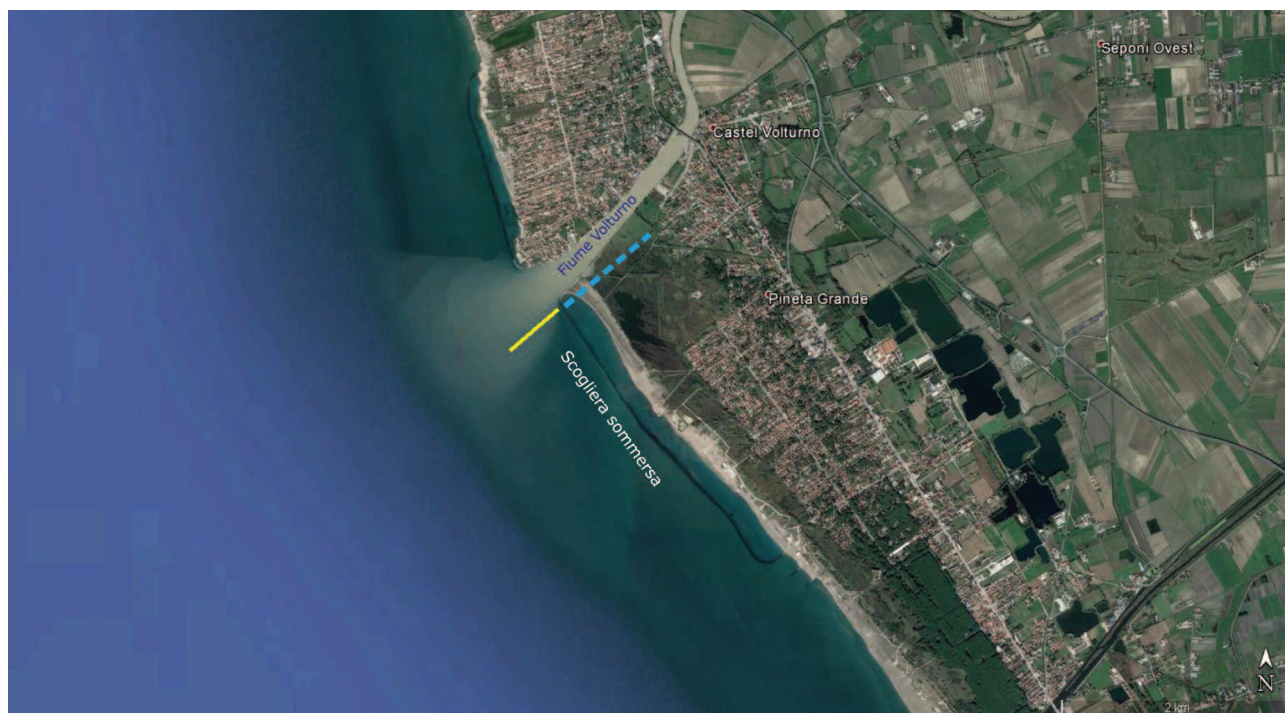
La metodologia "Bay cable", sperimentata nell'area di studio, ha permesso l'esecuzione di una prospezione di sismica marina multicanale ad alta risoluzione nell'area di transizione alla foce del Fiume Volturno. Nel corso di una campagna di indagini geofisiche, svoltasi dal 23 al 26 luglio 2012 è stato acquisito un profilo sismico dalla prossimità della scogliera sommersa, posta alla sinistra della foce del fiume ad una distanza di circa 130 metri dalla linea di riva, verso mare in direzione NE-SW (Fig. 42) al fine di realizzare una ricostruzione sismo-stratigrafica di dettaglio del sottofondo marino dell'area in esame (tra 0 e -150 m di profondità).

I due elementi considerati ai fini della localizzazione della linea sismica sono stati:

- necessità di prolungare il profilo verso NE, nella zona comprendente la battigia e la piana alluvionale (linea tratteggiata in blu in figura 42);
- esigenza di poter estendere verso mare, in direzione SW, l'acquisizione con l'obiettivo di raccordarsi il più possibile alla linea sismica Sparker I\_Amica SP1 acquisita dall'IAMC-CNR di Napoli nel corso della Campagna Oceanografica I-AMICA\_2013\_01 (vedi paragrafo 4, Fig. 37A).

Il profilo sismico multicanale, di lunghezza 537.5 m, è stato realizzato attraverso l'acquisizione di tre singoli transesti, impiegando la sorgente sismica marina Watergun.





**Figura 42** Localizzazione (linea in giallo) del profilo sismico acquisito e del suo prolungamento a terra (linea tratteggiata in blu).  
**Figure 42** Location map of the acquired seismic profile (yellow line) and its extension toward the land (blue dotted line).

## 5.1 Acquisizione dati

La strumentazione utilizzata è costituita da 4 unità principali:

1. sistema d'acquisizione dati;
2. sistema di trasduzione;
3. sistema di immagazzinamento dati;
4. sistema di energizzazione.

Il sistema di acquisizione dati è costituito da 3 sismografi modulari GEODE della Geometrics da 24 canali cadauno (Fig. 43). Il Geode è un sismografo a 24 bit ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale - 105 dB istantanei), ampia banda d'ingresso (1.75 Hz - 20 kHz), con passo di campionamento da 0.02 ms a 16 ms, che amplifica e digitalizza il segnale ricevuto dagli idrofoni e lo invia all'unità d'immagazzinamento dati. Ogni modulo è estremamente compatto (27 x 25 x 18 cm – circa 3 Kg) e può essere configurato da 3 a 24 canali. Più moduli geode possono essere collegati in serie da cavi di interfaccia digitali in modo da costituire sistemi fino a 1000 canali. Ogni modulo è alimentato autonomamente con batterie esterne da 12 Volt, con un consumo ridotto grazie ad un efficiente sistema di *stand-by*.

Il sistema di trasduzione è costituito da tre cavi sismici marini da 24 canali. Gli idrofoni (o geofoni a pressione (Fig. 44) utilizzati sono dei sensori piezoelettrici che hanno la proprietà di dare luogo ad una differenza di potenziale elettrico proporzionale alla pressione istantanea dell'acqua. Questa diffe-

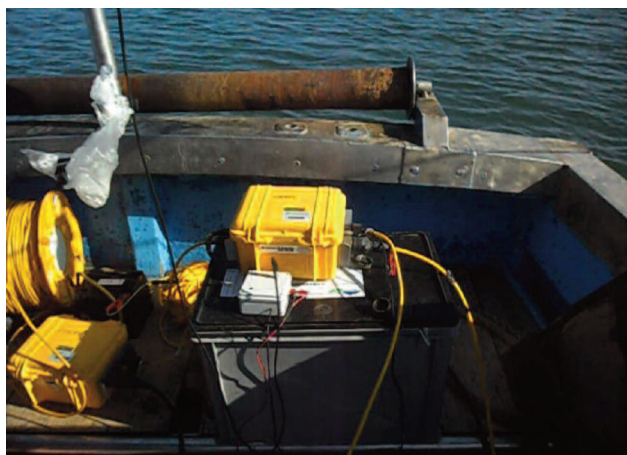
renza di potenziale generata è a sua volta proporzionale alla velocità di spostamento delle particelle d'acqua messe in movimento dal segnale acustico. Sono stati impiegati sensori con frequenza naturale di 10 Hz interdistanziati di 2,5 m. I tre cavi, sono stati adagiati sul fondale e prima di essere calati in mare, sono stati uniti in modo tale da realizzare un'unica linea idrofonica da 72 canali complessivi. I segnali elettrici registrati dagli idrofoni vengono inviati tramite cavi sismici (*streamer*) ad un sismografo che li digitalizza consentendone la successiva acquisizione.

Parte integrante del sistema di trasduzione ed acquisizione sono anche 3 cavi di interfaccia digitale per connessione tra i moduli geode.

Il sistema d'immagazzinamento dati è rappresentato da un Laptop. Il laptop, collegato tramite rete locale Ethernet ai 3 Geodi, svolge il compito di archiviare i dati digitalizzati provenienti dai Geodi (in formato Seg-2), di gestire i parametri d'acquisizione e consente di valutare interattivamente la qualità dei dati acquisiti.

Il sistema di energizzazione è costituito da una sorgente sismica Watergun SODERA Modello S-15 di 0.24 L. di volume ed alimentato da bombole ad aria compressa (Fig. 46). La sorgente utilizza aria compressa per immettere energia nell'acqua circostante e presenta una sola camera in pressione, quella superiore. La camera inferiore è aperta ed a contatto con l'acqua. Al momento dello sparo, il movimento verso il basso del pistone provoca l'espulsione dell'acqua ed una

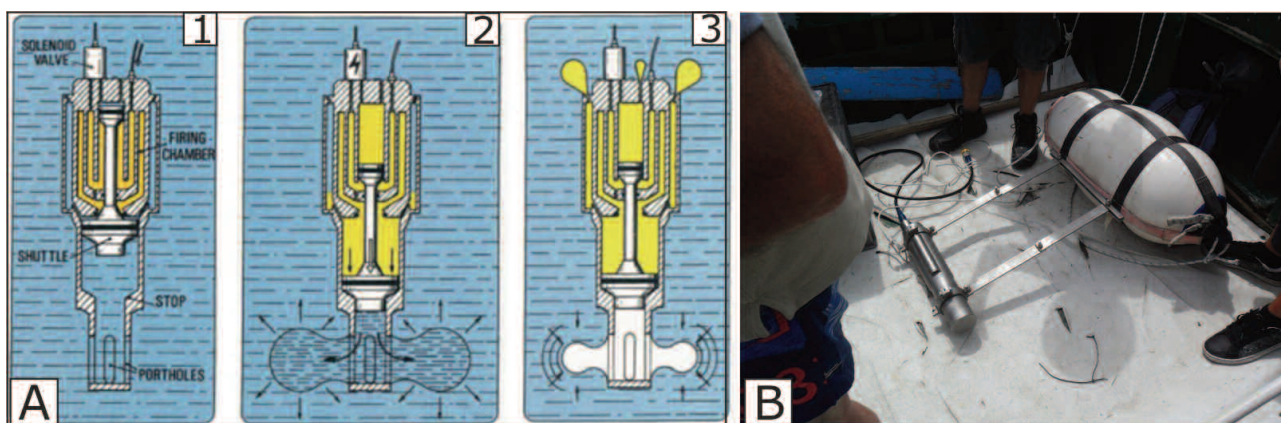




**Figura 43** Sistema di acquisizione dati costituito da sismografi Geode.  
**Figure 43** The acquisition system with three 24-channel Geodes.



**Figura 44** Idrofono. In corrispondenza di ogni idrofono, sono stati legati dei maniglioni (300 g.) per meglio favorire la discesa in profondità.  
**Figure 44** Hydrophone. In correspondence of each hydrophone was tied a shackle (300 g) for facilitating the cable descent in depth.



**Figura 45** A) Fasi operative della sorgente sismica Water-gun (Copyright: Sercel): 1) fase di carico; 2) fase di sparo con formazione delle bolle d'aria; 3) collasso delle bolle con brusca implosione dell'impulso con conseguente generazione dell'impulso acustico. B) Particolare del Water-gun utilizzato per l'acquisizione sismica multicanale.  
**Figure 45** A) Stages of operation of Water-gun seismic source (Copyright: Sercel). 1) The upper chamber is pressurized; 2) Firing process: a jet of high-pressure water expelled from the gun; 3) The bubble implodes to create a singular seismic pulse B) Particular of S-15 Water-gun used during the seismic survey.

successiva implosione con conseguente generazione dell'impulso acustico, virtualmente privo dell'effetto bolla e con un contenuto maggiore in alte frequenze.

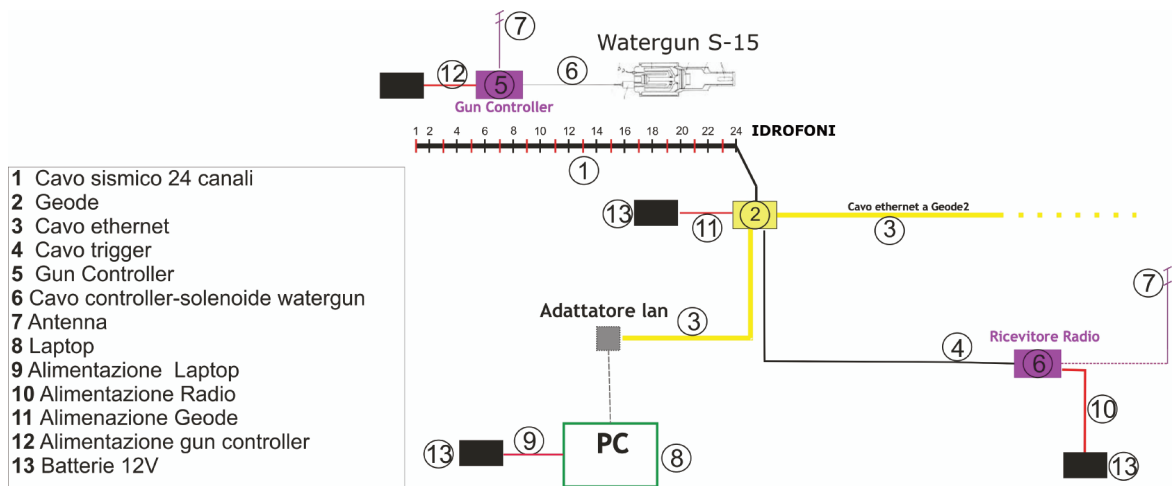
Per ottimizzare le operazioni di acquisizione sono stati adoperati tre mezzi nautici (di proprietà della Cooperativa La Flegrea) con caratteristiche differenti (Moto-Peschereccio, gozzo, gommone). In particolare i due cavi d'acciaio situati nella zona poppiera del moto-peschereccio, normalmente utilizzati per la pesca a strascico (Fig. 46), allacciati ad un verricello azionato da un sistema idraulico, hanno permesso di filare in mare complessivamente circa 600 metri di cavo.

