

2016

STUDIO INTEGRATO DI UN'AREA MARINO-COSTIERA: LA FOCE DEL FIUME VOLTURNO.



Luciana Ferraro¹, Ines Alberico¹, Antimo Angelino¹, Erlisiana Anzalone¹, Sergio Bonomo¹, Francesca Budillon¹, Antonio Cascella², Giuseppe Cavuoto¹, Monica Capodanno¹, Vincenzo Di Fiore¹, Gabriella Di Martino¹, Lorenza Evangelista¹, Rosanna Ferraro¹, Serena Gherardi¹, Laura Giordano¹, Michele Iavarone¹, Antonio Iengo¹, Sara Innangi¹, Fabrizio Lirer¹, Ennio Marsella¹, Renata Migliaccio¹, Flavia Molisso¹, Nicola Pelosi¹, Michele Punzo¹, Paola Rumolo¹, Paolo Scotto di Vettimo¹, Stella Tamburrino¹, Daniela Tarallo¹, Renato Tonielli¹, Mattia Vallefucoco¹.

¹IAMC - CNR (Istituto per l'Ambiente Marino Costiero, Napoli)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Pisa)

INDICE

CAPITOLO 1	pag. 3
Il monitoraggio costiero e la gestione integrata della fascia costiera	
1.1 Il monitoraggio quale strumento essenziale per la protezione, la gestione e la valorizzazione delle risorse naturali dell'ambiente marino-costiero	pag. 3
1.2 La gestione integrata della fascia costiera e i programmi di monitoraggio. Aspetti normativi.	pag. 4
1.3 Stato dell'ambiente marino costiero del Golfo di Gaeta: la foce del Fiume Volturno. Bibliografia	pag. 9
	pag. 11
CAPITOLO 2	pag. 12
Sperimentazione di un piano di monitoraggio stagionale nell'area marino-costiera prospiciente la Foce Del Fiume Volturno	
2.1 Area di indagine	pag. 12
2.2 Mezzi navali utilizzati e piano di campionamento	pag. 14
2.3 Caratteristiche dei fondali	pag. 16
2.3.1 Acquisizione ed elaborazione dati batimetrici	pag. 16
2.3.2 Sedimentologia dei fondali	pag. 30
2.4 Il monitoraggio in colonna d'acqua	pag. 32
2.4.1 Metodi di campionamento ed analisi delle acque marino-costiere	pag. 32
2.4.2 Misurazione dei parametri chimico-fisici	pag. 34
2.4.3 Coccolitoforidi	pag. 34
2.5 Il monitoraggio dei sedimenti marini	pag. 36
2.5.1 Strumenti di campionamento e modalità di prelievo dei sedimenti a fondo mare	pag. 36
2.5.2 Analisi geochimiche e metodi di preparazione	pag. 38
2.5.3 Foraminiferi bentonici	pag. 42
2.5.4 Nannofossili calcarei	pag. 46
2.6 Risultati colonna d'acqua	pag. 47
2.6.1 Parametri chimico-fisici	pag. 47
2.6.2 Coccolitoforidi	pag. 49
2.7 Risultati sedimenti	pag. 52
2.7.1 Geochimica dei sedimenti	pag. 52
2.7.2 Foraminiferi bentonici	pag. 57
2.7.3 Nannofossili calcarei	pag. 62
Bibliografia	pag. 62

CAPITOLO 3	pag. 65
Analisi storica delle variazioni della linea di costa nella piana del fiume Volturno	
3.1 Introduzione	pag. 65
3.2 Metodologia	pag. 66
3.3 Analisi dei dati	pag. 68
3.3.1 Variazioni della linea di riva della piana del fiume Volturno	pag. 69
3.3.2 Le trasformazioni della fascia costiera dagli inizi dell'ottocento ad oggi.	pag. 71
Bibliografia	pag. 75
CAPITOLO 4	pag. 78
Evoluzione della fascia costiera terra-mare	
4.1 Introduzione	pag. 78
4.2 Inquadramento geologico	pag. 78
4.3 Analisi dei dati	pag. 80
4.4 Risultati	pag. 81
Bibliografia	pag. 85
CAPITOLO 5	pag. 87
Sismica multicanale ad alta risoluzione "Bay Cable"	
5.1 Introduzione	pag. 87
5.2 Strumentazione	pag. 88
5.3 Geometria di acquisizione	pag. 94
5.4 Elaborazione ed interpretazione dei dati	pag. 96
Bibliografia	pag. 98
CAPITOLO 6	pag. 99
Definizione di uno schema di funzionamento ICZM (Integrate Coastal Zone Management)	
6.1 Principi e aspettative dell'ICZM	pag. 99
6.2 Il quadro operativo per la definizione di uno schema di funzionamento ICZM	pag. 100
6.2.1 Valutazioni politiche	pag. 100
6.2.2 Analisi delle opzioni tecniche	pag. 100
6.2.3 Strategie di monitoraggio	pag. 101
6.3 Un approccio per l'applicazione di ICZM all'area di studio	pag. 102
Bibliografia	pag. 107
CAPITOLO 7	pag. 109
Conclusioni generali	

CAPITOLO 1

Il monitoraggio costiero e la gestione integrata della fascia costiera

1.1 Il monitoraggio quale strumento essenziale per la protezione, la gestione e la valorizzazione delle risorse naturali dell'ambiente marino-costiero.

Nella storia, le zone costiere hanno costituito un importante polo di civilizzazione, per potenziale di scambi e disponibilità di risorse alimentari e materiali. 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 tesi ad unire e coordinare le varie politiche che esercitano influsso sulle zone costiere e sul mare.

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.

Le zone costiere costituiscono degli ambienti complessi, influenzati da una miriade di forze che interagiscono fra loro e che dipendono dalle condizioni idrologiche, geomorfologiche, socio-economiche, istituzionali e culturali del sistema considerato. Ancor di più l'ambiente marino-costiero che 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 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.

Il monitoraggio marino, 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 molto complesso come appunto è quello marino. In particolare l'ambiente marino-costiero è un ecosistema dinamico in cui processi sia naturali che di origine antropica si sommano ed interagiscono modificandone le caratteristiche geomorfologiche, 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 della fascia marino-costiera 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

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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 conoscenza dello stato fisico del sistema costiero nel suo quadro naturale ed antropico, è il necessario presupposto per gli studi ecologici e socio-economici finalizzati alle scelte di Gestione Integrata.

Nell'ambito del progetto PONa3_00363 I-AMICA (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale), fondato sull'attivazione di interventi di adeguamento e rafforzamento infrastrutturale nelle Regioni di Convergenza, al fine di promuovere e sviluppare strutture ed attrezzature utili per il monitoraggio del clima e dell'ambiente nella Regione del Mediterraneo e in altre aree sensibili del Pianeta, l'Obiettivo Realizzativo 4.4 (Processi di interfaccia biosfera-idrosfera e funzionalità degli ecosistemi costieri) 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 per identificare e definire nuove metodologie di monitoraggio in relazione alle specifiche caratteristiche dell'area di studio indagata, sia dal punto di vista tecnico che scientifico.

L'attività svolta, nei tre anni del progetto, ha rappresentato una base per lo studio integrato multidisciplinare dell'area marino-costiera prospiciente la foce del fiume Volturno (Golfo di Gaeta), fornendo un quadro esaustivo dello stato ambientale del sistema costiero in oggetto al fine di proporre un protocollo di indagine integrato sul monitoraggio marino-costiero in un territorio dove la gestione ambientale si è fino ad ora basata su approcci scientifici e metodologici diversi tra loro.

Lo studio è stato svolto secondo le seguenti fasi:

- raccolta di tutte le informazioni e dei dati disponibili in letteratura e presso gli enti preposti;
- pianificazione e realizzazione di 7 campagne oceanografiche di monitoraggio stagionale dell'area marino-costiera;
- analisi ed elaborazione di tutti i dati;
- creazione di un database georiferito.

L'esperienza svolta si è principalmente focalizzata, oltre che sulle tecniche di monitoraggio classiche, sulla sperimentazione di nuove tecniche di acquisizione ed interpretazione di dati (ambientali e geofisici) sia in colonna d'acqua che nei sedimenti a fondo mare. Particolare attenzione è stata data alla 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 sia da studi sulla variazione della linea di costa (Capitolo 3), sia da studi sismostratigrafici della piana deltizia (Capitolo 4 e 5). La variazione della linea di costa rappresenta uno degli aspetti più evidenti dell'instabilità ambientale costiera, infatti l'arretramento della linea di riva può essere legato all'incremento demografico e al processo di industrializzazione che si sono verificati negli ultimi cinquanta anni; mentre la conoscenza della stratigrafia del sottofondo, in particolare le piane deltizie, è di notevole importanza, poiché il sistema di piattaforma interna rappresenta un archivio ad alto potenziale di conservazione di livelli da evento (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.

1.2 La gestione integrata della fascia costiera e i programmi di monitoraggio. Aspetti normativi.

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 strategici di gestione integrata delle zone costiere e

pianificazione degli spazi marittimi tesi ad aggregare e coordinare le varie politiche che esercitano un'influenza sulle zone costiere e sul mare.

Il Mar Mediterraneo, con i suoi quarantaseimila chilometri di coste, è circondato da grandi città e porti che si concentrano nelle regioni con un forte sviluppo industriale e turistico.

Già quasi il 19% delle coste sono occupate da complessi turistici, reti stradali e relative infrastrutture. 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. Le diverse situazioni geopolitiche del Mediterraneo si aggiungono a questa complessità, aumentando i conflitti riguardanti l'uso dello spazio e le sfide ambientali. I pilastri normativi atti a garantire un allineamento delle strategie ambientali dei paesi Europei hanno origine con la convenzione per la protezione del Mar Mediterraneo dai rischi dell'inquinamento, o Convenzione di Barcellona che, attualmente, rappresenta lo strumento giuridico e operativo del Piano d'Azione delle Nazioni Unite per il Mediterraneo (MAP). Tale documento è costituito da 7 protocolli dedicati a problematiche specifiche come indicato nella Tabella 1. La Convenzione è entrata in vigore nel 1978, l'Italia l'ha ratificata il 3 febbraio 1979 con la 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 (d'ora innanzi denominato Protocollo) nell'ambito della Conferenza diplomatica plenipotenziaria tenutasi a Madrid nei giorni 20 e 21 gennaio 2008. Il 13 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). Dopo essere stato ratificato da sei parti contraenti, il protocollo è entrato in vigore il 24 marzo 2011. La ratifica, o conclusione del protocollo indica che esso è diventato parte del diritto dell'Unione Europea e ha quindi effetti vincolanti.

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 sottomarino e del sottosuolo
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)

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Anche nell'ambito della Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (Montego Bay, 1982), pur non rinvenendosi espliciti riferimenti alle problematiche relative alle coste, non mancano i riferimenti all'area costiera nel contesto dell'ambiente marino.

Nel 1983, in occasione del Consiglio Europeo, i lavori della Conferenza dei ministri responsabili per l'assetto/territoriale (CEMAT) portarono all'adozione della Carta Regionale Europea per la pianificazione territoriale. Il Consiglio Europeo supportò ulteriormente il lavoro su un modello di legge relativo alla protezione delle coste e un codice di condotta per le zone costiere.

Il Summit delle Nazioni Unite di Rio de Janeiro nel 1992 diede inizio allo sviluppo incentrato sulla politica Europea per la gestione integrata delle zone costiere attraverso una strategia integrata come specificato nel capitolo 17 dell'Agenda 21. Il Consiglio, nel 1992 e nel 1994 adottò la Risoluzione sulla gestione integrata delle aree costiere. Nella Risoluzione il Consiglio riconobbe l'approccio integrato come strumento importante per affrontare le sfide in materia di gestione delle coste, sollecitando la Commissione a presentare proposte di azioni in Europa.

Dal 1996 al 1999, la Commissione produsse un Programma Dimostrativo che aveva lo scopo di raggiungere un consenso relativo alle misure da adottare al fine di stimolare i paesi Europei ad utilizzare la gestione integrata delle coste. 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 principio espresso dalla Raccomandazione e molto significativo è quello di assicurare una prospettiva di lungo periodo, che punti ad uno sviluppo delle aree in questione duraturo sotto il profilo economico ed occupazionale e sostenibile sotto il profilo ambientale, tenendo conto delle necessità non soltanto delle generazioni presenti ma anche di quelle future.

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) dell'ambiente marino entro il 2020. 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 determinazione del buono stato ambientale (GES) (art. 9) è da determinarsi sulla base di 11 descrittori qualitativi dell'ambiente marino che fanno riferimento a molteplici aspetti degli ecosistemi marini, tra i quali la biodiversità, l'inquinamento, l'impatto delle attività produttive. 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 agli 11 descrittori. Il Buono Stato Ambientale è il concetto chiave della MSFD e quindi del Decreto. Tale status ambientale è da conseguirsi per ciascuna delle tre sub-regioni marine individuate per l'Italia: i) Mediterraneo occidentale, ii) Adriatico, iii) Ionio e Mediterraneo centrale.

La Comunicazione 2010/771 "Pianificazione dello spazio marittimo nell'UE – risultati ed evoluzione futura" e la Comunicazione "2013/133 Proposta di Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio", istituiscono invece, un quadro per la pianificazione dello spazio marittimo e la gestione integrata delle zone costiere e sono la risposta all'esigenza di istituire un quadro di riferimento comune e coerente per la pianificazione

dello spazio marittimo e terrestre al fine di mitigare i conflitti ed esaltare le sinergie tra settori e attività in competizione per lo spazio marittimo e costiero (es. infrastrutture per uso di energia da fonti rinnovabili, acquacoltura, trasporti).

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*.



Figura 1 - Schema di sviluppo circolare delle componenti operative della *governance*.

Un programma di monitoraggio può essere considerato integrato quando fornisce dati rilevanti per i differenti descrittori, criteri e indicatori specificati nell'MFSD (Marine Strategy Framework Directive), per almeno due stati Membri e raccolti con una metodologia comparabile.

Ad esempio, gli stessi dati monitorati potrebbero essere utilizzati, in alcuni casi, per la valutazione di differenti descrittori: i dati sull'abbondanza di zoo-benthos e sulla composizione tassonomica sono usati per la valutazione della biodiversità (descrittore 1) e l'integrità del fondale marino (descrittore 6).

Nella tabella seguente vengono riportati gli elementi di monitoraggio previsti dall'MFSD e il confronto con gli elementi previsti dalle altre normative Europee sull'ambiente marino costiero.

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	Range, dinamiche della				X	

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

marini e altre specie protette	popolazione, stato di salute					
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.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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) è uno di quelli più interessanti. Tale schema (OECD, 2000) nasce come valido metodo scientifico per la conoscenza degli ecosistemi e delle modificazioni prodotte dalle attività umane su di essi; ma, se ad esso associamo la definizione di obiettivi da raggiungere, e consideriamo che, essendo ormai condiviso e adottato da tutti i paesi Europei, costituisce una sorta di linguaggio comune indispensabile per poter attuare qualsiasi forma di cooperazione tra gli Stati, ecco che il metodo DPSIR si trasforma in vero e proprio strumento a supporto della *governance* inteso quale strumento in grado di guidare nella scelta delle decisioni.

All'interno del modello DPSIR 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 vengono richieste risposte da parte della società (Responses) che possono riguardare qualsiasi elemento del sistema, ovvero avere effetto direttamente sullo stato dell'ambiente o agire sugli impatti o sulle determinanti indirizzando le attività umane su una nuova strada.

La semplice messa a punto di un sistema di monitoraggio che permetta 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 quali processi dinamici che mirano ad aggregare le varie politiche che esercitano influsso sulle zone costiere e sul mare. 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 ed in tal senso è possibile affermare che il monitoraggio rappresenta un efficace strumento di tutela ambientale.

1.3 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 è, altresì, un sistema estremamente delicato sul quale si concentrano usi ed interessi molteplici, che, nel loro contempo, 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, rappresenta un ambiente, condizionato prevalentemente dalla dinamica fluviale dei fiumi Garigliano e Volturno, ed è fortemente compromesso da un intenso sfruttamento antropico del territorio, da un'intensa urbanizzazione, da attività agricole e zootecniche e da opere costiere, che ne hanno profondamente modificato l'assetto morfologico ed il paesaggio naturale.

In tempi storici, dall'epoca greco-romana fino all'incirca al 1950, la morfologia dell'intero litorale, dalla foce del F. 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 fluviali dei due fiumi, dell'ordine di decine di metri all'anno e con perdita di migliaia di metri cubi di sedimenti. L'arretramento della riva è connesso soprattutto alla costruzione di sbarramenti e briglie fluviali 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 l'intensa antropizzazione del territorio, mediante la costruzione di strutture ed infrastrutture sui cordoni dunari e soprattutto nelle zone circostanti le foci fluviali, oltre che gli interventi di bonifica, regimazione ed

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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 15 km, è il più importante corso d'acqua della Campania, interessa tre province e presenta un bacino imbrifero di circa 5455 Km² (bacino idrografico di livello nazionale).

Ha origine in corrispondenza del Gruppo dei Monti della Meta-Mainarde. L'alto tratto del Volturno si snoda attraverso i rilievi, prevalentemente carbonatici, dei Monti del Matese e il versante settentrionale del Gruppo del Monte Maggiore. Il Volturno riceve l'apporto di numerosi affluenti, tra i quali il maggiore è Fiume Calore, prima di attraversare la Piana Campana, un'ampia piana alluvionale e costiera costituita da sedimenti lagunari e fluviali olocenici, dove il corso d'acqua assume un andamento meandriforme prima si sfocia nel Mar Tirreno (Romano et al., 1994; Barra et al., 1996).

Il bacino dei Regi Lagni, che raccoglie le acque zenitali prevalentemente del complesso vulcanico del Somma-Vesuviano e dei rilievi carbonatici dei Monti di Avella, sottende una superficie di circa 1300 kmq. Il bacino, nel settore di piana, è caratterizzato dalla presenza dei canali paralleli di drenaggio dei Regi Lagni, che costituiscono una grande opera di ingegneria idraulica, realizzata per regimare le acque dell'antico corso del Fiume Clanio, concepita durante la dominazione spagnola, nel XV sec. (Fiengo, 1988). A tutt'oggi i Regi Lagni svolgono, anche se in maniera inadeguata, il compito per il quale furono progettati: convogliano per 56 km le acque reflue di ben 126 comuni verso la costa, sfociando poco più a sud del fiume Volturno.

Infine alla sezione di Cannello Arnone il fiume si versa nel Tirreno presso i confini del Lazio meridionale.

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.

Gran parte del corso fluviale del fiume Volturno risulta fortemente 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, punto di arrivo finale di tutti i fattori di inquinamento.

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.

Le condizioni osservate per il Golfo sono da considerarsi "critiche", non tanto per la presenza di uno specifico fattore di alterazione quanto per la concomitante presenza di più fonti di alterazione che in un contesto semichiuso e a scarso ricambio creano uno stato di notevole stress ambientale rispetto alle condizioni medie tirreniche. Pertanto, lo stato trofico delle acque marino costiere laziali-campane è tendenzialmente da ritenersi di tipo mesotrofico, con fenomeni di eutrofizzazione che si sviluppano principalmente nelle aree antistanti le foci dei principali fiumi o in aree sottoposte a scarichi urbani.

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 gravemente minacciata ed in parte compromessa, è testimoniata dall'istituzione di alcune Zone a Protezione Speciale (ZPS) e Siti di Importanza Comunitaria (SIC), dal parte dell'Assessorato delle Politiche Territoriali ed Ambientali della Regione Campania nel 2005.

Bibliografia

- Barra D., Romano P., Santo A., Campajola L., Roca V., Tuniz C., 1996. The Versilian transgression in the Volturno river plain (Campania, Southern Italy): palaeoenvironmental history and chronological data. *Il Quaternario*, 99, 445-458.
- Billé R., Rochette J., 2015. The Mediterranean ICZM Protocol: Paper treaty or wind of change? *Ocean & Coastal Management*, 105, 84-91.
- Fiengo G., 1988. I Regi Lagni e la bonifica della Campania Felix durante il Viceregno spagnolo, Leo S. Olschki Editore.
- Long R., 2011. The Marine Strategy Framework Directive: A New European Approach to the Regulation of the Marine Environment, Marine Natural Resources and Marine Ecological Services. *Journal of Energy & Natural Resources law*, 29(1).
- OSPAR. Marine biodiversity monitoring and assessment: activities to improve synergies between EU directives and international conventions. *OSPAR monitoring and assessment series 357*; 2008.
- Pegaso Project, 2009. Integrated coastal zone management in the Mediterranean: From Vision to Action. pegasoproject.eu.
- Rochette J., Wemaëre M., Billé R., du Puy-Montbrun G., 2012. A contribution to the interpretation of legal aspects of the Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean, UNEP, MAP, PAP/RAC, 72 pp..
- Romano P., Santo A., Voltaggio M., 1994. L'evoluzione geomorfologica della pianura del fiume Volturno (Campania) durante il tardo Quaternario (Pleistocene Medio-Superiore-Olocene). *Il Quaternario*, 77(1), 41-56.
- Zampoukas N., Piha H., Bigagli E., Hoepffner N., Hanke G., Cardoso A.C., 2012. Monitoring for the Marine Strategy Framework Directive: requirements and options. *JRC Scientific and Technical Reports 68179*.
- Zampoukas N., Piha H., Bigagli E., Hoepffner N., Hanke G., Cardoso A.C., 2013. Marine Monitoring in the European Union: How fulfill the requirements for the marine strategy framework directive in an efficient and integrated way. *Marine Policy*, 39, 349-351.

CAPITOLO 2

Sperimentazione di un piano di monitoraggio stagionale nell'area marino-costiera prospiciente la Foce Del Fiume Volturno.

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 un puntuale programma di monitoraggio con la finalità di vigilare e controllare le coste e i fattori di pressione sia antropogenici che naturali che incidono, in modo significativo, sulla qualità dell'ambiente marino.

L'attività di monitoraggio alla foce del fiume Volturno fin dal suo avvio, è stata pensata ed organizzata da un punto di vista squisitamente ambientale, al fine di valutare in che maniera e in che quantità l'attività dell'uomo ha influenzato e/o influenza la qualità dell'ambiente marino-costiero. Oltre agli approcci classici per il monitoraggio ambientale, quali la valutazione dei livelli di contaminanti organici e inorganici nei sedimenti, le attività si sono focalizzate sulla sperimentazione di nuove tecniche di monitoraggio attraverso l'analisi delle biocenosi a foraminiferi bentonici nei sedimenti e dei coccolitoforidi in colonna d'acqua ed in particolare al riconoscimento di *bio-indicatori* in entrambe le matrici.

2.1 Area di indagine.

In base alla realtà territoriale, è stata individuata come area di indagine quella sottoposta a maggiore pressione antropica cioè l'area marino-costiera prospiciente la foce del fiume Volturno. L'area abbraccia il settore di piattaforma continentale compreso tra l'isobata dei -5m e -50m prospiciente la foce del fiume (Golfo di Gaeta; Fig.1).

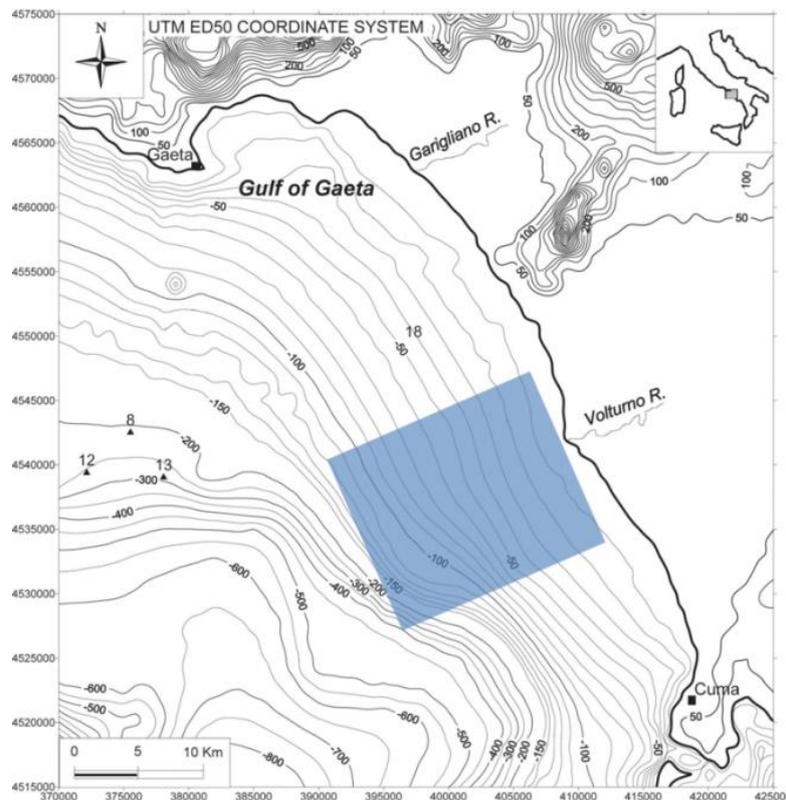


Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio.

All'interno dell'area individuata, è stata identificata una griglia di 22 campioni distribuiti secondo 5 transetti equidistanti tra loro ed ortogonali alla linea di costa (A-B-C-D-E; Fig. 2). I campioni, ubicati a profondità comprese tra -9m e -49m, 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. 1).

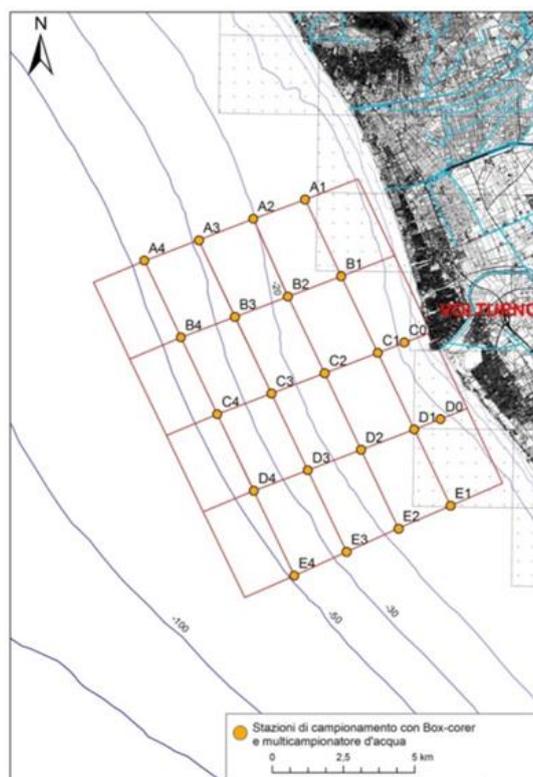


Figura 2 - Ubicazione delle stazioni di campionamento per il monitoraggio costiero.

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 1 - Coordinate geografiche e profondità delle stazioni di campionamento.

2.2 Mezzi navali utilizzati e piano di campionamento

Nell'arco dei tre anni di attività, le motonavi adoperate per le campagne di monitoraggio sono state tre, la nave Astrea di proprietà dell'ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, gestita dalla società SO.PRO.MAR. S.p.A, la nave Urania gestita dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e la moto barca "Idrosfera" gestita dalla società Idrosfera.

Dal punto di vista scientifico la nave Astrea è in grado di impiegare praticamente qualsiasi tipo di strumentazione, compatibilmente con le sue dimensioni (Fig. 3) ed è in grado di eseguire:

1. ricerche oceanografiche (biologiche, chimiche e fisiche) in zone litoranee, costiere ed in alto mare;
2. raccolta dati in superficie e profondità (CTD, campionatura acqua continua, ADCP, ecoscandaglio, idrofoni);
3. rimorchio ed impiego di ROVs, AUVs, boe oceanografiche e catene correntometriche;
4. trasporto ed impiego di un battello ausiliario;
5. messa in opera ed impiego reti per pesca scientifica, pelagiche e da fondo;

Principali caratteristiche tecniche dell'Astra:

Lunghezza totale	23.70 m
Larghezza	6.10 m
Pescaggio	2.00 m
Velocità max/min.	1 /0.5-1 nodo
Stazza	83 TSL



Figura 3 - Nave oceanografica ASTREA dell'ISPRA utilizzata per 6 campagne di monitoraggio stagionale come riportato nella Tabella 2.

La Nave Urania ha un'autosufficienza di 45 giorni e può ospitare un massimo di 36 uomini tra personale scientifico ed equipaggio. La gamma di velocità per il rilevamento continuo varia tra 1.5 e 11 nodi.

La nave ospita laboratori per analisi, campionamento geologico, laboratori chimici e radiologici e consente l'elaborazione di dati di navigazione, geofisici e quelli acquisiti con il R.O.V. (Remote Operated Vehicle) e con la sonda multiparametrica. Gli strumenti geofisici comprendono un profilatore Chirp Datasonic, uno Sparker, un profilatore Sub-Bottom da 3.5 KHz, un Uniboom, un sonar a scansione laterale da 100 - 500 KHz e un magnetometro. I sistemi di campionamento, operanti fino alle massime profondità del Mediterraneo,

sono: carotieri a gravità ed a pistone, box corer, benne (Shipek e Van Veen) e draghe. E' inoltre possibile utilizzare sonde multiparametriche e multicampionatori, CTD, dispositivi per analisi biologiche e R.O.V.

Principali caratteristiche tecniche dell'Urania:

Lunghezza totale	61.30 m
Larghezza	11.10 m
Pescaggio min/max	3.10 - 3.60 m
Stazza	1000 TS



Figura 4 - La nave oceanografica (N/O) URANIA del CNR utilizzata per la campagna oceanografica I- AMICA_2013_01 (29 Gennaio - 11 febbraio 2013).

La moto barca idrosfera (Fig. 5) è un catamarano carrellabile di 7 m di lunghezza con un pescaggio di 50 cm, attrezzato per l'istallazione dei più comuni sistemi di acquisizione dati

Principali caratteristiche tecniche della M/B Idrosfera:

Lunghezza totale	6.9 m
Larghezza	2.4 m
Pescaggio max	0.4 m
Portata	6 persone



Figura 5 - Moto Barca "Idrosfera".

Il programma di monitoraggio realizzato alla foce di fiume Volturno è stato strutturato attraverso l'esecuzione di 7 campagne di campionamento stagionale e di misura (Tab. 2) tenendo conto degli aspetti geologici ed antropici peculiari della zona di studio, in particolare nella definizione e nella scelta delle analisi chimiche da effettuare sulla matrice sedimento.

CAMPAGNA OCEANOGRAFICA MONITORAGGIO STAGIONALE	PERIODO	NAVE OCEANOGRAFICA
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 2 - Campagne di monitoraggio stagionale realizzate dei tre anni di attività (2012-2014).

(*nel corso di tale campagna sono stati acquisiti dati geologici, geofisici e morfobatimetrici; vedi par.2.3 e Capitolo 4).

La sperimentazione di nuove tecniche di monitoraggio nella matrice acqua e sedimento ha altresì definito la pianificazione delle attività di campionamento ed il relativo calendario integrato delle campagne di acquisizione stagionale. Le attività operative di campionamento hanno riguardato uscite in mare utili al prelievo di campioni delle diverse matrici e all'acquisizione di dati chimico-fisici lungo la colonna d'acqua. Sono state realizzate campagne nel periodo estivo, autunnale ed invernale (Tab. 2); ogni campagna ha avuto la durata media di 2-3 gg., salvo condizioni meteo-marine avverse, eccetto la campagna I-AMICA_2013_01 (a bordo della nave Urania) che ha avuto una durata di circa 15 gg., nel corso della quale sono state effettuate anche indagini geofisiche.

2.3 Caratteristiche dei fondali

Un piano di monitoraggio costiero deve prevedere sia un rilievo batimetrico che un rilievo sedimentologico. Il rilievo batimetrico va esteso in genere a tutto l'areale interessato dalla 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.

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.

2.3.1 Acquisizione ed elaborazione dati batimetrici

La Tecnologia multibeam "M.B.E.S." (Multi Beam Eco Sounding) è molto sofisticata e capace di fornire altissimi standard quantitativi e qualitativi delle informazioni prodotte. Con tale strumentazione si passa da un'acquisizione per singoli punti (singlebeam) lungo la rotta di navigazione (ecoscandaglio tradizionale) ad un'acquisizione continua che utilizza un numero elevato di beam contemporaneamente, coprendo una fascia laterale di fondale pari a due/quattro volte la profondità indagata.

L'area di acquisizione interessata dal progetto 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 di profondità.

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 alla acquisizione profonda la prima e dedicata al rilievo costiero la seconda e la terza.

Il primo rilievo si è svolto tra Gennaio e Febbraio 2013 a bordo della N/O “Urania” (Fig. 4) equipaggiata per indagini geologiche, biologiche ed oceanografiche, sia superficiali che profonde. I rilievi della zona costiera si sono svolti tra Marzo e Giugno 2014 a bordo della M/B “Idrosfera” (Fig. 5).

Sono stati utilizzati due modelli diversi di MBES: un Kongsberg EM710 fino a profondità di 500 metri e un SeaBat 7125 per il rilievo ad altissima risoluzione della fascia costiera compresa tra 1 e 16 metri di profondità.

- *Rilievo profondo*

Il rilievo batimetrico è stato effettuato con il Multibeam Kongsberg EM710, installato a scafo a profondità di circa 1,5 metri rispetto alla chiglia. Lo strumento ha una frequenza operativa di 100kHz ed è capace di operare in un range batimetrico da un minimo di 3 metri fino a circa 2000 metri.

Frequency range	70 to 100 kHz
Max ping rate	30 Hz
Swath coverage sector	Up to 140 degrees
Min depth	3 m below transducer
Roll stabilized beams	±15°
Pitch stabilized beams	±10°
Yaw stabilized beams	±10°
Sounding patterns	Equiangular Equidistant High Density
Max depth	2000 m
CW transmit pulses	0.2 to 2 ms
Max coverage	2400 m

Tabella 3 - Specifiche tecniche del Multibeam EM710

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

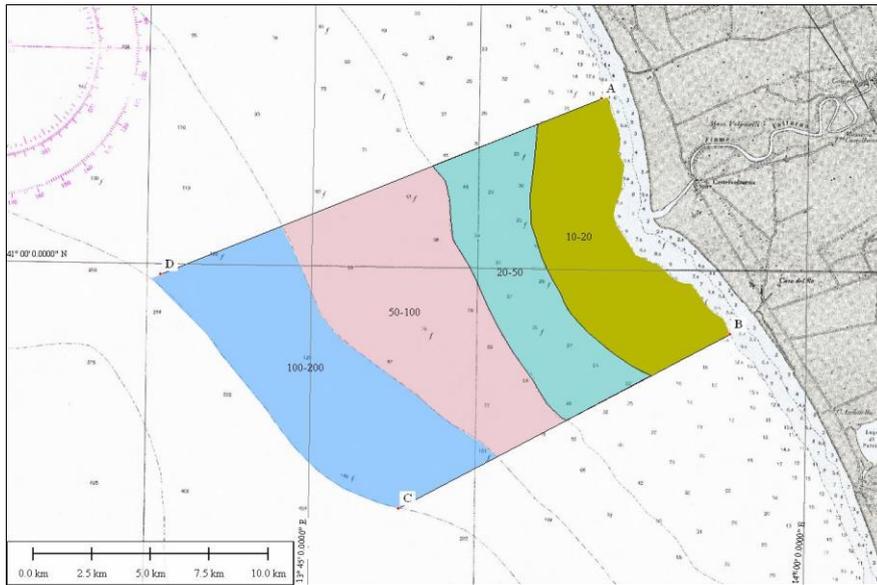


Figura 6 - Pianificazione del rilievo batimetrico profondo acquisito nel corso della Campagna I-Amica_2013-0.1

I dati batimetrici sono stati acquisiti con il software Seafloor Information System (SIS), che permette all'operatore di regolare i parametri ed i filtri per una corretta acquisizione, applica in tempo reale i dati di posizionamento, forniti da un GPS con correzione differenziale, ed i dati di assetto, necessari per compensare i movimenti della nave. 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 Km² (dato stimato per difetto) a profondità comprese tra i 16 ed i 500 metri.