Il sistema di acquisizione e quello di energizzazione sono stati installati su due imbarcazioni differenti, per tale moti-

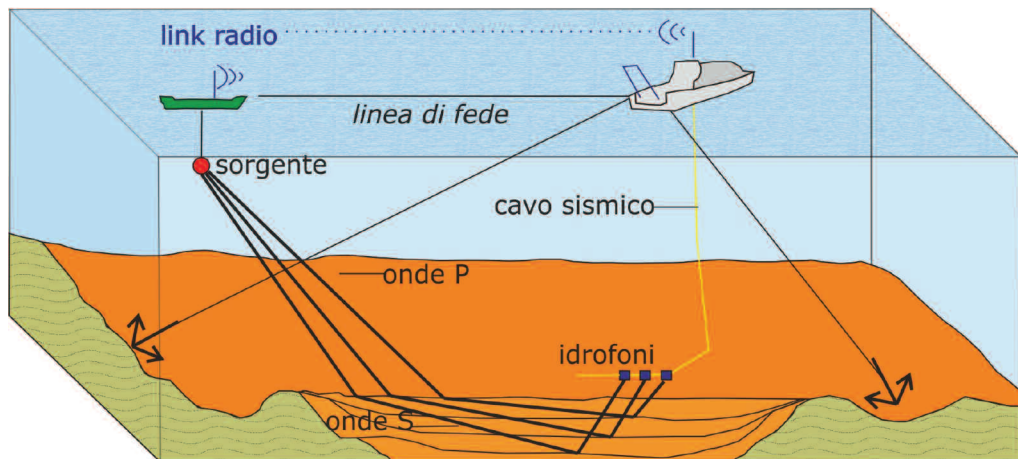
vo il sistema di *trigger* è stato realizzato attraverso una trasmissione radio. In corrispondenza di ciascun punto di scoppio, la camera del Watergun è stata riempita alla pressione di 100 bar. Dopo il caricamento, il *gun controller* (installato sul gozzo) invia un impulso elettrico alla valvola a solenoide del Watergun, sincronizzando l'apertura della camera di scoppio; contemporaneamente invia (via radio) il segnale di tempo zero al sistema di registrazione (installato sul peschereccio) determinandone l'avvio dell'acquisizione (Fig. 47). In questo modo la registrazione ha inizio all'esatto istante in cui la sorgente viene attivata. Operativamente il sistema offre la possibilità di ottenere un'emissione di aria circa ogni 5 secondi.



**Figura 46** A) Particolare del verricello a due tamburi che comanda i due cavi d'acciaio. B) Veduta dell'arcone di poppa.  
**Figure 46** A) Detail of the double-drum winch which controls the two steel cables. B) View of the boat arch stern.



**Figura 47** Schema esemplificativo delle componenti della stazione di controllo.  
**Figure 47** Exemplifying scheme of the Control Station Components.



**Figura 48** Modello schematico della configurazione sorgente/ricevitori.  
**Figure 48** Schematic model of the source-receivers configuration.



Poiché l'acquisizione è stata realizzata in più giornate, l'esatto posizionamento dei profili tra loro è stato garantito dall'utilizzo di Sistemi Satellitari e G.P.S. attraverso i quali è stato possibile, nei giorni successivi, riallinearsi allo stendimento acquisito il giorno precedente. Al termine di ogni giornata lavorativa, inoltre, sono stati lasciati in mare lungo il profilo boe e gavitelli al fine di marcare ulteriormente alcune posizioni cardine dello stendimento, quali prima ed ultima posizione di scoppio e primo ed ultimo idrofono di ogni cavo sismico.

All'estremità dei due cavi sono state montate due ancore dal peso di circa 90 Kg. La procedura utilizzata è stata quella di calare in mare la prima ancora una volta arrivati sul punto di inizio acquisizione. Una volta calata la prima ancora, il peschereccio, filando in mare il cavo d'acciaio, si sposta verso il secondo punto dello stendimento per calare la seconda ancora; configurando così con i cavi d'acciaio una "linea di fede" utilizzata come guida sia per lo stendimento del cavo sismico che per le operazioni di energizzazione. Durante l'indagine sono state impiegate due squadre; una ha operato alla stazione di controllo, alla quale viene inviato l'input per lo *shot*, dove si controllano e si registrano i dati ricevuti; l'altra invece ha operato sul gozzo per la gestione delle operazioni in mare (energizzazione, posizionamento e recupero del cavo sismico).

#### Geometria di acquisizione

A differenza delle prospezioni sismiche marine di tipo convenzionale, che registrano solo onde compressive, o onde P, al fine di ottenere una maggiore discriminazione delle unità geologiche, l'indagine è stata progettata in modo tale da registrare anche le onde di taglio e onde S. Per tale motivo il cavo *bay-cable* è stato adagiato sul fondo marino dato che le onde S non si propagano nei fluidi (Fig. 48). Le tre imbarcazioni sono state così utilizzate: una a supporto della sorgente (gozzo), l'altra di appoggio alla strumentazione di registrazione (peschereccio) e la terza a sostegno durante le operazioni di stesura e recupero del cavo sismico (gommona).

Nella fase successiva si è proceduto al posizionamento degli idrofoni dal gozzo secondo l'allineamento garantito dalla

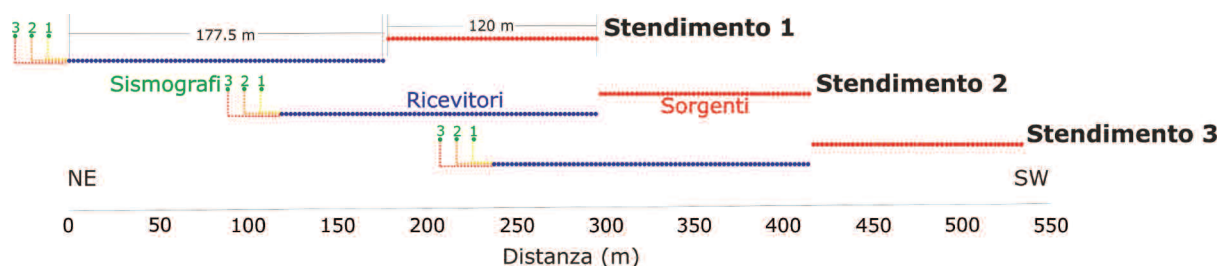
Profilo Sismico	
Lunghezza	537.5 m
Sorgente sismica	Watergun S-15
Distanza idrofonica	2.5 m
Spaziatura sorgenti	2.5 m
Numero energizzazioni	145
Pressione d'esercizio	100 bar
Profondità d'esercizio	0.5 m
Numero canali complessivi	168 idrofoni a 10 Hz
Finestra temporale	2000 ms
Campionamento temporale	0.5 ms.
Spaziatura CDP	1.25 m
Massima copertura CDP	48
Numero CDP	312

**Tabella 9** Principali parametri d'acquisizione del profilo sismico a riflessione/rifrazione.

**Table 9** Main acquisition parameters for the reflection/refraction seismic survey.

linea di fede. Gli idrofoni sono stati adagiati sul fondo del mare ad una profondità variabile da 2.6 m a 6.2 m, avanzando da NE verso SW. L'acquisizione è stata eseguita utilizzando uno stendimento di 72 canali (pari a 3 geodi) che è stato traslato per due volte lungo il profilo (Fig. 49) lasciando un geode in comune (24 canali) con l'array precedente. I profili sismici sono stati acquisiti con una geometria di tipo "off-end push increase".

La geometria d'acquisizione, con l'impiego di uno stendimento di idrofoni con spaziatura regolare di 2,5 metri, è consistita nell'esecuzione di energizzazioni esterne dello stendimento idrofonico regolarmente spaziate ogni 2,5 metri. Per ogni posizione di energizzazione la pressione di esercizio è stata di 100 bar. Tale strategia d'acquisizione ha permesso d'ottenere un'interdistanza tra i CDP (Common Depth



**Figura 49** Schema del dispositivo di acquisizione costituito da tre sismografi a 24 canali (72 canali). I punti blu rappresentano gli idrofoni, i punti verdi simboleggiano i sismografi, i punti rossi raffigurano le sorgenti.

**Figure 49** Sketch of the acquisition device consisting of three 24-channel seismographs (72 channels). The blue dots represent the hydrophones, the green dots symbolize the seismographs, the red dots depict the sources.

Point) di 1,25 m e quindi un'elevata copertura dei dati. In totale sono state acquisite 10440 tracce; la geometria d'acquisizione utilizzata ha consentito di avere un'elevata copertura CDP con un valore massimo di 48 tracce.

Nella Tabella 9 sono riportati i parametri relativi alla geometria d'acquisizione del profilo sismico.

## 5.2 Elaborazione ed interpretazione dei dati

I dati sismici acquisiti sono risultati di buona qualità, le fasi primarie sono ben evidenti, rispetto al rumore sismico ambientale, anche per i ricevitori a grande distanza dalla sorgente (Fig. 50).

La geometria d'acquisizione utilizzata ha consentito di campionare, in un ampio intervallo di *offset* (da 2.5 m fino a 297.5 m), sia eventi riflessi sia onde rifratte che penetrano in profondità grazie ai grandi *offset* acquisiti, permettendo di elaborare efficacemente i dati sia in chiave di sismica a riflessione che a rifrazione. Tale elaborazione combinata migliora la qualità del prodotto finale e fornisce informazioni complementari (ovvero sezioni *stack* e immagini tomografiche), che facilitano la successiva interpretazione geo-strutturale del dato geofisico. L'elaborazione a riflessione [Ylmaz, 1987] è stata eseguita attraverso un software dedicato (ProMAX 2D della Landmark). L'individuazione della sequenza di elaborazione ottimale da applicare al dato [Steeple, 1984], al fine di ottenere il miglior risultato in termini di immagine sismica, è stata tarata in base alla qualità ed alle caratteristiche del dato registrato in campagna. L'elaborazione si è articolata in tre fasi: 1) *pre-processing*; 2) analisi di velocità e *stacking*; 3) *post-stack*. Inizialmente il

dato, raggruppato per punto di energizzazione comune (*Common Shot Gather - CSG*), è stato trattato al fine di incrementare il rapporto segnale-rumore. Per tale scopo sono state eliminate le tracce nulle o caratterizzate da un bassissimo rapporto segnale/rumore e sono stati eseguiti dei test di filtraggio per attenuare il rumore incoerente. L'applicazione della deconvoluzione (*spiking e/o predittiva*) è stata utile per aumentare la risoluzione verticale del segnale e per attenuare le riverberazioni e le multiple, a favore degli eventi riflessi primari.

Parallelamente all'elaborazione delle fasi sismiche a riflessione è stata eseguita anche un'analisi a rifrazione dei dati. Le letture dei primi arrivi, dopo essere state accuratamente verificate, sono state invertite sulla base di un modello iniziale di velocità 2D. Il risultato è un modello bidimensionale che indica la distribuzione delle velocità sismiche P del sottosuolo. I tomogrammi oltre a fornire informazioni aggiuntive per l'interpretazione dei dati in chiave geo-strutturale, sono stati anche utilizzati nella sequenza di elaborazione a riflessione per le correzioni statiche. Nella successiva fase d'elaborazione, i dati sono stati raggruppati per punto comune di riflessione (CDP) per eseguire l'analisi di velocità, necessaria per la correzione di *Normal MoveOut (NMO)* e la successiva sommatoria (*stack*) delle tracce sismiche con gli eventi riflessi in fase. Le sezioni *stack* sono state trattate con dei processi di filtraggio spaziale 2D per migliorare l'informazione coerente e ridurre il rumore casuale. Infine, per aumentare la corrispondenza tra la sezione sismica e la realtà geologica investigata, sarà possibile applicare algoritmi di migrazione *post-stack*.

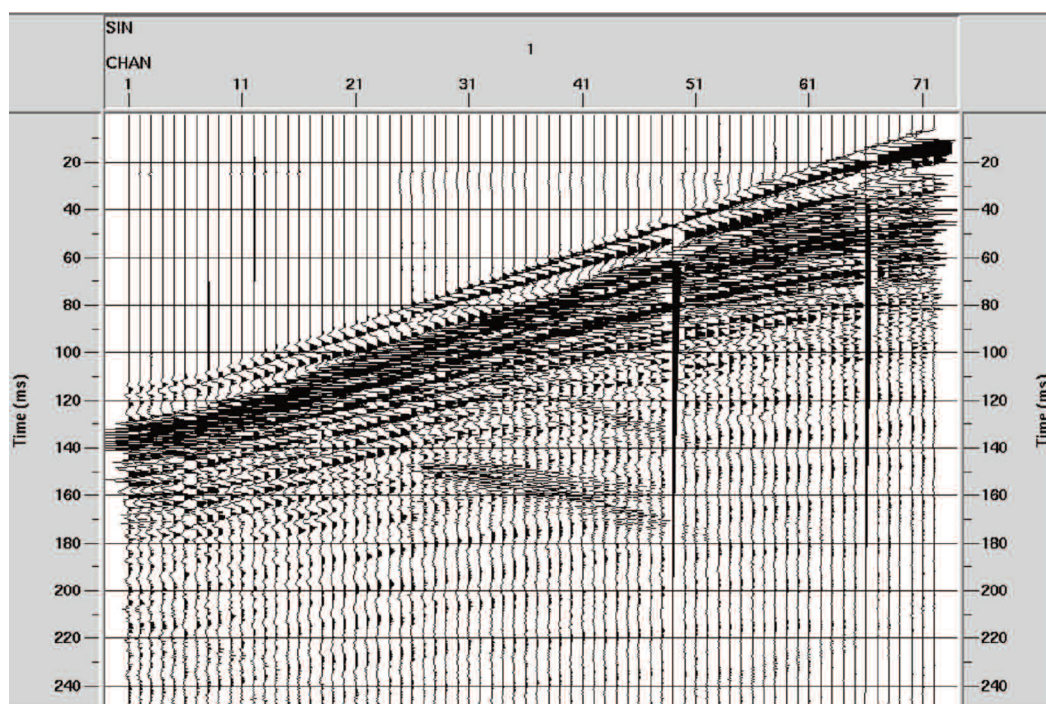


Figura 50 Esempio di Common Shot Gather acquisito.  
Figure 50 Example of Common Shot Gather.



L'elaborazione della sezione sismica *stack* ha fornito informazioni molto interessanti nei primi 150 ms (millisecondi). È stato possibile distinguere, dal basso verso l'alto, tre facies sismiche (Fig. 51):

- **unità sismica a:** definita da una coppia di riflettori a più bassa frequenza rispetto a quelli dell'unità sovrastante (unità sismica b). I sismo-strati appartenenti a questa facies sono caratterizzati da una geometria concava con leggera immersione verso SW;
- **unità sismica b:** formata, nella prima parte (CDP-X: 90-200), da riflettori in configurazione progradante; nella restante parte della sezione, i riflettori, leggermente discontinui ed a geometria lenticolare, sono in configurazione di *on-lap* sul top dell'unità sismica a.
- **unità sismica c:** caratterizzata da riflettori a bassa frequenza e discontinui leggermente immergenti verso SW.

L'arrangiamento latero-verticale e le caratteristiche geometriche delle diverse facies sismiche riconosciute, sono compatibili con un'architettura deposizionale tipica di un sistema di tipo transizionale (continentale/marino prossimale), come quello deltizio.

L'inversione tomografica [Hayashi and Takahashi, 2001] ha permesso di definire le velocità delle onde P fino ad una profondità massima di circa 40 metri (Fig. 52). La sezione è caratterizzata da un errore RMS finale (*Root-Mean Square* relativo alla differenza tra i tempi di percorso osservati e calcolati) molto basso: 1.48 ms. La tomografia mostra con buona affidabilità uno strato superficiale (con uno spessore di 7-10 metri) a velocità di circa 1300-1500 m/sec che si inspessisce nella

parte iniziale della sezione. Successivamente è stato possibile individuare sismostrati con una velocità media di 1700 m/sec che si estendono entro il limite di affidabilità della tomografia.

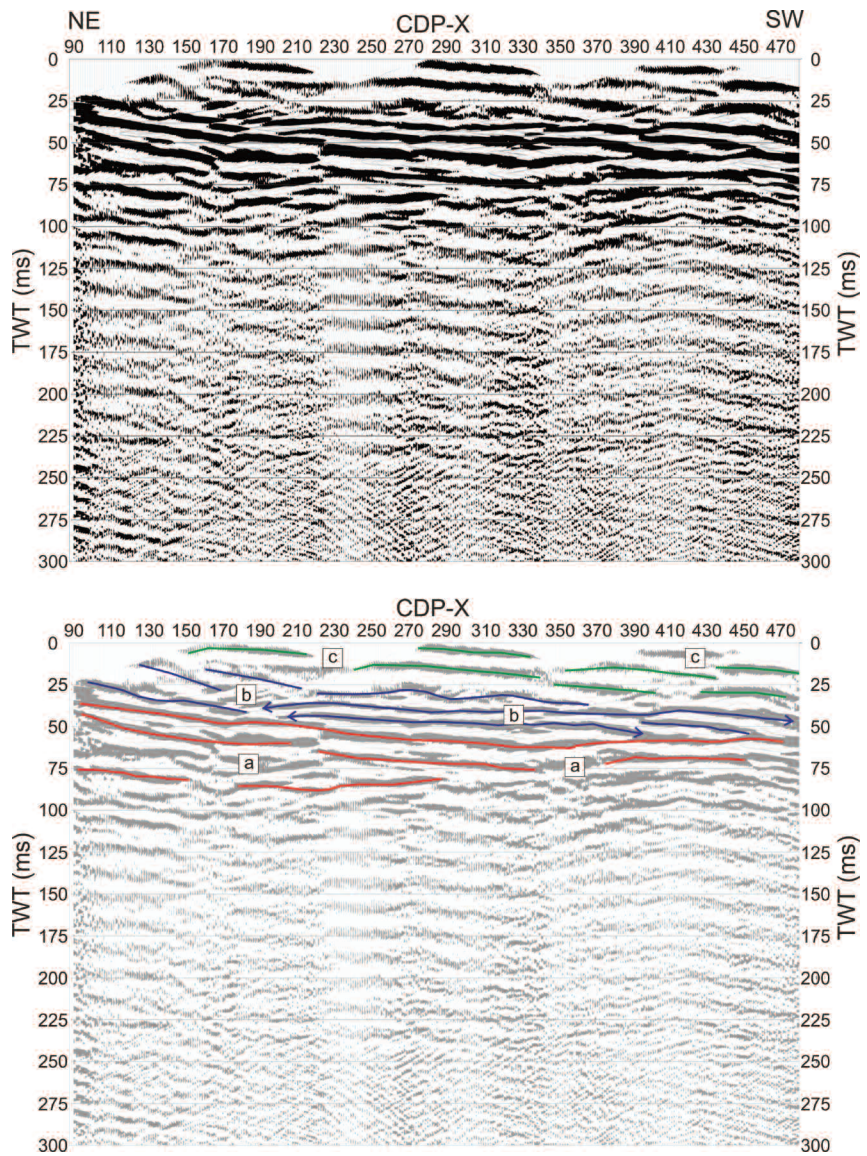


Figura 51 Sezione sismica *stack*.  
Figure 51 Stack seismic section.

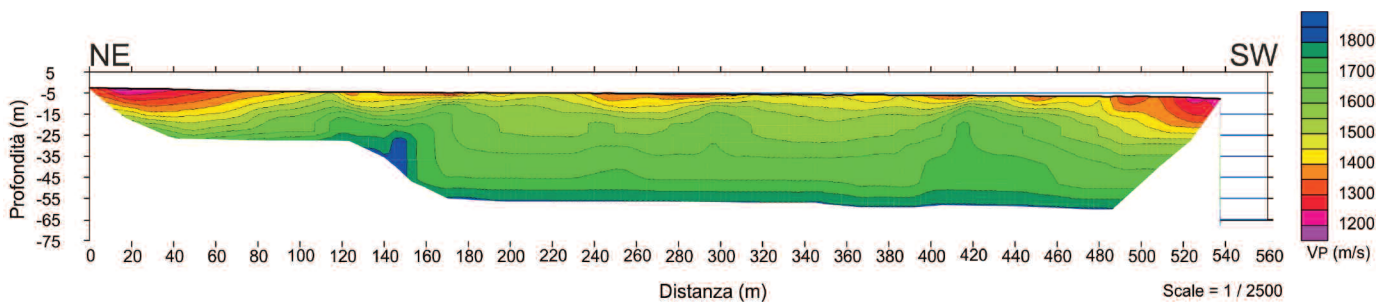


Figura 52 Modello Tomografico della velocità delle onde P.  
Figure 52 Vp tomographic model.

## 6. Schema di funzionamento ICZM (Integrated Coastal Zone Management)

Storicamente, all'interno delle zone costiere, si trovano beni e servizi ecosistemici [de Groot et al., 2010] di grande importanza per lo sviluppo socio-economico del territorio e spesso in tali aree, i processi naturali si sovrappongono ad attività di sfruttamento antropico delle risorse (es: turismo, attività marittime, pesca, etc.). Per chiarire il concetto di ICZM (*Integrated Coastal Zone Management*) è necessario considerare che la complessità dei sistemi costieri, dovuta alla intrinseca natura dinamica delle coste, rende difficile fornire una chiara definizione di "zona costiera - Coastal Zone". Adottando una semplice definizione, la CZ (*Coastal Zone*) potrebbe essere immaginata come "uno spazio di interazione dinamica tra il mare e la terra". Ovviamente, i problemi nell'esplicitare una definizione di CZ sorgono con la diversità delle caratteristiche esistenti sulla costa dovute alle scale spaziali interagenti con i sistemi. Inoltre, gli aspetti fisici che caratterizzano una zona costiera, l'inclusione degli ecosistemi, le risorse e le attività umane presenti in essa, rappresentano fattori determinanti e multidisciplinari e dunque responsabili dei disturbi dell'equilibrio naturale del sistema costiero. In più, le procedure amministrative spesso complicano ulteriormente la situazione portando spesso ad una gestione frammentata delle aree costiere. In questo contesto, la gestione integrata della fascia o zona costiera (GIZC o ICZM) è un processo decisionale che impiega un approccio integrato, prendendo in considerazione aspetti geografici e politici, ambientali, culturali, storici, urbanistici ed economici nel tentativo di raggiungere gli obiettivi dello sviluppo sostenibile applicato alla Pianificazione territoriale ed urbanistica.

I principali obiettivi attesi nell'applicazione di un approccio di gestione basato sull'ICZM sono:

- mantenere l'integrità funzionale delle risorse dei sistemi costieri;
- ridurre l'uso delle risorse in conflitto;
- mantenere la salute ambientale;
- facilitare lo sviluppo multi-settoriale.

La mancata inclusione di questi obiettivi porterebbe ad una forma di gestione insostenibile minando l'esplicito paradigma dell'ICZM [Cicin-Sain and Knecht, 1998].

### 6.1 Il quadro operativo per la definizione di uno schema di funzionamento ICZM

#### *Valutazioni politiche*

La politica rappresenta lo strumento maggiore con cui le autorità di riferimento possono implementare una strategia per l'ICZM al fine di garantire lo sviluppo sostenibile delle zone costiere. Di fronte alle questioni politiche (es: riduzione dell'inquinamento dell'acqua dovuto ai traspor-

ti marittimi), il primo passo è la valutazione e la classificazione in termini di vantaggi e svantaggi degli strumenti politici (strumenti di pianificazione territoriale, tasse e sovvenzioni, strumenti di mercato) e i relativi schemi (es: gestione centralizzata, decentralizzazione, approccio policoncentrico, etc.).

Le opzioni politiche e legislative da utilizzare per una corretta gestione della fascia costiera dovrebbero essere valutate in accordo con le seguenti categorie:

- strumenti politici preesistenti;
- processi deliberativi e partecipativi;
- controlli legislativi;
- strumenti di pianificazione;
- strumenti economici;
- letteratura generale.

Tutte le informazioni dovrebbero essere riferite non solo alle amministrazioni locali, ma anche alle organizzazioni internazionali che si occupano di gestione integrata delle aree costiere. La valutazione politica si basa sulla pura ricerca letteraria, sull'acquisizione di informazioni e materiale prodotto dagli istituti responsabili per lo sviluppo territoriale e sull'implementazione di politiche per l'ICZM.

Il ruolo della valutazione dello *status quo* degli strumenti politici è quello di evidenziare le carenze della gestione delle strutture al fine di intervenire sui livelli multipli.

#### *Analisi delle opzioni tecniche*

L'obiettivo di queste analisi è la valutazione delle alternative tecnologiche che possono essere considerate nelle valutazioni politiche al fine di incrementare la sostenibilità. Quindi, esse includono anche un'innovativa serie di opzioni che non sono state ancora integrate nelle strutture dell'ICZM come ad esempio, il bio-risanamento, le tecnologie di controllo dell'inquinamento o i nuovi metodi di eco-sostenibilità per ridurre l'impatto delle opere di protezione costiera.

Di seguito sono riportati alcuni esempi dei possibili scenari:

- valutazione dei rischi ambientali, costi e benefici relativi alla gestione di azioni implementate nelle zone costiere;
- implementazione di tecniche appropriate di mobilitazione/immobilizzazione per il controllo della biodisponibilità di contaminanti;
- sviluppo di metodologie per la gestione sostenibile delle acque e tecniche di riciclaggio in connessione con i metodi di gestione integrata delle zone costiere con particolare riferimento a zone soggette a desertificazione;
- utilizzo di metodi e programmi per la protezione di organismi ed ecosistemi ad alto valore;
- tecnologie ingegneristiche per la riduzione dei rischi in aree costiere;
- utilizzo, *in-situ* di tecnologie sostenibili che non causino disturbo agli ecosistemi.



L'analisi delle opzioni tecniche è una funzione di supporto per la gestione delle aree costiere, attraverso lo studio e la valutazione di tutte le informazioni relative all'avanzamento tecnologico che possono ridurre gli impatti relativi alle attività umane.

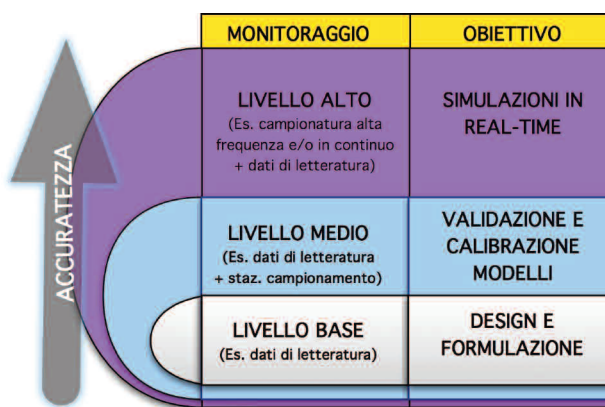
*Strategie di monitoraggio*

Il ruolo del monitoraggio è cruciale per supportare la modellizzazione del comportamento dei sistemi costieri come emerge dai principi dell'approccio sistemico. L'acquisizione della conoscenza dalla modellizzazione di un sistema è spesso scadente perché si avvale di schemi di campionamento inadeguati e strategie di monitoraggio che influenzano le performance finali dei modelli di simulazione. Uno dei primi passi, al fine di migliorare le strategie di monitoraggio, è lo sviluppo di pacchetti appositi per il controllo dei principali problemi delle aree costiere così come la progettazione, la formulazione, la calibrazione del sistema e la validazione dei risultati. Tutto ciò dovrebbe essere fatto prendendo in considerazione alcuni fattori importanti quali:

- le strategie di monitoraggio dovrebbero essere valutate rispetto all'area di studio, ai costi ed ai benefici (in termini di tempo e costi), e per lo scopo di monitoraggio (es: calibrazione, validazione, ecc.);
- il monitoraggio dovrebbe concentrarsi sulle informazioni chiave richieste per analizzare le principali funzioni dei sistemi costieri.

Ad esempio, nel corso del progetto SPICOSA (IP-Integrated Project sul tema Integrated Coastal Zone Management - ICZM, in accordo con la tematica 6.3 "Global Change & Ecosystems) sono stati identificati tre livelli principali di monitoraggio che possono essere facilmente applicabili anche ad altre aree marino-costiere [Fig. 53; Giordano and Vicinanza, 2011; Giordano et al., 2012]:

- *Livello base*: acquisizione di dati a basso costo, partendo dalle informazioni in letteratura, o da database pubblici (es: database condiviso da altri progetti), in modo da ottenere una visione approssimativa delle interazioni tra i componenti di un sistema costiero.
- *Livello medio*: utilizzo dei dati a basso costo, sfruttando anche le stazioni di monitoraggio e le misurazioni automatiche sui parametri considerati critici nello studio dei processi e nella modellizzazione dei sistemi.
- *Livello alto*: affinamento della strategia di monitoraggio compresi, per esempio, i sistemi di campionamento semi automatici adeguati in termini di rapporto spazio-tempo ed in base al caso studio (es: localizzazione geografica, caratteristiche ecologiche e geomorfologiche, etc.). Questo garantisce un'alta qualità di accesso ai dataset, specialmente se il target consiste nel creare una rete di monitoraggio per la simulazione real-time e per la previsione di scenari.



**Figura 53** Livelli di accuratezza del monitoraggio in relazione ai vari livelli di modellizzazione del sistema costiero.  
**Figure 53** Levels of the monitoring accuracy with regard to the various levels of the coastal system modeling.

**6.2 Un approccio per l'applicazione dell'ICZM all'area di studio**

Le attività di monitoraggio integrato svolte nell'area di studio hanno permesso di dare attuazione agli obiettivi programmati in fase di progettazione, come di seguito riportato:

- monitoraggio sull'evoluzione della fascia costiera (interfaccia terra-mare) per la comprensione dell'interazione fra il sistema climatico naturale/eventi estremi meteo-marini ed impatti antropici storici;
- monitoraggio stagionale della zona costiera per l'acquisizione di conoscenze avanzate sulle dinamiche e/o variazioni nel tempo degli ecosistemi a foraminiferi bentonici in relazione ai processi fisici, chimici e biologici che caratterizzano il loro habitat;
- sviluppo di un protocollo operativo finalizzato al monitoraggio di aree di piana costiera attraverso l'integrazione tra i sistemi di acquisizione dei dati ambientali in ambiente terrestre e marino;
- predisposizione di uno schema di gestione integrata del sistema costiero attraverso lo studio ed il monitoraggio dei processi chiave e delle forzanti di tipo antropico, nonché analisi dei relativi scenari di relazione causa-effetto.