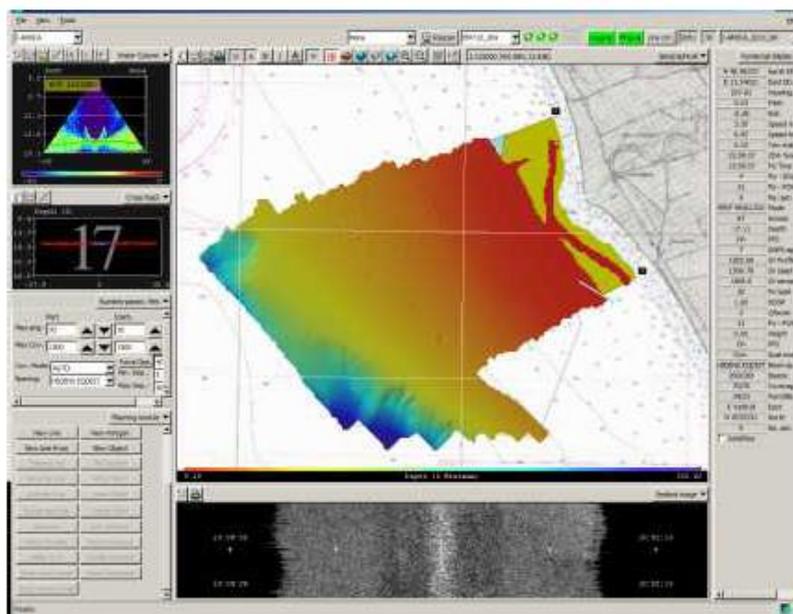


Figura 7 - DTM (Digital Terrain Model) acquisito nell'area di studio.

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Caris Hips&Sips 7.0.2. La fase iniziale del processing è consistita nella applicazione della curva di marea e nella correzione della navigazione, ovvero nella eliminazione di eventuali punti di posizionamento non corretti dovuti a perdita o degradazione del segnale GPS. Nel corso della fase principale di elaborazione è stata realizzata la pulizia manuale del dato utilizzando sia una visualizzazione 2D che 3D dei punti acquisiti: questa procedura è stata preferita rispetto ad un procedimento statistico per preservare la risoluzione del dato. I dati così elaborati sono stati utilizzati per la generazione di un DTM con risoluzione di 5 metri e di un contouring con intervallo batimetrico di 5 metri (Fig. 8).

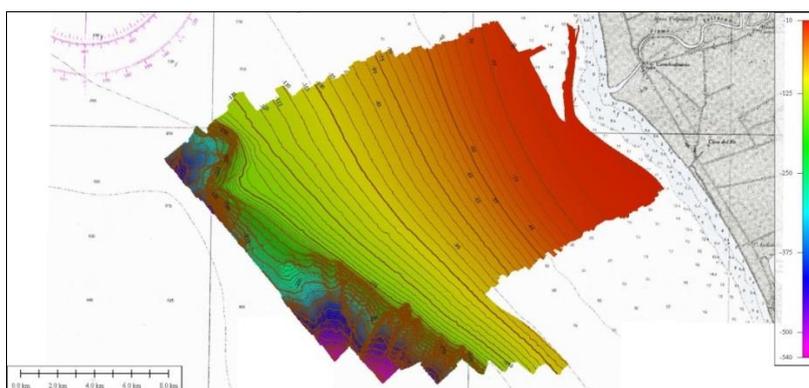


Figura 8 - DTM elaborato (risoluzione 5 m) dell'area di studio. Contouring batimetrico con intervallo di 5 m. Proiezione UTM33N – WGS84.

- *Rilievo costiero*

Per l'acquisizione del rilievo costiero è stato utilizzato un Multibeam Reson Seabat 7125, uno strumento ad altissima risoluzione con doppia frequenza operativa, 200 - 400 kHz che permette di acquisire dati su fondali compresi tra 1 e 500 metri di profondità. Inoltre il Seabat 7125 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.

Frequency	200kHz 400kHz
Max ping rate	50Hz (± 1 Hz)
Along-track transmit beamwidth	2° at 200kHz & 1° at 400kHz
Across-track receive beamwidth	1° at 200kHz & 0.5° at 400kHz
Pulse length	30 μ s – 300 μ s Continuous Wave 300 μ s – 20ms Frequency Modulated (X-Range)
Number of beams	512EA/ED at 400kHz 256EA/ED at 200kHz
Max swath angle	140° in Equi-Distant Mode 165° in Equi-Angle Mode
Typical depth	0.5m to 150m at 400kHz 0.5m to 400m at 200kHz
Max depth	>175m at 400kHz 450m at 200kHz
Depth resolution	6mm

Tabella 4 - Specifiche tecniche del Seabat 7125.

Lo strumento è stato installato a palo e posizionato nella parte centrale dell'imbarcazione utilizzando un "moon pool" come riportato nella figura 9.



Figura 9 - Installazione del Multibeam Reson Seabat 7125 sull'imbarcazione Idrosfera.

Questa installazione ha permesso di calare giornalmente lo strumento a mare, mantenendo inalterati gli angoli di calibrazione. Lo strumento è stato interfacciato con un sensore di moto Ixea Octans 3000 e con un GPS differenziale Trimble SPS852 GNSS Modular Receiver con correzione Oministar. In prossimità dei trasduttori è stata installata una sonda di velocità per il beam steering mentre un profilatore, 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 utilizzato, il PDS2000, è interfacciato con la strumentazione al fine di applicare in tempo reale ai dati batimetrici il posizionamento e le correzioni dovute al moto dell'imbarcazione.

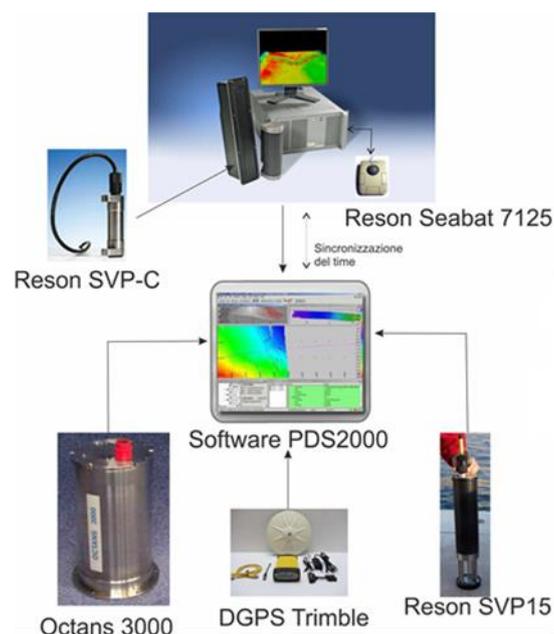
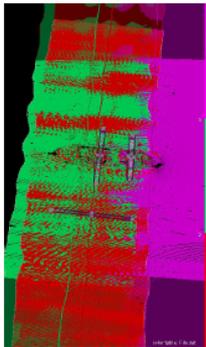


Figura 10 - Schema delle connessioni strumentali.

Prima di iniziare le operazioni di acquisizione è stata eseguita la calibrazione strumentale, necessaria per la correzione degli angoli di installazione rispetto al sensore di moto. La calibrazione è stata ripetuta più volte durante i giorni del rilievo per verificare i valori trovati, constatando così che l'installazione tramite il "moon pool" permette di mantenere inalterati gli angoli di calibrazione una volta rimosso lo strumento e poi ricalato in acqua. Segue il Report di calibrazione generato dal modulo Patch Test del PDS2000, utilizzato per la calibrazione.

Multibeam Calibration Summary

Monday, 17 March 2014, 08:46:13



Calibration file: D:\PDS2000 Projects\Voltumo\

Roll

Results: Roll Calibration range from -5.00 *PU+ to 5.00 *PU+, step 0.01 *PU+
Roll mounting angle = 0.53 *PU+

Pitch

Results: Pitch Calibration range from -5.00 *BU+ to 5.00 *BU+, step 0.01 *BU+
Pitch mounting angle = -1.44 *BU+

Yaw

Results: Yaw Calibration range from -5.00 ° to 5.00 °, step 0.01 °
Yaw mounting angle = 0.46 °

Multibeam Calibration Roll Results

Monday, 17 March 2014, 08:46:13

Files used

D:\PDS2000 Projects\Voltumo\LogData\UserLine(1).1-20140317-081845.pds

Heading = 317.38 °, Speed = 4.39 Knts

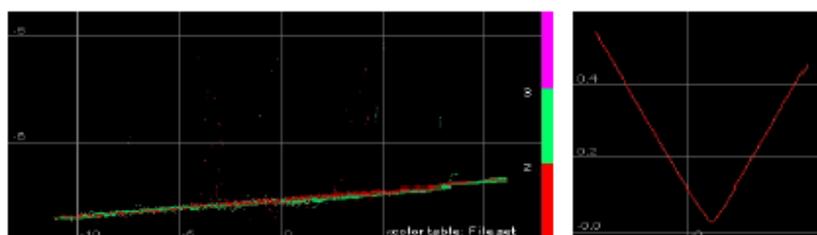
D:\PDS2000 Projects\Voltumo\LogData\UserLine(1).1-20140317-082103.pds

Heading = 138.54 °, Speed = 4.06 Knts

Roll Calibration range from -5.00 *PU+ to 5.00 *PU+, step 0.01 *PU+

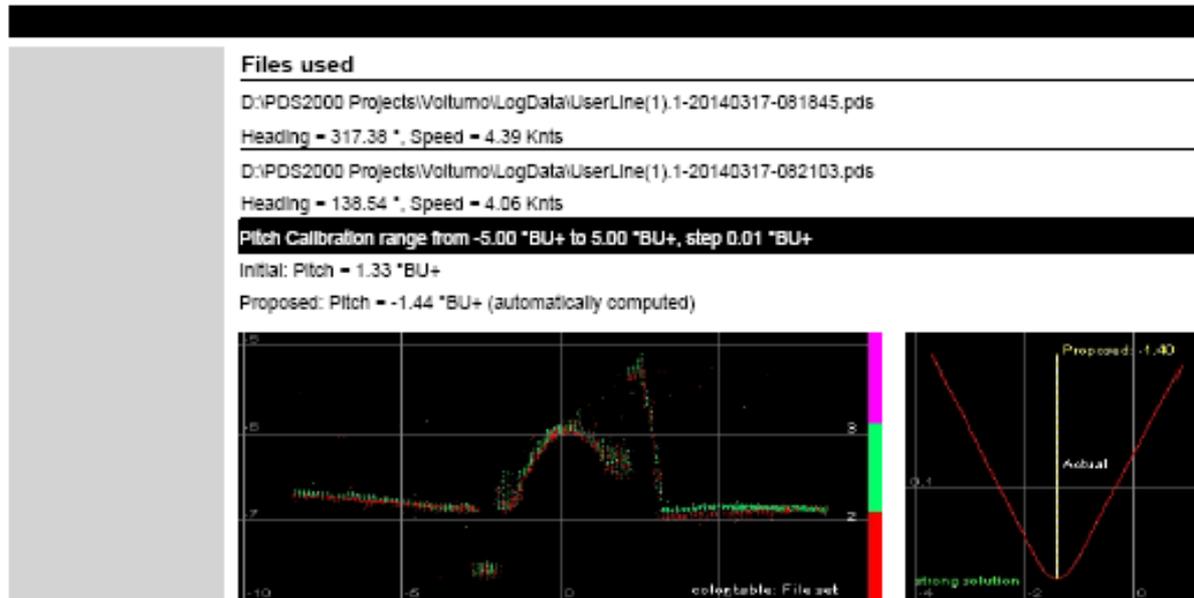
Initial: Roll = 0.54 *PU+

Proposed: Roll = 0.53 *PU+ (automatically computed)



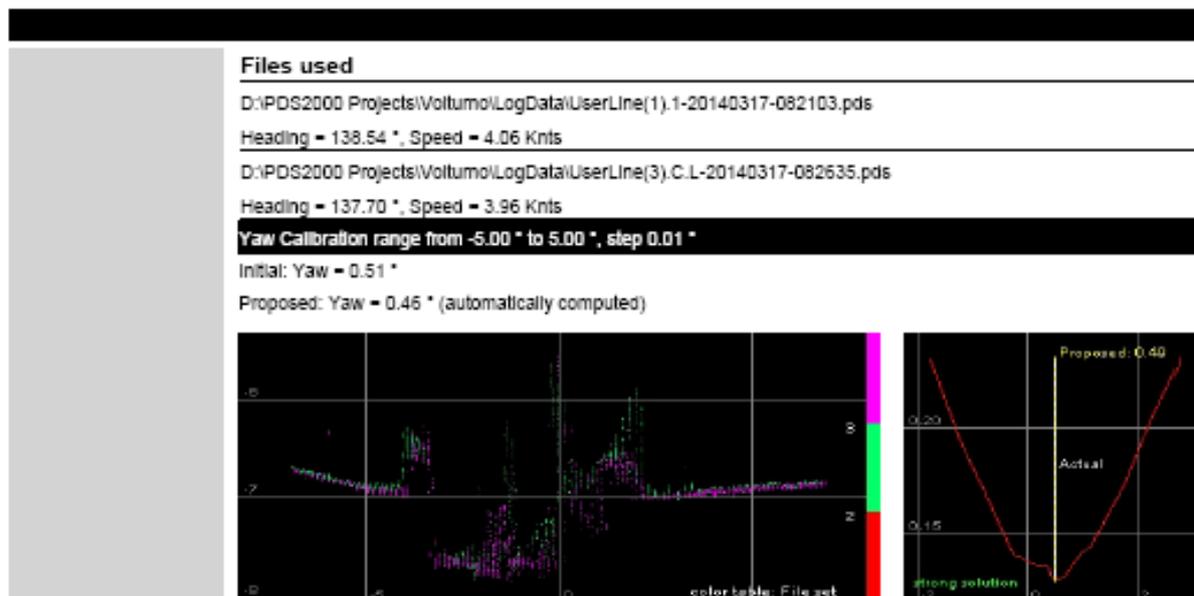
Multibeam Calibration Pitch Results

Monday, 17 March 2014, 08:46:13



Multibeam Calibration Yaw Results

Monday, 17 March 2014, 08:46:13



L'area rilevata è stata compresa tra la minima navigabile verso costa, circa 2 metri di profondità, ed i 16 metri, fino a raccordarsi con il rilievo profondo effettuato nel corso della campagna di gennaio-febbraio 2013 realizzata con la N/O Urania. La zona coperta è stata di circa 20 Km² (Fig. 11).

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.

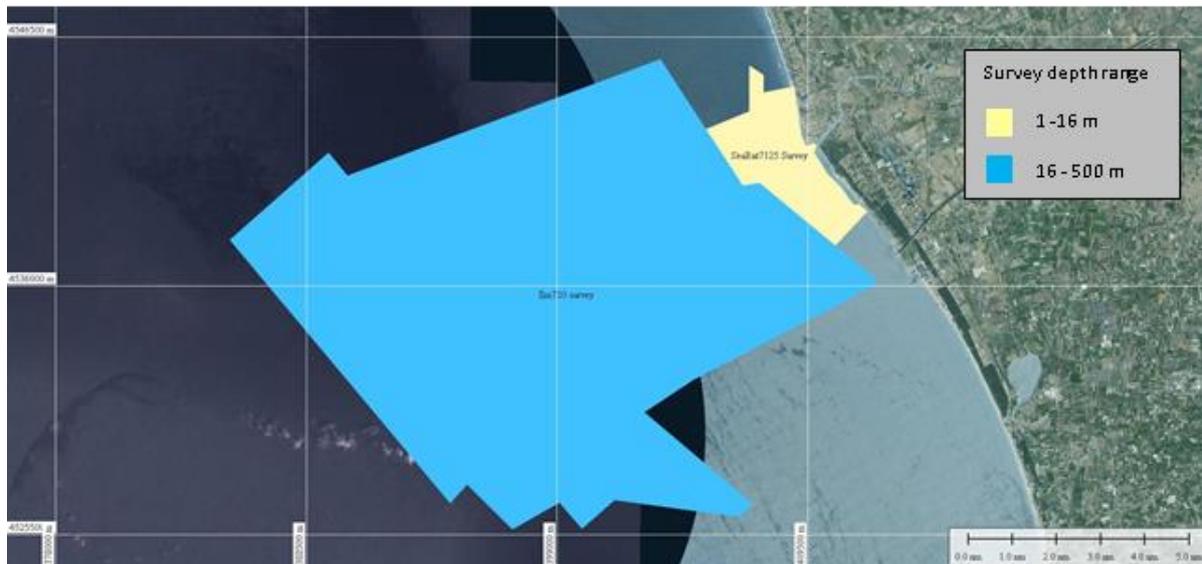


Figura 11 - Totale area acquisita nel corso delle campagne di acquisizione morfobatimetrica.

- *Processing dei dati morfobatimetrici*

I dati acquisiti sono stati processati con il software PDS2000, utilizzando il modulo Editing, che permette di 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 (Fig. 12).

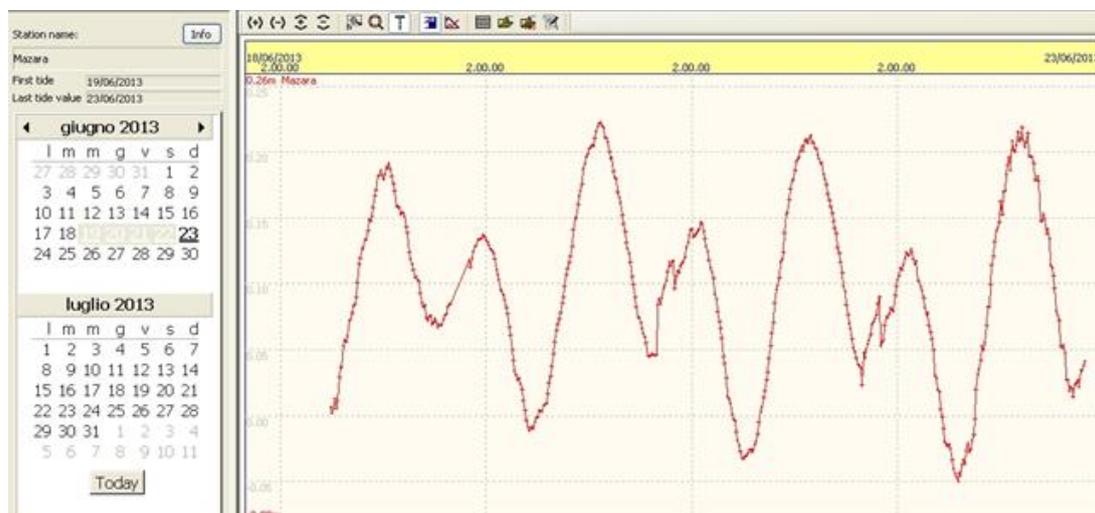


Figura 12 - Esempio di curva di marea applicata ai dati.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Nella finestra Positioning si visualizza il dato di navigazione ed è possibile eliminare, interpolare o spostare i punti errati dovuti a salti del segnale GPS ed assegnare così ad ogni lettura del fondo la posizione corretta; nel caso della acquisizione in oggetto non sono stati riscontrati errori di posizionamento. Il punti acquisiti vengono visualizzati nella finestra Multibeam Area Editing che permette di caricare contemporaneamente più linee di navigazione ed evidenziare così le letture errate ed eliminarle in modo manuale.

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.

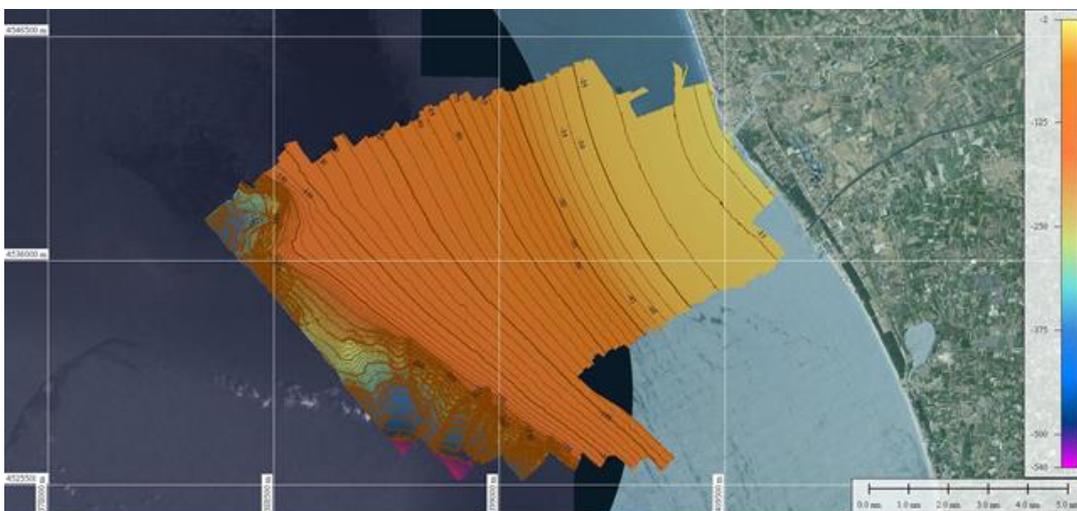


Figura 13 - Area totale acquisita derivante dalla integrazione dei dataset acquisiti con Multibeam EM710 e Seabat 7125.

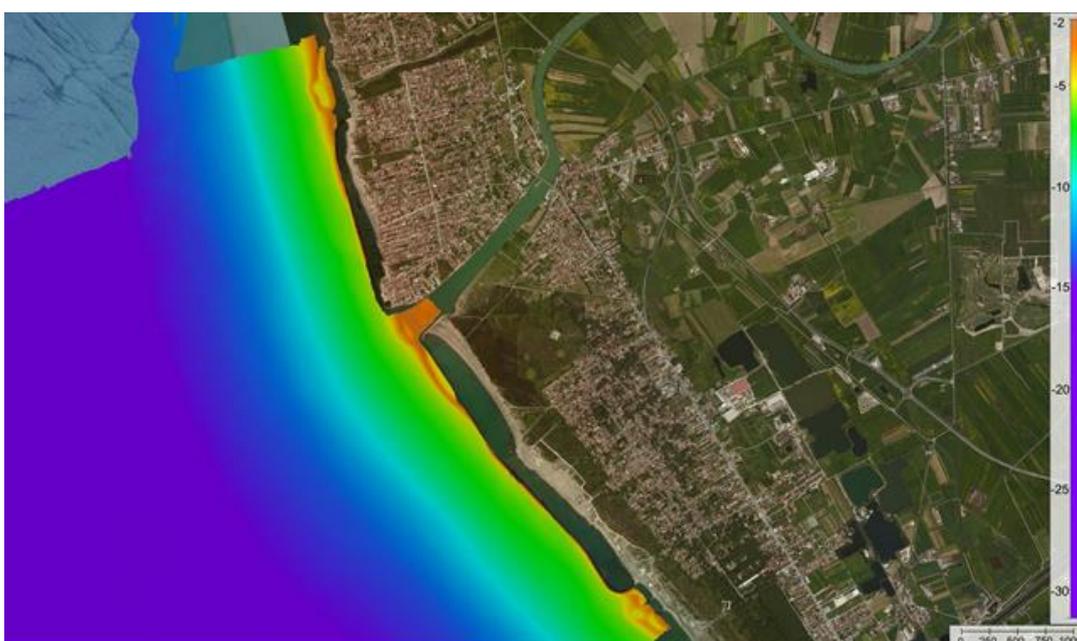


Figura 14 - Dettaglio del rilievo effettuato con SeaBat 7125.

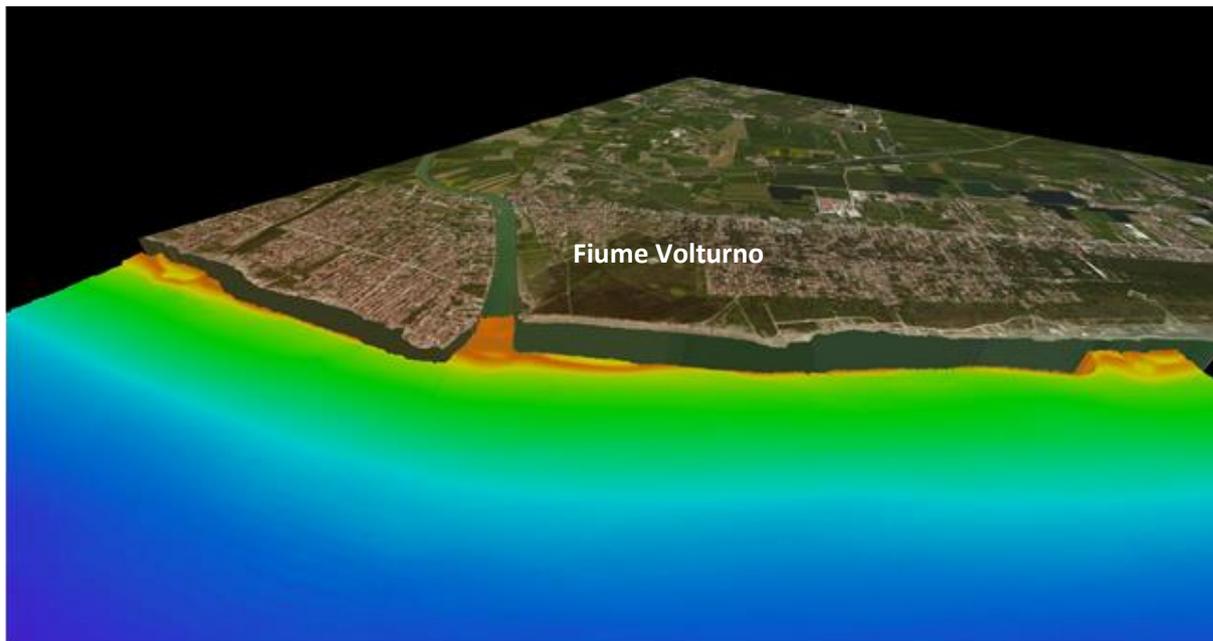


Figura 15 - Visione tridimensionale del rilievo realizzato alla foce del fiume Volturno.

- *Segnale di backscatter*

Oltre all'informazione batimetrica, i moderni multibeam sono in grado di registrare anche il segnale di *backscatter*, utile per la caratterizzazione litologica del fondo.

Il segnale di backscatter, infatti, è la quantità di onda che torna al ricevitore ed è strettamente dipendente, oltre che dall'angolo di incidenza, dalle caratteristiche fisiche del fondale marino (tessitura, densità e rugosità o roughness). Ad esempio la quantità di energia che si disperde è minore all'aumentare della roughness e al diminuire del contrasto dell'impedenza acustica; quindi un fondale articolato e poco compatto causa una diminuzione del segnale di backscatter. Oltre alla roughness, il backscatter è fortemente influenzato dalle proprietà del sedimento e, 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 un più alto valore di backscatter grazie alla bassa porosità e una densità più alta dei sedimenti, oltre che ad una roughness maggiore. Infine è stato dimostrato che nei sedimenti sabbiosi 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-composizionali del fondale marino. Di conseguenza, i dati che si ottengono dai multibeam (sia di batimetria che di backscatter) sono stati utilizzati per ricavare le proprietà fisiche, geologiche e biologiche del fondo marino, come la roughness, la granulometria, la presenza di copertura algale (come *Posidonia oceanica*) e altri bioti.

Sono differenti i metodi di registrazione del segnale di backscatter da parte dei multibeam e spesso si differenziano soprattutto a seconda del tipo di modello utilizzato. In generale si possono impiegare quattro modalità differenti di registrazione dei dati multibeam, elencate di seguito in ordine crescente rispetto alla dimensione (in termini di gigabyte) dei dati acquisiti:

- registrazione di un singolo valore di backscatter intorno al bottom detection di ogni footprint registrato. Questo unico valore può essere registrato o dal picco dell'intensità (beam intensity) dell'eco di ritorno o dalla intensità media dell'ampiezza (beam average);

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

- due ricevitori esterni (a destra e a sinistra) del multibeam registrano il segnale di backscatter mediandolo per tutto lo swath ed imitando la registrazione di un classico Side Scan Sonar. Questo metodo produce quello che viene chiamata Opzione Side ed è una tipica modalità di funzionamento dei sistemi Reson;
- registrazione di un frammento dell'intero backscatter centrato intorno al bottom detection di ogni footprint, in un intervallo di tempo T_0 - T_n . Questa metodologia è chiamata Snippet nei sistemi Reson, mentre è conosciuta come Footprint Time Series (FTS) nei sistemi Simrad.

Per questo lavoro è stata elaborata la FTS del Simrad EM710, mentre è stata elaborata l'opzione Side del Reson Seabat 7125. Come scala di colore è stata utilizzata una scala di grigi in cui il valore più scuro è relativo ad un maggiore potere riflettente del fondo. La figura 16 mostra il mosaico acustico a 5 metri di risoluzione ricavato dall'elaborazione del Simrad EM710. Nella figura è possibile osservare una variazione di *backscatter* di materiale meno riflettente nella parte costiera, che si alterna a materiale più riflettente. 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.

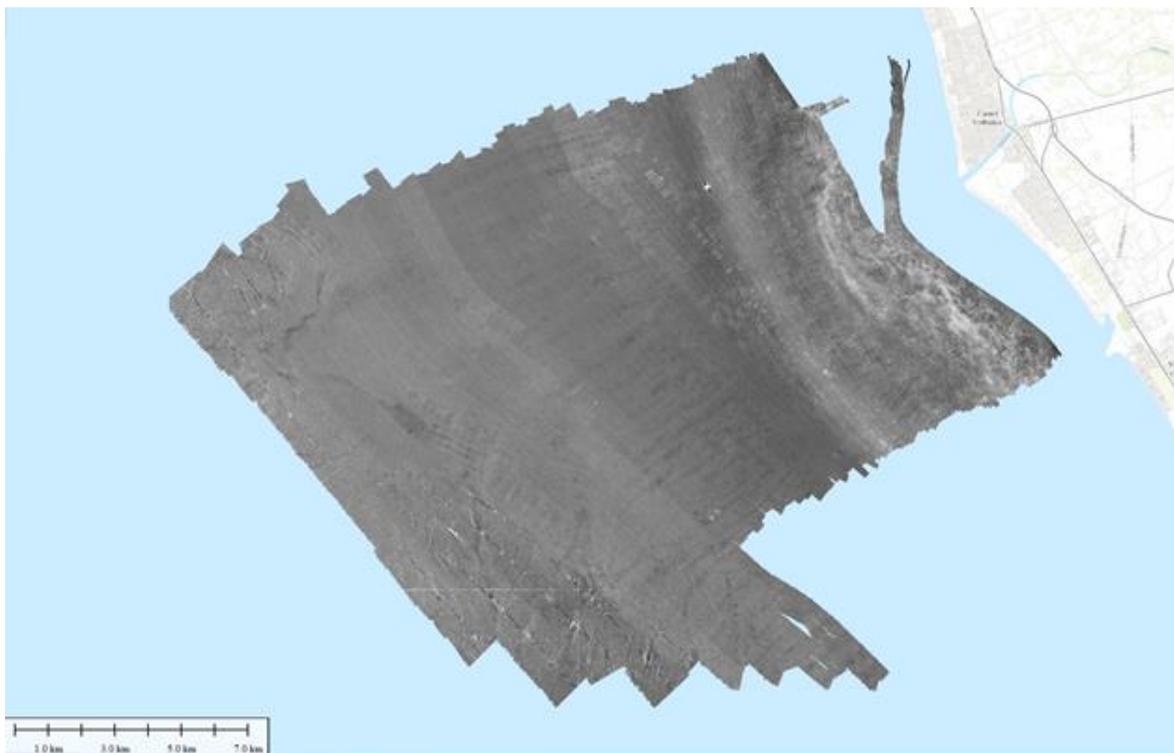


Figura 16 - Mosaico acustico dell'area acquisita alla foce del fiume Volturno ricavato con il processing dei dati di *backscatter* del Multibeam Simrad EM710.

Dai dati provenienti dalle analisi granulometriche delle campionature a fondo mare si rileva una variazione del materiale sul fondo al variare della profondità. Ad esempio lungo il transetto E1 – E4 (Fig. 17), andando quindi da costa verso largo, la litologia al fondo è costituita da limo argilloso con una diminuzione delle componente sabbiosa, la diversa percentuale di quest'ultima potrebbe determinare la differente risposta acustica del segnale di backscatter.

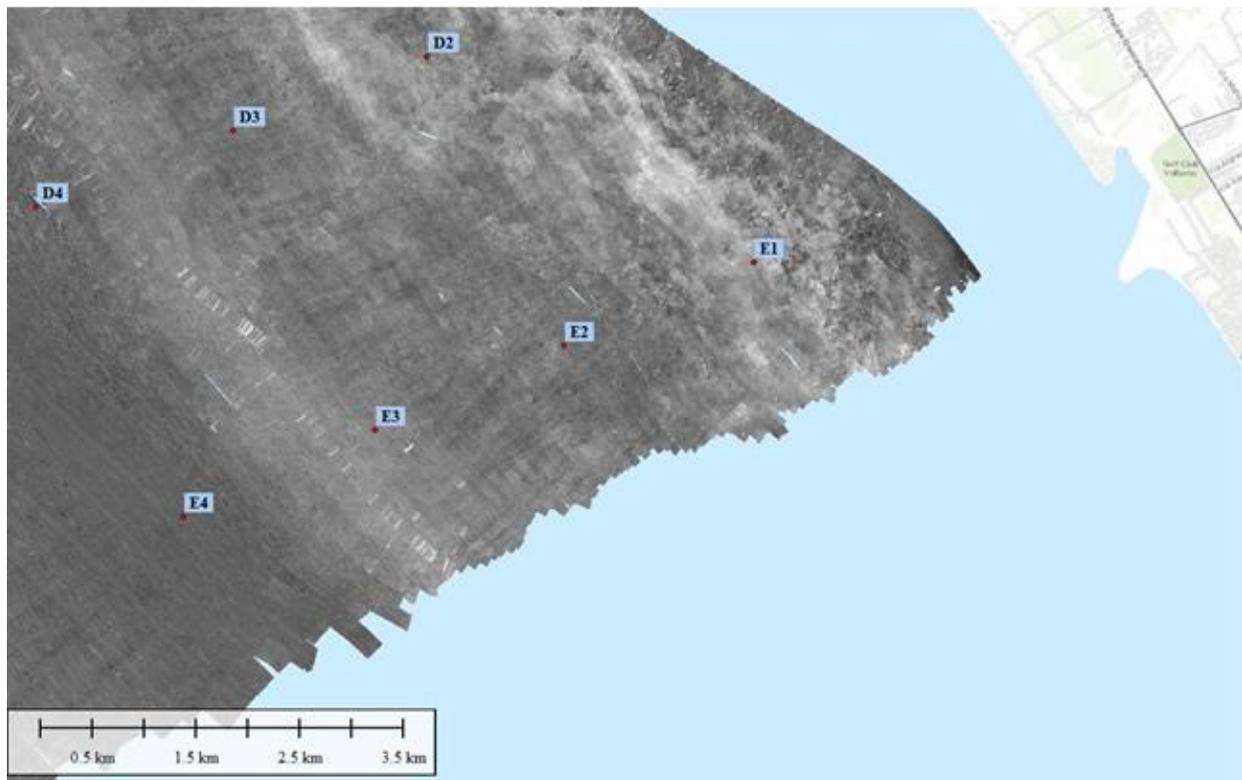


Figura 17 - Particolare del mosaico di *backscatter* della foce del fiume Volturno con il posizionamento delle campionature di fondo realizzate nel corso della campagna oceanografica I-AMICA_2013_01 (per il posizionamento delle stazioni di campionamento vedi Fig. 2 par.2.1).

Con l'elaborazione dell'Opzione Side del Reson Seabat 7125, si sono ottenuti mosaici acustici con un dettaglio maggiore (20 cm di risoluzione); questo è stato possibile sia per le caratteristiche strumentali dello strumento, sia perché in basse profondità si ottengono mosaici acustici paragonabili all'utilizzo di un classico side scan sonar.

La figura che segue mostra un esempio dell'acquisizione effettuata in una fascia batimetrica compresa tra i -2 e gli -8m di profondità; in particolare in alto è visualizzato il DTM, mentre in basso è visualizzato il mosaico acustico.

Si può notare che 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, delle campionature mirate, in modo da tarare la risposta acustica e realizzare, successivamente, delle mappe bio-composizionali del fondo (*seabed map*).

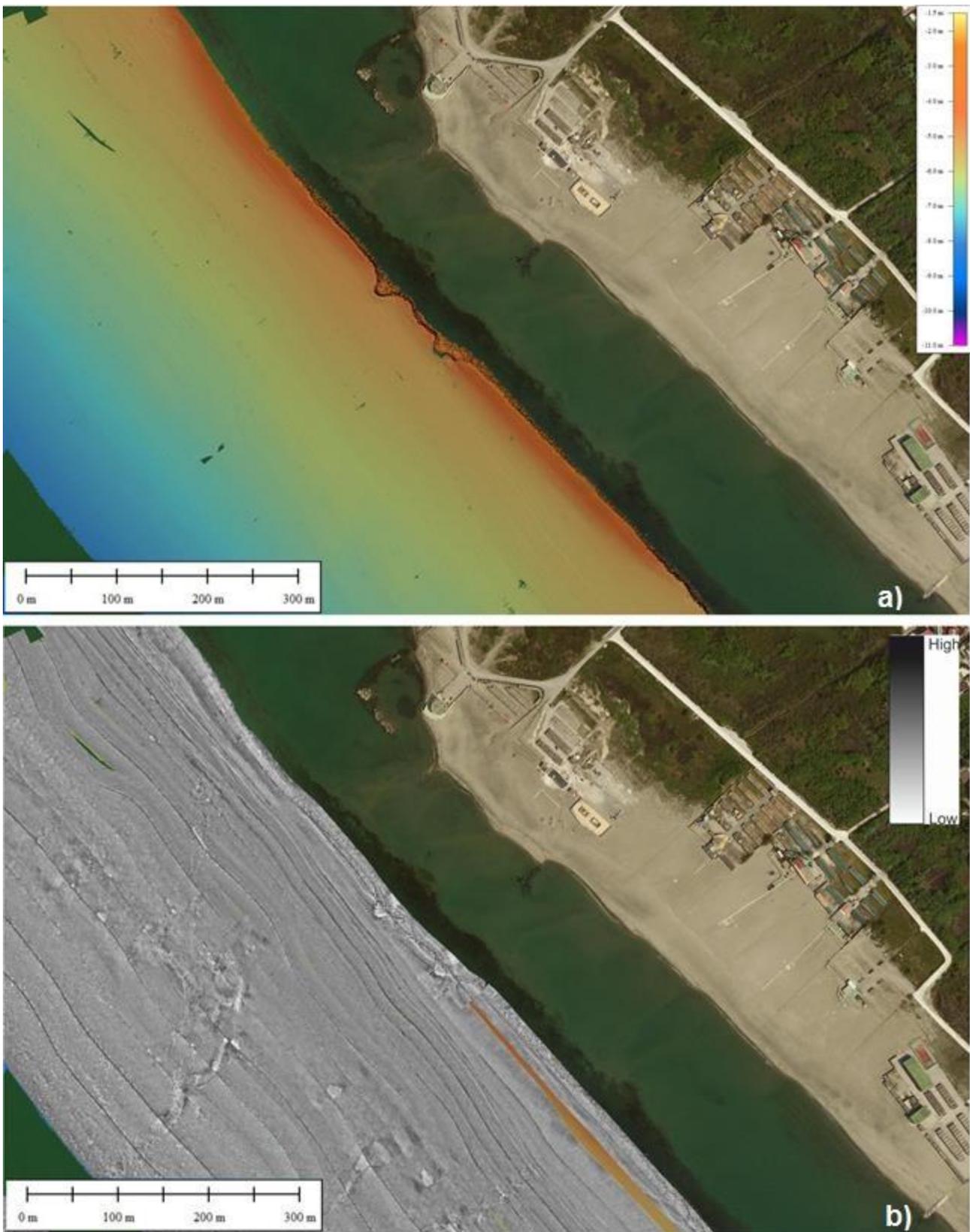


Figura 18 - Confronto tra il rilievo batimetrico (a) e il mosaico acustico (b) ottenuti con il Reson Seabat 7125 in una profondità compresa tra i -2 e -8m. Alcune facies acustiche, ben visibili nel *backscatter*, non corrispondono a variazioni morfologiche evidenti, ma sono caratteristiche di una variazione composizionale e litologica del fondo.

Nell'area di studio il rilievo costiero ha messo in evidenza 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-Febbraio 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. 19).

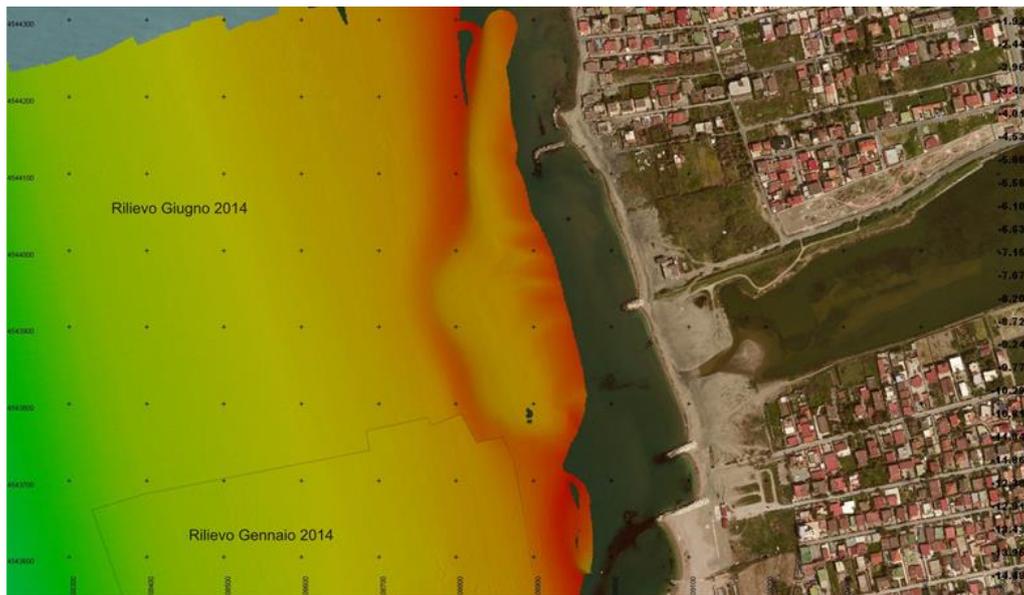


Figura 19 - Confronto tra i rilievi svolti in periodi diversi e in aree adiacenti; si osserva la formazione di una barra sommersa tra 1 e 5 metri di profondità nel periodo primaverile (Giugno 2014) a 250 metri dalla costa associata ad un trugolo ampio circa 50 m.

Il rilievo invernale evidenzia la barra di foce ridossata dalla sponda destra e raccordata alla barra sommersa nel tratto di costa a sud-est della foce (Fig. 20)

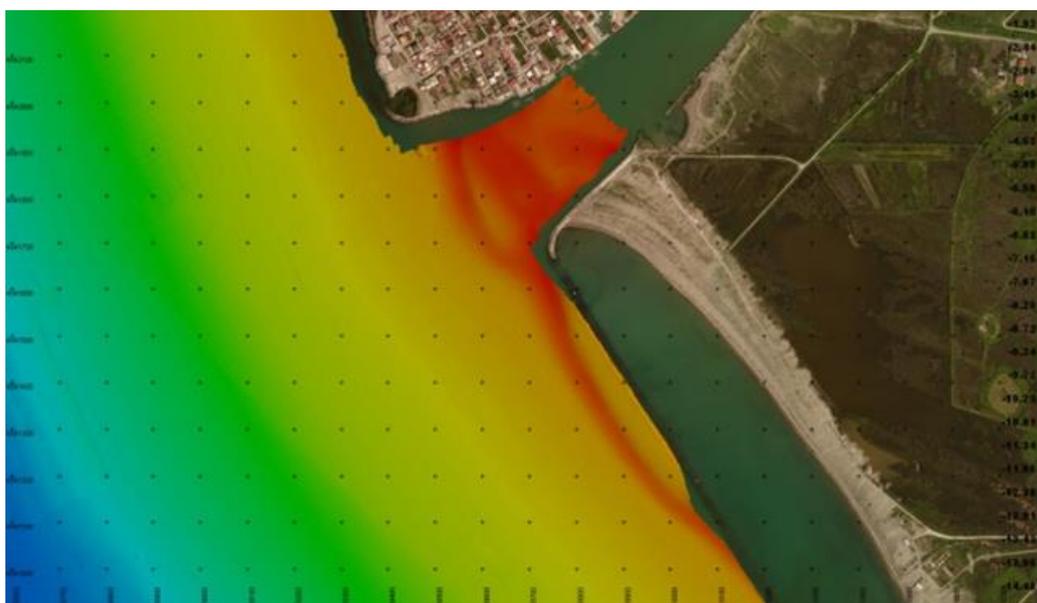


Figura 20 - Rilievo batimetrico della barra di foce.

2.3.2 Sedimentologia dei fondali

La fascia costiera campana presenta diversi “domini litologici” distinti per genesi e modalità di evoluzione geomorfologica (Ferretti et al., 2003). In particolare lungo la fascia costiera si possono riconoscere ampi litorali costituiti prevalentemente da sabbie come ad esempio in corrispondenza delle vaste pianure alluvionali dei fiumi Garigliano e Volturno.

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 e dall’azione di processi erosivi e dalla presenza di foci fluviali.

L’area marina prospiciente la foce del fiume Volturno è caratterizzata da fondali omogenei (vedi paragrafo 2.3.1) che non sembrano risentire dell’articolazione della fascia costiera. In particolare nel tratto di costa investigato non è stata riscontrata la presenza di posidonieti ciò a testimonianza della persistenza degli apporti fluviali torbidi provenienti dal fiume Volturno e dal fiume Garigliano più a nord (La Monica e Raffi, 1996). Lo studio dei sedimenti è stato finalizzato alla determinazione delle caratteristiche tessiture ed alla distribuzione dei sedimenti superficiali presenti sui fondali compresi tra -10 m e -50 m di profondità.

Sono stati analizzati tutti i dati tessiture ricavati per ognuno dei 22 campioni acquisiti nel corso delle 7 campagne di monitoraggio stagionale per mezzo di box-corer (vedi par. 2.5.1) ed è stata altresì analizzata la loro distribuzione areale.

- *Analisi granulometrica*

Per ogni stazione di campionamento (Fig. 2) è stato prelevato un sub-campione dal livello superficiale (0-1 cm per analisi granulometrica. Da ogni campione di sedimento sono stati prelevati circa 50-100 grammi umidi di materiale rappresentativo. La preparazione 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.



Figura 21 - a) Granulometro a diffrazione Laser SYMPATEC Helos/kf, utilizzato per l’analisi granulometrica della frazione <math><63\mu</math>; b) Pila di setacci della serie ASTM con apertura delle maglie da 4000 μ a 63 μ , per la setacciatura a secco della frazione superiore a 63 μ .

La frazione di campione rappresentativa è stata sottoposta ai seguenti trattamenti:

- essiccazione in stufa termostatica ventilata a 105° C per 24 ore;
- raffreddamento in essiccatoio e successiva determinazione del peso ottenuto - doppio lavaggio con acqua ossigenata, a seconda del contenuto in materiale organico e lavaggio finale con acqua distillata;
- essiccazione a 105°C forno ventilato, per circa 24 h sino a massa costante e lasciato raffreddare in essiccatoio alla temperatura ambiente e successiva determinazione del peso ottenuto;
- lavaggio per via umida con setaccio 63 μ per separare la frazione sabbiosa dalla frazione da analizzare con il granulometro laser;
- setacciatura a secco della frazione superiore a 63 μ utilizzando una pila di setacci della serie ASTM con apertura delle maglie da 4000 μ a 63 μ , e successiva determinazione dei pesi delle singole frazioni ottenute;
- decantazione ed essiccazione in forno della frazione minore di 63 μ e successiva determinazione del peso ottenuto;
- quartatura a secco della frazione minore di 63 μ sino ad ottenere un sub-campione da utilizzare per l'analisi con il granulometro laser;
- dispersione del sub-campione in una soluzione acquosa con esametrafosfato di sodio per 24 ore;
- mescolamento della soluzione per 2 h con frullino a pale e quartatura per via umida della soluzione in 8 sub-campioni da utilizzare per l'analisi 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 (ϕ), Classazione o Sorting s (ϕ), Asimmetria Sk (ϕ) e Appuntimento Kurtosis o KG (ϕ). Le frazioni ottenute con le diverse tecniche sono state quindi classificate secondo la scala di Udden-Wentworth e le normative AGI 1977, 1994.

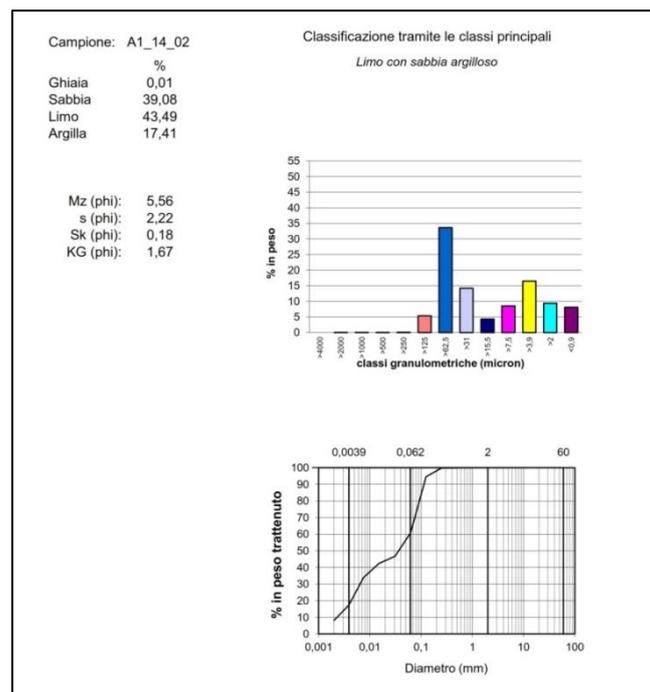


Figura 22 - Esempio di scheda granulometrica con rappresentazione grafica dell'analisi granulometrica e valori dei parametri statistici.

- *Risultati*

L'analisi dei risultati delle indagini in laboratorio ha permesso di definire la distribuzione delle facies granulometriche dell'area marina prospiciente la foce del fiume Volturno durante i tre anni di monitoraggio.

Per la distribuzione stagionale delle principali classi granulometriche a fondo mare è stata utilizzata la tecnica dell'interpolazione spaziale attraverso il software ArcGis 9.3.

La distribuzione del sedimento a fondo mare presenta un trend delle classi analizzate (ghiaia, sabbia, limo e argilla) 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 mostra un grande controllo fluviale in prossimità della foce del Volturno e 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. I valori del diametro medio dei sedimenti (Mz), compresi tra 3.04ϕ e 5.13ϕ , sono nel loro complesso omogenei e mostrano una debole diminuzione verso costa, evidenziando un probabile controllo operato dall'azione delle correnti lungo costa. La classazione, con valori compresi tra 1.59ϕ e 2.41ϕ , indica che questi sedimenti sono poco/scarsamente classati. Tali depositi sono prevalentemente localizzati nel settore nord-occidentale rispetto alla foce del fiume Volturno (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 -50m. I limi con prevalente componente sabbiosa dominano i fondali fino a circa -30m, 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 simili a quelli dei depositi sabbiosi compresi tra 1.51ϕ e 2.34ϕ ad indicare un sedimento poco/scarsamente classato.

2.4 Il monitoraggio in colonna d'acqua

Nel campo del monitoraggio ambientale 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 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 correlabili ai dati di tipo biologico, permettendo di comprendere meglio la biologia delle differenti specie presenti lungo la colonna d'acqua e all'interfaccia acqua-sedimento.

2.4.1 Metodi di campionamento ed analisi delle acque marino-costiere

I campionamenti d'acqua sono stati finalizzati allo studio delle associazioni viventi a Cocolitoforidi attraverso prelievi a diversa profondità. Gli strumenti campionatori sono dotati infatti di un sistema di apertura e chiusura attivabile alle profondità prescelte. I campioni d'acqua sono stati prelevati utilizzando le bottiglie Niskin installate sul frame della sonda multiparametrica (CTD) (Fig. 23).

In ogni stazione sono state campionate un massimo di 3 quote. Durante la prima campagna di monitoraggio (I-AMICA_2012_01; Tab. 2) si è calibrato il piano di campionamento dell'acqua prelevando campioni alle quote -5, -20 e -40 m. Dopo la suddetta campagna di calibrazione si è scelto di campionare le quote -5, -15

e -30 m, risultate più idonee rispetto ai valori di torbidità, importante fattore limitante per tutto il comparto fitoplanctonico.



Figura 23 - Bottiglie Niskin installate sulla struttura della sonda multiparametrica SBE 911.

Per ogni quota sono stati raccolti 4 litri d'acqua. Utilizzando una pompa da vuoto l'acqua è stata filtrata direttamente a bordo utilizzando membrane in nitrocellulosa (diametro 47 mm) con porosità di $0.47 \mu\text{m}$ (Fig. 24). 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° .



Figura 24 - Sistema di pompa da vuoto per il filtraggio dell'acqua direttamente a bordo (N/O Astrea e Urania) utilizzando membrane in nitrocellulosa con porosità di $0.47 \mu\text{m}$.

2.4.2 Misurazione dei parametri chimico-fisici

La sonda multiparametrica (CTD; Fig. 23) permette il monitoraggio di vari parametri fisici, chimici e biologici nell'ambito di studi oceanografici della colonna d'acqua: viene utilizzata al fine di studiare la distribuzione, ed eventuali anomalie, dei diversi parametri lungo la colonna d'acqua e per poter individuare differenti masse d'acqua con caratteristiche e origini differenti.

Per effettuare le misurazioni dei principali parametri chimico-fisici delle acque dell'area in esame si è utilizzata una sonda multiparametrica della Seabird (SBE 911) a flusso controllato. Il flusso controllato è indispensabile per poter verificare il tempo di reazione del sensore di conducibilità (impossibile senza flusso controllato) e quindi poter sincronizzare le misure di temperatura e quelle di conducibilità per calcolare correttamente la salinità. La letteratura scientifica evidenzia chiaramente come senza flusso controllato i calcoli di salinità siano affetti da picchi artificiali causati dal mancato sincronismo delle misure di temperatura e conducibilità. 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). Per la rappresentazione in carta delle sezioni dei transetti campionati si è utilizzato il software Ocean Data View (Schlitzer R., 2013).

2.4.3 Coccolitoforidi

Il Nannoplankton calcareo rappresenta uno dei maggiori gruppi del fitoplancton marino. Esso è costituito quasi esclusivamente dai Coccolitoforidi, alghe unicellulari planctoniche fotosintetiche, che abitano le parti più superficiali della colonna d'acqua (soprattutto 50-100m), con concentrazioni comprese tra 100 e 300.000 cellule per litro, che superano il 1.000.000 per litro durante le fasi di massima fioritura (blooms).

Si ritrovano distribuiti dall'ambiente pelagico a quello litorale, a tutte le latitudini tranne a quelle superiori ai 70°N.

Questi organismi fotosintetici dipendono direttamente dai parametri chimico-fisici della zona fotica della colonna d'acqua (temperatura, salinità, luce e nutrienti) 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 Coccolitoforidi, normalmente non risultano essere nocivi per la vita degli altri organismi marini. Nelle zone povere di nutrienti, dove altro fitoplancton è limitato, i Coccolitoforidi sono una fonte di nutrimento per molti piccoli pesci e zooplancton-benthos che si nutrono di organismi fitoplanctonici. Di contro, quando presenti in gran numero (fioritura algale), possono bloccare le branchie dei pesci. Quando queste enormi masse fitoplanctoniche muoiono, i processi di necrolisi possono alterare la chimica delle acque causando massicce morie degli organismi marini bentonici.

I Coccolitoforidi hanno la particolarità di sintetizzare un esoscheletro più o meno sferico, di dimensioni comprese tra 2 e 30 μ , chiamato Coccusfera, formato da un insieme di placchette di carbonato di calcio, chiamate Coccoliti.

I coccoliti furono osservati, all'interno di una sezione sottile di una roccia carbonatica, per la prima volta da Cristian Gottfried Ehrenberg (1836), che li ritenne prodotti inorganici. Furono invece identificati come prodotti da organismi viventi da Thomas Henry Huxley (1858), che assegnò loro il nome e comprese che erano i maggiori costituenti delle rocce sedimentarie marine.

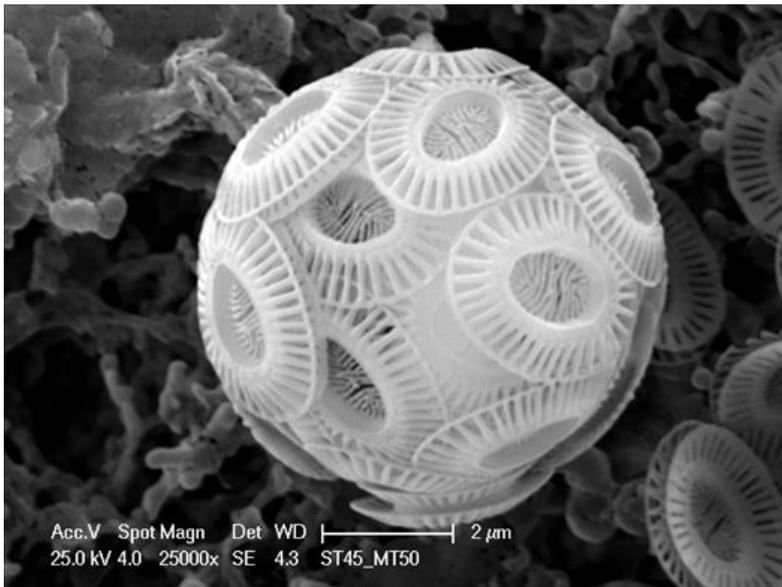


Figura 25 - Cocosfera di *Emiliana huxleyi*, specie vivente dominante (diametro 7 μm) nell'area in studio.

I coccoliti si formano all'interno della cellula in vescicole derivate dall'apparato del Golgi. Quando i coccoliti sono completamente formati, le vescicole si fondono con la parete cellulare e i coccoliti vengono espulsi ed incorporati sulla superficie della cocosfera.

I coccoliti, la cui formazione è un prodotto complesso dei processi cellulari (biomineralizzazione), hanno una struttura elaborata, e la loro funzione non è ancora chiarita. 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 0.047mm²). 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 (mm²); N= numero totale di cellule contate, a = area analizzata (mm²) e v = volume di acqua filtrata.

Per l'identificazione dei taxa si è adottata la classificazione tassonomica di Young et al. (2003) e Jordan et al. (2004).

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) poiché un guasto al campionatore d'acqua nel corso della campagna non ha permesso l'acquisizione dei dati.

2.5 Il monitoraggio 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*, utili per caratterizzare le condizioni ambientali di aree marine e costiere.

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 microbenthos nei confronti di variegata tipologie di stress ambientale possono essere utilizzate per una valutazione dello stato dei sedimenti dei fondali (Coccioni et al. 2003). Per le loro strette relazioni con le altre comunità presenti negli ecosistemi marini, la struttura delle microfaune rappresenta una chiave di lettura di caratteristiche peculiari di biotopi specifici e quindi diventano utili per l'individuazione di aree che necessitano di risanamento, tutela e protezione (Coccioni et al. 2003).

Nell'ambito delle comunità bentoniche, i foraminiferi rappresentano un gruppo particolarmente adatto per la loro utilizzazione in metodiche di monitoraggio ambientale. Per le loro caratteristiche autoecologiche riflettendo i cambiamenti spaziali e temporali, i foraminiferi bentonici vengono sempre più utilizzati per programmi di monitoraggio finalizzati a evidenziare sintomi di degrado dell'habitat sia per attestare l'efficacia di progetti di ripristino (vedi Debenay et al. 1996). I fondali e le comunità bentoniche che li popolano sono da comparare 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).

Nell'area di studio sono state inoltre analizzate le associazioni a nannofossili calcarei poiché la loro abbondanza e distribuzione areale fornisce indicazioni sulla dinamica delle correnti, del trasporto e 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.

2.5.1 Strumenti di campionamento e modalità di prelievo dei sedimenti a fondo mare

La notevole variazione spaziale e temporale dei parametri chimico-fisici dei sedimenti e l'obiettivo dell'indagine richiedono una strumentazione opportuna in funzione del livello sedimentario da investigare (livello superficiale o livelli profondi). Al fine di valutare lo stato degli ecosistemi costieri nei sedimenti a fondo mare (interfaccia acqua-sedimento) è stato utilizzato come strumento di campionamento il box-corer (Fig. 26). Il box-corer è un campionatore geologico marino che permette di ottenere un ampio volume di sedimento con una profondità di penetrazione di circa 30 cm. Si tratta di una "scatola" a base quadrata o rettangolare, zavorrata e in grado di penetrare il fondale; il recupero del sedimento è assicurato da una chiusura basale. È stato progettato per creare il minimo disturbo per il campionamento del sedimento all'interfaccia acqua-sedimento, al fine di preservare le caratteristiche al fondo mare, importanti per le indagini quantitative del micro-benthos e del macrobenthos e dei processi geochimici. Infatti date le modalità di campionamento e di recupero, il campione, ed in particolare la sua parte centrale, può essere considerato indisturbato.



Figura 26 - Box-corer installato sulla N/O Astrea.

Su tutti i campioni di sedimento prelevati nel corso delle campagne stagionali sono stati misurati, per ogni livello campionato: T°, pH e Eh (Fig. 27).

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;
- 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 25 cm per analisi ad alta risoluzione per lo studio della distribuzione del plancton calcareo (campionata solo per la campagna I-AMICA_2012_01).

I campioni per le analisi sulla distribuzione dei foraminiferi bentonici sono stati colorati, al momento del prelievo, con una soluzione di Rosa Bengala ed alcool (Walton, 1952; Schönfeld et al, 2012) al fine di fissare la parte organica vivente per lo studio delle biocenosi.

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).

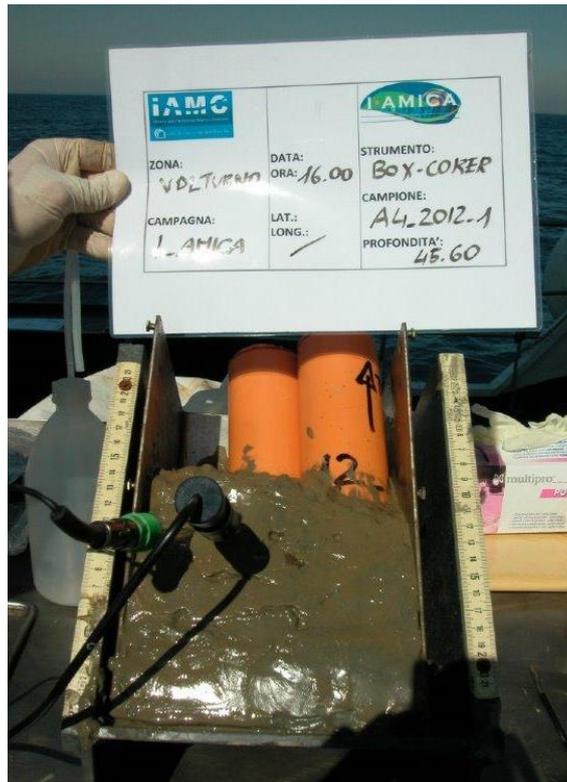


Figura 27 - Misurazione nel sedimento di T°, pH ed Eh e prelievo della carota di 20 cm per studi paleoambientali e paleoclimatici di alta risoluzione.

2.5.2 Analisi geochimiche e metodi di preparazione

Al fine di 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 sulle norme in materia ambientale D.Lgs 152/2006: *"Tali standard di qualità ambientale riguardano la concentrazione di un particolare inquinante o gruppo di inquinanti nelle acque, nei sedimenti e nel biota che non deve essere superata per tutelare la salute umana e l'ambiente"*. In particolare, l'immissione di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) in mare, oltre alle deposizioni atmosferiche, può essere dovuta a dilavamento della rete stradale, scarichi industriali, raffinerie e ai pozzi offshore (Ferrara et al., 2004), ma anche ad attività diportistiche. Per tale motivo lo studio degli IPA in ambienti costieri riveste grande importanza poiché tali aree sono biologicamente attive e ricevono notevoli immissioni di inquinanti attraverso scarichi costieri che minacciano, tra gli altri effetti negativi, le risorse biologiche. I PoliCloroBifenili (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. Discorso differente si deve fare nei confronti dello studio della distribuzione degli inquinanti inorganici quali gli elementi maggiori, minori ed in tracce (cui fanno parte i cosiddetti metalli pesanti) i quali sono introdotti nei sistemi acquatici come conseguenza di molteplici processi naturali (ad es. erosione continentale, eruzioni vulcaniche) e da diverse attività umane. 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, tra cui Cadmio, Mercurio, Nichel e Piombo, che non hanno un ruolo riconosciuto nei sistemi biologici e mostrano un'azione

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

tossica anche a basse concentrazioni, rappresentando un alto rischio per la salute dell'uomo e degli organismi animali e vegetali. La tendenza di questi ultimi ad accumularsi e concentrarsi nei tessuti degli organismi marini è ampiamente dimostrata soprattutto nelle specie all'apice delle reti trofiche. Recentemente alcuni elementi hanno acquisito grande rilevanza sanitaria in quanto riconosciuti come agenti cancerogeni dalle monografie dello IARC (International Agency for Research on Cancer).

Per il monitoraggio ambientale dell'area marina prospiciente la foce del fiume Volturno 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 (14 elementi). Tale scelta è stata ispirata sia dalle indicazioni fornite dal quadro normativo in materia ambientale e sia sulla base della conoscenza degli effetti della presenza sulla qualità di salute per l'uomo e l'ecosistema di alcune classi d'inquinanti organici.

Considerata l'area di campionamento, 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 2009) "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).

La caratterizzazione chimico-fisica e geochimica dei sedimenti del fondo marino antistanti la foce del fiume Volturno è stata pianificata, al fine di raccogliere le informazioni necessarie al riconoscimento delle potenziali sorgenti di contaminazione naturale e/o antropica ed individuare un modello di dispersione e migrazione degli inquinanti. 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 geochimiche sono state eseguite solo su un numero selezionato di campagne di monitoraggio stagionale (par.2.5.1 pag.40).

Per tutti i campioni prelevati durante le sette campagne di monitoraggio ambientale 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 di sedimento marino per le analisi geochimiche sono stati opportunamente omogeneizzati e conservati a -20°C sino all'arrivo in laboratorio. Una volta giunti in laboratorio i campioni sono stati dapprima essiccati in stufa a 30°C, poi passati al vaglio dei 2mm e infine polverizzati. I campioni così preparati, sono stati conservati in contenitori in HDPE con sotto tappo a una temperatura di 4°C. Un'aliquota di ciascun campione è stata destinata alla determinazione del peso secco del campione (evaporazione a 105°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 per le analisi geochimiche dei campioni di sedimento marino.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Determinazione analitica di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), PoliCloroBifenili (PCB) e Pesticidi OrganoClorurati (OCP).

La determinazione dei composti organici selezionati per questo progetto, è stata effettuata mediante 3 fasi di lavorazione:

- 1) estrazione mediante estrattore accelerato con solvente (ASE 200 della ditta Dionex-ThermoFisher);
- 2) purificazione per mezzo di tecnica SPE (solid phase extraction);
- 3) analisi quali-quantitativa mediante gascromatografia accoppiata a spettrometria di massa (GC-MS).

Fase 1: questa prima fase consiste in un'estrazione mediante ASE 200 come descritto nel metodo EPA 3545A (pressurized fluid extraction). E' stato montato un tubo di estrazione in acciaio da 33 ml con un filtro di cellulosa, 4 gr di idromatrix (per l'eliminazione di parte dell'acqua ancora contenuta nel campione) e 2 gr di sedimento (pesato con la precisione di +/- 0.01 gr). Il campione così preparato è sottoposto a estrazione a una temperatura di 110°C ed a una pressione di 1500 psi mediante una soluzione estraente composta da una miscela di esano e acetone (80:20).

Fase 2: l'estratto ottenuto è portato a secco sotto corrente di azoto e sottoposto a purificazione mediante colonnine SPE pre-impaccate. Per la purificazione dei campioni per l'analisi degli IPA sono state utilizzate SPE contenenti gel di silice e sodio solfato anidro e recuperate con una miscela di solventi composta da cicloesano e acetone (70:30) (metodo EPA 3630C – silica gel clean up). Per la purificazione dei campioni per l'analisi dei PCB e degli OCP, sono state utilizzate SPE contenenti Florisil® e recuperate con una soluzione di esano e isottano (1:1) (metodo EPA 3620B – florisil clean up). I campioni sono, quindi, trasferiti in vials in vetro da 2 ml per autocampionatore e portati completamente a secco sotto corrente di azoto anidro e infine portati a volume noto.

Fase 3: l'analisi degli IPA è avvenuta mediante un Gas Cromatografo con spettrometro di massa a quadrupolo in modalità SIM (metodo EPA 8270D – semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry GC_MS). Mentre per PCB e OCP è stato utilizzato un Gas Cromatografo con spettrometro di massa Ion-Trap in modalità MS/MS (metodo EPA 8082 – polychlorinated biphenyls by gas chromatography).

Condizioni Gas-Cromatografiche IPA:

Temperatura Max di esercizio della colonna: 305°C; Gas di trasporto: He; Flusso: 1,4 ml/min; Modalità Iniezione: Spitless; Temperatura Iniettore: 220°C; Temperatura Sorgente: 250°C; Volume di iniezione: 1µl.

Programmata termica del Forno:

80°C	1,5 min	
15°C/min	200°C	0 min
7°C/min	305°C	10 min

Condizioni Gas-Cromatografiche PCB:

Temperatura Max di esercizio della colonna: 350°C; Gas di trasporto: He; Flusso: 1,4 ml/min; Modalità Iniezione: Spitless; Temperatura Iniettore: 220°C; Temperatura Sorgente: 250°C; Volume di iniezione: 1µl.

Programmata termica del Forno:

75°C	2 min	
15°C/min	150°C	0 min
3.2°C/min	290°C	0 min
50°C/min	315°C	8 min

Condizioni Gas-Cromatografiche OCP:

Temperatura Max di esercizio della colonna: 350°C; Gas di trasporto: He; Flusso: 1,4 ml/min; Modalità Iniezione: Spitless; Temperatura Iniettore: 180°C; Temperatura Sorgente: 250°C; Volume di iniezione: 1µl.

Programmata termica del Forno:

80°C	2 min	
15°C/min	150°C	1 min
3°C/min	260°C	3 min

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.

Per l'analisi degli IPA sono stati scelti come SS una miscela di 7 IPA deuterati mentre come IS una miscela di 3 IPA deuterati. Per i PCB è stato scelto come standard di estrazione una soluzione contenente concentrazione nota di PCB 105 marcato con 13C mentre in fase finale è stata aggiunta una soluzione standard di PCB 209. Infine, per l'analisi degli OCP sono stati scelti due congeneri deuterati, in particolare come SS è stato scelto α -esaclorocicloesano deuterato mentre come IS è stato scelto il DDE deuterato.

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 seguente sono riportati i congeneri delle varie famiglie di inquinanti organici analizzati:

Famiglia	Congeneri
Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	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
Policlorobifenili (PCB)	
	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
Pesticidi Organoclorurati (OCP)	α -esaclorocicloesano - β -esaclorocicloesano - γ -esaclorocicloesano (Lindano) - Aldrin - Dieldrin - DDD, DDE, DDT (come somma degli isomeri 2,4 e 4,4) - Eptacloro - Eptacloro epossido - Ossiclordano - Cis-clordano - Trans-clordano - Trans-nonacloro - cis-nonacloro - Eldrin Mirex - Metossicloro - Esaclorobenzene

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 per questo progetto, è stata effettuata mediante l'adozione di un metodo di attacco totale del campione. Tale procedura segue le indicazioni riportate nel metodo EPA 3052 (microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices) che prevedono la digestione totale di un quantitativo di campioni di circa 0.25 gr. 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 (HNO₃, HCl e HF) mentre la seconda fase consiste nel tamponamento dell'acido fluoridrico con l'aggiunta di una soluzione al 4% di acido bórico. La prima fase consiste in due rampe di temperatura per il raggiungimento di 180°C con controllo della pressione e mantenimento della temperatura per circa 50 min, mentre la seconda risulta necessaria per facilitare la complessazione dei fluoruri.

L'analisi degli elementi scelti è stata effettuata tramite utilizzo di spettrometro ad emissione atomica accoppiato a plasma indotto ICP-AES (metodo EPA 6010C - inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry). La tecnica di quantificazione è stata quella dello standard esterno con curve di calibrazione a 5 punti. 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 ±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.

2.5.3 Foraminiferi bentonici

I Foraminiferi (regno Protista, phylum Sarcodina, superclasse Rizopoda, classe Granuloreticulosa, ordine Foraminiferida) sono un gruppo di organismi unicellulari comparsi sulla Terra nel Precambriano; sono riusciti a colonizzare tutti gli ambienti acquatici, riuscendo ad 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 (Fig. 28).