Il piano di monitoraggio programmato e realizzato, tra giugno 2012 ed ottobre 2014, ha visto in sintesi le seguenti attività:

- acquisizione ed elaborazione di dati geofisici e morfobatimetrici;
- caratterizzazione litologica del fondo mare;
- bio-monitoraggio in colonna d'acqua;
- monitoraggio chimico-fisico dei sedimenti marini;
- bio-monitoraggio dei sedimenti a fondo mare;
- analisi della variazione della linea di costa;
- analisi dell'evoluzione della fascia costiera terra mare.

La raccolta e l’elaborazione di tutte le informazioni disponibili ha consentito di definire un quadro ambientale dei processi all’interfaccia biosfera-idrosfera e la loro correlazione con lo stato dell’ambiente e con le attività umane. È stato infine possibile individuare eventuali problematiche di gestione della zona costiera che hanno impatto rilevante sull’ambiente in connessione con le principali attività economiche di sfruttamento delle risorse. Acquisendo a corredo dei dati, anche delle informazioni di carattere socio-economico attraverso un forte coinvolgimento degli *stakeholder* locali (vedi Tab. 10) è stato possibile individuare una problematica ICZM rilevante “*Issue*” identificata nel fenomeno di intrusione del cuneo salino [Rapporto sullo stato dell’ambiente, Comune di Castel Volturno, 2011].

Tale fenomeno, connesso al contempo con l’eccessivo emungimento delle falde acquifere e con la presenza di

condizioni geomorfologiche ed idrauliche particolari della piana costiera e del sottosuolo, implica la presenza di fenomeni di desertificazione progressiva che possono manifestarsi con una certa stagionalità [Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano, Volturno - Provincia di Caserta, 2008]. La presenza di una desertificazione implica di conseguenza il danneggiamento degli habitat e la perdita di biodiversità con potenziali impatti rilevanti sulle attività di tipo agricolo e agri-zootecnico che si svolgono prevalentemente nella area di studio (Fig. 54).

Nell’adottare una strategia ICZM è importante riconoscere che la gestione deve essere applicata ad una definita, ma spesso complessa, area geografica, operando con un alto livello di integrazione. La gestione evidentemente coinvolgerà sempre gli “*stakeholders*” ovvero i rappresentanti dei territori, delle regioni e infine le comunità locali delle aree interessate.

STAKEHOLDER	AMBITO DI RIFERIMENTO
<b>Regione Campania</b>	Ecologia - Tutela dell’ambiente e disinquinamento - Programmazione e gestione dei rifiuti - Ciclo Integrato delle Acque
	Opere e Lavori pubblici - Espropriazioni - Protezione civile sul territorio e Difesa del suolo - Geotecnica, Geotermia, Cave, Torbiere, Acque minerali e termali
	Assessorato alle politiche del territorio
	Agenzia Regionale Campania Difesa del Suolo - ARCADIS
	Coordinamento del Sistema Informativo Territoriale
	Ufficio dell’Autorità Ambientale Regionale
<b>Autorità di Bacino Nazionale dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno</b>	Assessore alle politiche agricole e forestali
<b>Agenzia Regionale per la Protezione dell’ambiente Campania</b>	Distretto Appennino Meridionale Generale
<b>Comune di Castelvolturno</b>	Dipartimento Provinciale di Napoli
	Urbanistica-Demanio-Ambiente-Verde
<b>Centro di Competenza nel Settore dell’analisi e Monitoraggio del Rischio Ambientale</b>	Assessorato alla portualità
<b>Ente Riserve Naturali Regionali Foce Volturno/Costa Licola Lago Falciano</b>	Rischio Ambientale
<b>Corpo Forestale dello Stato</b>	Protezione Ecosistemi di pregio e biodiversità
<b>Cooperative Pescatori Castelvolturno</b>	Ufficio territoriale per la biodiversità
<b>Comune di Napoli</b>	Cooperativa Società “La Flegrea”
<b>Aziende Zootecniche</b>	SERVIZIO RISORSA MARE
<b>Aziende Agricole</b>	Allevamento Bufalino
	Produzione di latte e Mozzarella di Bufala

**Tabella 10** Principali *Stakeholder* presenti nell’area di studio.  
**Table 10** Main Stakeholders in the study.



DETERMINANTI	PRESSIONI	STATO	IMPATTO	RISPOSTE
<b>Agricoltura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sfruttamento intensivo dei suoli;</li> <li>- Irrigazione con acque salmastre;</li> <li>- Sfruttamento eccessivo degli acquiferi di piana e delle acque superficiali;</li> <li>- Emungimenti da pozzi e derivazioni da acque superficiali non controllati;</li> <li>- Sorgenti di nitrati;</li> <li>- Uso di fitofarmaci.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salinizzazione dei suoli e delle acque;</li> <li>- Alterazione della qualità dei suoli e delle acque;</li> <li>- Intrusione del cuneo salino;</li> <li>- Incidenza sulla disponibilità della risorsa idrica;</li> <li>- Modificazione degli ecosistemi;</li> <li>- Modificazione del paesaggio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depauperamento della falda;</li> <li>- Impoverimento dei suoli;</li> <li>- Cambiamento delle rese colturali;</li> <li>- Modificazione dei sistemi produttivi;</li> <li>- Incidenza economica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direttive sulle acque e politiche agricole;</li> <li>- Programma di Sviluppo Rurale;</li> <li>- Norma di buona pratica agricola;</li> <li>- Applicazione del regime di condizionalità;</li> <li>- Programma di azione per le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola e Piano di comunicazione;</li> <li>- Piano di consulenza alla fertilizzazione aziendale;</li> <li>- Piano di consulenza all'irrigazione;</li> <li>- Monitoraggio della qualità dei suoli e delle acque.</li> </ul>
<b>Zootecnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sfruttamento intensivo dei suoli;</li> <li>- Sfruttamento eccessivo degli acquiferi di piana e delle acque superficiali;</li> <li>- Emungimenti da pozzi e derivazioni da acque superficiali non controllati;</li> <li>- Impiego di fertilizzanti;</li> <li>- Uso di fitofarmaci;</li> <li>- Emissione di reflui.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Salinizzazione dei suoli e delle acque;</li> <li>- Alterazione della qualità dei suoli e delle acque;</li> <li>- Intrusione del cuneo salino;</li> <li>- Incidenza sulla qualità della risorsa idrica;</li> <li>- Modificazione degli ecosistemi;</li> <li>- Modificazione del paesaggio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carichi eccessivi di azoto e fosforo;</li> <li>- Qualità del rilascio della risorsa idrica utilizzata;</li> <li>- Inquinamento delle falde da azoto e fosforo e da microinquinanti organici;</li> <li>- Eutrofizzazione delle acque.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direttive sulle acque e politiche agricole;</li> <li>- Applicazione del regime di condizionalità;</li> <li>- Programma di azione per le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola e Piano di Comunicazione;</li> <li>- Piano di utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici.</li> </ul>
<b>Detrattori ambientali</b> (cave-discariche-siti contaminati-aree industriali)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissioni di reflui;</li> <li>- Sorgenti di sostanze pericolose;</li> <li>- Inquinamento delle risorse suolo-acqua e ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compromissione della qualità e disponibilità delle risorse ambientali;</li> <li>- Alterazione degli ecosistemi;</li> <li>- Alterazione del paesaggio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inquinamento delle matrici ambientali.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Direttiva sulle acque e strategie per la difesa del suolo e dell'ambiente;</li> <li>- Piano regionale di bonifica dei siti inquinati;</li> <li>- Monitoraggio della qualità dei suoli e delle acque.</li> </ul>
<b>Urbanizzazione</b> (della fascia costiera)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antropizzazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inquinamento;</li> <li>- Erosione;</li> <li>- Salinizzazione;</li> <li>- Modificazione degli ecosistemi;</li> <li>- Modificazione del paesaggio;</li> <li>- Perdita di biodiversità.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificazione della stabilità degli ecosistemi;</li> <li>- Alterazione della qualità del paesaggio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Strategia di Gestione Integrata delle Zone Costiere;</li> <li>- Pianificazione e programmazione integrata dell'assetto e sviluppo del territorio; Piano Stralcio Erosione Costiera.</li> </ul>

Al fine di pianificare una programmazione ICZM che permetta di fornire elementi di sostenibilità ambientale e territoriale e di riduzione delle principali condizioni di criticità rilevate, è utile definire un'applicazione del modello DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti, Risposte) [OECD, 1993, 1998, 2000; EEA, 1998] per l'area indagata. Il modello DPSIR permette di evidenziare le relazioni di causa-effetto, nonché le determinanti che generano pressioni e che, contribuiscono a loro volta, a determinare lo stato dell'ambiente ed i relativi impatti. Si tratta di uno schema di riferimento di applicazione consolidata che rappresenta l'insieme degli elementi e delle relazioni che caratterizzano un fenomeno ambientale relazionandolo con le politiche intraprese verso di esso. L'approccio SAF [Hopkins et al., 2011], attraverso una visione di carattere sistemico, che tiene conto della contemporanea presenza di fattori di carattere socio-economico

ed ambientale, permette la riorganizzazione e l'implementazione di dati preesistenti con quelli acquisiti durante il progetto con l'obiettivo di produrre schemi e modelli di gestione sostenibile del sistema costiero.

Viene di seguito, presentato uno schema preliminare DPSIR implementato sulla base di alcune delle informazioni e delle conoscenze acquisite durante il progetto I-AMICA. In particolare, lo schema è stato incentrato sulla problematica di gestione della qualità dell'ambiente marino-costiero, intesa come matrice acquosa e sedimenti, ed identificata come "Issue" [Hopkins et al., 2011] ovvero problematica ICZM rilevante per l'area di studio. I fattori determinanti presi in considerazione sono agricoltura, zootecnia, detrattori ambientali, e urbanizzazione della fascia costiera che incidono in maniera sostanziale sull'assetto territoriale e sullo stato ambientale dell'area di studio. Le risposte costituiscono l'insieme di azioni, misure, tecnologie e/o atti normativi che consentono di prevenire, mitigare il fenomeno o adattarsi ai suoi impatti. Esse possono agire sia sui fattori determinanti che sulle pressioni, gli impatti e lo stato dell'ambiente.

In questo quadro di riferimento, i dati acquisiti nel corso del progetto possono fornire un valido strumento per la determinazione di indicatori di stato e/o risposta da utilizzare per la definizione di un corretto piano di gestione ICZM.

Gli interventi/risposte possono consistere in azioni di natura

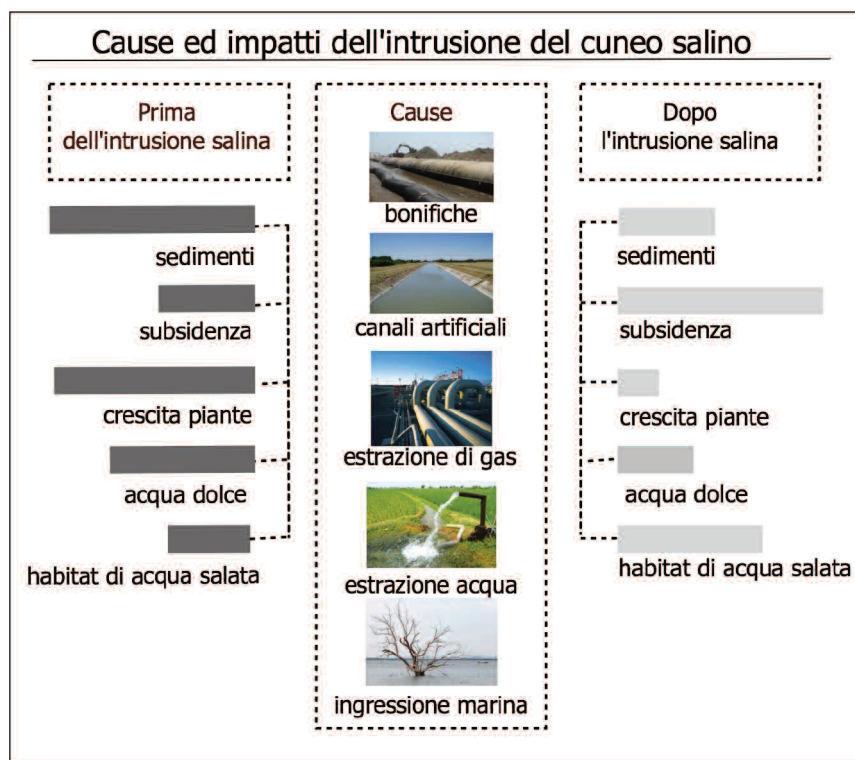


Figura 54 Schema esemplificativo delle cause ed impatti rilevanti relativi alla problematica di intrusione del cuneo salino.

Figure 54 Simplified diagram of the causes and impacts relevant to salt wedge intrusion issue.

tecnologica (es. riduzione dei carichi di *run-off*) misure legislative o regolamentari (norme, controlli), ma anche azioni di ricerca e conoscenza (linee guida, reti di monitoraggio "intelligenti", uso del suolo).

Ad ogni modo, non esiste una soluzione specifica al problema, ma un insieme di misure e o azioni che, messe in atto dai diversi attori, nel loro insieme, possono consentire di limitare o controllare il problema. Nel caso in esame questa considerazione assume un significato sostanziale e decisivo per la definizione di una strategia di azioni, in quanto come si è avuto modo di comprendere, lo stato attuale dell'area di studio, deriva dalla interrelazione di problematiche territoriali, ambientali, economiche e sociali a cui non è possibile dare risposta se non attraverso azioni integrate, concertate tra gli Enti territoriali competenti e partecipate dalle comunità locali.

### Conclusioni

L'intensa urbanizzazione, l'espansione turistica, in associazione alle attività agricole, zootecniche e di acquacoltura sono le principali forzanti antropiche che, insieme a pressioni di origine naturale, hanno provocato negli ultimi decenni un notevole degrado della qualità ambientale della fascia costiera del Golfo di Gaeta.

L'attività di monitoraggio svolta nell'ambito del Progetto I-AMICA ha messo in evidenza la forte peculiarità di questo tratto di costa che risulta fortemente condizionato dalla dinamica fluviale del Volturno, i cui apporti esercitano pressioni intense e discontinue lungo la fascia marino-costiera influenzando e compromettendo la stabilità ecologica. Il numero considerevole di dati raccolti e la loro interpretazione ha permesso di definire un quadro conoscitivo dell'evoluzione e dello stato attuale dell'area, ma principalmente ha fornito un supporto agli enti preposti alla gestione territoriale, nella predisposizione di eventuali/futuri piani di gestione orientati ad uno sfruttamento sostenibile delle risorse marino-costiere.

Uno degli aspetti più evidenti dell'instabilità ambientale costiera è dato dall'arretramento della linea di riva per l'instaurarsi di fenomeni erosivi, legati principalmente all'incremento demografico e al processo di industrializzazione della zona costiera, che si sono verificati negli ultimi cinquanta anni. In particolare dalla fine degli anni settanta la presenza dell'uomo sul territorio e l'incremento delle sue opere sono cresciute in modo esponenziale influenzando la naturale evoluzione del tratto costiero esaminato, provocando l'alternanza di aree in avanzamento e di aree in erosione che caratterizzano la costa dagli anni novanta in poi.

Il monitoraggio svolto sulla matrice solida e non ha mostrato condizioni "critiche" di inquinamento antropico e che la risposta biologica degli organismi, sia in colonna d'acqua (Coccolitoforidi) che a fondo mare (Foraminiferi), risulta fortemente legata all'attività stagionale del fiume Volturno. I Coccolitoforidi ed i Foraminiferi bentonici hanno confermato di essere due gruppi di organismi adatti per studi di monitoraggio ambientale e hanno permesso di evidenziare, integrando i risultati ottenuti con gli altri metodi, significativi sintomi di degrado dell'habitat marino (come fenomeni di eutrofizzazione).

Tutti i dati raccolti sono stati inseriti in uno schema preliminare DPSIR (*Driving, Pressures, State, Impact, Responses*) implementato sulla base di alcune delle informazioni e delle conoscenze acquisite durante il progetto, che potrà rappresentare il primo passo verso la definizione di una strategia di azioni da proporre agli Enti territoriali competenti.

Come è noto, le aree costiere, essendo contraddistinte da una accentuata variabilità spaziale e temporale dei processi fisici e biogeochimici, sono sede di ecosistemi fragili e complessi, caratterizzati da elevata diversità e produttività biologica.

Al fine di individuare possibili soluzioni riguardo all'attenuazione delle pressioni ambientali nel tratto di costa analizzato, sarebbe auspicabile una stretta collaborazione con altri enti pubblici (università, autorità di bacino, Arpa, etc.) e realtà territoriali al fine di incrementare e rendere sistematiche le attività di monitoraggio del territorio, in modo da poter giungere ad un quadro completo ed aggiornato dello stato dell'ambiente della fascia costiera in studio.

Il raggiungimento di tale obiettivo è presupposto ineludibile

per poter fornire agli Enti preposti al controllo e alla salvaguardia ambientale della fascia costiera, uno strumento di supporto alle politiche di gestione del territorio attraverso la previsione o quantomeno il riconoscimento di situazioni di pericolo connesse alle diverse pressioni antropiche.

## Ringraziamenti

Questo studio è stato realizzato grazie al Progetto PONa3\_00363 I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale; Responsabile Scientifico Paolo Bonasoni) finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nell'ambito delle attività relative all'Obiettivo Realizzativo 4.4 "Processi di interfaccia biosfera-idrosfera e funzionalità degli ecosistemi costieri (Responsabile Scientifico Luciana Ferraro). Si ringrazia la Prof.ssa Agata Di Stefano per gli utili suggerimenti forniti che hanno contribuito a migliorare la stesura finale del lavoro.

## Bibliografia

- Addo K.A., Walkden M., Mills L.P., (2008). *Detection, measurement and prediction of shoreline recession in Accra, Ghana*, ISPRS. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 63, 543-558.
- AGI Associazione Geotecnica Italiana, (1977). *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche*. Volume a stampa, pp. 56.
- AGI Associazione Geotecnica Italiana, (1994). *Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio*. Volume a stampa, pp. 56.
- Alberico I., Amato V., Aucelli P.P.C., D'Argenio B., Di Paola G., Pappone G., (2011). *Historical Shoreline Change of the Sele Plain (Southern Italy): The 1870–2009 Time Window*. *Journal of Coastal Research*, 28 (6), 1638-1647.
- Almogi-Labin A., Perelis-Grossovicz L., Raab M., (1992). *Living Ammonia from a hypersaline inland pool, Dead Sea area, Israel*. *Journal of Foraminiferal Research*, 22, 257-266.
- Alve E., (1991). *Foraminifera, climatic change and pollution: a study of Late Holocene sediments in Drammensfjord, SE Norway*. *The Holocene*, 1, 243-261.
- Alve E., (1995). *Benthic foraminifera response to estuarine pollution: a review*. *Journal of Foraminiferal Research*, 25, 190–203.
- Amorosi A., Pacifico A., Rossi V., Ruberti D., (2012). *Late Quaternary incision and deposition in an active volcanic setting: the Volturno valley fill, southern Italy*. *Sedimentary Geology*, 282, 307-320.
- Antonoli F. e Silenzi S., (2007). *Variazioni relative del livello del*

- mare e vulnerabilità delle pianure costiere italiane. Quaderni della Società Geologica Italiana, 2(2), pp. 29.
- Armynot du Châtelet E., Debenay J.-P., Soulard R., (2004). *Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors*. Environmental Pollution, 127, 27-40.
- Aucelli P.P.C., Iannantuono E., Roskopf C.M., (2009). *Evoluzione recente e rischio di erosione della costa molisana (Italia meridionale)*. Italian Journal of Geosciences (Bollettino Società Geologica Italiana), 128(3), 759-771.
- Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano, Volturno-Provincia di Caserta, WWF ricerche e progetti, (2008). *Proposte per la riqualificazione dell'ambiente fluviale del Basso Volturno-Strumenti per il miglioramento della qualità del sistema sociale e produttivo*.
- Barras C., Jorissen F.J., Labruno C., Andral B., Boissery P., (2014). *Live benthic foraminiferal faunas from the French Mediterranean Coast: Towards a new biotic index of environmental quality*. Ecological Indicators, 36, 719-743.
- Bartole R., Savelli D., Tramontana M., Wezel F.C., (1984). *Structural and sedimentary features in the tyrrhenian margin off Campania, Southern Italy*. Marine Geology, 55, 163-180.
- Baumard P., Budzinski H., Garrigues P., (1998). *Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea*. Environmental Toxicology and Chemistry, 17, 765-76.
- Bergamin L., Romano E., Finoia M.G., Venti F., Bianchi J., Colasanti A., Ausili A., (2009). *Benthic foraminifera from the coastal zone of Baia (Naples, Italy): assemblage distribution and modification as tools for environmental characterisation*. Marine Pollution Bulletin, 59(8-12), 234-244.
- Bellotti P., (2000). *Il modello morfo-sedimentario dei maggiori delta tirrenici italiani*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 119, 777-792.
- Bonardi G., D'Argenio B., Perrone V., (1988). *Carta geologica dell'Appennino meridionale in scala 1:250.000*. Memorie Società Geologica Italiana, 41, 1341.
- Bonomo S., Cascella A., Alberico I., Ferraro L., Giordano L., Lirer F., Vallefuoco M., Marsella E., (2014). *Coccolithophores from near the Volturno estuary (central Tyrrhenian Sea)*. Marine Micropaleontology, 111, 26-37.
- Bown P.R., (1998). *Calcareous nannofossil biostratigraphy*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Budillon F., Senatore M.R., Insinga D.D., Iorio M., Lubritto C., Roca M., Rumolo P., (2012). *Late Holocene sedimentary changes in shallow water settings: the case of the Sele River Offshore in the Salerno Gulf (south-Eastern Tyrrhenian Sea, Italy)*. Rendiconti Lincei, 23(1), 25-43.
- Burone L., Venturini N., Sprechmann P., Valente P., Muniz P., (2006). *Foraminiferal responses to polluted sediments in the Montevideo coastal zone, Uruguay*. Marine Pollution Bulletin 52, 61-73.
- Carbognin L., Teatini P., Tosi L., (2004). *Eustacy and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium*. Journal of Marine Systems, 51, 345-353.
- Chunqing J., Alexander R.Kagi R.I., Murray A.P., (2000). *Origin of perylene in ancient sediments and its geological significance*. Organic Geochemistry, 31(12), 1545-1559.
- Cicin-Sain B. and Knecht R.W., (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices*. Island Press. Washington, D.C.
- Coccioni R., (2000). *Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution – a case study from the Goro Lagoon (Italy)*. In: Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology (Martin R.E., ed.), pp. 71-103, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Coccioni R., Marsili A., Venturati A., (2003). *Foraminiferi e stress ambientale*. In: Verso la gestione integrata della costa del Monte S. Bartolo: risultati di un progetto pilota (Coccioni R., ed.), vol. 1, 99-118, Quaderni del Centro di Geobiologia Università degli Studi di Urbino.
- Cocco E. e De Pippo T., (1988). *Tendenze evolutive e dinamica delle spiagge della Campania e della Lucania*. Memorie Società Geologica Italiana, 41(5), 1955-204.
- Danovaro R., (2000). *Benthic microbial loop and meiofaunal response to oil-induced disturbance in coastal sediments: a review*. International Journal of Environmental Pollution, 13, 380-391.
- Debenay J.P., Pawlowski J., Decrouez D., (1996). *Les foraminifères actuels*. Masson Ed., pp. 329.
- de Alteriis G., Fedi M., Passaro S., Siniscalchi A., (2006). *Magneto-Seismic Interpretation of Subsurface Volcanism in the Gaeta Gulf (Italy, Tyrrhenian Sea)*. Annals of Geophysics, 49(4-5), 929-43.
- de Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willems L., (2010). *Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making*. Ecological Complexity, 6, 453-462.
- De Pippo T., Donadio C., Pennetta M., (2003-2004). *Morphological control on sediment dispersal along the southern Tyrrhenian coastal zones (Italy)*. Geologia Romana 37, 113-12.
- De Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Calvert A., Bohrson W.A., Spera F.J., Belkin H.E., (2001). *New constraints on the pyroclastic eruptive history of the Campanian volcanic Plain (Italy)*. Mineralogy and Petrology, 73, 47-65.
- Diz P., and Frances G., (2008). *Distribution of live benthic foraminifera in the Ría de Vigo (NW Spain)*. Marine Micropaleontology, 66, 165-191.



- Eberwein A. and Mackensen A., (2008). *Last Glacial Maximum paleoproductivity and water masses off NW-Africa: Evidence from benthic foraminifera and stable isotopes*. *Marine Micropaleontology*, 67(1-2), 87-103.
- European Environment Agency (EEA), (1998). *Europe's Environment: The Second Assessment*, Copenhagen, Denmark, 293 pp.
- EPA 3545A-1, rev.1 2007. Pressurized fluid extraction (PFE).
- EPA 3620C-1, rev.3. 2007. Florisil Cleanup.
- EPA 3630C-1, rev.3 1996. Silica gel Cleanup.
- EPA 3052-1, rev.0 1996. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.
- EPA 6010C-1, rev.3 2007. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry.
- Ferretti O., Delbono I., Furia S., Barsanti M., (2003). *Elementi di gestione costiera – parte prima. Tipi morfo-sedimentologici dei litorali italiani*. ENEA, 43 pp.
- Frontalini F. and Coccioni R., (2008). *Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: A case study from the central Adriatic Sea coast of Italy*. *Estuarine and Coastal Shelf Sciences*, 76, 404-417.
- Frontalini F., Buosi C., Da Pelo S., Coccioni R., Cherchi A., Bucci C., (2009). *Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy)*. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 858-877.
- Giordano L. and Vicinanza D., (2011). *SPICOSA (Science and Policy Integration for COastal Systems Assessment) Strategie alternative di supporto alla Gestione Integrata della Zona Costiera*. *Rivista Nazionale Studi Costieri* Volume 18, pp.75-86 ISSN 1129-8588.
- Giordano L., Caroppo C., Pelosi N., Buonocunto F.P., Marsella E., (2012). *Integrated Coastal Zone Management tools for sustainable resources exploitation*. In: *Supply chain management: perspectives, issues and cases* (Passaro R., Thomas A., McGraw-Hill, ed.), pp. 334.
- Grant K.M., Rohling E.J., Bar-Matthews M., Ayalon A., Medina-Elizalde M., Bronk Ramsey C., Satow C., Roberts A.P., (2012). *Rapid Coupling between Ice Volume and Polar Temperature over the Past 150,000 Years*. *Nature*, 491 (7426). Nature Publishing Group: 744-47. doi:10.1038/nature11593.
- Grice K., Lu H., Atahan P., Asif M., Hallmann C., Greenwood P., Maslen E., Tulipani S., Williford K., Dodson J., (2009). *New insights into the origin of perylene in geological samples*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 6531-6543.
- Hayashi K. and Takahashi T., (2001). *High Resolution Seismic Refraction Method Using Surface and Borehole Data for Site Characterization of Rocks*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 38, pp. 807-813.
- Houser C., Hapke C., Hamilton S., (2008). *Controls on coastal dune morphology, shoreline erosion and barrier island response to extreme storms*. *Geomorphology*, 100, 223-240.
- Hopkins T.S., Bailly D., Støttrup J.G., (2011). *A systems approach framework for coastal zones*. *Ecology and Society*, 16(4), 25.
- IARC (International Agency for Cancer Research) Monographs, (1997). <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/suppl7/suppl7.pdf>
- ICRAM, (2001). *Metodologie Analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero (2001-2003)*. Roma.
- 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.
- Incarbona A., Ziveri P., Di Stefano E., Lirer F., Mortyn G., Patti B., Pelosi N., Sprovieri M., Tranchida G., Vallefucio M., Albertazzi S., Bellucci L.G., Bonanno A., Bonomo S., Censi P., Ferraro L., Giuliani S., Mazzola S., Sprovieri R., (2010). *Calcareous nannofossil assemblages from the central Mediterranean Sea over the last four centuries: the impact of the Little Ice Age*. *Climate of the Past* 6, 795-805.
- Iorio M., Capretto G., Petruccione E., Marsella E., Aiello G., Senatore M.R., (2014). *Multi-proxy analysis in defining sedimentary processes in very recent prodelta deposits: the Northern phlegraean offshore example (Eastern Tyrrhenian Margin)*. *Rendiconti Lincei*, 25(2), 237-54.
- Jorissen F.J., (1988). *Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation*. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 37, 1-174.
- Lambeck K. and Chappell J., (2001). *Sea Level Change through the Last Glacial Cycle*. *Science (New York, N.Y.)*, 292(5517), 679-86.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A., Silenzi S., (2004). *Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 Yr*. *Quaternary Science Reviews*, 23(14-15), 1567-1598.
- Leyland J. and Darby S.E., (2008). *An empirical-conceptual gully evolution model for channeled sea cliffs*. *Geomorphology*, 102(3-4), 419-434.
- Lettera V. and Berardi A., (2011). *Rapporto sullo stato dell'ambiente, Comune di Castel Volturno*. Progetto Agenda 21 Comune di Castelvolturno, 88 pp.
- Lirer F., Sprovieri M., Ferraro L., Vallefucio M., Capotondi L., Cascella A., Insinga D.D., Pelosi N., Tamburrino S., Lubritto C., Petrosino P., (2013). *Integrated stratigraphy for the Late Quaternary in the eastern Tyrrhenian Sea*. *Quaternary International*, 292, 71-85.
- La Flamme R.E. and Hites R.A., (1978). *The global distribution*