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

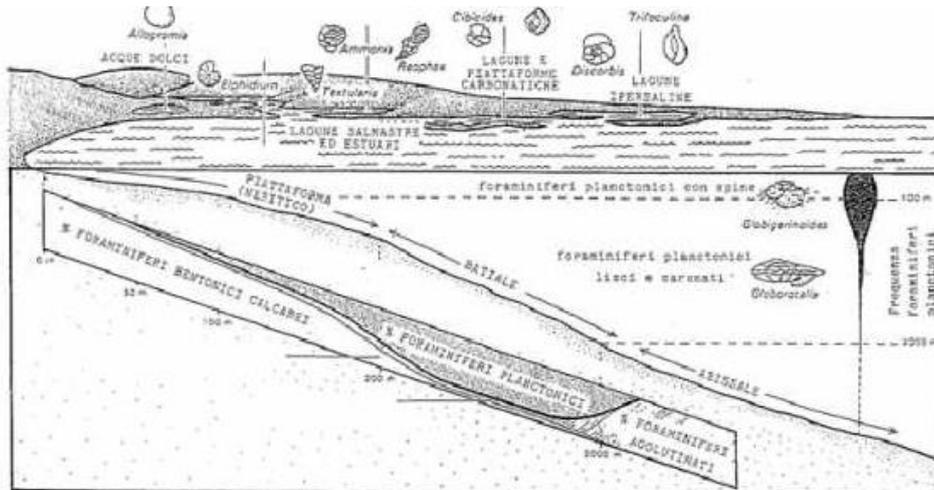


Figura 28 - Schema di distribuzione dei foraminiferi bentonici in ambiente marino in funzione dei parametri ambientali.

In base al loro modo di vita si dividono in Foraminiferi planctonici e bentonici; i primi vivono sospesi nelle masse d'acqua di tutti gli oceani e mari a profondità variabile (Fig. 29), mentre i bentonici vivono sul fondo del mare nei primi centimetri di sedimento (organismi infaunali) o nella parte superiore del sedimento (epifaunali), attaccati alla vegetazione marina (forme epifite) (Fig. 30).

L'abbondanza e la distribuzione dei foraminiferi bentonici è influenzata da diversi parametri ambientali, quali la temperatura, la salinità, la batimetria, la tipologia del fondale in cui vivono, i nutrienti, l'ossigeno disciolto e il ph sia dell'acqua al fondo che del substrato. In particolare la presenza di alcune particolari specie può dipendere strettamente dalla presenza di sostanza organica al fondo, dalla salinità e dalla quantità di ossigeno, questo determina il fatto che ogni area è contraddistinta da una ben precisa associazione con specie che hanno le simili esigenze ecologiche.

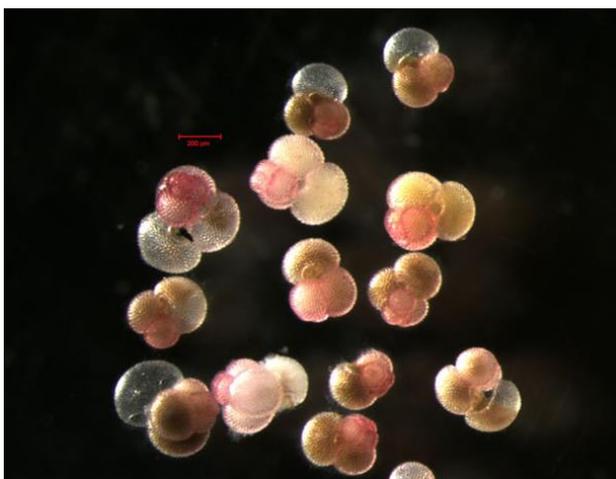


Figura 29 - Foraminiferi planctonici.



Figura 30 - Foraminiferi bentonici.

Da molti anni i foraminiferi bentonici sono impiegati in biostratigrafia e nelle ricostruzioni paleo-ambientali e paleo-climatiche, grazie alla presenza del guscio mineralizzato (carbonatico, agglutinante e/o organico; Fig. 31) che consente la loro conservazione al momento della morte dell'organismo. Inoltre, tale guscio,

partecipando alla formazione del sedimento, è incluso nel registro fossile offrendo pertanto un record temporale dei cambiamenti ambientali.

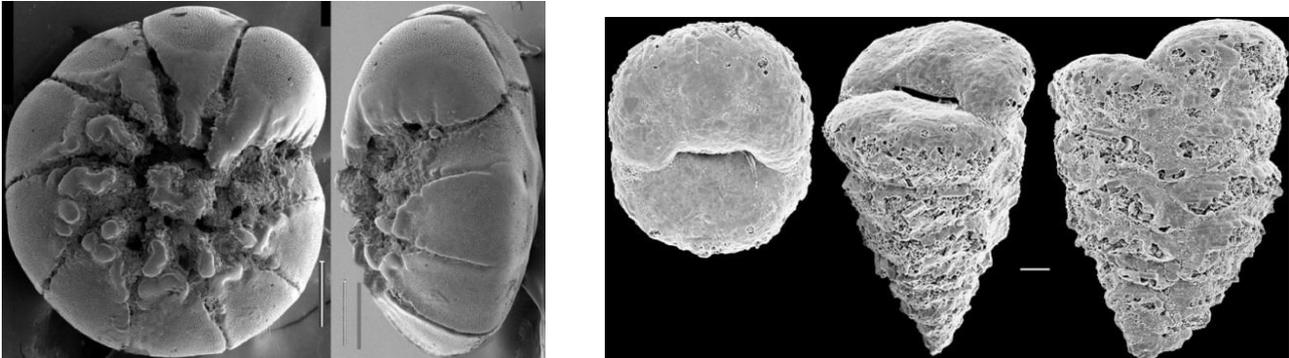


Figura 31 - a) *Ammonia inflata* foraminifero bentonico a guscio calcareo; b) *Textularia pseudogramen* foraminifero bentonico a guscio agglutinante (immagini da: <http://www.marinespecies.org>).

L'associazione a foraminiferi bentonici può essere influenzata, oltre che dai parametri ambientali naturali, anche dalla presenza di sostanze inquinanti presenti nei sedimenti, in particolare nelle aree marino-costiere sottoposte ad elevata pressione antropica (Alve, 1991; Yanko et al., 1992; Coccioni et al., 2003; Burone et al., 2006).

Poiché nei sedimenti i foraminiferi bentonici sono molto più abbondanti di tanti altri organismi marini, nel corso degli ultimi dieci anni, nella comunità scientifica si è diffuso il loro utilizzo in studi sulla valutazione della qualità ambientale di aree marino-costiere e come indicatori biologici di inquinamento (Murray, 1991; Alve, 1995; Scott et al., 2005).

Le variazioni dei parametri ambientali naturali che la presenza di inquinanti nei sedimenti possono influenzare sia la distribuzione che la composizione e la struttura delle associazioni a foraminiferi bentonici (ad esempio, incremento di poche specie opportuniste). È stato, inoltre, riscontrato in aree soggette ad elevato stress ambientale come 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 indicazioni utili 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 nell'uso dei foraminiferi bentonici come strumento nel monitoraggio ambientale (Barras et al., 2014; Arminot du Châtelet et al., 2004; Bergamin et al., 2009; Romano et al., 2009), in particolare nel 2011 a Friburgo in Svizzera si è formato un gruppo composto da circa 35 scienziati di provenienza europee ed extra-europea (FOBIMO - Group), con l'obiettivo di sviluppare una metodologia standardizzata per l'utilizzo dei foraminiferi bentonici nel biomonitoraggio. Nel corso di questa prima riunione è stato infatti definito e standardizzato il protocollo di campionamento ed analisi per studi di monitoraggio dei foraminiferi bentonici di sedimenti marini, pubblicato nel 2012 (Schönfeld et al., 2012).

Nei tre anni di attività di monitoraggio stagionale è stato portato avanti un ampio studio che ha reso possibile la valutazione dello stato ambientale alla foce del fiume Volturno ed ha permesso di identificare nella associazione a foraminiferi bentonici specie sensibili a definiti parametri ambientali.

- *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 pag. 40). I campioni sono stati prelevati e trattati seguendo il protocollo metodologico FOBIMO (Schönfeld et al., 2012).

Dalla superficie (0-1cm) di ogni campione prelevato per mezzo di box-corer (vedi pag. 40), sono stati prelevati 3 sub-campioni (50 ml), uno da analizzare e due da archivio. I campioni al momento del prelievo sono stati conservati in contenitori di plastica e trattati con un colorante, Rosa di Bengala, in modo da differenziare gli esemplari vivi, colorati, da quelli morti, non colorati. Nonostante i suoi limiti (e.g. Walker et al., 1974; Jorissen et al., 1995), questo metodo rimane attualmente il più valido e corretto per valutare le biocenosi.

Una volta in laboratorio i campioni di sedimento, precedentemente trattati con una soluzione alcolica di Rosa Bengala, sono stati lavati dopo 14 giorni con setacci da 125µm e 63µm. Il residuo ottenuto sono stati essiccati in stufa (~50°C) e conservati in appositi contenitori siglati. Al fine di studiare le associazioni viventi ogni campione è stato sottoposto ad osservazione al microscopio binoculare (Leica MZ6). 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. 32). Successivamente gli individui raccolti per ogni campione sono stati archiviati in slide micropaleontologiche, classificati tassonomicamente e contati. Data la scarsa abbondanza di individui per ogni campione si è presa in esame tutta la frazione del campione ottenuta dal lavato contando tutti gli individui viventi presenti.



Figura 32 - Esempio di foraminifero bentonico *Ammonia beccarii* (Linneo); al centro un individuo vivo colorato con Rosa Bengala.

L'attribuzione tassonomica dei foraminiferi bentonici al livello generico e/o specifico è stata effettuata seguendo principalmente le classificazioni proposte da Loeblich & Tappan (1964, 1987) e Cimerman & Langer (1991). Il significato autoecologico è basato essenzialmente sui lavori di Sgarrella & Moncharmont-Zei (1993), Murray (1991, 2006), Sen Gupta (1999) oltre che su altri lavori specialistici.

Per l'attribuzione dei nomi di alcuni generi e delle sinonimie è stato consultato European Register of Marine Species (ERMS, <http://www.marbef.org/data/erms.php>) e World Register of Marine Species (WORMS, <http://www.marinespecies.org/>).

Sulle associazioni rinvenute per singola campagna stagionale è stato calcolato l'indice biotico Shannon-Weaver index (H) o indice di biodiversità (Fig. . Tale indice è basato sul numero di individui e sul numero di taxa, il suo valore può variare tra 0 (comunità costituita da un singolo taxa) a valori più alti, i quali indicano una comunità con molti taxa. Viene calcolato attraverso la formula: $H = -\sum[(ni/n) \times (\ln ni/n)]$

dove ni rappresenta il numero di individui per specie i e n il numero totale di individui. 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. Le mappe ottenute rappresentano la distribuzione stagionale delle specie identificate come *bio-indicatori* a fondo mare ed i valori riportati per singolo campione sono riferiti al numero di individui di foraminiferi bentonici per singolo campione.

2.5.4 Nannofossili calcarei

I coccoliti vengono dispersi nel mare in seguito alla morte dei Coccolitoforidi (vedi par. 2.4.2) con la conseguente rottura della coccosfera (o durante i periodi di massima fioritura perché prodotti in sovrannumero), affondano lungo la colonna d'acqua e depositandosi sul fondo del mare costituiscono una parte importante del sedimento dei fondali oceanici. I coccoliti sono composti di calcite, un minerale a base di carbonato di calcio, e sono tra i principali costituenti dei depositi carbonatici come quelli che costituiscono le bianche scogliere di Dover (Fig. 33).



Figura 33 - Da sinistra: Coccosfera di *Emiliania huxleyi*, specie vivente dominante nell'area di studio (diametro 7 μm); Coccolite di *E. huxleyi* (4 μm); immagine da satellite di un "bloom" di Coccolitoforidi viventi; le scogliere di Dover, formate in gran parte per l'accumulo di miliardi di coccoliti.

Dopo la sedimentazione e l'accumulo sul fondo del mare i resti dei Coccolitoforidi sono soggetti a quei processi che portano alla loro fossilizzazione. I fossili di Coccolitoforidi sono chiamati Nannofossili calcarei. Nelle associazioni fossili insieme a diversi tipi di coccoliti, che ricordano nella forma e nella struttura i coccoliti attuali, si rinvencono nannofossili di forme differenti, chiamati Nannoliti, di difficile classificazione biologica per l'assenza di analoghi attuali (Fig. 34).

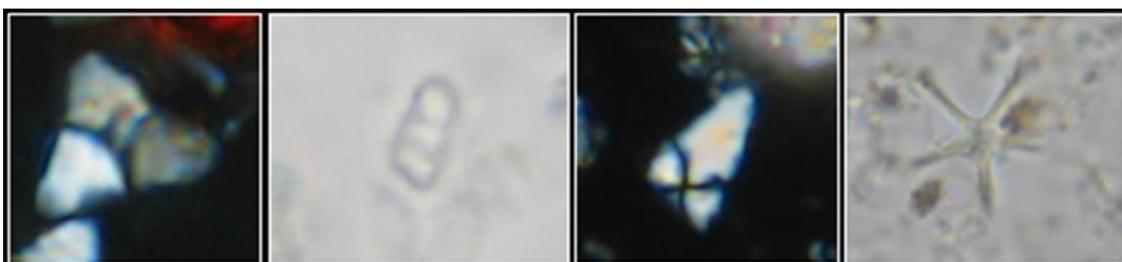


Figura 34 - Da sinistra: *Quadrum trifidum* (Cretaceo Superiore, Appennino meridionale, Italia; 8 μm); *Istmolithus recurvus* (Eocene Superiore, Pirenei meridionali, Catalogna; 7 μm); *Sphenolithus heteromorphus* (Miocene medio, Appennino meridionale, Italia; 9 μm); *Discoaster pentaradiatus* (Miocene superiore, Appennino meridionale, Italia; 10 μm).

I Cocolitoforidi hanno uno dei più abbondanti record fossili: la loro lunga storia evolutiva (a partire dal Triassico superiore ad arrivare all'attuale), 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 di un fiume.

- *Metodo di campionamento ed analisi*

Nel corso delle 7 campagne di monitoraggio stagionale, nelle 22 stazioni campionate per mezzo di box-corer sono stati prelevati campioni di sedimento per lo studio delle associazioni a nannofossili calcarei. I 158 campioni sono stati prelevati nei primi 0,3 cm di sedimento al tetto dei 22 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 Cocolitoforidi viventi nella colonna d'acqua soprastante) ed espressa in %. 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.

2.6 Risultati colonna d'acqua

I risultati delle analisi effettuate sulle acque marine mettono in evidenza come le caratteristiche chimico-fisiche e faunistiche dell'area di studio siano strettamente legate all'influenza del fiume Volturno.

2.6.1 Parametri chimico-fisici

Dall'analisi dei dati raccolti con la sonda multiparametrica CTD, nell'ambito delle 7 campagne di monitoraggio intercorse durante il periodo giugno 2012 - ottobre 2014, si è 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. Dai grafici si evince chiaramente come soltanto nel mese di giugno i valori di temperatura si differenziano in funzione della profondità (Fig. 35), mentre nei restanti periodi si osserva una generale omogeneizzazione dei valori di temperatura.

Dalle variazioni di salinità delle acque si evince un forte controllo da parte del fiume Volturno che, in funzione delle variazioni di portata stagionale, aumenta o diminuisce l'impatto sull'ecosistema marino costiero. La "diluizione", cioè diminuzione dei valori di salinità, indotta dal Volturno 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. 35). 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. In particolare, come già evidenziato da altri autori (De

Pippo et al., 2003-2004; Iermano et al., 2012), si è osservata un'alternanza nella direzione delle correnti costiere che deviano verso nord-ovest o verso sud-est le acque del fiume Volturno.

Il grado di torbidità, rilevato attraverso la sonda CTD 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 con valori di torbidità perennemente elevati.

I valori di pH, misurati durante tutto il periodo di indagine, oscillano da 8.2 a 8.7 presentando un chiaro trend stagionale. In particolare si è osservato che i valori più bassi si riscontrano nel mese di giugno, valori che raddoppiano ad ottobre sino ad arrivare ai valori più alti registrati a febbraio. Fa eccezione ottobre 2014, periodo in cui i valori di pH ha raggiunto valori comparabili con quelli di febbraio 2013 (Fig. 35).

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.35). Fanno eccezioni 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.

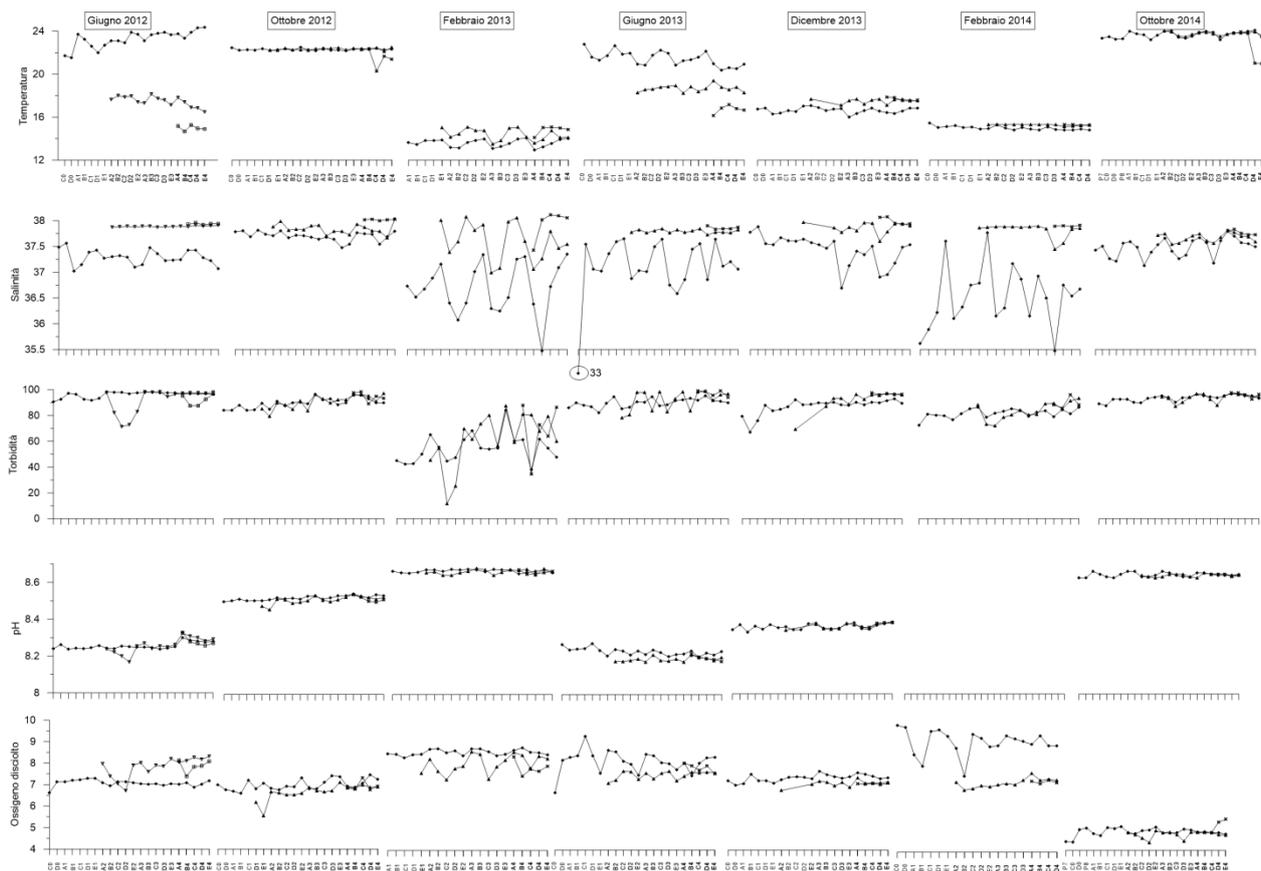


Figura 35 - Dati stagionali CTD corrispondenti alle quote di campionamento dei Coccolitoforidi (5m, 15m, 30m).

2.6.2 Cocolitoforidi

Nonostante il mar Mediterraneo sia un mare oligotrofico, quindi piuttosto povero di nutrienti, in esso è presente una 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 e alle condizioni idrologiche e climatiche proprie di questo bacino.

Un'eccezione alla condizione oligotrofica si riscontra nei pressi delle foci di numerosi grandi fiumi che vi affluiscono, dal Nilo al Rodano, dall'Ebro al Po, che sulle coste del Mediterraneo i loro delta formano veri e propri ecosistemi diversi. Il fiume Volturno non fa eccezione così come la biocenosi a Cocolitoforidi viventi in prossimità dell'area marina prospiciente il suo estuario.

L'analisi dei dati di densità dei campioni analizzati nel corso dei tre anni di monitoraggio stagionale ha evidenziato come i Cocolitoforidi siano ben rappresentati con una distribuzione spaziale chiaramente condizionata sia da fattori oceanografici locali che stagionali, entrambi modulati anche dalla presenza del fiume Volturno.

Il numero di specie identificate (Tab. 3) ed i valori di densità registrati durante le campagne sono chiaramente correlati alle stagioni di campionamento.

In particolare l'associazione a Cocolitoforidi è dominata dalla specie *Emiliana huxleyi*, taxon opportunista a strategia di vita r, che presenta i suoi massimi valori durante il mese di Ottobre (2012-2014; Fig. 36). 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.

Di particolare interesse si è rivelata la distribuzione areale della *R. xiphos*, distribuzione fortemente anticorrelata con gli apporti dal continente, cioè 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 Volturno (Bonomo et al., 2014).

Dall'analisi dell'indice di biodiversità Shannon-H (Fig. 37), si evince un graduale e costante impoverimento dell'associazione a Cocolitoforidi 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 transmission") proveniente dal bacino del fiume Volturno. Infatti, ad eccezione del taxon *E. huxleyi*, i Cocolitoforidi risultano particolarmente sensibili alle variazioni d'intensità della luce ovvero al fattore (la torbidità) che ne regola la penetrazione lungo la colonna d'acqua.

Tabella 3 - Lista delle specie di Coccolitoforidi identificate in colonna d'acqua con l'appartenenza a gruppi ecologici: Ms, Miscellanea; ZFS, Zona Fotica Superiore; Pb, gruppo dei placoliti (Incarbona et al., 2010).

TAXA	Gruppo ecologico*
Heterococcolithophores	
<i>Braarudosphaera bigelowii</i> - (Gran & Braarud, 1935) Deflandre, 1947	Ms ^a
<i>Calcidiscus leptoporus</i> - (Murray and Blackman, 1898) Loeblich and Tappan, 1978	
<i>Calciosolenia</i> spp. - Gran, 1912	Ms ^a
<i>C. brasiliensis</i> - (Lohmann, 1919) Young et al., 2003	Ms ^a
<i>Ceratolithus cristatus</i> - Kamptner, 1950	Ms ^a
<i>Coronosphaera</i> spp. - Gaarder, 1977	ZFS ^b
<i>C. binodata</i> - Kamptner, 1927) Gaarder, 1977	ZFS ^b
<i>C. mediterranea</i> - (Lohmann, 1902) Gaarder, 1977	ZFS ^b
<i>Discosphaera tubifera</i> - (Murray & Blackman 1898) Ostenfeld 1900	
<i>Emiliana huxleyi</i> - (Lohmann 1902) Hay & Mohler 1967	Pb ^c
<i>Gephyrocapsa</i> spp - Kamptner, 1943	Pb ^c
<i>G. oceanica</i> - Kamptner, 1943	
<i>Helicosphaera</i> spp - Kamptner, 1954	Ms ^a
<i>H. carteri</i> - (Wallich, 1877) Kamptner, 1954	Ms ^a
<i>Pleurochrysis</i> spp. - Pringsheim, 1955	
<i>Rhabdosphaera xiphos</i> - (Deflandre & Fert, 1954) Norris, 1984	ZFS ^b
<i>R. clavigera</i> - Murray & Blackman, 1898	ZFS ^b
<i>Syracosphaera</i> spp - Lohmann, 1902	Ms ^a
<i>S. tumularis</i> - (Lohman, 1912) Janin, 1987	Ms ^a
<i>S. histrica</i> - Kamptner, 1941	Ms ^a
<i>S. pulchra</i> - Lohman, 1902	ZFS ^b
<i>Umbellosphaera tenuis</i> - (Kamptner, 1937) Paasche, 1955	ZFS ^b
<i>Umbilicosphaera</i> spp. - Lohmann 1902	
Other calcareous taxa	
<i>Thoracosphaera heimii</i> - (Lohmann, 1919) Kamptner, 1944	
Holococcolithophores	
Holococcolithophores spp.	ZFS ^b
<i>Helicosphaera carteri</i> HOL { <i>Syracolithus catilliferus</i> } - (Kamptner, 1937) Deflandre, 1952	ZFS ^b
<i>Scyphosphaera apsteinii</i> HOL { <i>Syracolithus schilleri</i> } - (Kamptner, 1927) Loeblich & Tappan, 1952	ZFS ^b
<i>Syracosphaera anthos</i> HOL { <i>Periphyllophora mirabilis</i> } - (Schiller, 1925) Kamptner, 1937	ZFS ^b
<i>S. pulchra</i> HOL { <i>Calyptosphaera oblonga</i> } - Lohmann, 1902	ZFS ^b

*Significato ecologico generale: ^avive senza preferenza di profondità ed all'interno di un ampio intervallo di preferenze ecologiche; ^bTaxa con strategia di vita K, specializzati a vivere in acque superficiali calde subtropicali e in grado di sfruttare un minimo flusso di nutrienti; ^cTaxa con strategia di vita R in grado di sfruttare rapidamente la disponibilità di nutrienti; sono considerati indicatori di elevate condizioni di produttività.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

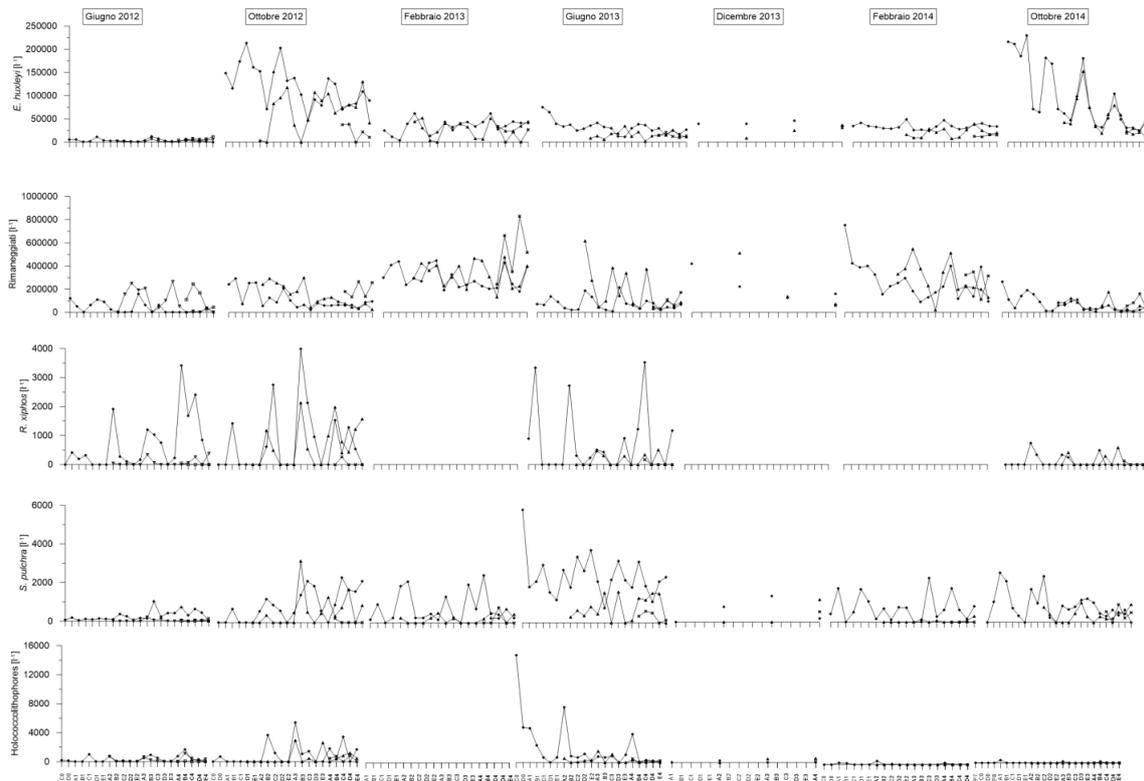


Figura 36 - Distribuzione dei principali taxa di Coccolitoforidi identificati in colonna d'acqua nel corso delle campagne di monitoraggio stagionale (sulle ascisse le stazioni di campionamento; sulle ordinate i valori di abbondanza espressi in n° di coccoliti per litro).

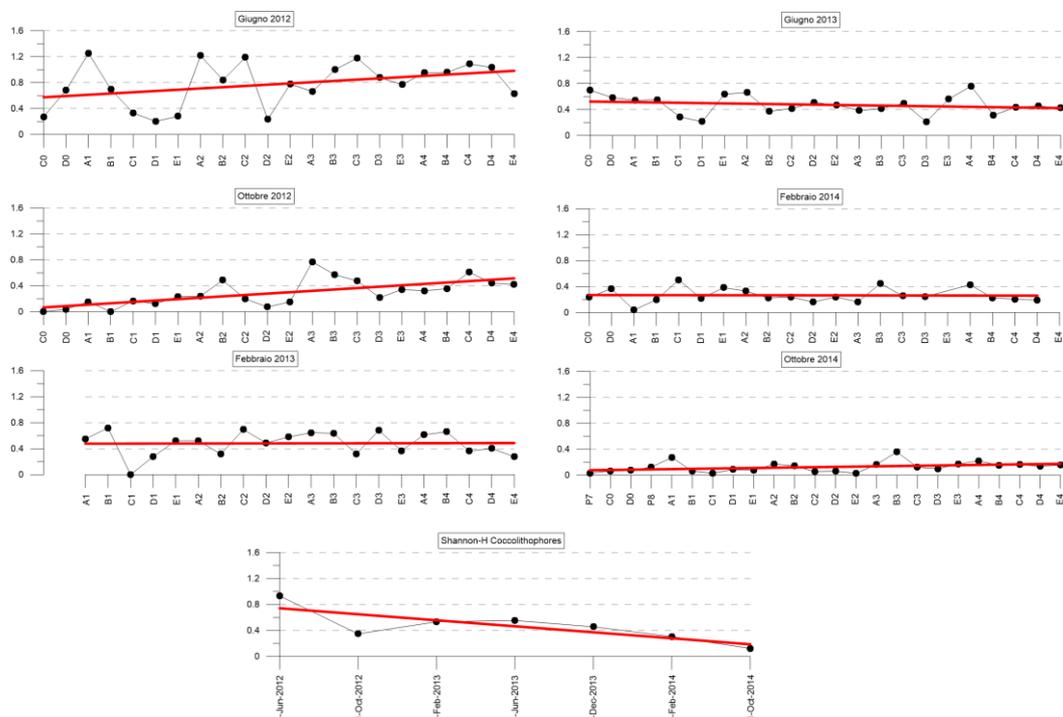


Figura 37 - Indice di biodiversità Shannon-H calcolato per singola campagna di monitoraggio stagionale per singolo campione da terra verso mare; in basso l'indice di biodiversità medio calcolato per le 6 campagne di monitoraggio.

2.7 Risultati sedimenti marini

2.7.1 Geochimica dei sedimenti

Vengono di seguito riportati i risultati della determinazione analitica degli IPA (14 congeneri), dei PCB (19 congeneri) e degli OCP (19 congeneri), nonché il contenuto in elementi maggiori, minori ed in tracce (14 elementi), delle analisi svolte sui campioni di sedimento acquisiti nel corso della campagne stagionali I-AMICA_2012_01, I-AMICA_2013_01 e I-AMICA_2014_02.

L'elenco dei campioni analizzati per campagna con l'indicazione delle relative determinazioni analitiche effettuate per ognuno di essi nelle varie fasi di monitoraggio ambientale del progetto sono riportate nell'APPENDICE 2.

Le concentrazioni di tutti gli analiti (APPENDICE 3), risultano 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 del livello 0-10 cm relative a due campagne di monitoraggio ambientale. 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. 38).

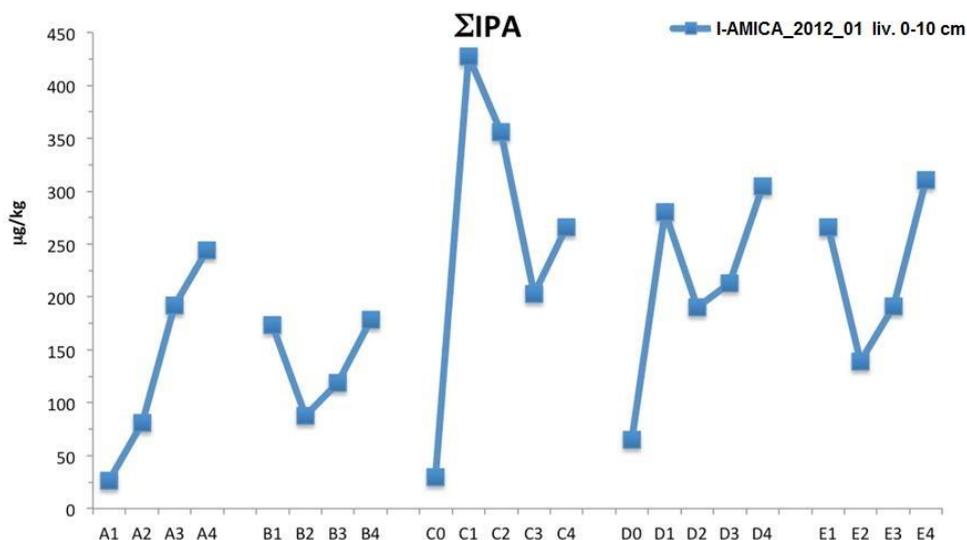


Figura 38 - Grafico riportante la distribuzione degli IPA (espressi come sommatoria di 14 congeneri) analizzati durante le varie fasi di monitoraggio ambientale del progetto.

Sulla base delle indicazioni fornite da tali risultanze analitiche, ed in particolare per la maggiore concentrazione del congenere perilene rispetto agli altri, nel corso della campagna I-AMICA_2014_02 è stata eseguita una campionatura di dettaglio (Fig. 39) ad integrazione della maglia di campionamento di base (Fig. 2). Sono stati acquisiti, quindi, 4 campioni nell'intorno della stazione C2 (P2, P3, P4 e P5) e aggiunti altri due punti di prelievo sotto costa (P7 e P8) rispettivamente a nord e a sud della foce del fiume Volturno.

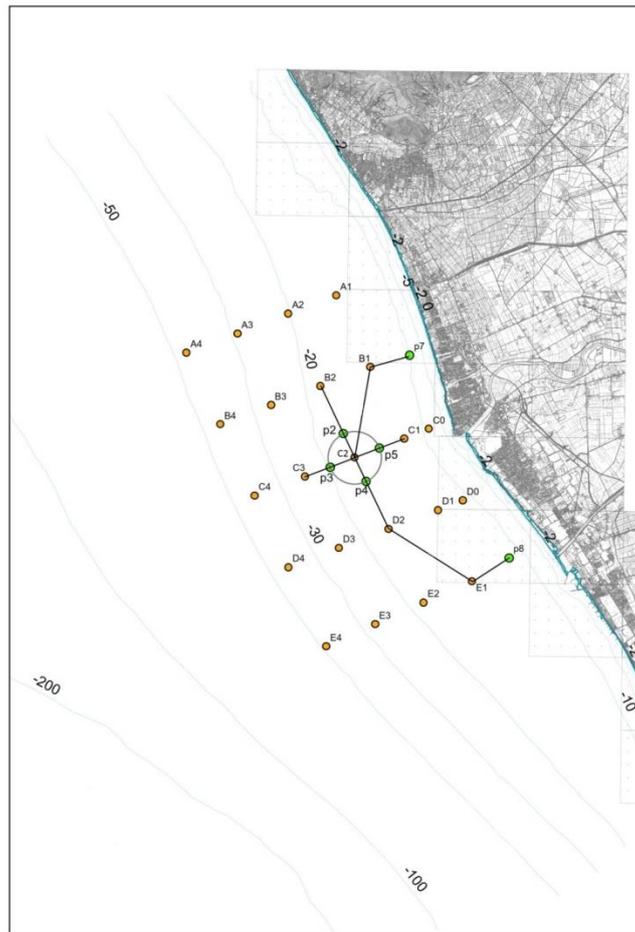


Figura 39 - Ubicazione delle stazioni di campionamento P2, P3, P4, P5, P7 e P8 acquisite nel corso della campagna I-AMICA_2014_02 ad integrazione della maglia di campionamento di base (Fig. 2).