- of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 289-303.
- La Monica G.B., and Raffi R., (1996). *Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna*. In: *Il mare del Lazio - Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti e apporti continentali* (Tip. Borgia, ed.), Roma, pp. 62-86.
- Margaritelli G., Vallefucio M., Di Rita F., Capotondi L., Bellucci L.G., Insinga D.D., Bonomo S., Cacho I., Cascella A., Ferraro L., Florindo F., Lubritto C., Lurcock P.C., Petrosino P., Magri D., Rettori R., Lirer F., Pelosi N., (2016). *Marine response to climate changes during the last five millennia in the central Mediterranean Sea*. *Global and Planetary Change*, 142, 53-72.
- Melis R. and Violanti D., (2006). *Foraminiferal biodiversity and Holocene evolution of the Phetchaburi coastal area (Thailand Gulf)*. *Marine Micropaleontology*, 61, 94-115.
- Milia A., Torrente M.M., Mirabile L., (2006). *Rapid changes of the accommodation space in the Late Quaternary succession of Naples Bay, Italy: the influence of volcanism and tectonics*. *Developments in volcanology* Elsevier. ISSN: 1871-644X.
- Milia A., Torrente M.M., (2014). *A Sequence-Stratigraphic Study in a Complex Volcanic Area (Campania, Italy)*. In: Rocha R., Pais J., Kullberg J., Finney S. (eds) *STRATI 2013*. Springer Geology. Springer, Cham.
- Mojtahid M., Jorissen F., Durrieu J., Galgani F., Howa H., Redois F., Camps R., (2006). *Benthic foraminifera as bio-indicators of drill cutting disposal in tropical east Atlantic outer shelf environments*. *Marine Micropaleontology*. 61(1-3), 58-75.
- Morton R.A., Miller T.L., Moore L.J., (2004). *National assessment of shoreline change part 1: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the US Gulf of Mexico*. US Geological Survey Open File Report 2004-1043.
- Murray J.W., (1991). *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. Longman Sc. and Techn, Harlow, 397 pp.
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development, (1993). *Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the Group on the State of the Environment*, Report no 83. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development, (1998). *Towards sustainable development environmental indicators*. Paris. 92-64-16080-9.
- OECD Organization for Economic Cooperation and Development, (2000). *Towards sustainable development Indicators to measure progress*. Paris. 92-64-18532-1.
- Pranzini E., (2001). *Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany (Italy)*. *Geomorphology*, 38, 125-132.
- Protocollo Comunitario sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo. Riferimenti web link:  
<http://water.epa.gov/>  
<http://sira.arpat.toscana.it/sira/sira/dpsir.html>  
[http://www.coastalwiki.org/wiki/ALTERNATIVE\\_STRATEGIES\\_FOR\\_INTEGRATED\\_COASTAL\\_ZONE\\_MANAGEMENT](http://www.coastalwiki.org/wiki/ALTERNATIVE_STRATEGIES_FOR_INTEGRATED_COASTAL_ZONE_MANAGEMENT)  
[http://www.coastalwiki.org/wiki/Policy\\_instruments\\_for\\_integrated\\_coastal\\_zone\\_management](http://www.coastalwiki.org/wiki/Policy_instruments_for_integrated_coastal_zone_management)  
<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss4/art25/figure2.html>  
<http://www.coastal-saf.eu/>  
[http://dataportal.pangaea.de/spicosa/SPICOSA\\_model\\_library.html](http://dataportal.pangaea.de/spicosa/SPICOSA_model_library.html)
- Romano E., Bergamin L., Ausili A., Pierfranceschi G., Maggi C., Sesta G., Gabellini M., (2009). *The impact of the Bagnoli industrial site (Naples, Italy) on sea-bottom environment. Chemical and textural features of sediments and the related response of benthic foraminifera*. *Marine Pollution Bulletin*. 59, 245-256.
- Ros J.D. and Cardell, M.J., (1991). *Effect on benthic communities of a major input of organic matter and other pollutants (coast off Barcelona, western Mediterranean)*. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 31-32, 441-450.
- Sacchi M., Molisso F., Pacifico A., Vigliotti M., Sabbarese C., Ruberti D., (2014a). *Late-holocene to recent evolution of Lake Patria, South Italy: an example of a coastal lagoon within a mediterranean delta system*. *Global and Planetary Change*, 117, 9-27.
- Sacchi M., Pepe F., Corradino M., Insinga D.D., Molisso F., Lubritto C., (2014b). *The Neapolitan yellow tuff caldera offshore the Campi Flegrei: stratal architecture and kinematic reconstruction during the Last 15ky*. *Marine Geology*, 354, 15-33.
- Savelli D. and Wezel F.C., (1979). *Morfologia e Stile Tettonico del Bacino Tirrenico*. P.F. CNR "Oceanografia e fondi marini", Gruppo "Bacini Sedimentari", Roma, pp. 729-738.
- Schlitzer R., (2013). *Ocean Data View*, <http://odv.awi.de/>
- Schönfeld J., Alve E., Geslin E., Jorissen F., Korsun S., Spezzaferrri S., and Members of the FOBIMO Groups, (2012). *The FOBIMO (FORaminiferal Bio-Monitoring) initiative-Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies*. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 1-13.
- Scott D.S., Medioli F.S., Schafer C.T., (2001). *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press, pp.177, Cambridge.
- Scott D.B., Tobin R., Williamson M., Medioli F.S., Latimer J.S., Boothman W.A., Asioli A., Henry V., (2005).

- Pollution monitoring in two North American estuaries: historical reconstructions using benthic foraminifera.* Journal of Foraminiferal Research, 35, 65-82.
- Sgarrella F. and Moncharmont Zei M., (1993). *Benthic foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology.* Bollettino della Società Paleontologica Italiana, 32, 145-264.
- Sprovieri M., Sammartino S., Salvagio Manta D., Marsella E., Ferraro L., (2006). *Heavy metals in top core sediments from the southern Campania shelf (Italy): hints to define large-scale geochemical backgrounds.* Chemistry and Ecology, 22(1), 65-91.
- Standard Reference Material (SRM) (1941b). *Organics in marine sediment.* National Institute of Standard & Technology (NIST).
- Steeple D.W., (1984). *High resolution seismic reflections at 200 Hz.* Oil and Gas Journal, December 3, 86-92.
- Thieler E.R. and Danforth W.W., (1994). *Historical shoreline mapping (II): application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico.* Journal of Coastal Research, 10, 600-620.
- Torrente M.M., Milia A., Bellucci F., Rolandi G., (2010). *Extensional tectonics in the Campania Volcanic Zone (eastern Tyrrhenian Sea, Italy): new insights into the relationship between faulting and ignimbrite eruptions.* Italian Journal of Geosciences, 129, 297-315.
- Torrente M.M. and Milia A., (2013). *Volcanism and faulting of the Campania margin (Eastern Tyrrhenian Sea, Italy): a three-dimensional visualization of a new volcanic field off Campi Flegrei.* Bulletin of Volcanology, 75(6), 1-13.
- Turekian K.K. and Wedepohl K.H., (1961). *Distribution of the elements in some major units of the earth's crust.* Geological Society of American Bulletin, 72, 175-192.
- Venkatesan M.I., (1988). *Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments - A Review.* Marine Chemistry, 25, 1-27.
- Vilardo G., Ventura G., Terranova C., Matano F., Nardò S. (2009). *Ground Deformation due to Tectonic, Hydrothermal, Gravity, Hydrogeological, and Anthropogenic Processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry.* Remote Sensing of Environment, 113 (1), 197-212.
- Yanko V., and Flexer A., (1991). *Foraminiferal benthonic assemblages as indicators of pollution (an example of Northwestern shelf of the Black Sea).* In: Proceedings of third annual symposium on the Mediterranean Margin of Israel. Institute Oceanography and Limnology, Haifa, Israel, Abstract Volume.
- Yanko V., Arnold A.J., Parker W.C., (1999). *Effects of marine pollution on benthic Foraminifera.* In: Modern foraminifera (B.K. Sen Gupta, ed.), pp. 217-235. Dordrecht: Kluwer.
- Ylmaz O., (1987). *Seismic Data Analysis.* Society of Exploration Geophysicists.
- Waelbroeck C., Labeyrie L., Michel E., Duplessy J.C., Lambeck K., Mcmanus J.F., Balbon E., Labracherie M., (2002). *Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records.* Quaternary Science Reviews, 21, 295-305.
- Zitellini N., Marani M., Borsetti A.M., (1984). *Post-orogenic tectonic evolution of Palmarola and Ventotene basins (Pontine Archipelago).* Memorie della Società Geologica Italiana, 27, 121-131.





# Appendici





APPENDICE 1 - DATI ANALITICI ANALISI GRANULOMETRICHE

CAMPAGNA I-AMICA\_2012\_02

Campione	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Mz	s	Sk	KG
A1	0	63,3	28,89	7,82	4,42	1,88	0,66	4
A2	0	31,17	55,4	13,43	5,35	1,99	0,33	2,5
A3	0,04	20,28	63,33	16,35	5,73	1,96	0,26	2,32
A4	0	7,99	68,23	23,78	6,46	1,88	0,09	1,97
B1	0	50,66	39,36	9,98	4,78	1,99	0,48	3,18
B2	0	33,04	50,58	16,38	5,45	2,24	0,12	2,45
B3	0	20,22	62,97	16,81	5,79	1,98	0,22	2,14
B4	0	9,02	69,41	21,57	6,35	1,87	0,1	2,02
C0	0	64,11	27,58	8,31	4,13	2,16	0,57	3,09
C1	0	9,29	61,77	28,94	6,74	1,98	-0,16	2,55
C2	0	9,52	63,49	26,99	6,64	1,94	-0,07	2,17
C3	0	10,24	70,53	19,23	6,1	1,92	0,12	2,49
C4	0	7,99	73,55	18,46	6,32	1,75	0,1	2,29
D0	0	53,61	35,95	10,43	4,57	2,29	0,22	3,02
D1	0	7,43	65,03	27,54	6,74	1,89	-0,1	2,4
D2	0	12,06	65,42	22,52	6,23	2,18	-0,22	3,21
D3	0	11,11	69,16	19,72	6,19	1,91	0,08	2,35
D4	0	4,82	68,72	26,46	6,74	1,79	0,02	2,08
E1	0	10,38	66,91	22,71	6,36	1,99	-0,08	2,76
E2	0	11,1	64,85	24,04	6,41	1,99	-0,04	2,37
E3	0	12,44	69,43	18,14	6,05	1,9	0,14	2,3
E4	0	6,01	67,05	26,94	6,72	1,84	-0,02	2,11

CAMPAGNA I-AMICA\_2013\_02

Campione	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Mz	s	Sk	KG
A1	0	49,28	40,34	10,39	4,85	1,99	0,48	2,84
A2	0	39,16	51,3	9,54	5	1,86	0,48	2,94
A3	0,09	23,22	62,01	14,68	5,59	1,97	0,25	2,42
A4	0	4,35	67,07	28,58	6,85	1,79	-0,07	2,22
B1	0	41,38	45,61	13,01	5,21	2,07	0,34	2,29
B2	0	26,7	57,04	16,27	5,67	2,07	0,17	2,12
B3	0	27,16	59,07	13,77	5,48	1,96	0,3	2,31
B4	0,01	4,28	70,74	24,98	6,69	1,76	0,04	2,09
C0	0	83,05	13,45	3,5	3,32	1,64	1,09	7,27
C1	0,17	8,7	68,8	22,33	6,46	1,89	-0,06	2,68
C2	0	2,74	60,27	36,99	7,29	1,78	-0,42	4,14
C3	0,2	15,28	67,7	16,82	5,95	1,92	0,12	2,48
C4	0	3,56	66,44	30	7,01	1,71	-0,07	2,19
D0	0	60,26	33,14	6,6	4,37	1,74	0,75	4,68
D1	0	7,38	62,29	30,33	7	1,78	-0,2	2,48
D2	0	2,38	71,38	26,25	6,89	1,64	-0,02	2,26
D3	0	10,24	70,38	19,38	6,2	1,88	0,06	2,32
D4	0	3,25	69,36	27,39	6,93	1,68	-0,09	2,51
E1	0	8,27	70,22	21,51	6,47	1,82	0,01	2,34
E2	0	19,61	64,26	16,13	5,78	1,99	0,15	2,29
E3	0	14,91	70,18	14,91	5,84	1,85	0,22	2,39
E4	0,01	0,71	63,4	35,87	7,42	1,51	-0,15	2,65

CAMPAGNA I-AMICA\_2012\_01

Campione	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Mz	s	Sk	KG
A1	0	61,4	32,83	5,77	4,37	1,66	0,74	4,43
A2	0	27,05	58,05	14,9	5,48	1,99	0,33	2,46
A3	0	20,7	56,66	22,64	5,95	2,12	0,17	1,87
A4	0	4,04	66,97	28,99	6,78	1,84	0,03	1,84
B1	0	44,92	42,55	12,53	5,03	2,04	0,46	2,64
B2	0	22,14	53,7	24,15	6,14	2,2	-0,02	2,06
B3	0	16,38	60,13	23,49	6,19	2,09	0,06	2,06
B4	0	10,09	60,31	29,6	6,6	2,03	0,03	1,95
C0	0	86,35	11,3	2,35	3,04	1,59	1,07	7,74
C1	0	10,95	61,15	27,9	6,6	2,01	0,11	2,27
C2	0	7,14	57,53	35,33	7,09	1,88	-0,22	2,34
C3	0	13,28	60,32	26,4	6,24	2,12	-0,01	2,26
C4	0	8,11	73,45	18,44	6,31	1,76	0,09	2,33
D0	0	45,32	38,85	15,83	5,16	2,29	0,25	2,33
D1	0	5,06	57,7	37,24	7,22	1,84	-0,3	3,01
D2	0	6,95	52,55	40,5	7,16	1,94	-0,21	2,13
D3	0	8,9	68,05	23,06	6,33	1,99	-0,02	2,65
D4	0	0,8	68,64	30,55	7	1,71	0,04	1,83
E1	0	14,44	56,03	29,53	6,53	2,17	-0,17	2,43
E2	0	20,34	55,09	24,57	5,99	2,34	-0,08	2,57
E3	0	7,42	70,49	22,09	6,29	1,92	0,1	2,3
E4	0	1,51	69,3	29,19	6,93	1,76	-0,06	2,58