I risultati ottenuti per questa campionatura mostrano valori della somma degli IPA che variano tra 18.3 microg/kg e 340.1 microgr/kg. 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 oggetto di studio.

È risaputo infatti che la concentrazione di perilene nei sedimenti è proporzionale alla quantità di input terrestri, decrescente con la distanza dalla fonte di sedimenti terrestri (Chunqing et al., 2000). Date le alte concentrazioni di questo congenere degli IPA ad una prima analisi si potrebbe pensare che la sua origine potrebbe essere diagenica e proveniente dal fiume 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). Per quanto concerne il contenuto di OCP nei campioni di sedimento prelevati durante le campagne I-AMICA_2012_01 e I-AMICA_2013_01, le concentrazioni risultano tutte al di sotto del limite di quantificazione strumentale (<0.002 mg/kg).

La somma dei PCB (Fig. 40), invece, è compresa per la prima campagna di monitoraggio (campagna I-AMICA_2012_01) nei campioni del livello 0-10 cm tra 1.09 microg/kg e 4.55 microg/kg, 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 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 di condizioni ambientali.

Nella campagna I-AMICA_2013_01 è stato, invece, 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 (APPENDICE 2).

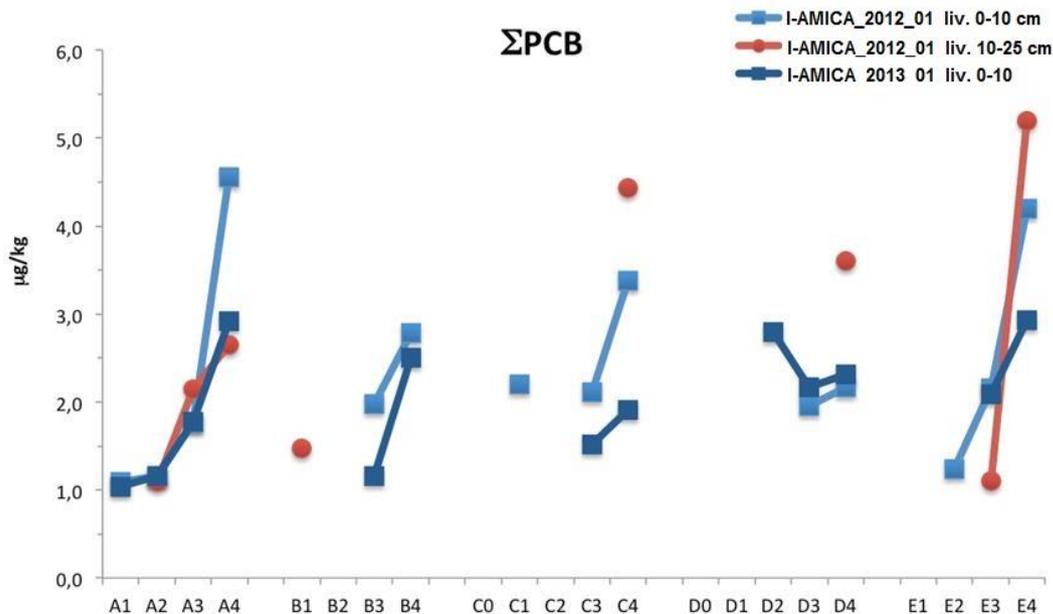


Figura 40 - Grafico riportante la distribuzione dei PCB (espressi come sommatoria di 14 congeneri) analizzati durante le varie fasi di monitoraggio ambientale del progetto.

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).

Il confronto tra i dati del livello superficiale e quelli del livello sottostante, relativi alla prima 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, questi ultimi (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, ma tutti possono anche essere legati ad immissioni nell'ambiente acquatico da parte di attività antropiche.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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 AI 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 (Fig. 41). 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; Fig. 41).

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 di monitoraggio. 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 quanto riguarda la campagna I-AMICA_2013_01, le risultanze analitiche non mostrano rilevanti variazioni di concentrazione per tutti gli elementi rispetto alla campionatura precedente. Fa eccezione una stazione del transetto D (D1) per la quale si osservano concentrazioni maggiori per tutti gli elementi nella prima campionatura molto probabilmente per 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 (Fig. 41). 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 coinvolti in 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 una 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 direttamente all'ambiente marino.

Infine, il dato che emerge è che 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.

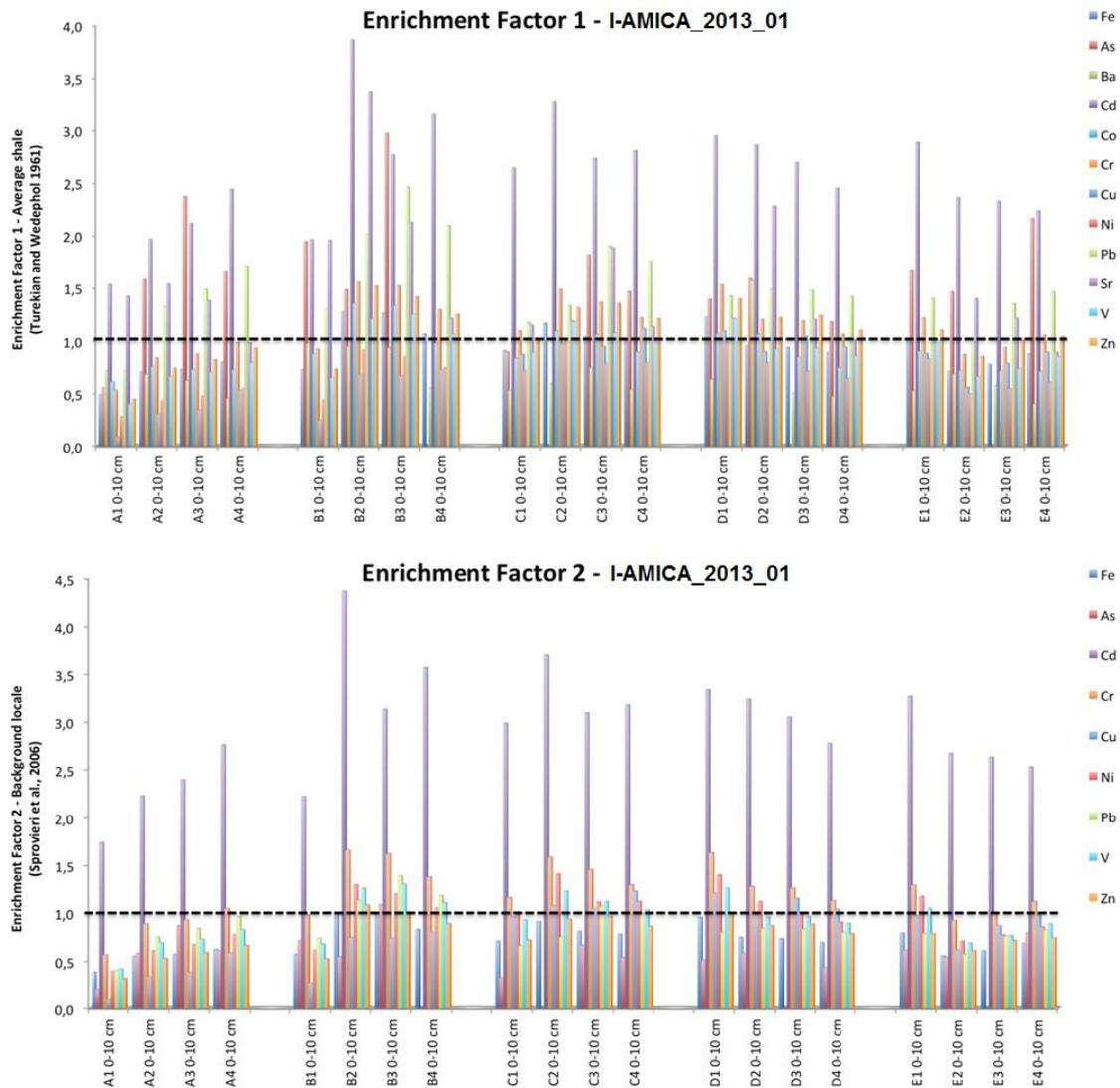


Figura 41 - Grafico riportante la distribuzione dei fattori di arricchimento stimati vs lo *shale* medio di Turekian and Wedephol 1961 (EF1) e vs il background naturale locale di Sprovieri et al., 2006 (EF2) per la campagna I-AMICA_2013_01.

Le analisi di azoto totale (TN) condotte sui sedimenti marini nell'area foce Volturno, 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-Febbraio 2013. In particolare il valore di 2.39% si evidenzia nel campione C4 nella campagna di ottobre 2012. 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 strettamente legata alla distribuzione delle granulometrie più sottili e all'apporto di acque provenienti dal fiume Volturno.

2.7.2 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 è da attribuire anche ai bassi valori di concentrazioni dei vari analiti (organici ed inorganici) riscontrati nei sedimenti a fondo mare che lasciano presupporre una loro origine naturale e non antropica (vedi par. 2.7.1). I foraminiferi sono stati quindi utilizzati per evidenziare eventuali sintomi di degrado dell'habitat dovuti principalmente al cambiamento di alcuni parametri ambientali legati all'attività del fiume Volturno.

La biocenosi a foraminiferi bentonici nei campioni investigati (22 campioni per 7 campagne stagionali) è costituita da 36 taxa, ripartiti in 6 differenti generi. Il numero di specie identificate ed i valori totali di densità registrati per singola campagna sono riportati nella Tabella 4 e nella Figura 42.

L'associazione è dominata dalle specie: *Ammonia tepida*, *Bulimina elongata* e *Rectuvigerina phlegeri* (Fig. 43), presenti in tutte le stagioni di campionamento con percentuali >5% in almeno un campione, e subordinatamente da *Valvulineria bradyana*.

Ammonia tepida e *Bulimina elongata* presentano una distribuzione areale simile con i massimi valori di abbondanza registrati tra giugno 2012 e giugno 2013 (Fig. 44) nelle aree direttamente sottoposte agli apporti fluviali provenienti sia dal fiume Volturno che dai canali dei Regi Lagni ubicati a nord e a sud della foce del Volturno. Tali specie riescono a 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 e Coccioni, 2008), causate in questo caso dall'apporto di acque continentali provenienti dal bacino del fiume Volturno e dai Regi Lagni.

In letteratura infatti *A. tepida* viene riportata come specie opportunistica, caratteristica di ambienti marino-costieri di acque basse, lagunari e deltizi e (Jorissen, 1988; Almogi Labin et al., 1992; Coccioni, 2000; Melis and Violanti, 2006; Frontalini et al., 2009), che tollera apporti di acqua dolce di origine fluviale, quindi bassa salinità. *B. elongata* è una specie tipica di ambiente di piattaforma con fondali pelitici, è indicativa di ambiente con moderata/elevata produttività (Eberwein & Mackensen, 2008) nonché di eutrofizzazione (Mojtahid et al., 2006).

Di particolare interesse si è rivelata la distribuzione areale della *Rectuvigerina phlegeri*, distribuzione fortemente in antitesi con quella di *A. tepida* e *B. elongata*. Tale specie presenta le massime abbondanze tra gennaio-febbraio e giugno 2013 (Fig. 43) nel settore nord occidentale dell'area di studio non direttamente sottoposto all'azione del fiume Volturno (Fig. 44).

La distribuzione della *R. phlegeri* sembra quindi essere anticorrelata con gli apporti dal continente e correlata invece ad ambienti con condizioni di buona ossigenazione al fondo. Tale risultato è altresì confermato dai dati stagionali CTD di ossigenazione e torbidità (*Beam-transmission*) registrati a fondo mare (vedi fig. 35). In letteratura tale specie viene in genere associata ad ambienti di piattaforma caratterizzati da basso contenuto di ossigeno (Sgarrella e Moncharmont-Zei, 1993) ma è stata anche segnalata, associata alla specie *Nonion commune*, in fondali con alti livelli di ossigeno (Diz and Frances, 2008).

Tabella 4 - Lista delle specie di Foraminiferi bentonici identificate nei sedimenti a fondo mare.

TAXA
Astrorhizida
<i>Lagenammina atlantica</i> (Cushman, 1944)
Buliminda
<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
Lituolida
<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
Miliolida
<i>Peneroplis</i> sp.
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus, 1758)
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck, 1804)
Rotaliida
<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)
Textulariida
<i>Bigenerina cylindrica</i> Cushman, 1922
<i>Eggerella scabra</i> (Williamson, 1858)
<i>Textularia calva</i> Lalicker, 1940

PROGETTO PONA3_00363 I-AMICA
(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

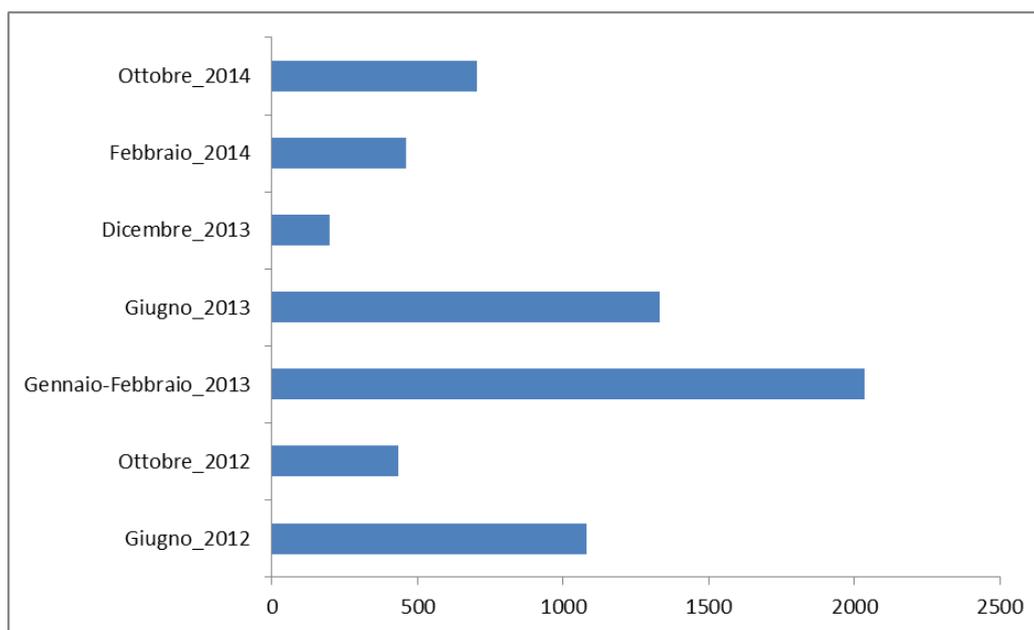


Figura 42 - Numero totale di individui di foraminiferi bentonici per campagna stagionale.

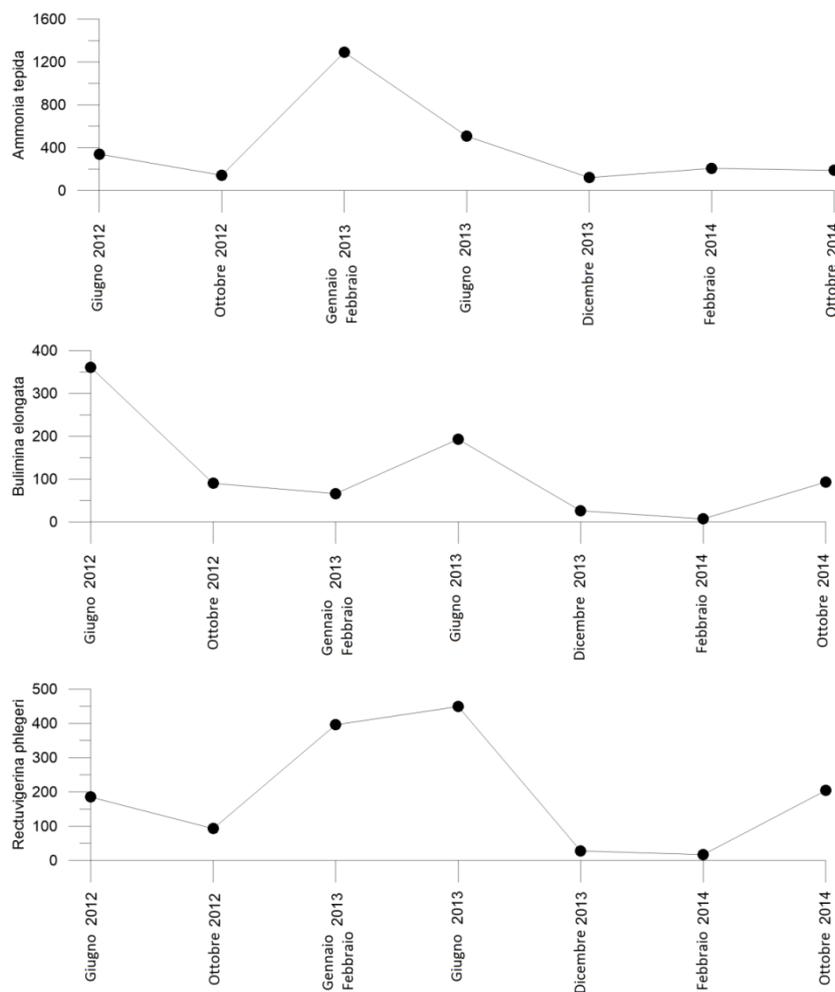


Figura 43 - Valori di abbondanza totali delle tre specie dominanti nelle 7 campagne di monitoraggio.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

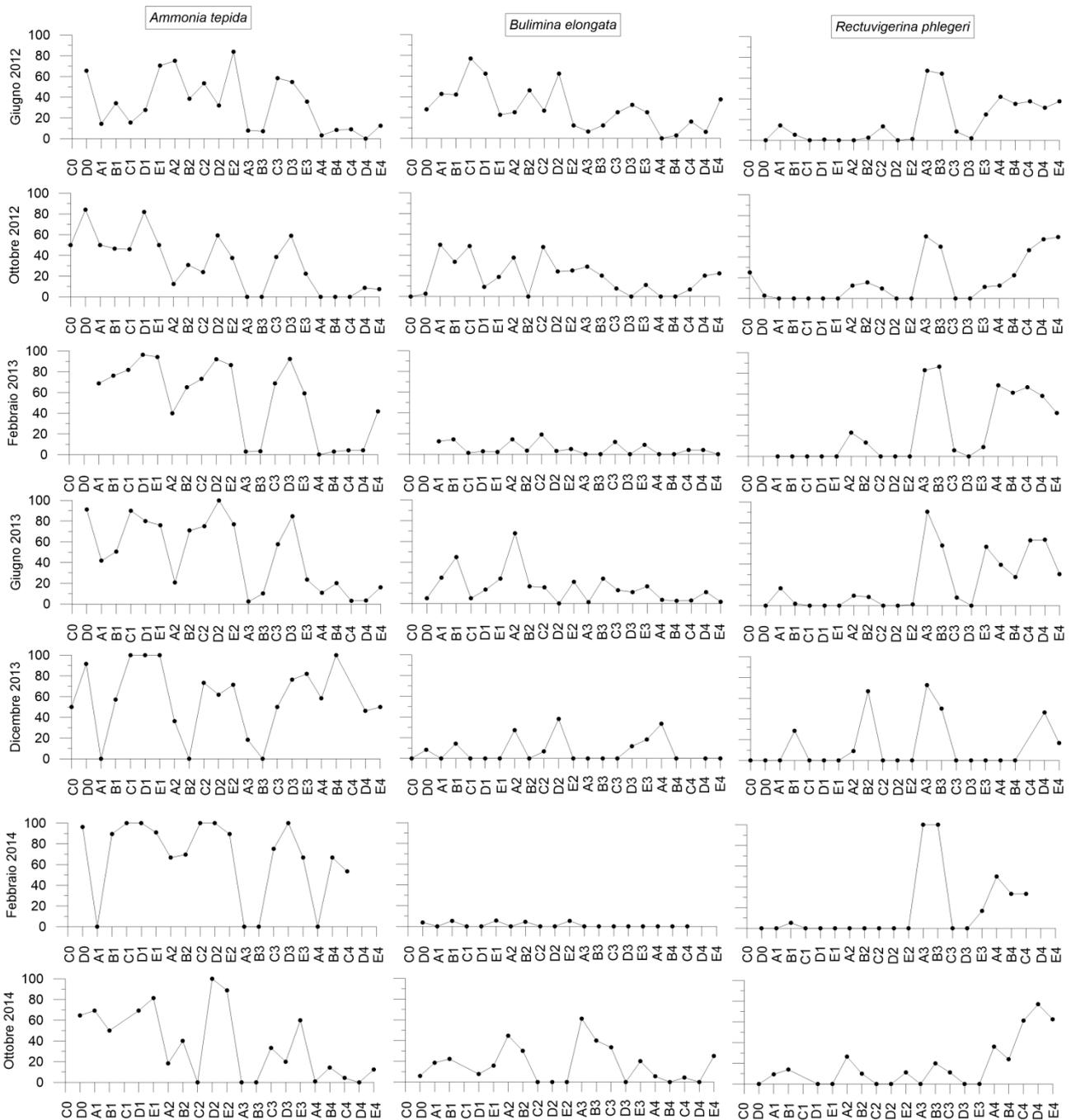


Figura 44 - Valori di abbondanza stagionali (%) delle tre specie dominanti per singolo campione.

Dall'analisi dell'indice di biodiversità (Shannon-H), calcolato per singola campagna, si evince un graduale e costante aumento della biodiversità procedendo da terra verso mare (Fig. 45), quindi allontanandosi dalle aree strettamente soggette agli apporti dal continente. Inoltre, esaminando il valore medio di tale indice, da giugno 2012 ad ottobre 2014 (Fig. 46), si osserva come questo decresca costantemente evidenziando un progressivo graduale impoverimento dell'associazione a foraminiferi bentonici, riflettendo uno stato di stress ambientale a fondo mare.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

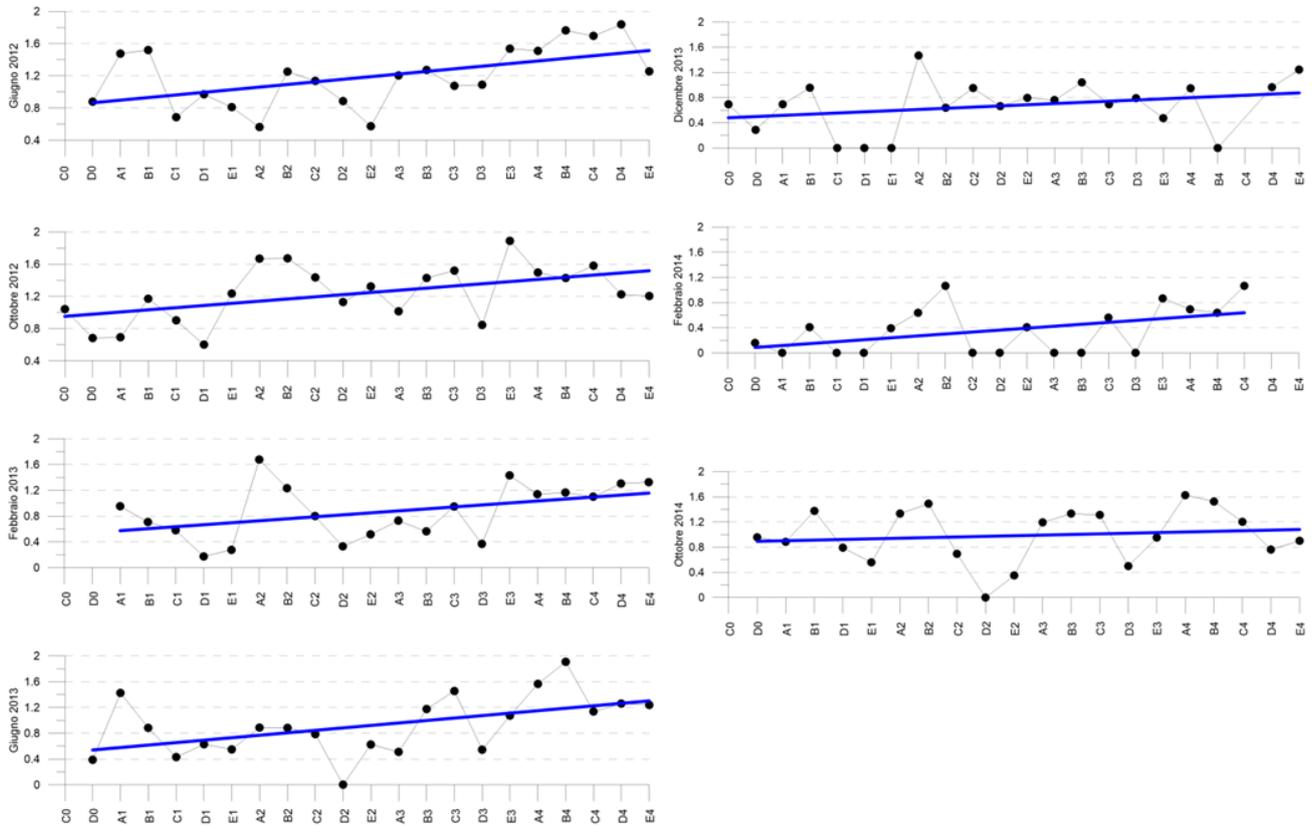


Figura 45 - Indice di biodiversità stagionale Shannon-H calcolato per singolo campione da costa verso largo (vedi Fig. 2).

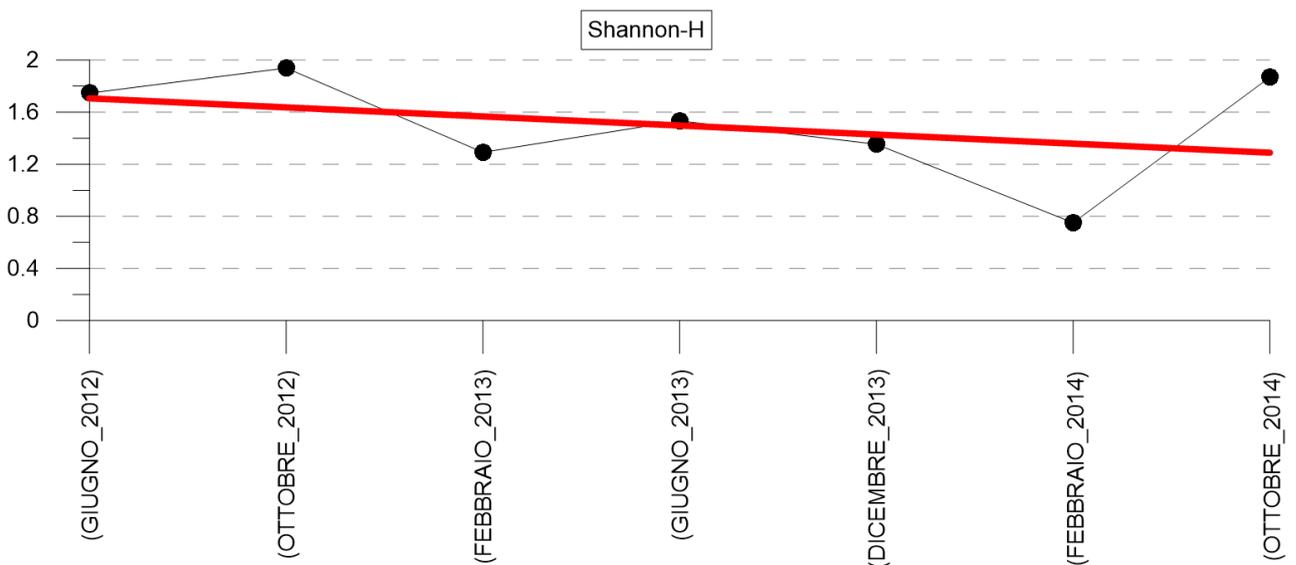


Figura 46 - Indice di biodiversità stagionale Shannon-H medio calcolato per le 7 campagne di monitoraggio.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Il fiume Volturno influenza quindi in maniera sensibile la popolazione a foraminiferi che vive nei sedimenti marini situati nell'area prospiciente la sua foce. Il fiume immettendo acque dolci e ricche di sostanza organica, determina una associazione oligotipica caratterizzata dalla proliferazione di specie come *Ammonia tepida* e *Bulimina elongata* che tollerano variazioni anche significative di salinità e sostanza organica.

Procedendo verso largo e verso nord-ovest, nelle aree non direttamente sottoposte all'azione del runoff del fiume, la biodiversità aumenta, grazie anche all'effetto di diluizione operato dal mare che tende a degradare la sostanza organica, e l'associazione è dominata dalla specie *Rectuvigerina phlegeri*.

2.7.3 Nannofossili calcarei

Lo studio dei sedimenti ha evidenziato che tra i taxa considerati in posto, la specie più abbondante è risultata *Emiliania huxleyi*, altri taxa presenti con abbondanze basse ma comunque significative sono: *Syracosphaera pulchra*, *Rhabdosphaera 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 nei sedimenti riflettono in linea di massima la composizione e la distribuzione delle rispettive comunità viventi nella colonna d'acqua soprastante, questo suggerirebbe una bassa influenza delle correnti di fondo per quanto riguarda la sospensione 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 ad alcuni fattori tra cui: 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 rimaneggiati di età Cretacico-Olocene, è principalmente dovuta all'apporto terrigeno proveniente dal fiume Volturno, 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; questi 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 documentato dai lavori di De Pippo et al. (2003-2004) e Iermano et al. (2012).

Bibliografia

- 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.
- Baumard P., Budzinski H., Garrigues P., 1998. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments and mussels of the western Mediterranean Sea. *Environ Toxicol Chem* 17, 765-76.
- 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., Vallefucio 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.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

- Cerniglia C.E., Heitkamp M.A., 1989. In Microbial Degradation of PAH in the Aquatic Environment. In: Varanasi, U. (Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 41-68.
- Coccioni, R., 2000. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution – a case study from the Goro Lagoon (Italy). In: Martin, R.E. (Ed.), Environmental Micropaleontology: The Application of Microfossils to Environmental Geology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 71-103.
- 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.
- Diz and Frances, 2008. Distribution of live benthic foraminifera in the Ría de Vigo (NW Spain). *Marine Micropaleontology*, 66, 165-191.
- 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.
- Eberwein & Mackensen, 2008
- 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 8082-1, rev.0 1996. Polychlorinated biphenyls (PCBs) by gas chromatography.
- 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.
- Standard Reference Material (SRM) 1941b, 2004. Organics in marine sediment. National Institute of Standard & Technology (NIST).
- Certified Reference Material (CRM) PACS-2, 1996. Marine sediment Reference Materials for trace metals and other constituents (Esquimalt harbour). National Research Council Canada (NRC-CNRC).
- 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.
- Ferrara F., Funari E., 2004. Rischio chimico associato alla qualità delle acque del mare Adriatico. *Rapporti ISTISAN 04/4*, pp. 158.
- Frontalini F., 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.
- Gazzetta Ufficiale Della Repubblica Italiana (G.U.R.I.) (2006) Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n°152 (D.Lgs. 152/06). Norme in materia ambientale. G.U. 88 14/04/2006
- Guitart C., García-Flor N., Bayona J.M., Albaigés J., 2007. Occurrence and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal surface microlayer. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 186-194.
- IARC (International Agency for Cancer Research) Monographs (1987).
<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
- Jorissen, F.J., 1988. Benthic foraminifera from the Adriatic Sea: principles of phenotypic variation. *Utrecht Micropaleontological Bulletin*, 37, 1-174.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

- La Flamme R.E., Hites R.A., 1978. The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 289-303.
- Melis, R., Violanti, D., 2006. Foraminiferal biodiversity and Holocene evolution of the Phetchaburi coastal area (Thailand Gulf). *Marine Micropaleontology* 61, 94-115.
- 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, Issues 1-3, 58-75.
- Ros J.D., Cardell M.J., 1991. Effect on benthic communities of a major input of organic matter and other pollutants (Coast off Barcelona, Western Mediterranean). *Toxicol and Environmental Chemistry*, 31-32, 441-450.
- Schlitzer, R., 2013. Ocean Data View, <http://odv.awi>.
- Scott D.S., Medioli F.S., Schafer C.T., 2001. *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press, Cambridge. 177.
- Sgarrella F., 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.
- Turekian K.K., 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.
- Jiang C., Alexander R., Kagi R.I., Murray A.P., 2000. Origin of perylene in ancient sediments and its geological significance. *Organic Geochemistry*, 31, 1545-1559.
- 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.

CAPITOLO 3

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

3.1 Introduzione

Le aree costiere sono da sempre state considerate dagli uomini come luoghi ideali in cui vivere, queste aree ospitano una popolazione con una densità media tre volte superiore a quella mondiale. Negli ultimi secoli la pressione antropica ha causato una forte variazione del sistema ambientale costiero: le zone umide sono state sostituite da campi agricoli, le strade, le aree urbanizzate e le industrie sono aumentate nel tempo. Poiché la vita stessa dell'uomo dipende dalla qualità dell'ambiente e del paesaggio, la vivibilità urbana e lo sviluppo sostenibile sono divenuti temi importanti nell'attuale periodo storico.

La perdita di naturalità delle aree costiere è prodotta principalmente all'erosione costiera (circa il 65%) e dalla diffusione "sprawl" delle abitazioni, delle infrastrutture e delle aree produttive (16%). In tale situazione è di fondamentale importanza comprendere le relazioni che intercorrono tra i cambiamenti del Sistema Territoriale delle aree costiere e le variazioni della linea di costa al fine di predisporre degli strumenti utili per una corretta pianificazione e gestione delle coste.

La variazione della linea di costa rappresenta un indicatore ambientale in grado di: 1) individuare le aree esposte ad erosione; 2) individuare le attività produttive ed i beni esposti a rischio, identificandone il valore economico; 3) facilitare l'individuazione di interventi strutturali e non capaci di ridurre e/o eliminare la pericolosità.

L'area costiera della piana del fiume Volturno, come gran parte delle piane costiere italiane, ha subito nel corso dell'ultimo secolo profonde trasformazioni determinate principalmente dalla presenza dell'uomo e dalle sue attività sul territorio. Il tratto di costa studiato si estende dalla città di Mondragone al Lago Patria (Fig. 1) ed ha come limiti quelli dell'unità fisiografica del Bacino del fiume Volturno.

Il lavoro svolto è stato strutturato attraverso due fasi principali fortemente connesse tra loro; la prima ha riguardato l'analisi dell'evoluzione della linea di riva dagli inizi del 1800 ad oggi mentre con la seconda, attraverso lo studio delle carte storiche, si è cercato di individuare il periodo in cui la presenza dell'uomo e delle sue attività hanno influenzato la naturale evoluzione della fascia costiera dell'area di studio.



Figura 1 - Inquadramento dell'area di studio.

3.2 Metodologia

Lo studio delle trasformazioni territoriali e le variazioni della linea di costa sono state realizzate attraverso l'analisi comparata in ambiente GIS (Geographic Information System) della cartografia storica, delle carte tecniche regionali, delle ortofoto e delle immagini satellitari. Le carte storiche dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) coprono un intervallo temporale che va dalla metà del 1700 al 1962 (Tab.1). Tuttavia, per il presente studio, sono state impiegate solo le carte in scala 1:25.000 in quanto tali carte possono essere utilizzate per le analisi quantitative in ambiente GIS. Una sola eccezione, al predetto criterio di studio, è stata fatta per la carta storica del 1882 in scala 1:100.000 in quanto tale carta ha consentito di acquisire un dato importante nell'ampio intervallo temporale che va dal 1850 al 1907. Tali documenti, insieme alle ortofoto e alle immagini satellitari, sono state utilizzate come dati di input del presente studio e sono elencati nella Tabella 2.