CAMPAGNA I-AMICA\_2013\_01

Campione	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Mz	s	Sk	KG
A1	0	63,99	28,67	7,34	4,38	1,84	0,72	4,12
A2	0	32,38	55,05	12,57	5,29	1,95	0,38	2,54
A3	0	20,32	64,86	14,82	5,63	1,92	0,3	2,37
A4	0	5,59	67,52	26,89	6,67	1,85	0,04	1,91
B1	0,02	49,3	39,89	10,79	4,9	1,96	0,52	2,96
B2	0	32,98	57,26	9,76	5,08	1,83	0,45	3,18
B3	0	23,31	60,09	16,6	5,64	2	0,29	2,24
B4	0,06	4,14	71,47	24,33	6,63	1,78	0,03	2,38
C1	0	6,04	63,2	30,76	6,95	1,84	-0,16	2,48
C2	0	3,68	61,43	34,89	7,21	1,73	-0,16	2,26
C3	0	13,47	67,98	18,56	6,05	1,93	0,15	2,17
C4	0	10,08	70,81	19,11	6,18	1,88	0,1	2,33
D1	0	2,26	62,01	35,73	7,29	1,67	-0,14	2,19
D2	0,15	13,8	70,69	15,36	5,84	1,88	0,18	2,74
D3	0	8,79	64,21	27	6,68	1,92	-0,08	2,23
D4	0	5,44	70,63	23,93	6,62	1,77	0,05	2,17
E1	0	7,61	62,32	30,07	6,85	1,89	-0,11	2,17
E2	0	16,32	66,16	17,52	5,97	1,93	0,18	2,13
E3	0	15,08	68,19	16,72	5,98	1,88	0,17	2,18
E4	0,06	6,52	65,99	27,43	6,78	1,85	-0,11	2,53



CAMPAGNA I-AMICA\_2014\_01

A1	0	50,37	36,71	12,92	4,9	2,09	0,5	2,75
A2	0	34,65	50,59	14,77	5,3	2,04	0,41	2,43
A3	0	25,75	56,33	17,93	5,6	2,07	0,33	2,15
A4	0	5,01	63,25	31,74	6,87	1,89	-0,02	1,79
B1	0	41,35	45,63	13,02	5,21	2,07	0,34	2,29
B2	0	33,97	48,43	17,61	5,47	2,18	0,27	2,14
B3	0	26,55	56,08	17,37	5,54	2,06	0,36	2,28
B4	0	6,12	65,03	28,85	6,75	1,88	0	1,93
C0	0	71,67	20,81	7,52	3,85	2,03	0,77	4,26
C1	0	2,54	61,4	36,05	7,29	1,67	-0,13	2,15
C2	0	3,11	57,59	39,31	7,34	1,76	-0,18	2,17
C3	0	11,65	64,17	24,18	6,74	1,87	0,05	1,84
C4	0	4,89	66,33	28,79	6,26	2,02	0,15	1,88
D0	0	57,51	32,18	10,31	4,56	1,94	0,7	3,9
D1	0	5,65	57,35	36,99	7,23	1,81	-0,2	2,29
D2	0	3,49	64,06	32,45	7,04	1,78	-0,07	2,06
D3	0	11,76	64,42	23,83	6,26	2	0,14	1,87
D4	0	3,22	69,38	27,4	6,93	1,67	-0,08	2,36
E1	0	8,97	63,1	27,94	6,66	1,93	-0,03	1,92
E2	0	22,74	59,46	17,8	5,62	2,08	0,26	2,43
E3	0	16,45	65,12	18,43	5,82	1,98	0,28	2,26
E4	0	2,37	63,9	33,73	7,18	1,69	-0,1	2,13

CAMPAGNA I-AMICA\_2013\_03

A1	0	56,8	30,5	12,7	4,74	2,11	0,55	2,93
A2	0	29,72	52,03	18,25	5,58	2,15	0,27	2,12
A3	0	5,32	65,22	29,46	6,75	1,9	0,03	1,83
A4	0	24,77	57,33	17,9	5,57	2,06	0,37	2,29
B1	0	51,56	35,44	13	4,9	2,09	0,51	2,77
B2	0	27,41	51,2	21,38	5,78	2,2	0,19	1,9
B3	0	28,81	52,74	18,45	5,54	2,15	0,3	2,15
B4	0	7,07	68,25	24,68	6,53	1,88	0,05	2,03
C0	0	62,72	24,89	12,39	4,32	2,41	0,49	2,5
C1	0	11,14	61,96	26,91	6,48	2	0,02	1,98
C2	0	4,82	61,02	34,16	7,04	1,89	-0,17	2,4
C3	0	10,72	65,01	24,28	6,35	2	0,05	2,05
C4	manca	manca	manca	manca	manca	manca	manca	manca
D0	0	29,81	51,28	18,91	5,72	2,17	0,15	1,95
D1	0	2,02	59	38,98	7,38	1,7	-0,16	2,19
D2	0	4,36	63,48	32,16	6,99	1,86	-0,17	2,7
D3	0	13,07	66,69	20,24	6,09	1,97	0,13	2,15
D4	0	4,27	65,84	29,89	6,94	1,77	-0,08	2,14
E1	0	9,55	61,76	28,69	6,74	1,93	-0,08	2,06
E2	0	13,42	64,7	21,88	6,18	1,99	0,12	1,92
E3	0	11,96	66,44	21,59	6,15	1,96	0,17	2
E4	0	3,36	64,56	32,08	7,04	1,76	-0,08	2,12

CAMPAGNA I-AMICA\_2014\_02

A1	0	39,08	43,49	17,41	5,56	2,22	0,18	1,67
A2	0	28,15	54,33	17,52	5,82	2,11	0,12	1,74
A3	0	16,18	64,92	18,9	6,21	1,96	0,02	1,86
A4	0	3,76	69,49	26,75	7,12	1,57	-0,24	2,7
B1	0,13	53,72	33,32	12,82	4,79	2,1	0,53	3,09
B2	0	29,86	48,14	21,99	5,76	2,27	0,15	1,86
B3	0	28,59	51,38	20,03	5,64	2,19	0,25	2
B4	0	8,3	67,55	24,14	6,44	1,91	0,08	1,99
C0	0,35	71,05	20,45	8,15	4,06	2,01	0,68	4,26
C1	0	9,21	63,2	27,59	6,57	1,97	0,02	1,87
C2	0,04	2,54	65,69	31,73	7,27	1,6	-0,28	3,42
C3	0	5,86	69,57	24,57	6,82	1,71	-0,15	2,46
C4	0	4,15	62,07	33,78	7,02	1,83	-0,11	2,06
D0	0	40,95	38,14	20,91	5,45	2,39	0,22	1,97
D1	0	4,85	71,37	23,78	6,89	1,65	-0,12	2,54
D2	0	3,99	68,47	27,54	7,05	1,64	-0,23	2,94
D3	0	8,07	70,55	21,39	6,61	1,79	-0,14	2,66
D4	0	5,72	72,05	22,23	6,82	1,67	-0,12	2,49
E1	0	18,04	64,75	17,21	6,22	2,09	-0,18	2,26
E2	0	8,02	67,9	24,08	6,77	1,81	-0,2	2,73
E3	0	8,02	67,9	24,08	6,77	1,81	-0,2	2,73
E4	0	1,52	74,37	24,11	7,26	1,34	-0,13	3,18

**APPENDICE 2 - DATI ANALITICI GEOCHIMICA INORGANICA ed ORGANICA**  
**CAMPAGNA I-AMICA\_2012\_01**

CAMPIONE	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
A1 0-10	4,17	1,66	9,63	305,3	0,47	6,84	41,06	5,59	0,086	12,56	15,50	286,4	40,38	34,42
A2 0-10	4,56	2,48	14,25	252,5	0,52	9,79	55,70	14,08	0,116	20,45	24,65	265,2	67,73	58,43
A2 10-25	4,57	2,60	15,55	243,7	0,55	10,09	59,78	16,08	0,268	23,25	24,82	240,8	72,57	63,71
A3 0-10	4,31	2,51	16,34	248,5	0,37	9,06	57,49	14,74	0,138	19,50	25,87	251,9	69,46	61,40
A3 10-25	4,69	2,65	20,02	246,5	0,49	9,23	60,18	15,21	0,130	21,10	27,27	244,7	72,29	63,89
A4 0-10	4,94	3,24	18,39	215,2	0,46	10,96	75,97	20,05	0,135	27,24	34,40	222,6	90,76	78,71
A4 10-25	4,97	3,14	18,28	222,0	0,54	10,54	74,65	20,74	0,103	26,03	35,76	225,9	90,21	82,24
B1 0-10	4,56	2,49	11,27	107,3	0,35	9,13	45,94	16,24	0,147	19,80	14,58	188,9	61,40	56,76
B1 10-25	5,58	3,10	14,00	224,6	0,54	10,36	73,64	22,10	0,147	26,15	32,47	223,8	87,40	78,02
B2 0-10	5,99	2,67	12,67	271,8	0,49	10,01	60,37	15,21	0,129	24,04	19,92	261,5	68,98	57,67
B2 10-25	6,29	3,48	10,21	266,2	0,62	11,79	77,49	23,77	0,135	30,43	23,20	236,9	94,46	73,92
B3 0-10	6,17	2,71	13,65	282,1	0,49	9,12	58,50	16,83	0,077	20,40	24,21	268,3	70,79	59,81
B3 10-25	6,32	3,44	12,40	255,6	0,60	11,94	78,66	32,64	0,143	31,10	28,85	236,8	94,74	77,08
B4 0-10	6,66	3,13	18,12	248,7	0,62	10,45	73,85	21,68	0,082	25,16	29,22	246,2	87,82	77,16
C0 0-10	4,76	1,97	6,49	415,5	0,46	8,25	48,20	5,54	< 0,08	13,91	18,77	295,4	57,92	34,62
C1 0-10	6,63	3,22	15,10	255,5	0,56	11,04	74,65	26,35	< 0,08	27,06	27,58	252,4	90,52	80,30
C1 10-25	6,42	3,55	8,80	274,4	0,58	11,87	72,85	22,93	0,111	29,33	21,05	273,3	87,49	70,95
C2 0-10	6,42	3,58	13,46	248,9	0,64	12,11	83,00	25,56	< 0,08	32,22	21,09	231,7	97,35	76,73
C2 10-25	6,25	3,33	10,78	218,5	0,54	11,68	80,27	23,77	0,126	30,48	19,60	204,2	92,82	70,80
C3 0-10	5,60	2,83	10,78	256,8	0,48	10,28	64,98	20,40	< 0,08	23,64	26,47	278,8	76,49	68,35
C3 10-25	4,57	3,41	15,24	209,3	0,63	12,02	81,23	30,04	0,137	31,52	28,19	218,4	96,57	81,57
C4 0-10	5,54	3,31	15,27	218,8	0,57	10,76	77,54	26,36	< 0,08	27,37	28,93	205,4	90,90	80,90
C4 10-25	5,37	3,23	11,51	223,7	0,49	10,95	78,51	26,01	0,101	28,12	28,14	205,1	91,10	80,72
D0 0-10	5,27	1,82	5,55	360,9	0,43	6,88	50,00	7,99	< 0,08	14,05	15,48	300,3	46,73	42,60
D1 0-10	11,38	6,24	20,81	642,2	1,18	22,34	165,28	44,70	0,258	56,52	45,37	509,4	168,03	137,92
D1 10-25	4,75	3,46	10,78	201,5	0,72	13,84	88,00	30,24	< 0,08	39,89	21,65	193,3	97,83	78,69
D2 0-10	4,29	3,45	11,71	244,3	0,66	13,17	81,23	26,21	< 0,08	33,35	25,06	212,5	99,06	77,26
D2 10-25	3,90	3,27	9,63	252,1	0,47	10,80	68,01	19,88	< 0,08	24,33	24,29	247,1	78,25	67,04
D3 0-10	3,69	2,59	12,96	234,5	0,57	9,76	62,95	18,80	< 0,08	22,76	23,48	237,1	72,35	62,72
D3 10-25	4,97	3,60	15,45	207,9	0,58	13,19	86,34	31,52	0,117	36,30	26,89	206,0	101,25	86,53
D4 0-10	4,95	3,27	16,89	206,3	0,51	10,99	77,18	27,90	< 0,08	29,00	27,78	199,0	92,06	80,80
D4 10-25	5,65	3,47	18,67	242,2	0,67	10,84	77,37	24,82	0,145	28,09	28,22	239,8	90,70	81,21
E1 0-10	6,21	2,90	7,64	286,1	0,44	9,84	69,06	21,00	< 0,08	25,94	20,61	254,3	80,05	68,24
E1 10-25	6,30	3,36	16,86	251,7	0,67	11,89	77,21	23,16	< 0,08	31,04	20,56	230,6	90,36	72,58
E2 0-10	5,74	2,68	11,97	276,3	0,56	10,12	63,41	16,66	< 0,08	23,28	16,83	286,4	71,86	61,19
E2 10-25	6,08	3,23	15,41	249,1	0,59	12,07	75,09	23,31	< 0,08	30,77	22,87	240,0	90,11	71,03
E3 0-10	5,60	2,78	16,48	266,0	0,61	10,05	66,86	19,54	< 0,08	23,19	24,62	260,6	75,85	70,20
E3 10-25	8,82	3,42	10,81	292,7	0,57	10,07	68,01	18,60	0,081	24,28	22,92	281,3	77,43	70,15
E4 0-10	5,57	3,50	15,41	231,6	0,66	11,04	80,75	26,69	< 0,08	27,54	28,31	231,1	92,68	82,79
E4 10-25	5,92	3,22	17,76	242,2	0,54	10,77	78,01	25,85	0,137	26,34	29,75	236,4	89,88	81,10



## CAMPAGNA I-AMICA\_2013\_01

CAMPIONE	Al	Fe	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	V	Zn
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>A1 0-10</b>	5,76	1,65	5,14	296,4	0,33	8,27	34,12	2,70	13,51	10,19	305,5	37,18	30,06
<b>A2 0-10</b>	5,27	2,18	13,53	260,3	0,39	9,42	49,35	8,97	19,08	17,43	303,8	56,55	45,97
<b>A3 0-10</b>	5,57	2,37	21,40	249,7	0,44	9,58	54,49	10,78	22,32	20,66	287,0	62,96	53,90
<b>A4 0-10</b>	6,75	3,15	18,17	220,1	0,62	11,57	74,46	19,95	31,17	28,77	246,9	86,64	74,13
<b>B1 0-10</b>	3,88	1,65	12,20	272,8	0,28	8,04	40,08	5,27	14,17	12,60	283,6	40,71	33,46
<b>B2 0-10</b>	2,95	2,21	7,09	201,5	0,43	9,47	51,48	11,17	22,80	14,81	371,3	57,68	53,09
<b>B3 0-10</b>	3,15	2,34	15,20	213,0	0,33	9,95	53,85	11,78	22,61	19,37	251,0	63,80	52,85
<b>B4 0-10</b>	4,88	3,05	0,00	194,1	0,58	11,28	70,93	19,82	30,69	25,51	220,7	83,85	72,16
<b>C1 0-10</b>	6,09	3,24	8,79	232,2	0,60	12,02	74,59	29,69	36,77	17,78	260,6	87,74	72,49
<b>C2 0-10</b>	4,86	3,32	0,00	208,5	0,59	12,56	81,11	26,60	40,89	16,14	215,7	92,86	75,54
<b>C3 0-10</b>	4,00	2,44	11,78	215,3	0,41	10,05	61,26	21,20	26,65	18,96	282,2	69,67	64,12
<b>C4 0-10</b>	5,21	3,06	12,38	201,7	0,55	11,00	71,15	32,52	34,88	22,80	220,7	83,79	74,60
<b>D1 0-10</b>	4,85	3,48	10,94	221,7	0,53	12,26	83,34	29,67	40,47	17,20	219,6	94,80	80,18
<b>D2 0-10</b>	4,13	2,32	10,65	468,8	0,44	10,36	55,72	20,69	27,62	15,34	352,4	61,49	59,59
<b>D3 0-10</b>	5,72	3,15	0,00	206,7	0,58	11,43	76,03	33,46	34,32	21,11	257,0	85,91	83,92
<b>D4 0-10</b>	6,16	3,21	11,76	210,3	0,57	10,84	73,26	32,43	33,32	21,78	232,9	85,48	79,99
<b>E1 0-10</b>	5,92	3,52	16,05	224,9	0,64	12,63	80,77	29,18	41,48	20,67	218,6	96,55	77,09
<b>E2 0-10</b>	5,47	2,28	13,00	270,4	0,48	9,29	53,25	17,06	23,02	13,80	286,2	58,39	54,89
<b>E3 0-10</b>	5,82	2,65	0,00	241,7	0,51	9,81	61,05	25,60	26,79	19,57	263,8	69,07	68,96
<b>E4 0-10</b>	6,60	3,40	23,14	190,4	0,55	11,09	78,02	32,94	33,76	24,03	218,6	90,97	81,16

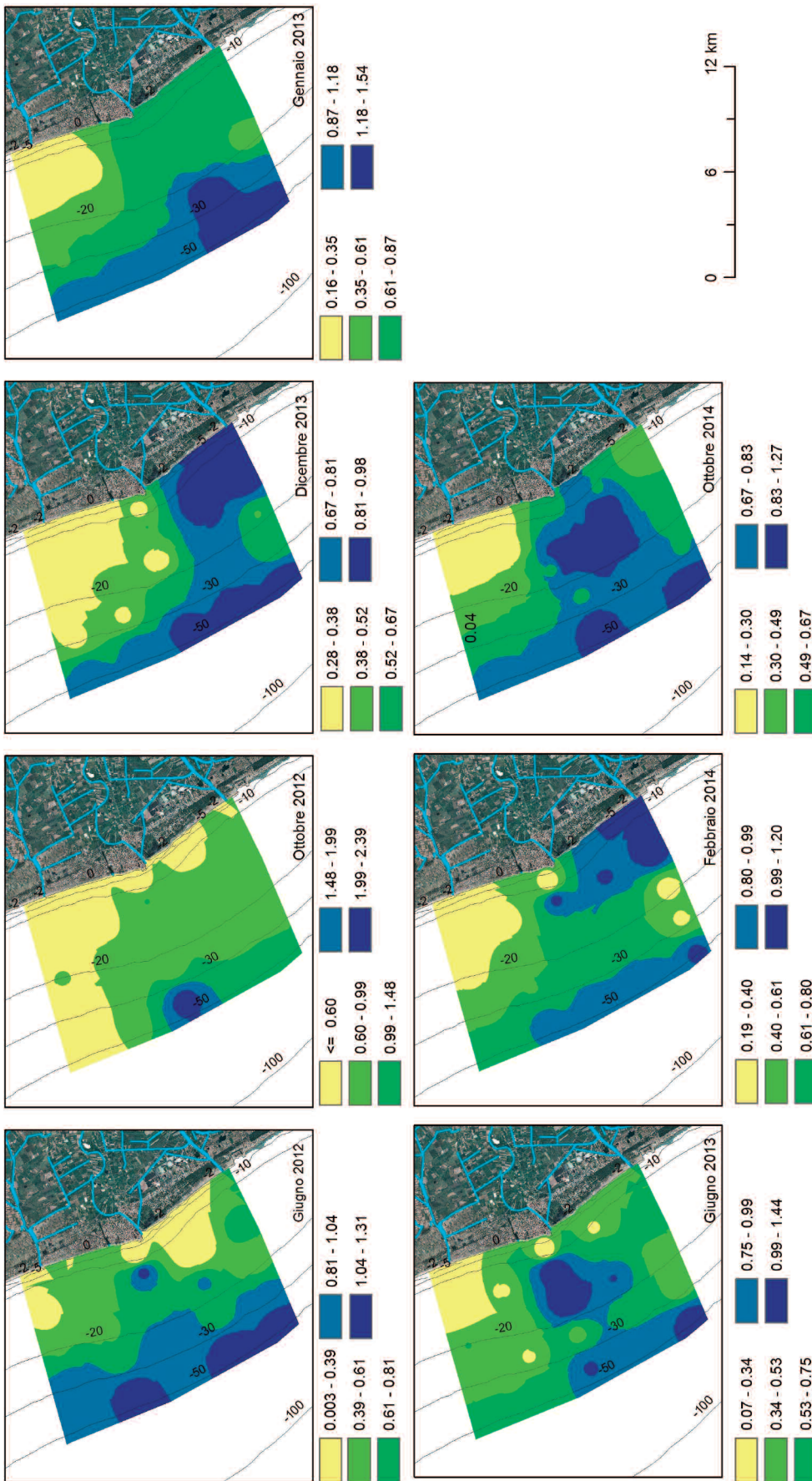
## CAMPAGNA I-AMICA\_2012\_01 - CAMPAGNA I-AMICA\_2013\_01 - CAMPAGNA I-AMICA\_2014\_02

CAMPIONE	FENANTRENE	ANTRACENE	FLUORANTENE	PIRENE	BENZO(a)ANTRACENE	CHRISENE	BENZO(b)FLUORANTENE	BENZO(k+j)FLUORANTENE	BENZO(a) PIRENE	BENZO(e) PIRENE	PERILENE	INDENO[123,CD]PIRENE	DIBENZO[a,h]ANTRACENE	BENZO[ghi]PERILENE	ΣIPA	ΣPCB
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
<b>I-AMICA-12-01</b>																
A1 0-10	7,4	< 1,0	1,8	1,2	< 1,0	1,4	1,2	< 1,0	1,1	< 1,0	11,5	< 1,0	< 1,0	1,0	26,6	1,09
A2 0-10	11,2	< 1,0	6,2	4,2	3,0	5,9	5,3	4,6	4,8	2,4	27,9	2,3	< 1,0	3,7	81,4	1,16
A2 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09
A3 0-10	17,1	1,6	20,1	12,0	8,6	15,9	10,9	9,5	9,7	7,8	63,3	5,2	2,1	8,1	192,0	1,77
A3 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,15
A4 0-10	26,2	2,5	19,2	9,3	10,3	17,2	12,1	11,6	11,0	8,3	100,6	6,6	< 1,0	9,1	244,0	4,55
A4 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,65
B1 0-10	13,4	< 1,0	3,5	1,6	1,7	4,7	2,6	1,7	3,3	1,2	137,7	< 1,0	< 1,0	2,3	173,8	< 1,0
B1 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,47
B2 0-10	15,7	< 1,0	3,8	2,5	2,2	5,6	3,8	3,2	4,2	1,5	41,8	1,2	< 1,0	2,6	88,0	< 1,0
B2 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
B3 0-10	10,8	< 1,0	8,9	4,7	4,5	8,8	7,3	6,2	6,4	3,4	51,3	2,6	< 1,0	4,3	119,1	1,98
B3 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
B4 0-10	17,6	1,5	13,5	6,6	6,5	11,9	8,7	4,3	9,0	5,9	78,8	5,5	1,5	7,6	178,8	2,79
C0 0-10	10,3	< 1,0	1,9	1,2	< 1,0	1,9	< 1,0	< 1,0	1,3	< 1,0	13,3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	29,9	0,64
C1 0-10	25,7	1,9	23,7	16,6	9,4	17,3	10,2	7,1	10,9	7,3	282,1	3,3	2,3	9,5	427,4	2,20
C1 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
C2 0-10	16,4	< 1,0	6,0	4,2	2,4	8,3	4,3	2,3	5,9	1,4	300,2	1,0	< 1,0	3,6	356,1	< 1,0
C2 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
C3 0-10	14,8	1,3	11,6	7,3	6,0	11,6	8,6	7,6	8,3	5,1	110,7	3,4	< 1,0	6,4	202,6	2,11
C3 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
C4 0-10	28,4	1,6	15,7	14,4	6,0	12,7	8,1	6,0	8,3	4,2	150,8	3,7	< 1,0	6,3	266,3	3,38
C4 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,43
D0 0-10	6,3	< 1,0	2,5	1,5	< dl	2,2	1,2	< 1,0	1,5	< 1,0	48,2	< 1,0	< 1,0	1,4	64,8	< 1,0
D1 0-10	15,3	< 1,0	6,5	4,3	2,7	6,3	3,9	2,3	4,4	2,2	227,2	1,9	< 1,0	3,6	280,6	< 1,0
D1 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
D2 0-10	24,1	1,5	8,0	5,9	4,7	7,8	3,7	6,3	5,2	2,6	116,7	1,7	< 1,0	2,4	190,5	< 1,0
D2 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
D3 0-10	13,8	1,6	9,6	5,7	5,4	10,2	5,1	5,6	7,0	4,2	136,6	1,9	1,1	5,1	212,9	1,96
D3 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
D4 0-10	30,5	3,2	19,3	9,5	9,4	17,4	10,6	8,2	11,9	6,4	161,3	6,0	1,8	9,0	304,4	2,17
D4 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,60
E1 0-10	22,2	2,1	5,4	3,5	2,5	7,1	4,5	3,4	5,1	2,1	202,5	1,7	< 1,0	3,6	265,6	< 1,0
E1 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
E2 0-10	11,8	1,0	7,4	6,9	6,9	11,2	7,9	7,7	8,0	6,1	53,1	3,7	1,5	5,6	138,7	< 1,0
E2 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
E3 0-10	24,8	2,1	9,2	3,6	4,6	10,3	8,2	5,6	7,1	3,6	103,3	3,1	< 1,0	5,2	190,8	2,16
E3 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,11
E4 0-10	25,6	1,5	14,9	7,9	6,0	13,1	9,6	8,7	9,0	4,7	199,2	3,7	< 1,0	6,8	310,7	4,20
E4 10-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,19



<b>I-AMICA-13-01</b>																
<b>A1 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,04
<b>A2 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16
<b>A3 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,77
<b>A4 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,92
<b>B1 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>B2 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>B3 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,16
<b>B4 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,50
<b>C1 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>C2 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>C3 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,52
<b>C4 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,91
<b>D1 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>D2 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,80
<b>D3 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,17
<b>D4 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,31
<b>E1 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>E2 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 1,0
<b>E3 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,09
<b>E4 0-10</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,94
<b>I-AMICA-14-02</b>																
<b>P2</b>	16,0	<1,0	7,9	4,8	3,5	3,6	3,4	1,7	3,1	< 1,0	223,7	2,0	< 1,0	2,8	272,5	-
<b>P3</b>	15,1	1,2	28,2	18,9	2,9	5,3	4,3	< 1,0	3,6	< 1,0	268,6	< 1,0	< 1,0	< 1,0	348,0	-
<b>P4</b>	20,1	<1,0	18,6	9,4	5,0	11,2	6,8	3,9	7,3	3,6	242,5	4,7	1,7	< 1,0	334,8	-
<b>P5</b>	19,2	<1,0	10,3	5,1	3,2	9,2	4,9	2,5	6,3	1,9	293,8	2,8	< 1,0	< 1,0	359,3	-
<b>P7</b>	4,3	<1,0	4,2	2,7	< 1,0	1,6	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	9,8	< 1,0	< 1,0	< 1,0	22,6	-
<b>P8</b>	7,2	<1,0	4,5	3,3	< 1,0	2,4	1,8	1,6	2,4	1,8	21,7	2,4	< 1,0	< 1,0	49,2	-

APPENDICE 3: MAPPE DI DISTRIBUZIONE DEL TOC (Total Organic Carbon) A FONDO MARE







# Indice

<b>Introduzione</b>	4
<b>1. La gestione integrata della fascia costiera</b>	5
1.1 Programmi di monitoraggio e aspetti normativi	5
1.2 Stato dell'ambiente marino costiero del Golfo di Gaeta: la foce del Fiume Volturno	8
<b>2. Sperimentazione di un piano di monitoraggio</b>	9
2.1 Mezzi navali e piano di campionamento	9
2.2 Caratteristiche dei fondali	9
2.2.1 Acquisizione ed elaborazione dati batimetrici	10
2.2.2 Sedimentologia dei fondali	14
2.3 Il monitoraggio stagionale in colonna d'acqua	15
2.3.1 Metodi di campionamento ed analisi	16
2.3.2 Misurazione dei parametri chimico-fisici	16
2.3.3 Cocolitoforidi	16
2.3.4 Risultati	17
2.4 Il monitoraggio stagionale dei sedimenti marini	20
2.4.1 Metodi di campionamento e modalità di prelievo	21
2.4.2 Analisi geochimiche	22
2.4.3 Foraminiferi bentonici	23
2.4.4 Nannofossili calcarei	24
2.4.5 Risultati	25
<b>3. Analisi storica delle variazioni della linea di costa nella piana del fiume Volturno</b>	31
3.1 Metodologia	32
3.2 Analisi dei dati	33
3.3 Risultati	35
<b>4. Evoluzione della fascia marina prospiciente la costa</b>	35
4.1 Inquadramento geologico	36
4.2 Acquisizione ed analisi dei dati geofisici	37
4.3 Risultati	37
<b>5. Sismica multicanale ad alta risoluzione "Bay Cable"</b>	39
5.1 Sistema di acquisizione	40
5.2 Elaborazione ed interpretazione dei dati	44
<b>6. Schema di funzionamento ICZM (Integrate Coastal Zone Management)</b>	46
6.1 Il quadro operativo per la definizione di uno schema di funzionamento ICZM	46
6.2 Un approccio per l'applicazione di ICZM all'area di studio	47
<b>Conclusioni</b>	50
<b>Ringraziamenti</b>	51
<b>Bibliografia</b>	51
<b>APPENDICI</b>	57

# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

**<http://www.ingv.it>**





**Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**