Denominazione	Data	Scala	Codice IGM
ATLANTE DELLE QUINDICI PROVINCE AL DI QUA DEL FARO DEL REGNO DELLE DUE SICILIE A NORMA DELLA LEGGE DEL 1° MAGGIO 1816. INCISE D'ORDINE DI S. E. IL SEGRETARIO DI STATO MINISTRO DEGLI AFFARI INTERNI DA GENNARO BARTOLI - PROV. DI TERRA DI LAVORO	1816	1:230.000	a0002394
ATLANTE DEL REGNO DI NAPOLI... - Foglio 3	1800	1:421.680	a0002388
ATLANTE MARITTIMO DELLE DUE SICILIE (fogli sciolti) - Foglio 2 - Gaeta	1785	1:92.200	b0014673
ATLANTE MARITTIMO DELLE DUE SICILIE (fogli sciolti) - Foglio 3 – Golfo di Napoli	1785	1:92.200	b0014674
CARTA AMMINISTRATIVA DEL REGNO DELLE DUE SICILIE... - Provincia di Terra di Lavoro - (Documento d'Archivio)	1850	1:280.000	A0002426
CARTA DELLE PROVINCE CONTINENTALI DELL'EX REGNO DI NAPOLI... - Sezione 6 Colonna III (28)	1882	103.680	A0001443
CARTA DELLE PROVINCE CONTINENTALI DELL'EX REGNO DI NAPOLI... - Sezione 7 Colonna III (36)	1882	103.680	a0001451
CARTA DELLE PROVINCE NAPOLITANE - Foglio VIII	1874	1:250.000	A0001557
CARTA DELLE PROVINCE NAPOLITANE - Foglio XII	1882	1:25.000	A0002461
CARTA D'ITALIA DEL TOURING CLUB ITALIANO... - Foglio 35 - Napoli	1962	1:25.000	A0002465
CARTA DEL REGNO DI NAPOLI – Foglio 18-CASERTA	1839 -1875	1:80.000	a0002459
CARTA DEL REGNO DI NAPOLI – Foglio 24-NAPOLI	1838 -1875	1:80.000	a0002460
CARTA D'ITALIA CON LE INDICAZIONI... - Foglio 24 NAPOLI	1914	1:500.000	b0009098
CARTA IDROGRAFICA DEL REGNO D'ITALIA – Foglio 171 – Gaeta	1889	1:100.000	b0013433
CARTA IDROGRAFICA DEL REGNO D'ITALIA –Foglio 184 - Napoli	1889	1:100.000	b0013442
CARTA TOPOGRAFICA ED IDROGRAFICA DEI CONTORNI DI NAPOLI... - Foglio 1	1817-1819	1:25.000	A0002461
CARTA TOPOGRAFICA ED IDROGRAFICA DEI CONTORNI DI NAPOLI... - foglio 4	1817-1819	1:25.000	A0002465
TAVOLETTE AL 20.000 PER LA CARTA DEL REGNO DI NAPOLI... - F. 18° - Foglio 13	1834-1860	1:20.000	A0001845
TAVOLETTE AL 20.000 PER LA CARTA DEL REGNO DI NAPOLI... - F. 18° - Foglio 14	1834-1860	1:20.000	A0001846
TAVOLETTE AL 20.000 PER LA CARTA DEL REGNO DI NAPOLI... - F. 18° - Foglio 19	1834-1860	1:20.000	A0001851

Tabella 1 - Elenco delle carte storiche dell'IGMI disponibili per l'area di studio.

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 2 - Documenti utilizzati per l'analisi comparata dell'evoluzione della fascia costiera della piana del fiume Sele.

La metodologia utilizzata per tale studio si è fondata su una fase fondamentale: la georeferenziazione delle carte (diagramma di flusso riportato nella Fig. 2). I documenti georiferiti sono stati utilizzati sia per l'analisi delle trasformazioni del sistema territoriale che per la digitalizzazione della linea di costa. Le principali trasformazioni antropiche del territorio sono state definite attraverso il confronto dei dati di input elencati nella Tabella 2, mentre la digitalizzazione delle linee di costa e l'utilizzo dell'applicativo DSAS (Digital Shoreline Analysis System) ha consentito di individuare le variazioni della linea di costa nell'intervallo temporale 1817-2012.

Il processo di georeferenziazione, le variazioni stagionali della linea di costa e l'accuratezza nell'identificazione e nella digitalizzazione dell'interfaccia terra-mare sono fonti di potenziali errori che possono influire sull'accuratezza della definizione della linea di costa.

Considerato che l'area di studio è localizzata in un ambiente microtidale, in accordo con Alberico et al. (2011), la linea di costa è stata considerata come la linea dell'acqua al tempo del documento storico o immagine satellitare. Inoltre per la stessa ragione sono state considerate le variazioni della linea di costa giornaliere e stagionali soggette ad incertezza molto bassa.

Il ruolo principale nel definire l'accuratezza dell'identificazione della linea di costa è il processo di georeferenziazione.

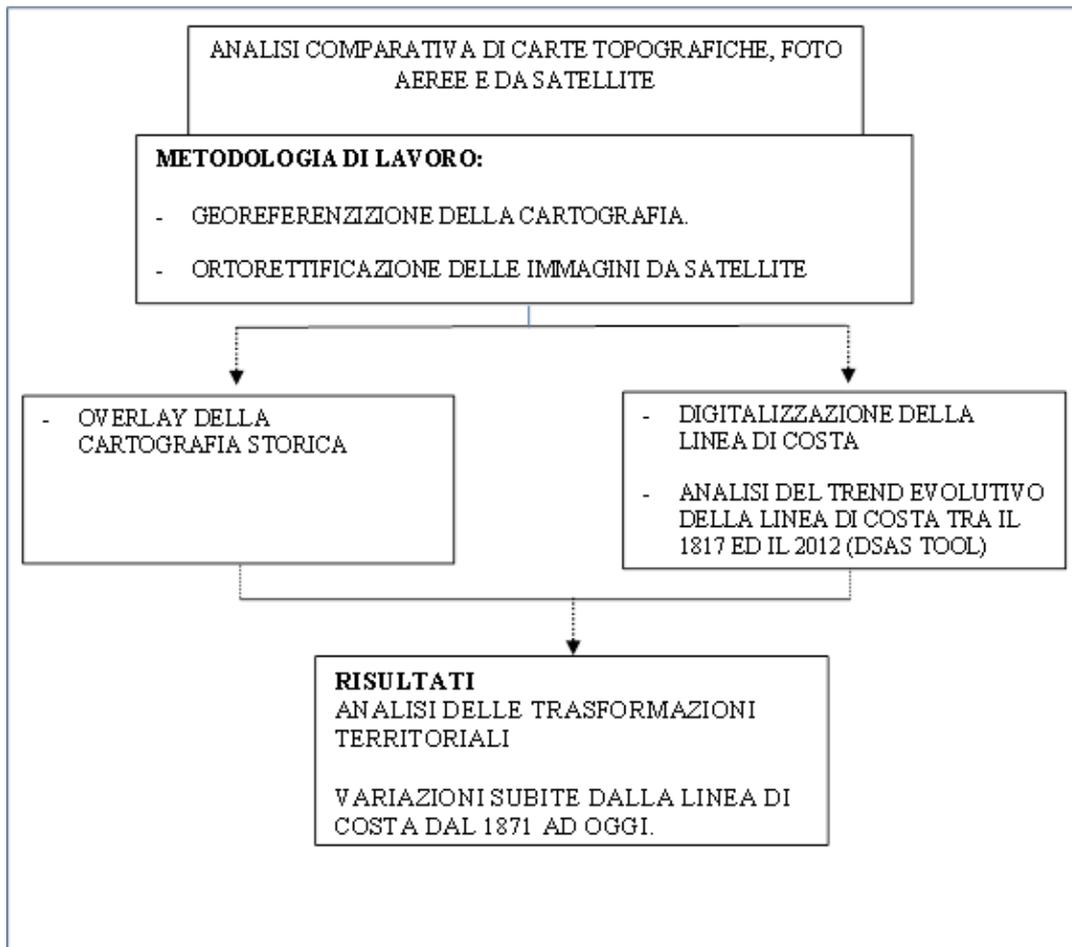


Figura 2 - Diagramma di flusso della metodologia utilizzata per lo studio delle variazioni della linea di costa della piana del fiume Volturno.

Le carte storiche sono state georiferite utilizzando come riferimento la carta tecnica della Regione Campania in scala 1:5.000. Il processo richiede l'identificazione di un congruo numero di punti di controllo (GCPs) con coordinate x, y che si uniscono agli stessi punti sulla cartografia con coordinate non note.

Le variazioni della linea di costa sono state calcolate utilizzando l'applicativo DSAS, un'estensione del software ArcGIS (ESRI, Redlands, California). Questo programma ha consentito di definire le variazioni della linea di costa dal 1817 al 2012 lungo 165 transetti distanziati tra di loro di 200 m.

In dettaglio le variazioni tra due successive linee di costa hanno consentito di comprendere il comportamento della costa in differenti intervalli temporali (Thieler and Danforth, 1994; Addo et al., 2008; Houser et al., 2008; Leyland and Darbya, 2008; Alberico et al., 2011). L'analisi delle linee di costa relative all'intero intervallo temporale investigato invece hanno permesso di definire il trend e la ciclicità delle variazioni della linea di costa (Morton et al., 2004).

3.3 Analisi dei dati

Per la fascia costiera della piana del fiume Volturno si descrivono di seguito i principali cambiamenti che hanno coinvolto l'area dal 1817 ad oggi sia in termini di variazioni della linea di costa che di trasformazioni del territorio ad opera dell'uomo.

3.3.1 Variazioni della linea di riva della piana del fiume Volturno

Le variazioni della linea di costa della piana del fiume Volturno sono state descritte tramite due metodi di analisi, il confronto tra due linee di costa temporalmente successive e la comparazione contemporanea di tutte le nove linee di costa individuate per l'intervallo temporale investigato (1817-2012).

Cocco e De Pippo (1988) descrivono la forma della costa per l'anno 1600 d.C. attraverso l'allineamento delle torri di guardia, identificando così a partire dal 1809 una progradazione della costa con un valore medio di 1m/anno.

Dal 1817 al 1860 la costa subisce un arretramento con valori di erosione che aumentano spostandosi dal Lago Patria verso la foce del Fiume Volturno (Fig. 3) mentre in prossimità del canale Agnena (noto anche come Alveo della Piana ed ancora come Foce delle Bagnane) la linea di costa risulta in avanzamento. Dal canale Agnena, spostandosi verso Mondragone, la costa si presenta in erosione ma con valori ridotti di arretramento (Fig. 3).

Dal 1860 al 1936 l'intera linea di costa subisce una fase di avanzamento con i tassi più alti nel settore prossimo alla foce del fiume Volturno (Fig. 3). Tale progradazione si mantiene anche dopo il 1936 con la sola eccezione della foce del fiume Volturno che mostra invece tassi di erosione medi pari a -1,52 m/anno (Fig. 3).

A partire dagli anni sessanta, le aree costiere subiscono un profondo cambiamento fortemente legato alla presenza dell'uomo e dalle sue opere.

Nel settore in studio, a nord del Lago Patria si osserva una relativa stabilità (Fig. 3). La linea di costa risulta in accrezione alla foce dei Regi Lagni, le aree prossime alla foce del fiume Volturno risultano 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. 3).

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) con tassi di erosione medi di -8 m/anno (Fig. 3). Il settore costiero prossimo alla foce dei Regi Lagni risulta invece in avanzamento con tassi medi di 9 m/anno.

Dal 1989 al 1997 l'area esposta a erosione è delimitata alle zone prossime alla foce del fiume Volturno con tassi medi compresi tra -3 e -6 m/anno. A nord di tale 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.

Dal 1997 al 2004 la sponda sinistra del fiume Volturno 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.

Dal 2004 al 2010 la sponda sinistra del fiume Volturno è ancora in avanzamento mentre le aree immediatamente a sud della sponda e quelle ubicate a nord della sponda destra risultano in erosione (Fig. 3). Dal 2010 al 2012, l'area a sud della località Pineta Mare subisce una fase erosiva (1.9 m/anno) mentre procedendo verso sud il tratto immediatamente successivo risulta in avanzamento con un valore medio di 4m/anno. A nord del Volturno si alternano invece tratti di costa in erosione ed in avanzamento.

PROGETTO PONA3_00363 I-AMICA
 (Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

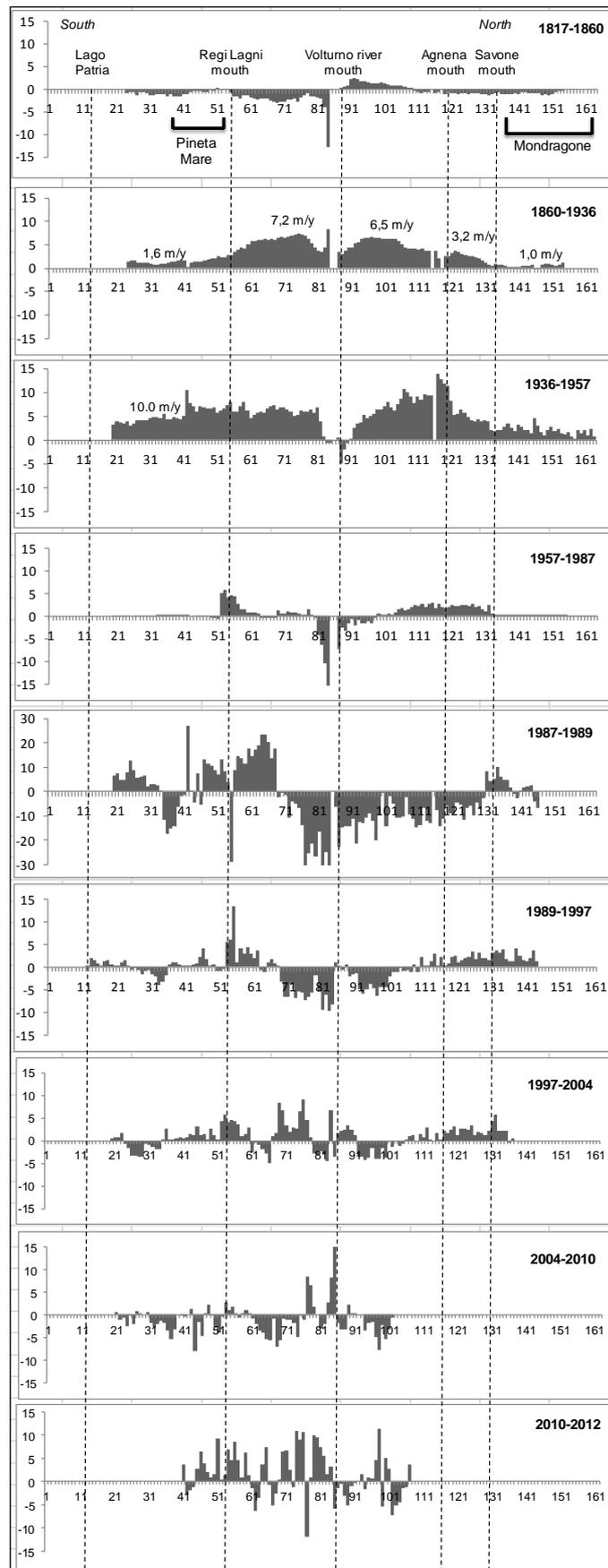


Figura 3 - Confronto di due linee di costa consecutive nel tempo e relative variazioni.

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

La carta storica del 1817 mostra un paesaggio naturale con piccole aree urbanizzate localizzate molto a nord della foce del Volturno tra le località di Mondragone, S. Nicola, S. Angelo e San Vito.

L'abitato di Castel Volturno, fatta eccezione di poche masserie dislocate 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. Unico asse viario presente è quello che conduce da Castel Volturno a Capua (Fig. 4a).

Nelle carte del 1860 è evidente un piccolo gruppo di case sul lato destro della foce del fiume Volturno, molto prossimo alla costa. Un'estesa pineta si osserva su entrambi i lati della foce del fiume Volturno che viene denominata "Pineta di Mondragone" e "Pineta di Castel Volturno", quest'ultima, che si estende fino al Lago Patria, 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. 4b).

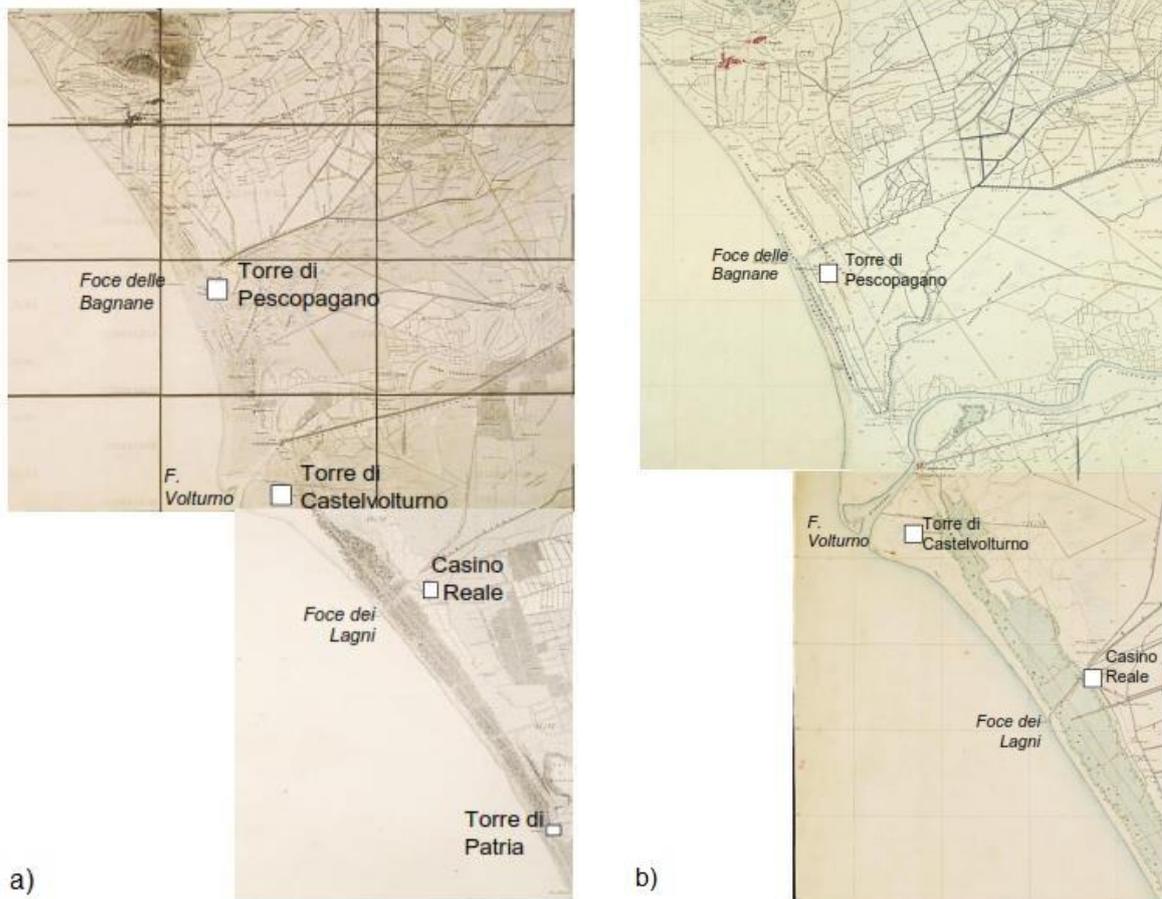


Figura 4 - Carte storiche del 1817 (a) e del 1860 (b).

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Nelle carte del 1907, la città di Castel Volturno si presenta con un'estensione prossima a quella evidenziata nelle cartografie più antiche. La città di Mondragone si estende verso la costa ed è evidente una densificazione della rete viaria (Fig. 5a).

Nella cartografia del 1936 la città di Mondragone raggiunge la costa; in questo periodo a circa 300 m dalla costa viene costruito lo stabilimento industriale della Cirio. Mentre la città di Castel Volturno non subisce espansioni, sul lato destro del fiume Volturno a circa 900 metri dalla costa sorge un piccolo agglomerato di case denominato Villaggio Agricolo. In questo intervallo temporale la rete viaria diventa sempre più fitta (Fig. 5b).

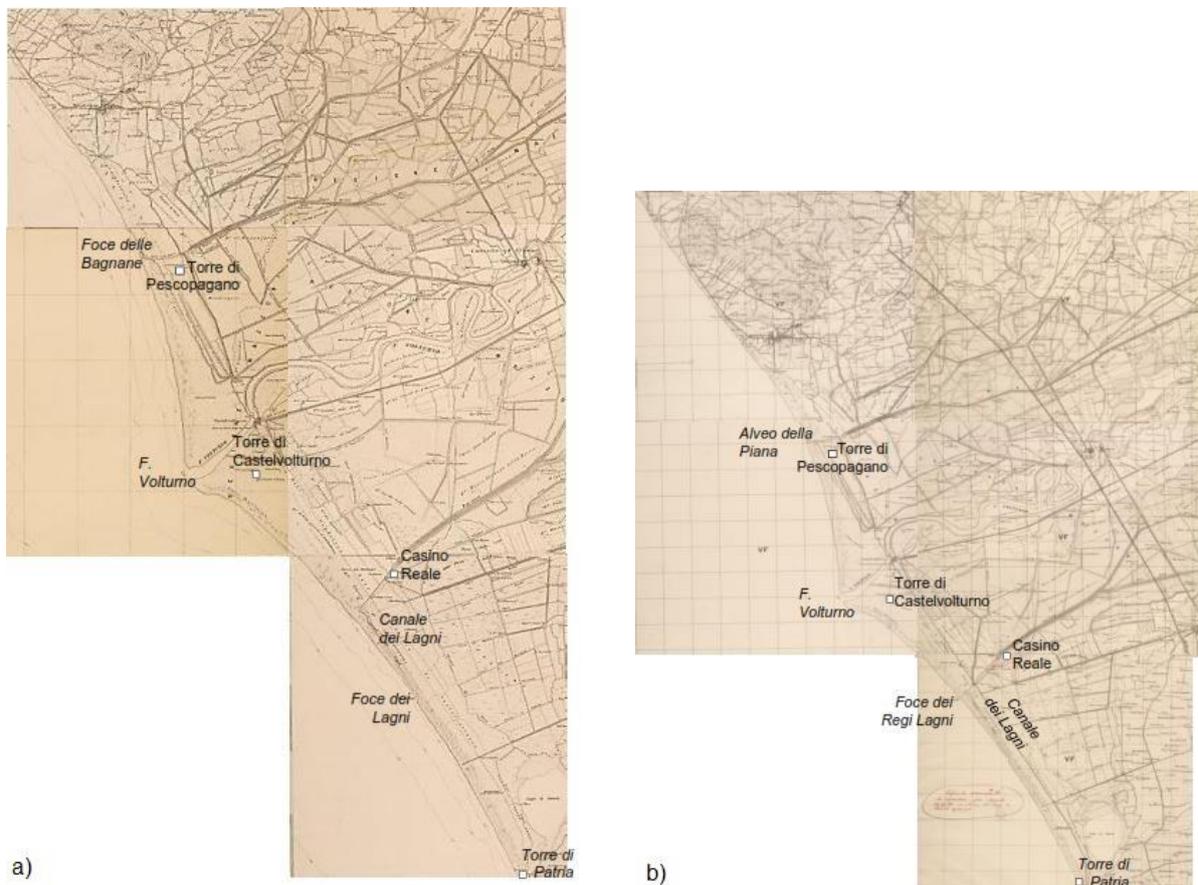


Figura 5 - Carte storiche del 1907 (a) e del 1936 (b).

Nel 1957, Mondragone si espande e a nord dello stabilimento industriale Cirio cresce un agglomerato di edifici di cui diversi distano non più di 130 m dalla costa. Costruzioni isolate nascono anche lungo la strada statale costiera Domiziana (N° 7 Quater) che porta da Mondragone verso Castel Volturno (Fig. 6a), mentre la città di Castel Volturno si accresce verso sud lungo la stessa strada e nuovi piccoli nuclei composti da pochi edifici si insediano a in località Scatozza (verso mare).

In destra Foce Volturno compare il Faro ad una distanza di circa 240 m dalla costa. In località Masseria Pineta d'Ischitella si registra un piccolo aumento di residenze ed uno stabilimento balneare proprio a ridosso della costa.

Nel 1987 è evidente lungo la costa lo sviluppo urbano della città di Mondragone, concentrato tra Punta dei Tamari ed il Torrente Savone (Fig. 6b).

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Un nucleo urbano poco denso è presente tra il torrente Savone ed il Canale Agnena e diventa denso da tale canale fino a foce Volturmo con una distanza dalla costa che decresce (circa 400 m) man mano che ci si avvicina alla foce del Volturmo (sulla costa).

In destra del Volturmo si notano le prime opere di difesa costiera. Vi è una crescita di urbano in località Scatozza ma la parte più intensamente urbanizzata resta sempre la fascia costiera (esclusa l'area dei Variconi) ad una distanza dalla costa intorno ai 500 m, distanza che aumenta per le aree costruite in località Scuderia (850 m) fino alla foce dei Regi Lagni.

A sud dei Regi Lagni si sviluppa un'estesa area urbanizzata oltre la SS7 quater verso l'interno, mentre sulla costa nasce una ampia struttura con porticciolo annesso ed opere lungo la costa (Villaggio Coppola).

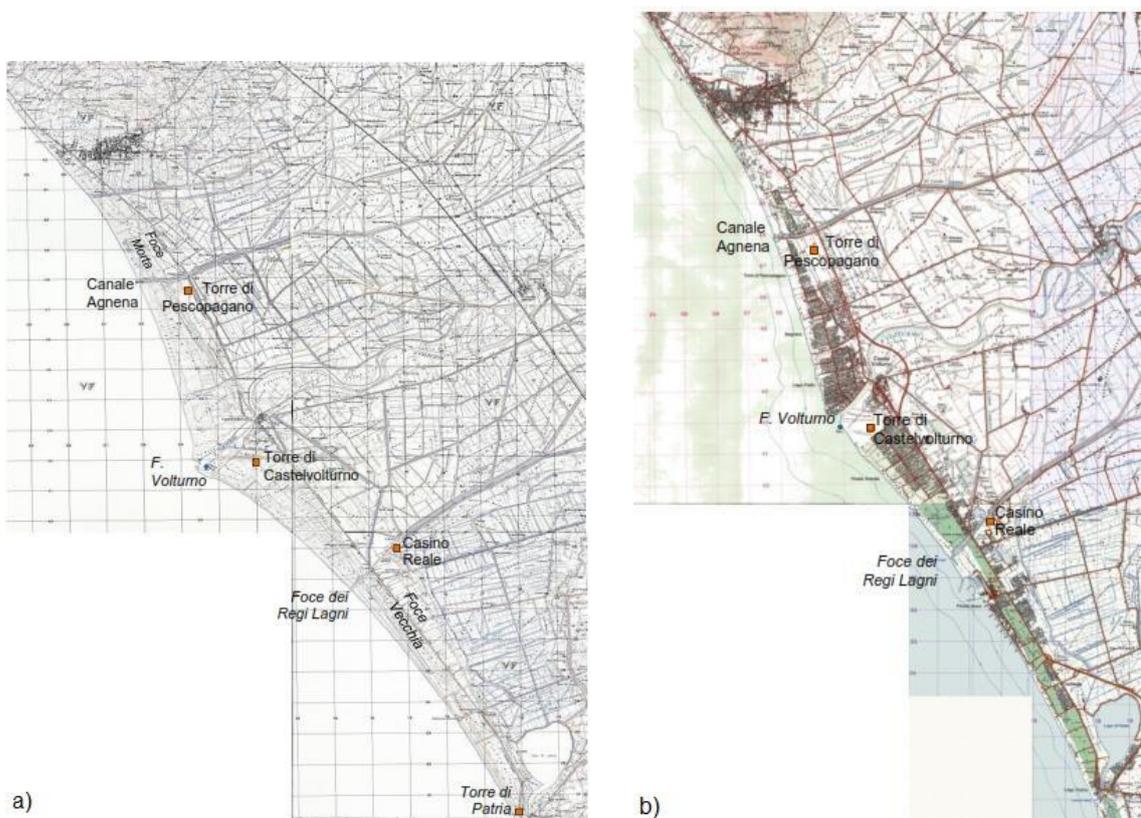


Figura 6 - Carte storiche del 1957 (a) e del 1987 (b).

Anche in località Masseria Pineta d'Ischitella si registra un aumento di residenze che si spingono fino alla parte alta del lago Patria.

Dalla cartografia del 1988 emerge un notevole incremento delle strutture balneari lungo tutta la costa, ma le profonde modificazioni al territorio si verificano solo negli anni ottanta (Fig. 7a).

Negli anni successivi si registrano invece piccoli incrementi delle aree urbanizzate come mostrano sia l'immagine satellitare Daedalus del 2012 (Fig. 7b) che le immagini Google Earth (Fig. 8).

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

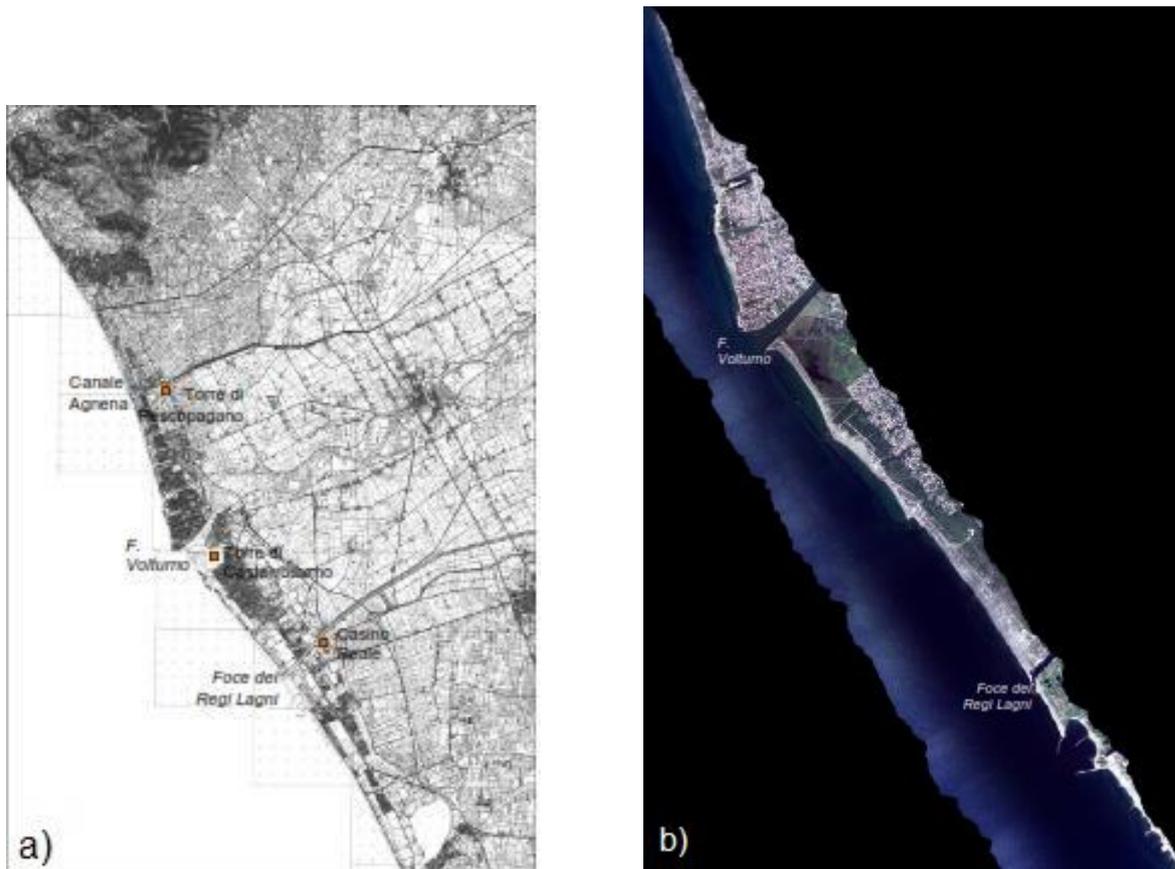


Figura 7 - Carta Tecnica della Regione Campania (a), immagine satellitare Daedalus (b).

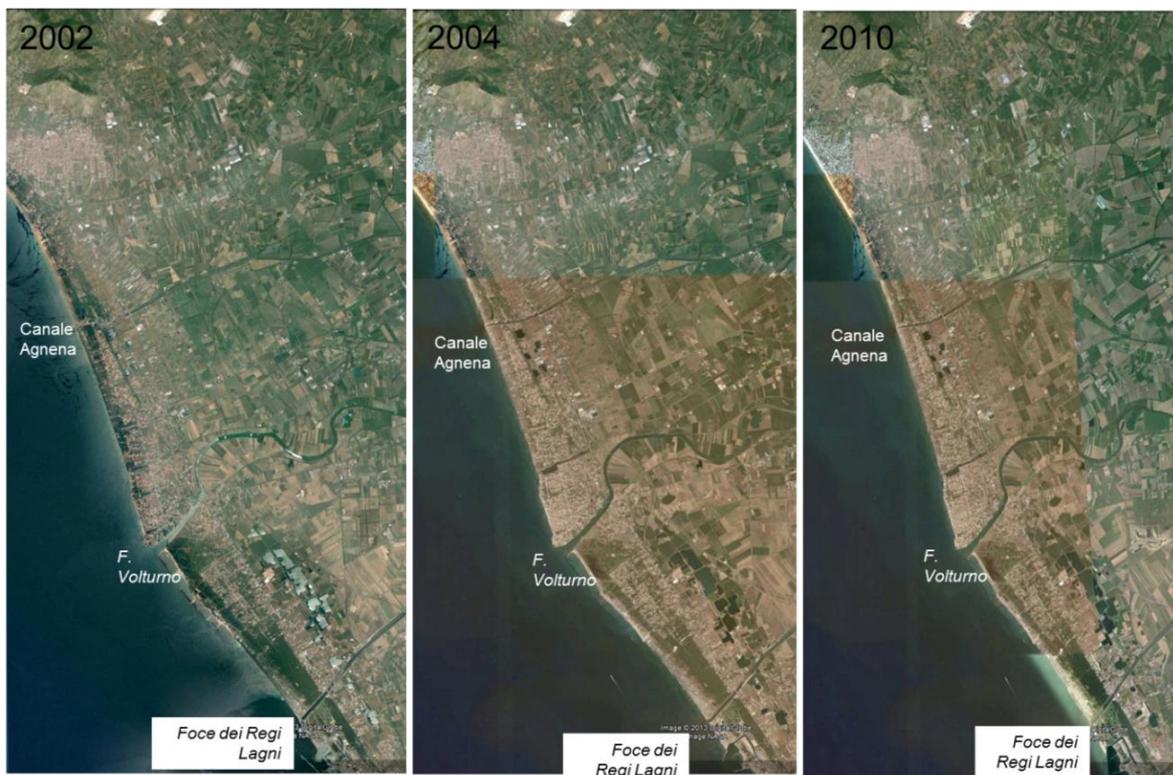


Figura 8 - Immagini da Google Earth.

Dall'analisi dei dati si evidenzia che nell'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 (Fig. 9).

In particolare l'elaborazione dei dati raccolti evidenzia come dalla fine degli anni settanta la presenza dell'uomo sul territorio e l'incremento delle sue opere crescono in modo esponenziale ed influenzano la naturale evoluzione del tratto costiero esaminato.

In particolare nel golfo di Gaeta sono state realizzate 52 opere di difesa costiera, 2 porti turistici e 4 opere di difesa portuale che insistono su un tratto di costa di circa 12 km.

La diffusa antropizzazione durante questo intervallo temporale è probabilmente responsabile dell'alternanza di aree in avanzamento e di aree in erosione che caratterizzano la costa dagli anni novanta in poi.

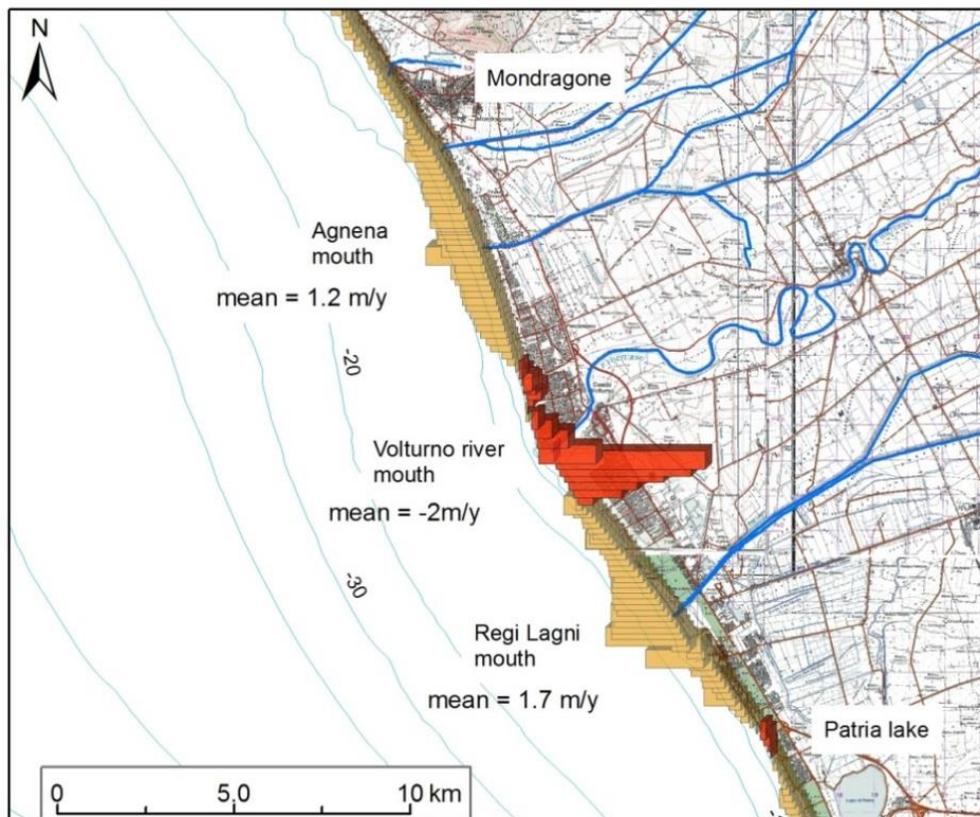


Figura 9 - Mappa delle variazioni della linea di costa tra il 1817 ed il 2012

Bibliografia

- Alberico I., Fagnano M., Dal Piaz A., Anzalone E., Barra R., Ferraro L., Giordano L., Di Fiore V., Marsella E., 2013. The Land Cover Changes as Tools to Support the Preservation of Naturalness at the Sele Coastal Plain (Southern Italy). In Coastal Ecosystems Types, Sustainable Management and Conservation Strategies. Nova Science Publishers, Inc. New York, 109-128.
- Alberico I., Amato V., Aucelli P P C., Di Paola G., Pappone G., Rosskopf C.M., 2012. Historical and recent changes of the Sele River coastal plain (Southern Italy): natural variations and human pressures Rend. Fis. Acc. Lincei, 23(1), 3-12.

- Alberico I., Amato V., Aucelli P.P.C., D'Argenio B., Di Paola G., Pappone G., 2012. Historical Shoreline Change of the Sele Plain (Southern Italy): The 1870–2009 Time Window. *Journal of Coastal Research*, 28 (6) 1638-1647.
- 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.
- Amato V., Avagliano G., Cinque A., Cipriani M., Di Paola G., Pontrandolfo A., Roszkopf M.C., Santoriello A., 2009. Geomorphology and geoarchaeology of the Paestum area: modification of the physical environment in historical time., *Méditerranée*, 112, 129-135.
- Anders F.J. and Byrnes M.R., 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59(1), 17-26.
- Calafat F.M. and Gomis D., 2009. Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945-2000. *Global and Planetary Change*, 66 (3-4), 225-234.
- Camfield F.E., Morang A., 1996. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean & Coastal Management*. 3, 129-151.
- Chuvieco E., 2000. *Fundamentos de teledetección en espacial*, Madrid: Rialp Eds.
- Cocco E. and De Pippo T., 1988. Tendenze evolutive e dinamica delle spiagge della Campania e della Lucania. *Mem. Soc. Geol. It.*, 41 (5), 1955-204.
- Cooper N.J. and Jay H., 2002. Predictions of large-scale coastal tendency: development and application of a qualitative behavior-based methodology, *Proceedings of the International Coastal Symposium (ICS, 2002)*. *Journal of Coastal Research*. Special Issue 36, 173-181.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K., 1991. Historical shoreline change: Error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839-852.
- Crowell M., Leatherman S.P., Buckley M.K., 1993. Erosion rate analysis: Long term versus short term data, *Shore and Beach*. 61 (1), 13-20.
- Dickson M.E., Walkden M.J., Hall J.W., 2007. Systemic impacts of climate change on an eroding coastal region over the twenty-first century. *Climatic Change*, 84(2), 141-166.
- Dolan R., Hayden B., May P., Suzette R., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48, 22-29.
- Dolan R., Fester M.S., Holme S.J., 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 723-744.
- EEA, 2010a. 10 messages for 2010 — Climate change and biodiversity. European Environment Agency, Copenhagen. Available at: www.eea.europa.eu/publications/10-messages-for-2010-climate-change [Accessed 10 September 2013].
- FitzGerald D.M., 1988. Shoreline erosional-depositional processes associated with tidal inlets. In: D.G. Aubrey, L. Weishar (Eds.), *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, Springer-Verlag, New York, 186-225.
- Gibeaut J.C., Waldinger R., Hepner T., Trembla, T.A., White W.A., Xu L., 2003. Changes in bay shoreline position, west bay system, Texas, Report of the Texas coastal coordination council pursuant to national oceanic and atmospheric administration award No. NA07OZ0134 GLO Contract Number 02-225R.
- Giese G.S., 1978. *The barrier beaches of Chatham, Massachusetts*. Provincetown, MA: Province town Center for Coastal Studies. Tech Report 78-21, 38pp.
- Giese G.S., 1988. Cyclical behavior of the tidal inlet at Nauset Beach, Chatham – Massachusetts. In: D.G. Aubrey, L. Weishar (eds), *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, New York: Springer-Verlag, pp. 269-283.
- Gornitz V., Lebedeff S., Hansen J., 1982. Global sea level in the Past Century. *Science*, 215, 1611-1614.
- Hapke C.J., Reid D., Richmond B.M., Ruggiero P. J., 2006. List, National assessment of shoreline change part 3: Historical shoreline change and associated coastal land loss along sandy shorelines of the California coast. US Geological Survey Open File Report 1219, 79 pp.
- Hinrichsen D., 1998. *Coastal Waters of the World: Trends, Threats, and Strategies*. Washington, DC: Island Press, 275 pp.

- 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.
- IPCC, Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Working Group I Report, The Physical Science Basis, 2007, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm> (accessed 20.11.2007).
- Ippolito F., Ortolani F., Russo M., 1973. Struttura marginale tirrenica dell'Appennino Campano: reinterpretazione di dati di antiche ricerche di idrocarburi. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 12, 227-250.
- Jimenez J.A., Sanchez-Arcilla A., Bou J., Ortiz M.A., 1997. Analyzing short-term shoreline changes along the Ebro Delta (Spain) using aerial photographs. *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1256-1266.
- Klein M., Lichter M., 2009. Statistical analysis of recent Mediterranean Sea-level data. *Geomorphology*, 107, 3-9.
- Langfelder L.J., Stafford D.B., Amein M., 1970. Coastal erosion in North Carolina. *Journal of Waterways and Harbors Division*, 962, 531-545.
- Leatherman S., 1983. Shoreline mapping: a comparison of techniques. *Shore and Beach*, 51, 28-33.
- Leyland J., Darby S.E., 2008. An empirical-conceptual gully evolution model for channeled sea cliffs. *Geomorphology*, 102(3-4), 419-434.
- Mangiarotti S., 2007. Coastal sea level trends from TOPEX-Poseidon satellite altimetry and tide gauge data in the Mediterranean Sea during the 1990s. *Geophys. J. Int.*, 170, 132-144.
- Marcos M., Tsimplis M., 2008. Coastal sea level trends in Southern Europe. *Geophys. J. Int.*, 175, 70-82.
- Mcbride R.A., Hiland M.W., Penland S., Williams S.J., Byrnes M.R., Westphal K.A., Jaffe B.E., Sallenger A.H., 1991. Mapping barrier island changes in Louisiana: techniques, accuracy, and results. *Proceedings of the Coastal Sediments '91*, Seattle, Washington, 1011-1026.
- Millennium ecosystem assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis Report*. Island Press, Washington, DC. 1-155 Available at: <http://maweb.org/documents/document.356.aspx.pdf> [Accessed 5 October 2013].
- Moore L., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 111-124.
- Morton R.A., 1978. Analysis of sequential shoreline changes. In: W.F. Tanner (ed.), *Standards for measuring shoreline changes*. Tallahassee, Florida: State University, pp. 43-48.
- 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.
- Pajak M.J., Leatherman S., 2002. The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*. 18(2), 329-337.
- Romagnoli C., Mancini F., Brunelli R., 2006. Historical shoreline changes at an active island Volcano: Stromboli, Italy. *Journal of Coastal Research*, 22(4), 739-749.
- Stafford D., 1971. An aerial photogrammetric technique for beach erosion surveys in North Carolina, Virginia. Coastal Engineering Research Centre.
- Smith A.W.S., Jackson L.A., 1992. The variability in width of the visible beach. *Shore and Beach*, 60(2), 7-14.
- Small C., Nicholls R.J., 2003. A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19(3), 584-599.
- Thieler E.R., 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.
- Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Miller T.L., 2005. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.0: an ArcGIS© extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report 1304.
- Wiegel R.L., 2005. *Oceanographical Engineering*, Prentice-Hall, Inc., 1964, Englewood Cliffs, NJ, 1964, 532 pp. Dover edition, slightly corrected, unabridged republication of the 4th printing, Dover Publications, Inc., Mineola.

CAPITOLO 4

Evoluzione della fascia costiera terra-mare

4.1 Introduzione

Questo capitolo è dedicato alla descrizione della geologia e stratigrafia della fascia marina-costiera, nell'arco temporale degli ultimi 5000 anni.

E' 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; Vilaro et al., 2009) e/o glacioisostatiche (Antonioli et al., 2006; Antonioli e Silenzi, 2007), a movimenti vulcano-tettonici (Milia et al., 2006; Sacchi et al., 2014b).

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.

L'area di studio, che riguarda il settore prospiciente la Foce del Volturno, occupa una posizione centrale nel Golfo di Gaeta e corrisponde ad un'area strutturalmente ribassata dove il basamento acustico è a profondità di oltre 3 s (twtt) (Torrente e Milia, 2013), sul quale si è accumulata una successione di depositi marini, epiclastici e vulcanoclastici.

4.2 Inquadramento geologico

La Piana Campana ed il Golfo di Gaeta si impostano in un settore ribassato del basamento carbonatico meso-cenozoico 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 peritirrenici", in quanto geneticamente collegato all'apertura del Mar Tirreno meridionale, interpretato da un punto di vista geodinamico, come un bacino di retroarco (Patacca et al., 1990). Gli alti flussi di calore relativi ad una litosfera assottigliata, sono associati a imponenti risalite magmatiche (Lavecchia e Stoppa, 1996) che dal Pliocene superiore hanno dato origine ai complessi vulcanici delle Isole Pontine, Ischia, Procida e Campi Flegrei e agli edifici vulcanici di Roccamonfina e Vesuvio (Torrente e Milia, 2010 e riferimenti). Recentemente sono stati localizzati nel sottofondo del Golfo di Gaeta altri edifici vulcanici di età dal tardo Pleistocene fino a 0.1 Ma (Zitellini et al., 1984; Bartole et al., 1994; de Alteriis et al., 2006; Torrente e Milia, 2013). La diacronia dell'età di attività delle faglie, più antica nel Golfo di Gaeta (0.4–0.1 Ma) e relativamente più recente nei Campi Flegrei e nel Golfo di Napoli (<0.1 Ma; Milia e Torrente, 2003; Bellucci et al., 2006; Torrente e Milia, 2010), rivela che la tettonica estensionale ed il vulcanismo associato hanno migrato progressivamente verso est.

La baia di Gaeta include tre bacini (settentrionale, centrale e meridionale) con una complessa compagine stratigrafica (Fig. 1): nei bacini settentrionale e centrale un deposito sin-rift (unità PP) pliocenico è sepolto da un deposito aggradante (unità A, 1.2-0.7 Ma) del Pleistocene inferiore, che sutura i dislivelli morfostutturali; una successione del Pleistocene medio, post 0.7 Ma (unità B), si è deposta nel bacino con geometrie di aggradazione laterale; successivamente, un ampio deposito (unità C) marca lo shift del sistema piattaforma-scarpata verso mare a partire dai 0.4 Ma (Torrente e Milia, 2013; Milia e Torrente, 2014) per oltre 20 km. Le unità oloceniche di piattaforma che registrano la trasgressione post-glaciale e a partire dai 6000 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).

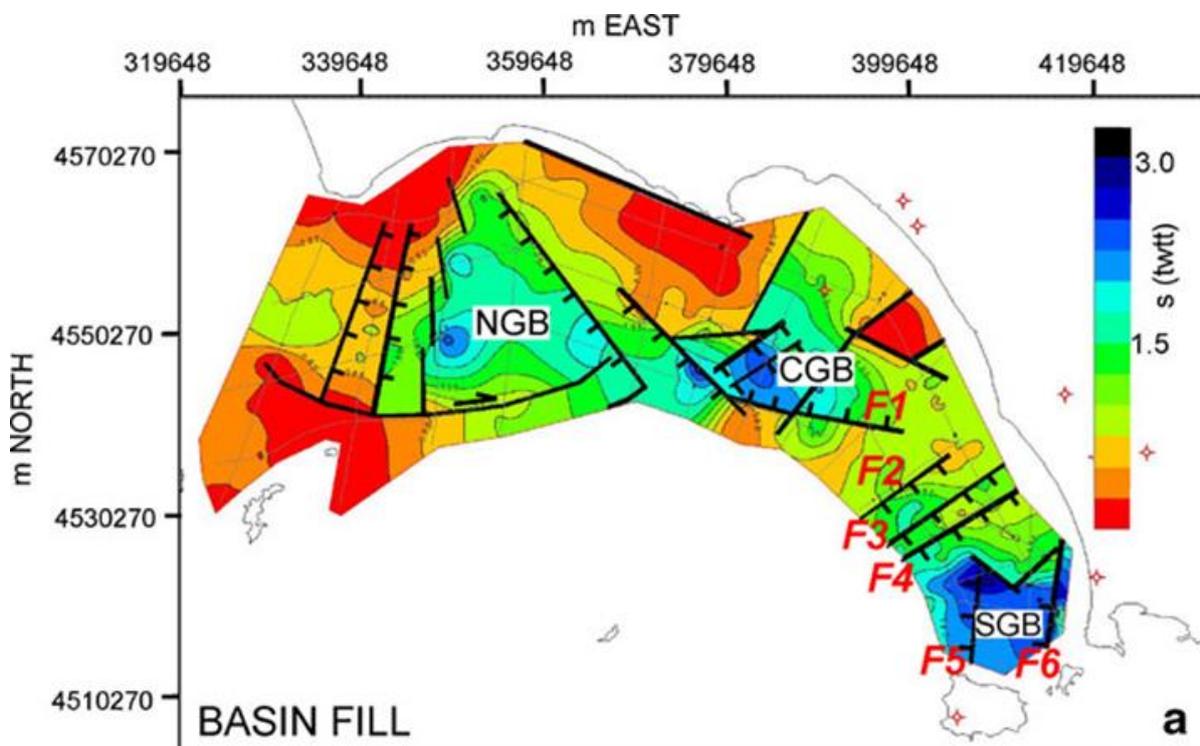


Figura 1 - Isochrone (in secondi, twtt) del riempimento clastico Plio-Pleistocenico nel Northern Gaeta Basin (NGB), Central Gaeta Basin (CGB) e Southern Gaeta Basin (SGB) sul substrato Meso-Cenozoico (da Torrente e Milia, 2013).

Nelle aree costiere, i dati di pozzo 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), intensamente 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 reincisione 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.

4.3 Analisi dei dati

Sono stati analizzati i dati sismostratigrafici (Subbottom Chirp e Sparker), litostratigrafici e di batimetria acquisiti con ecoscandaglio multifascio (Fig. 2). I dati Subbottom e Sparker sono stati acquisiti durante due campagne oceanografiche, la prima realizzata nell'ambito del Progetto CARG (GMS02_01) e la seconda realizzata nell'ambito del progetto I-AMICA (campagna I-AMICA_2013_01) e danno informazioni rispettivamente sui primi 50 m e 200 m del sottofondo.

La calibrazione degli orizzonti stratigrafici nelle sezioni sismiche di alta risoluzione è stata effettuata con la carota a gravità C5, prelevata durante la campagna I-AMICA_2013_01 (7,11 m di penetrazione) e con i dati bibliografici litologici dei sondaggi alla foce del fiume Volturno (Amorosi et al., 2012; Sacchi et al., 2014a).

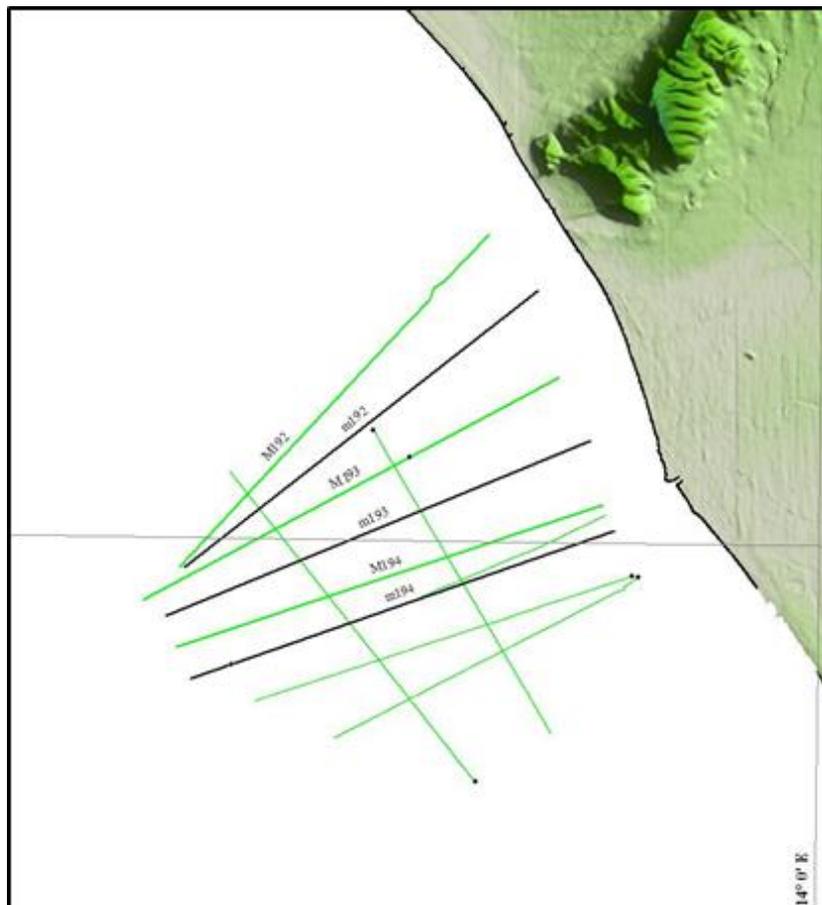


Figura 1 - Ubicazione delle linee sismiche Sparker (traccia in verde) e Subbottom (traccia in nero), utilizzate in questa relazione. La carota a gravità C5 è in rosso mentre il sondaggio CV005 in giallo (Amorosi et al., 2012; Sacchi et al., 2014)

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 alternanze con livelli pelitici e probabilmente da orizzonti di materiale vulcanoclastico. 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.

4.4 Risultati

- *La topografia sottomarina*

Il settore in cui si è rilevata la batimetria è ampio circa 20 km in prossimità della piattaforma continentale e circa 6 km alla foce del Fiume Volturno (parallelamente alla linea di costa).

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. 2) marcano i passaggi di ambiente deposizionale (fronte deltizio, prodelta, piattaforma esterna, scarpata).

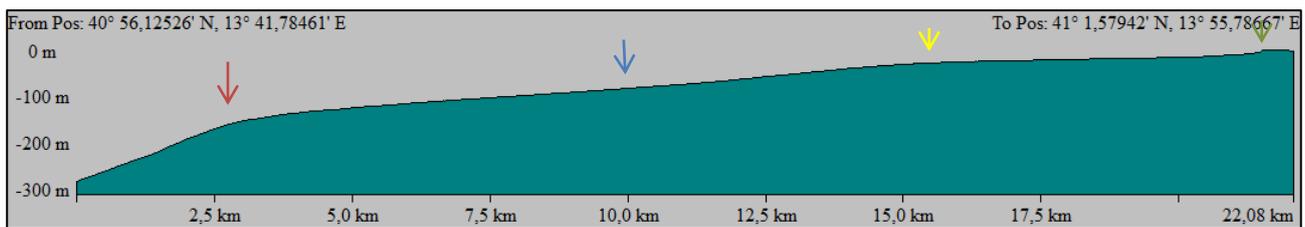


Figura 2 - Profilo topografico terra (dx) mare (sx) nel settore prospiciente la foce del Fiume Volturno. Le frecce indicano la rottura di pendenza tra margine di piattaforma e scarpata (rosso, -150 m), tra prodelta e piattaforma esterna (blu, -70 m), del fronte deltizio (giallo, -25 m) e della barra di foce? (verde, -12 m).

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. 3).

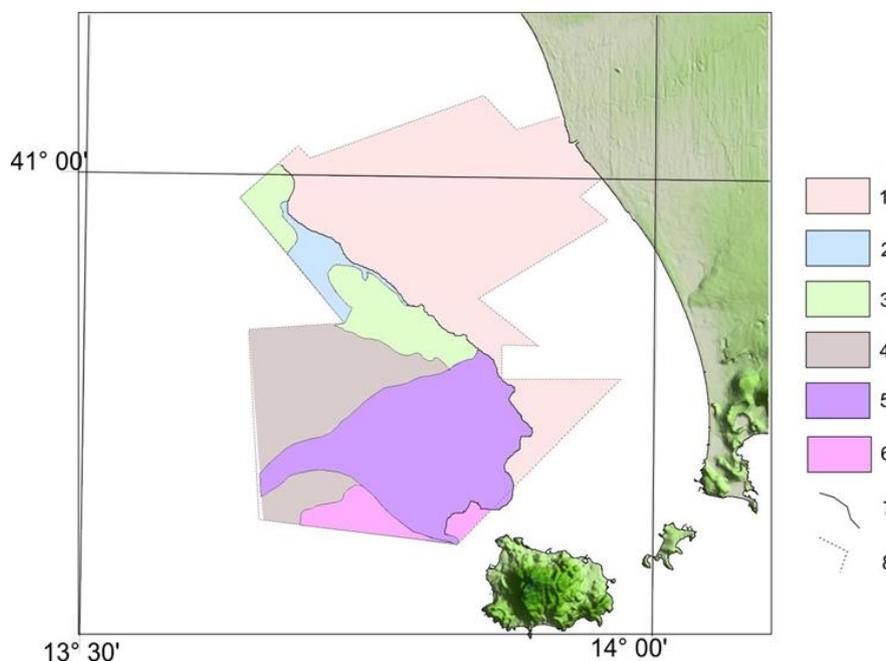


Figura 3 - Sistemi erosivo-deposizionali in piattaforma-scarpata continentale: 1) aree di piattaforma, 2) aree di scarpata, 3) aree di scarpata in erosione, 4) depocentri in scarpata di flussi canalizzati e flussi in massa, 5) sistema torbido del Canyon di Cuma, 6) aree a substrato vulcanico sub-affiorante,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

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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 alimenta un canale meandrificato dai -700 m circa, probabilmente con correnti di torbida. Infatti la presenza di un sistema argine-canale sono associati a flussi canalizzati. Lateralmente al sistema torbido si distinguono aree a fondo piatto e bassa pendenza ($<2^\circ$) che costituiscono probabilmente aree di recapito dei depositi di tracimazione dal canyon e dei *mass flow* dalle zone della scarpata in arretramento (Fig. 4).

- *La stratigrafia del sottofondo*

I profili orientati trasversalmente alle isobate evidenziano le geometrie delle unità sismo-stratigrafiche e dei riflettori che le compongono.

Le registrazioni evidenziano procedendo da terra verso mare (Fig. 4):

- 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 chiude in prossimità del ciglio di piattaforma il cui limite superiore è un riflettore ad alta ampiezza ed indistinto riconoscibile fino a -60 ms (al di sotto del quale si osserva zona sorda) e un riflettore a bassa ampiezza ed alta continuità laterale fino a -200 ms circa; 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 vh);
- 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 ed è correlabile alla superficie di esposizione subaerea durante la fase di massima regressione glacio-eustatica il cui massimo sviluppo si è realizzato circa 20 ka BP a scala globale (K Lambeck and Chappell 2001);
- una unità spessa fino a 15 ms (us5) ubicata in piattaforma esterna 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.

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 5 è mostrata la linea Subbottom Chirp m194 calibrata dal carotaggio a gravità C5.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

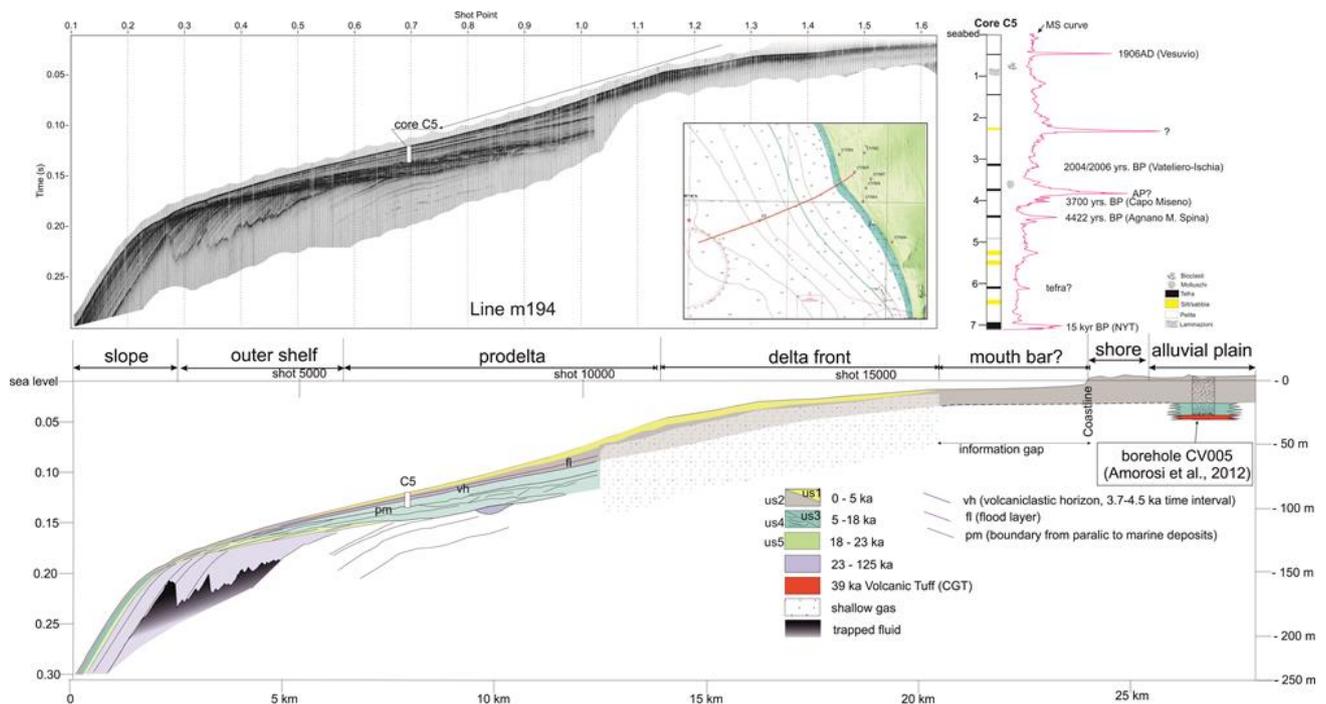


Figura 4 - Linea Subbottom Chirp m 194 (Fig. 1) con l'interpretazione delle unità e degli orizzonti significativi e sua calibrazione con il carotaggio a gravità C5; nella parte bassa una correlazione con la stratigrafia del sondaggio CV005 (Amorosi et al., 2012, Sacchi et al., 2014).

E' 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 eustatico post-glaciale tra i 18 e i 5 ka BP (Fig. 5).

L'orizzonte diacrono *pm* marca il passaggio tra sedimentazione paralica e sedimentazione marina (Fig. 6), quindi il limite fra us3 e us4 non ha la stessa età in tutti i punti bensì è più recente procedendo verso costa. L'orizzonte *vh* (Fig. 6) 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 (D.D. Insinga, comunicazione personale).

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. 5).

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 ms 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) (vedi Capitolo 3), dovuta ad uno spazio di accomodamento limitato.

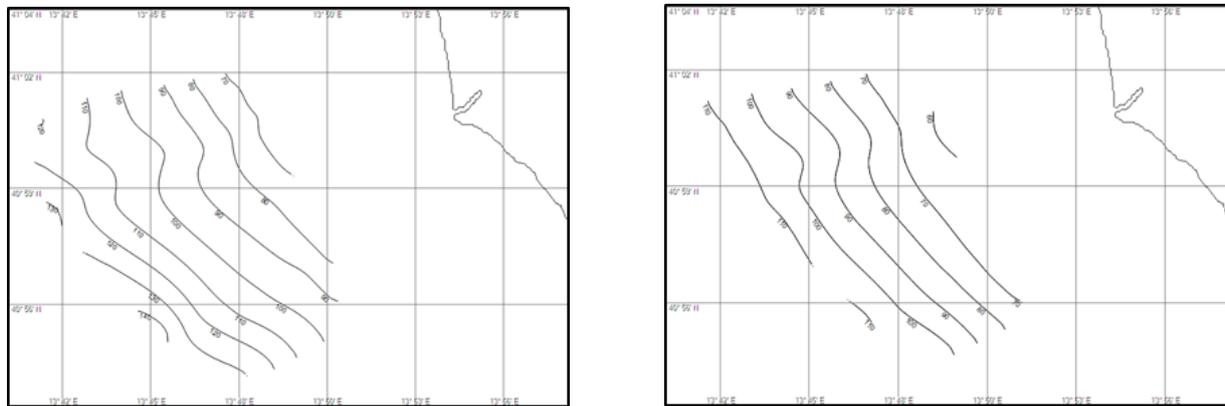


Figura 5 - A sinistra, profondità (m) della superficie tempo-trasgressiva (pm) che segna il passaggio fra deposizione paralica di ambienti di transizione e sedimentazione marina durante la fase di risalita eustatica post-glaciale; a destra, profondità (m) dell'orizzonte guida vh, che include livelli vulcanoclastici deposti tra 3.7 e 4.5 ka BP.

- *I tassi di sedimentazione in piattaforma esterna*

Il tasso di sedimentazione (T_s) nei settori costieri rappresenta un parametro di rilievo per le valutazioni sull'impatto antropico in aree marine, per la ricerca dei livelli di bianco in aree impattate da sostanze inquinanti e per la valutazione del carico solido dei corsi d'acqua.

La misurazione del T_s , in aree marine può essere fatta sulla base dei profili sismici di alta risoluzione o sulla base dei dati di campionatura. Tuttavia la valutazione da sismica necessita il riconoscimento di riflettori ben distinti di età certa e di velocità delle V_p (onde prime) nei mezzi attraversati per conversioni tempi/distanze affidabili. La valutazione da litostratigrafie di carotaggi a gravità è affetta dall'azione deformativa del campionamento che provoca inevitabilmente una deformazione della compagine stratigrafica in termini di *core shortening* (Skinner and McCave, 2003). Di recente è stato valutato sperimentalmente che l'accorciamento in taluni casi può spingersi fino al 40% della lunghezza totale (Budillon et al., submitted).

La verifica dei reali spessori stratigrafici è quindi una operazione di non facile risoluzione ed il problema della sua definizione va affrontato utilizzando una serie di accorgimenti che includono sia doppi campionamenti per sito, con metodologie complementari (ad esempio piston corer + box-corer o gravity corer + SW104), per valutare l'entità del compattamento, sia valutazioni comparative, per approssimazioni successive, tra gli spessori stratigrafici espressi in tempi e convertiti in distanze e gli spessori litostratigrafici "corretti" in carota.

La carota C5 ha recuperato 7.11 m di sedimento alla profondità di circa 90 m, in un contesto di sedimentazione pelitica. L'identificazione del tefra alla base della carota come un orizzonte in posizione primaria relativo all'eruzione del TGN (Scarpati et al., 2003; Deino et al., 2004), quindi di età 15 ka BP, comporta che la base della carota ricada nel Transgressive Systems Tract della Sequenza Deposizionale Tardo Quaternaria (Catalano et al., 1996). Non è pertanto plausibile che il livello stratigrafico raggiunto sia appena a - 9 ms (considerando una velocità V_p nel sedimento di 1600 m/s e nessuna compattazione), in quanto le geometrie deposizionali a quella profondità sono tipiche dell'Highstand Systems Tract ed hanno

riflessioni a bassa ampiezza. La carota C5 deve avere pertanto intercettato almeno il top dell'unità us4 (Fig. 5). Va quindi presa in considerazione un accorciamento della carota di circa il 40%. Utilizzando questi valori si ottiene un tasso di sedimentazione medio a -90 m di circa 0.7 cm/anno.

Bibliografia

- 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. Elsevier B.V.: 307–20. doi:10.1016/j.sedgeo.2012.10.003.
- Antonioli F., Silenzi S., 2007. Variazioni Relative Del Livello Del Mare E Vulnerabilità Delle Pianure Costiere Italiane. *Variazioni Relative Del Livello Del Mare E Vulnerabilità Delle Pianure Costiere Italiane. Quaderni Della Società Geologica Italiana*, 2(2).
- Fabrizio A., Ferranti L., Lambeck K., Kershaw S., Verrubbi V., Dai Pra G., 2006. Late Pleistocene to Holocene Record of Changing Uplift Rates in Southern Calabria and Northeastern Sicily (southern Italy, Central Mediterranean Sea). *Tectonophysics*, 422(1-4), 23–40.
- 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.
- Bellucci F., Milia A., Rolandi G., Torrente M.M., 2006. Structural Control on the Upper Pleistocene Ignimbrite Eruptions in the Neapolitan Area (Italy): Volcano Tectonic Faults Versus Caldera Faults. In: De Vivo, B. (Ed.), *Volcanism in the Campania Plain: Vesuvius, Campi Flegrei and Ignimbrites. Series "Developments in Volcanology"*, 9. Elsevier, pp. 163-180.
- 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.
- Catalano R., Bartolini C., Fabbri A., Lembo P., Marani M., Marsella E., Roveri M., Ulzega A. 1996. Norme generali delle linee guida di rilevamento geologico nelle aree marine da sottoporre al Servizio Geologico Italiano- Rapporto finale. Commissione di studio per la cartografia geologica marina, 48 pp.
- 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 Vivo B., Rolandi G., Gans P.B., Calvert A., Bohron 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.
- Deino A.L., Orsi G., de Vita S., Piochi M., 2004. The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera-Italy) assessed by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 133, 157-170.
- 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.
- 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.
- Lambeck K., 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.
- Lavecchia G., Stoppa F., 1996. The tectonic significance of Italian magmatism; an alternative view to the popular interpretation. *Terra Nova*, 8, 435–446.
- Lirer F., Sprovieri M., Ferraro L., Vallefucio M., Capotondi L., Cascella A., Petrosino P., et al. 2013. Integrated Stratigraphy for the Late Quaternary in the Eastern Tyrrhenian Sea. *Quaternary International*, 292, 71-85.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

- 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. Early-Stage Rifting of the Southern Tyrrhenian Region: The Calabria–Sardinia Breakup.” *Journal of Geodynamics*, 81, 17-29.
- Patacca E., Sartori R., Scandone P., 1990. Tyrrhenian basin and Apenninic arcs: kinematic relations since late Tortonian times. *Memorie Società Geologica Italiana*, 45, 425-451.
- 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., 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.
- Scarpati C., Cole P., Perrotta A., 1993. The Neapolitan yellow Tuff - a large volume multiphase eruption from Campi Flegrei, Southern Italy. *Bulletin of Volcanology*, 55, 343–356.
- Skinner L. C., McCave I.N., 2003. Analysis and Modelling of Gravity- and Piston Coring Based on Soil Mechanics.” *Marine Geology*, 199(1-2), 181–204.
- Torrente MM, 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., 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.
- Vilardo G., Ventura G., Terranova C., Matano F., Nardò S., 2009. Ground Deformation due to Tectonic, Hydrothermal, Gravity, Hydrogeological, and Anthropic Processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 197-212.
- 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.

CAPITOLO 5

Sismica multicanale ad alta risoluzione “Bay Cable”

5.1 Introduzione

La metodologia “Bay cable” ha permesso l’esecuzione di una prospezione di sismica marina multicanale in un’area di transizione quale la foce del Fiume Volturno (Golfo di Gaeta), allo scopo di testare nuove strumentazioni di acquisizione sismica multicanale per la comprensione dell’evoluzione della fascia costiera. A tal fine l’IAMC CNR di Napoli ha svolto, dal 23 al 26 Luglio 2012, una campagna marina di indagini geofisiche per la messa a punto di un sistema di acquisizione e la realizzazione di un profilo sismico marino multicanale ad alta risoluzione. L’acquisizione ha permesso la ricostruzione sismo-stratigrafica di dettaglio del sottofondo marino dell’area in esame (0-150 m di profondità) al fine di una maggiore comprensione dell’evoluzione del sistema marino-costiero nel recente passato e della identificazione dei trend evolutivi della linea di costa nell’ultimo secolo. L’acquisizione del profilo sismico è partita dalla prossimità della scogliera sommersa, posta alla sinistra della foce del Fiume Volturno ad una distanza di circa 130 metri dalla linea di riva, fino al mare in direzione NE-SW (Fig. 1).

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

- la necessità di prolungare il profilo verso NE, nella zona comprendente la battigia e la piana alluvionale (linea tratteggiata in blu in Figura 1);
- l’esigenza di dover estendere lo stendimento verso mare in direzione SW con l’obiettivo di raccordarsi il più possibile con linea sismica CHIRP m194 (linea in rosso in Figura 1) acquisita dall’IAMC, CNR di Napoli nel corso della Campagna Oceanografica GMS02_01 nell’ambito del Progetto CARG (vedi capitolo 4).

La campagna geofisica è stata preceduta da diversi sopralluoghi nell’area marina prospiciente la foce del Fiume Volturno, effettuati con il supporto di cooperative di pescatori locali (Cooperativa La Flegrea), per pianificare le procedure tecnico-logistiche da seguire durante le fasi d’acquisizione. Tali lavori sono stati pianificati previa autorizzazione della Capitaneria di Porto di Pozzuoli e di Castel Volturno.

Il profilo sismico multicanale, di lunghezza 537.5 m, è stato realizzato attraverso l’acquisizione di tre singoli transetti ognuno dei quali di lunghezza pari a 297.5 metri. I dati sono stati registrati impiegando la sorgente sismica marina Watergun.

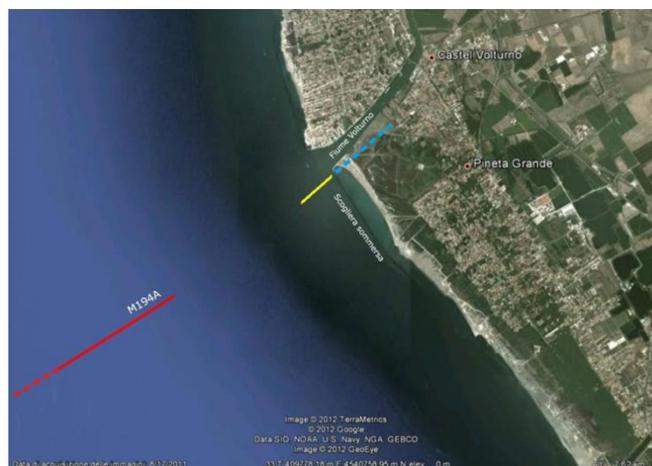


Figura 1 - Localizzazione (linea in giallo) del profilo sismico acquisito e del suo probabile prolungamento a terra (linea tratteggiata in blu). Viene, inoltre, raffigurata la linea sismica Chirp m194 (linea in rosso) acquisita nel corso della campagna GMS02_01.

5.2 Strumentazione

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione del profilo sismico 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 (Figura 2). 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.



Figura 2 - Sistema di acquisizione dati costituito da sismografi Geode.

Il *sistema di trasduzione* è costituito da tre cavi sismici marini da 24 canali. Gli idrofoni (o geofoni a pressione; Figura 3) 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 differenza 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.



Figura 3 - Idrofono. Al cavo sismico (in giallo) sono stati legati, in corrispondenza di ogni idrofono, dei maniglioni di 300 g. per meglio favorirne la discesa in profondità.

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 (Figura 4). 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.



Figura 4 - Sistema di registrazione; i dati di campagna vengono monitorati in tempo reale per controllarne la qualità.

Il sistema di energizzazione è costituito da una sorgente sismica Watergun SODERA Modello S-15 di 0.24 L. di volume (Figura 5) ed alimentato da bombole ad aria compressa. 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 successiva implosione con conseguente generazione dell'impulso acustico, virtualmente privo dell'effetto bolla e con un contenuto maggiore in alte frequenze.

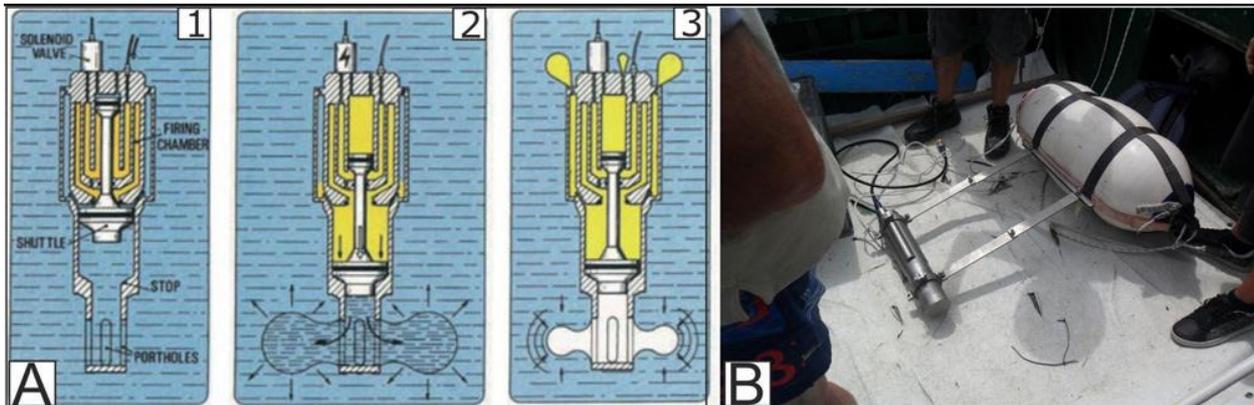


Figura 5 - A) Fasi operative della sorgente sismica Water-gun (Copyright: Sercel): 1) fase di carico; 2) fase di sparo con formazione delle bolle d'aria; 3) collasso delle bolle con brusca implosione dell'impulso con conseguente generazione dell'impulso acustico. B) Particolare del Watergun utilizzato per l'acquisizione sismica multicanale.

Il sistema di acquisizione e quello di energizzazione sono stati installati su due imbarcazioni differenti, per tale motivo il sistema di trigger è stato realizzato attraverso una trasmissione radio (Figura 6). 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. 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.

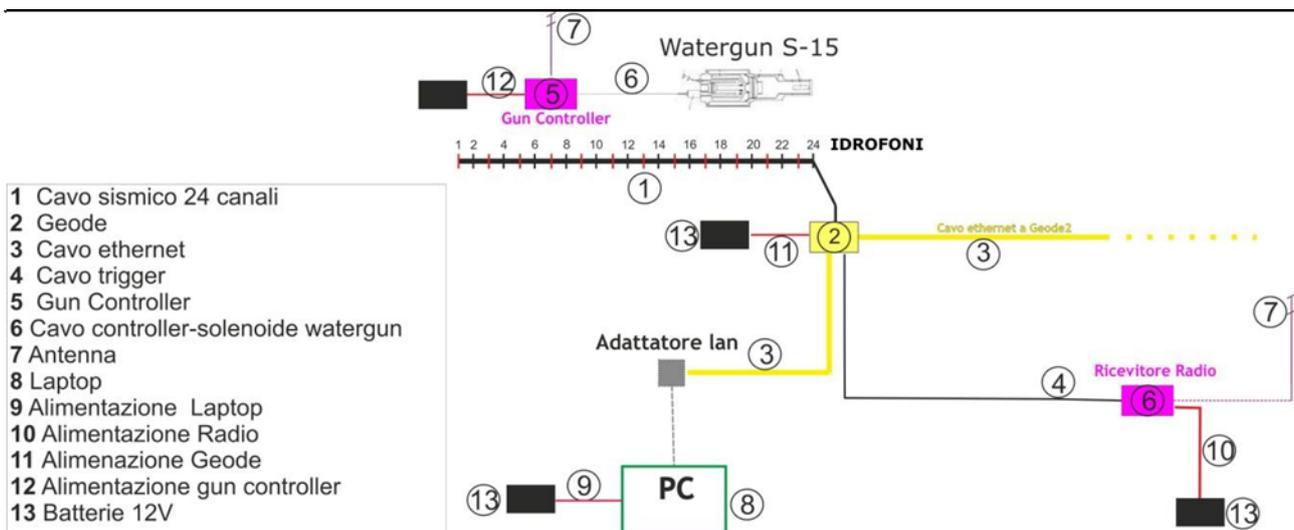


Figura 6 - Schema esemplificativo delle componenti della stazione di controllo.

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.

Alla fine di ogni giornata lavorativa, inoltre, sono stati lasciati in mare lungo il profilo boe e gavitelli. Tali segnali sono stati utilizzati per marcare ulteriormente alcune posizioni cardine dello stendimento, quali prima ed ultima posizione di scoppio e primo ed ultimo idrofono di ogni cavo sismico.

Le operazioni di acquisizione sono avvenute tramite l'utilizzo di tre mezzi nautici: un peschereccio, un gozzo ed un gommone. Nelle tabelle seguenti sono riassunte le caratteristiche tecniche principali delle imbarcazioni.

Tabella 3 - Dati tecnici del M/P Consuelo.

MOTO-PESCHERECCIO Consuelo	
Dimensioni	
Lunghezza	13,08 metri
Larghezza	3,95 metri
Stazza lorda	9,98 TSL
Pescaggio	1,75 metri
Motori e navigazione	
Motore	Fiat Aifo 821 M/220 hp
Velocità	9,4 nodi
Comunicazioni e posizionamento	
Sistema VHF icom IC-M 411	
Sistema GPS FURNO GP-32	
	

Tabella 4 - Dati tecnici del gozzo.

GOZZO	
Dimensioni	
Lunghezza	7,65 metri
Larghezza	2,22 metri
Stazza lorda	2,97 TSL
Pescaggio	0,30 metri
Motori e navigazione	
Velocità	5,5 nodi
Comunicazioni e posizionamento	
GPS Lowrance Expedition C	

Tabella 5 - Dati tecnici del gommone.

GOMMONE	
Dimensioni	
Lunghezza	5,40 metri
Larghezza	1,90 metri
Pescaggio	10 cm
Stazza lorda	0,750 TSL
Motori e navigazione	
Motore	Yamaha 75 CV
Velocità	37 nodi



Non trattandosi di imbarcazioni dedicate a questo tipo di rilievi, tutta la strumentazione necessaria allo svolgimento delle attività di acquisizione è stata installata a bordo dei natanti per l'occasione. La maggior parte della strumentazione sismica è stata rimossa alla fine di ogni giornata lavorativa per poi essere nuovamente allestita la mattina successiva.

Per ottimizzare le operazioni di acquisizione sono state adoperate anche le attrezzature normalmente utilizzate per la pesca; come ad esempio i due cavi d'acciaio situati nella zona poppiera del peschereccio e normalmente utilizzati per la pesca a strascico (Fig. 7).



Figura 7 - A) Particolare del verricello a due tamburi che comanda i due cavi d'acciaio. B) Veduta dell'arcone di poppa.

Tali cavi, indipendenti tra loro, allacciati a un verricello azionato da un sistema idraulico, hanno permesso di filare in mare complessivamente circa 600 metri di cavo. Per i nostri scopi, 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 in mare la prima ancora, il peschereccio, filando in mare il cavo d'acciaio, si muove verso il secondo punto dello stendimento per calare la seconda ancora; viene così configurata 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 (Figura 8). 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).



Figura 8 - Fase dell'acquisizione.

5.3 Geometria di acquisizione

Il rilievo sismico è stato progettato per ottenere la caratterizzazione dei depositi marini recenti (quaternari) allo scopo di consentire uno studio dettagliato stratigrafico-strutturale dell'area in esame.

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, o onde S. Per tale motivo il bay-cable da 72 canali è stato adagiato sul fondale dato che le onde S non si propagano nei fluidi (Figura 9). 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 (gommono).

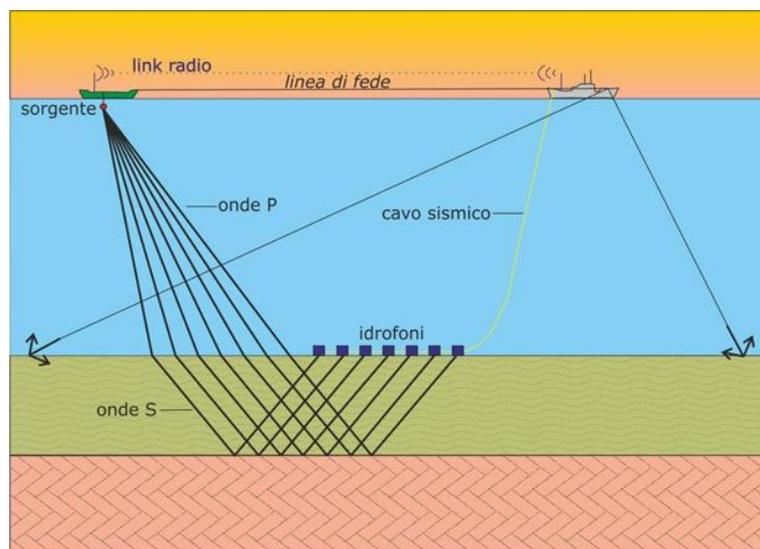


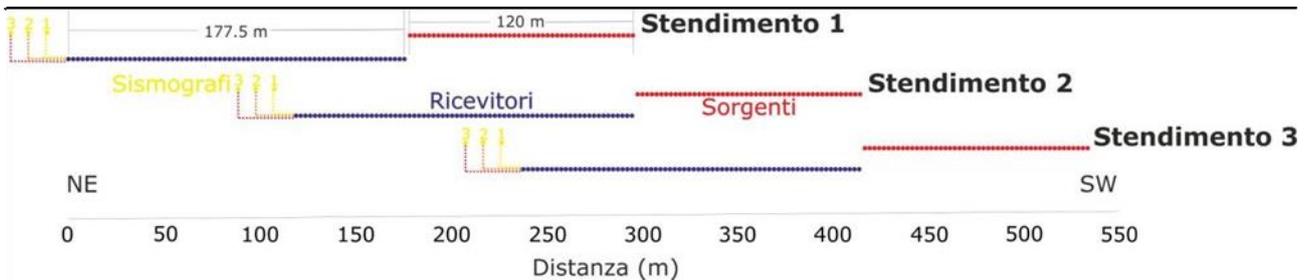
Figura 9 - Modello schematico della configurazione sorgente/ricevitori.

Nella fase successiva si è proceduti al posizionamento degli idrofoni dal gozzo secondo l'allineamento garantito dalla linea di fede. Gli idrofoni sono adagiati sul fondo del mare ad una profondità che varia, avanzando da NE verso SW, da 2.6m a 6.2m (Figura 10).



Figura 10 - Acquisizione linea sismica. (A) Assicurati alla "linea di fede" si procede con l'energizzazione. (B) Controllo e registrazione dei dati.

L'attività di geofisica svolta ha previsto l'acquisizione di tre profili sismici per un totale di 537,5 m. 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 (Figura 11) 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 Point) di 1,25 m e quindi un'elevata copertura dei dati. La geometria d'acquisizione utilizzata, consentendo un fitto campionamento spaziale e temporale in un ampio intervallo di offset, ha permesso una ricostruzione di dettaglio dell'assetto geologico-strutturale dell'area indagata.

Nella Tabella 6 sono riportati i parametri relativi alla geometria d'acquisizione del profilo sismico.

Tabella 6	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

Le tracce totali acquisite sono state 10440; la geometria d'acquisizione utilizzata ha consentito di avere un'elevata copertura CDP con un valore massimo di 48 tracce (Figura 12).

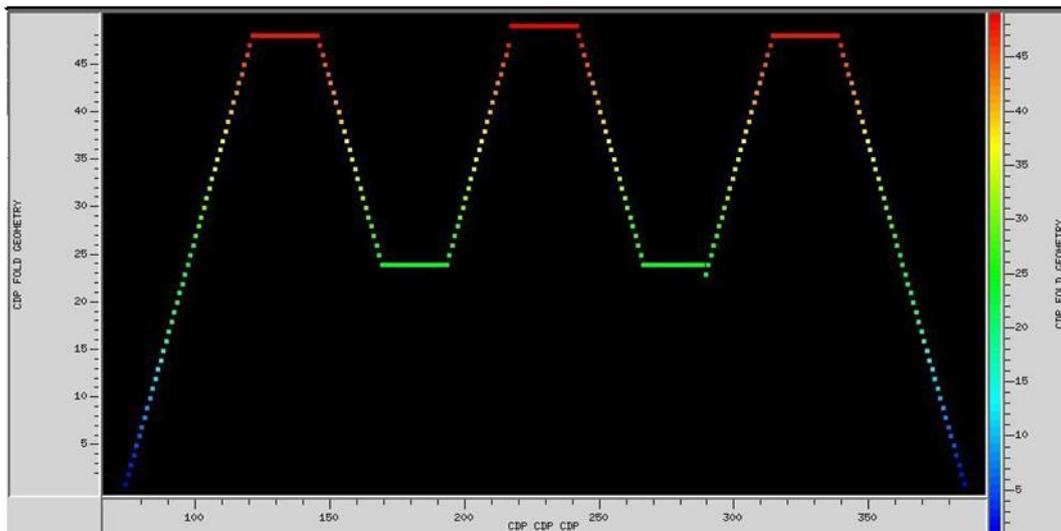


Figura 12 - Copertura dei CDP per il profilo sismico

5.4 Elaborazione ed interpretazione dei dati

L'analisi preliminare dei dati sismici acquisiti a Castel Volturno ha messo in evidenza una buona qualità del dato. Le fasi primarie sono ben evidenti, rispetto al rumore sismico ambientale, anche per ricevitori a grande distanza dalla sorgente (Figura 13).

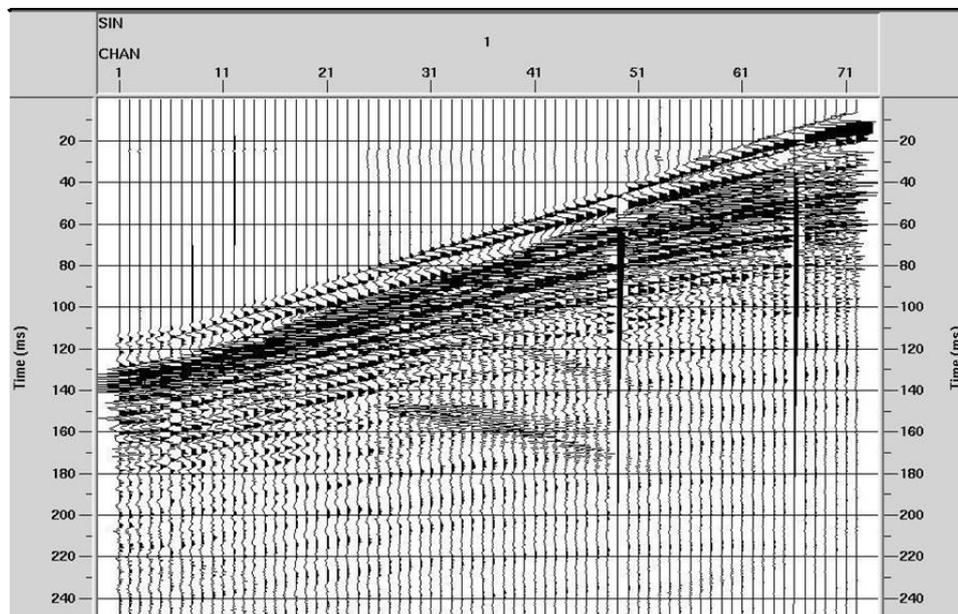


Figura 13 - Esempio di Common Shot Gather acquisito a Castel Volturno.

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, e quindi ha permesso di elaborare efficacemente i dati sia in chiave di sismica a riflessione che a rifrazione.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Quest'elaborazione combinata migliora la qualità del prodotto finale e inoltre fornisce all'interprete informazioni complementari (ovvero sezioni *stack* e immagini tomografiche), che facilitano la successiva interpretazione geo-strutturale del dato geofisico.

L'elaborazione a riflessione è stata eseguita attraverso il software dedicato. L'individuazione della sequenza di elaborazione ottimale da applicare al dato, 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.

L'elaborazione della sezione sismica *stack* ha fornito informazioni molto interessanti nei primi 150 ms.

All'interno della sezione (Figura 14) si possono distinguere, a grandi linee, dal basso verso l'alto, tre facies sismiche. La prima (unità sismica a) è definita da una coppia di riflettori a più bassa frequenza rispetto quelli dell'unità sovrastante (unità sismica b). I sismo-strati appartenenti alla facies a sono caratterizzati da una geometria concava con leggera immersione verso SW. La seconda (unità sismica b) è 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. La terza (unità sismica c) è caratterizzata da riflettori a bassa frequenza e discontinui leggermente immergenti verso SW. L'arrangiamento latero-verticale e le caratteristiche geometriche delle facies sismiche, sono compatibili con un'architettura deposizionale tipica di un sistema di tipo transizionale (continentale/marino prossimale). In particolare, tale successione, divisa in tre principali componenti geometriche, è caratteristica di un sistema deposizionale deltizio (vedi capitolo 5).

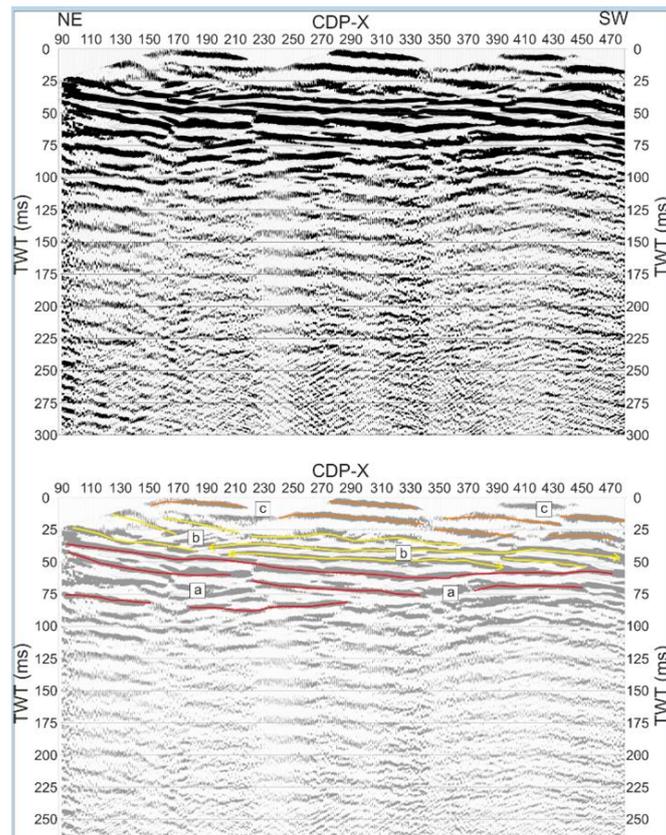


Figura 14 - Sezione sismica stack.

L'inversione tomografica (Fig. 15) ha permesso di definire le velocità delle onde P fino ad una profondità massima di circa 40 metri. La sezione è caratterizzata da un RMS finale 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.

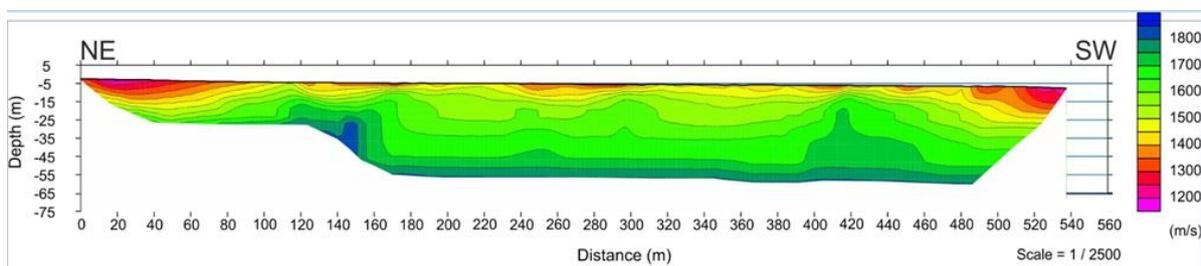


Figura 15 - Modello Tomografico della velocità delle onde P.

Bibliografia

- Hayashi K., 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, 38, 807-813.
- Ylmaz O., 1987. Seismic Data Analysis; Society of Exploration Geophysicists.

CAPITOLO 6

Definizione di uno schema di funzionamento ICZM (Integrate Coastal Zone Management)

6.1 Principi e aspettative dell'ICZM

Storicamente, all'interno delle zone costiere, si sono generati ecosistemi produttivi diversi e di grande importanza per le popolazioni umane 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. Ad esempio le aree costiere sono influenzate differenzialmente da fattori come: tipi di coste, presenza di estuari, sistemi fluviali, quantità e tipologia dei sedimenti, perturbazioni umane (es: strutture di difesa costiera), etc.. 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 per la gestione della costa, che impiega un approccio integrato, prendendo in considerazione tutti gli aspetti correlati alla fascia costiera, tra cui quelli geografici e politici, ambientali, culturali, storici, urbanistici ed economici nel tentativo di raggiungere gli obiettivi dello sviluppo sostenibile applicato alla Pianificazione territoriale ed urbanistica.

In aggiunta a questa definizione, vale la pena di chiarire alcuni concetti chiave:

- Il termine "integrato" nell'ICZM si riferisce all'integrazione di obiettivi e anche all'integrazione di numerosi strumenti necessari per soddisfare questi obiettivi. Ciò significa integrazione di tutte le aree, i settori e i livelli di amministrazione rilevanti.
- Per una data area costiera, l'ICZM si basa sulla partecipazione informata e sulla cooperazione di tutti gli *stakeholder* per la valutazione degli obiettivi e per intraprendere azioni per il raggiungimento di tali obiettivi.
- L'ICZM cerca di bilanciare gli obiettivi ambientali, economici, sociali, culturali e ricreazionali nel lungo periodo, entro i limiti imposti dalle dinamiche naturali da un punto di vista integrato.

I principali obiettivi attesi nell'applicazione dell'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 aspetti ed obiettivi porterebbe ad una forma di gestione insostenibile minando l'esplicito paradigma dell'ICZM (Cicin-Sain & Knecht, 1998).

6.2 Il quadro operativo per la definizione di uno schema di funzionamento ICZM

6.2.1 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 trasporti 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 policentrico, 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 pre-esistenti;
- 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.

6.2.2 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, attraverso lo studio e la valutazione di tutte le informazioni relative all'avanzamento tecnologico, per la gestione delle aree costiere, che possono ridurre gli impatti relativi alle attività umane.

6.2.3 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. Infatti, i modelli numerici dovrebbero essere propriamente calibrati in base ai dati acquisiti e con un'appropriata risoluzione spaziale e temporale. 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.

Durante la realizzazione 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 valutati (Giordano, Vicinanza, 2011; Giordano et al., 2011):

- *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 intermedio*: 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 avanzato*: affinamento della strategia di monitoraggio compresi, per esempio, i sistemi di campionamento semi automatici adeguati in termini di rapporto spazio-tempo 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.

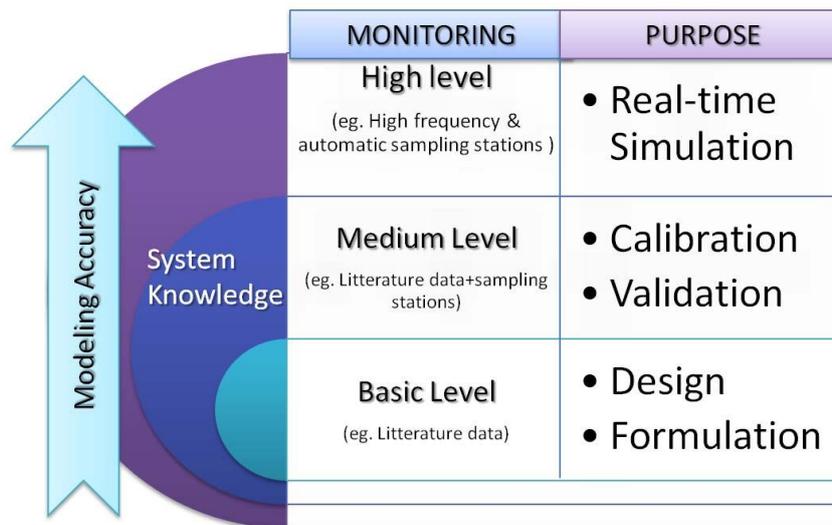


Figura 1 - Accuratezza del monitoraggio

(http://www.coastalwiki.org/wiki/ALTERNATIVE_STRATEGIES_FOR_INTEGRATED_COASTAL_ZONE_MANAGEMENT)

6.3 Un approccio per l'applicazione dell'ICZM all'area di studio.

Nell'ambito dell'OR4.4 del progetto I-AMICA (*Processi interfaccia biosfera-idrosfera e funzionalità degli ecosistemi marini*), il monitoraggio integrato è stato condotto nell'area marina prospiciente la Foce del Fiume Volturno (Golfo di Gaeta - Caserta). Tale studio ha permesso di dare attuazione agli obiettivi programmati in fase di progettazione, come di seguito riportato:

- (i) 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;
- (ii) 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;
- (iii) management costiero attraverso lo studio dei processi chiave e delle forzanti di tipo antropico, nonché analisi dei relativi scenari gestionali;
- (iv) sviluppo di un'infrastruttura di elaborazione ad alte prestazioni distribuita secondo un modello Grid per lo studio degli ecosistemi costieri delle Regioni Convergenza mediante l'utilizzo di tecniche di telerilevamento;
- (v) 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.

Il piano di monitoraggio previsto dal progetto I-AMICA (giugno 2012-ottobre 2014) ha visto in sintesi le seguenti attività:

- acquisizione ed elaborazione dei dati morfo-batimetrici;
- 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. E' 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 Tabella 1) 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).

Tabella 1 – *Stakeholder* presenti nell'area di studio.

Stakeholder	Ambito di riferimento
REGIONE CAMPANIA	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
	Assessore alle politiche agricole e forestali
AUTORITA' DI BACINO NAZIONALE DEI FIUMI LIRI-GARIGLIANO e VOLTURNO	Distretto Appennino Meridionale Generale
AGENZIA REGIONALE per la PROTEZIONE dell'AMBIENTE CAMPANIA	Dipartimento Provinciale di Napoli
COMUNE di CASTELVOLTURNO	Urbanistica-Demanio-Ambiente-Verde
	Assessorato alla portualità
CENTRO di COMPETENZA nel SETTORE dell'ANALISI e MONITORAGGIO del RISCHIO AMBIENTALE	Rischio Ambientale
ENTE RISERVE NATURALI REGIONALI FOCE VOLTURNO/COSTA LICOLA LAGO FALCIANO	Protezione Ecosistemi di pregio e biodiversità
CORPO FORESTALE DELLO STATO	Ufficio territoriale per la biodiversità
COOPERATIVE PESCATORI CASTELVOLTURNO	Cooperativa Società "La Flegrea"
COMUNE di Napoli	SERVIZIO RISORSA MARE
AZIENDE ZOOTECHNICHE	Allevamento Bufalino
AZIENDE AGRICOLE	Produzione di latte e Mozzarella di Bufala

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

Quest'ultimo, 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 potenziale desertificazione implica il danneggiamento degli habitat e la perdita di biodiversità con potenziali impatti rilevanti sulle attività di tipo agricolo e agri-zootecnico svolte prevalentemente nella area di studio.

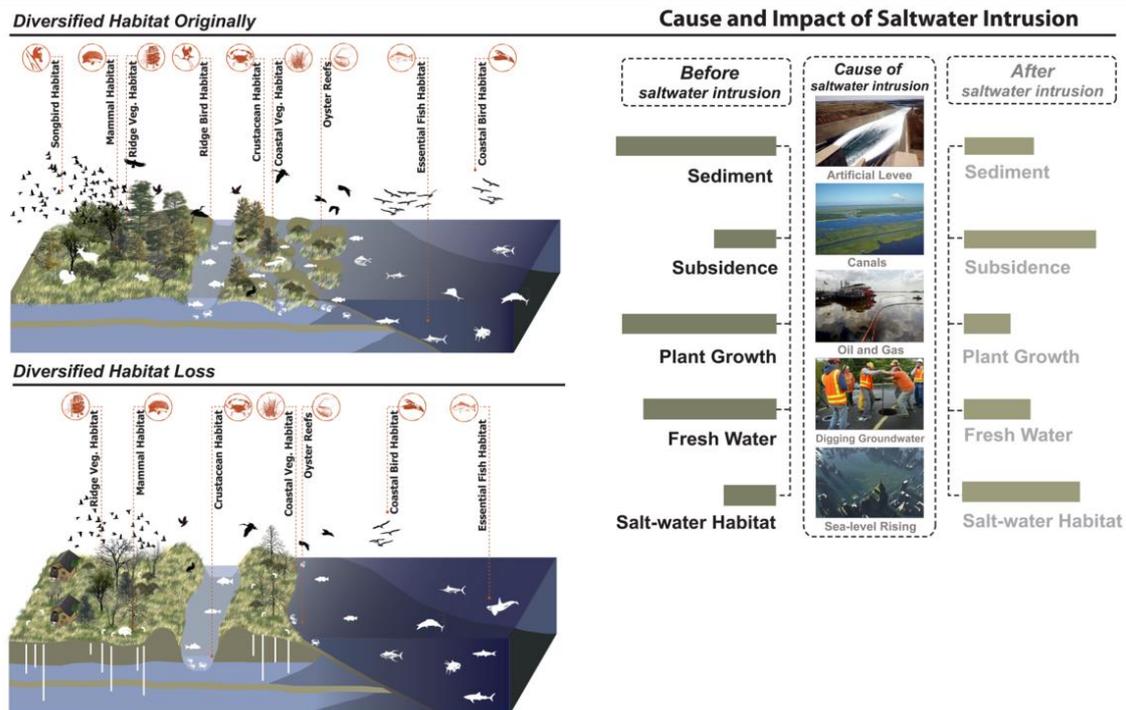


Figura 2 - Schema esemplificativo delle cause ed impatti rilevanti relativi alla problematica di intrusione del cuneo salino.

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. Per questo motivo non è possibile costituire una rete di gestione universale che sia riconosciuta indipendentemente dalle aree costiere a causa delle loro innumerevoli diversità, problemi e caratteristiche. Nonostante ciò immaginiamo di poter considerare un processo decisionale comune ed abbastanza uniforme per tutto il pianeta. Inoltre, le metodologie che supportano l'ICZM devono essere sviluppate caso per caso, con un approccio sistemico ed olistico che ben si adatta ad un'analisi multidisciplinare integrata dei problemi relativi alle aree costiere. La metodologia dell'Approccio Sistemico (o anche detto System Approach Framework - SAF) può essere considerata un ottimo strumento per l'ICZM (Hopkins et al., 2011.).

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

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

un'applicazione del modello DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti, Risposte - OECD, 1993, 1998, 2000) 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 (System Approach Framework; Hopkins et al., 2011), che attraverso una visione di carattere sistemico e tramite la riorganizzazione e l'implementazione di dati pre-esistenti con quelli acquisiti durante il progetto permette di produrre la cosiddetta *nuova conoscenza* e quindi di costruire schemi e modelli di gestione ICZM.

Di seguito, viene 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 determinanti che sulle pressioni, gli impatti e lo stato dell'ambiente.

In questo quadro di riferimento, i dati acquisiti durante il progetto I-AMICA 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 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 determinante 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.

(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

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

Bibliografia

- 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.
- Analisi della normativa in materia di gestione integrata della zona costiera: opportunità per lo sviluppo di una pesca e una acquacoltura sostenibili in Italia, 2010. Normativa comunitaria e impegni internazionali per la Gestione Integrata della Zona Costiera.
- APAT, Manuali e linee guida 41/2006. La lotta alla desertificazione in Italia: stato dell'arte e linee guida per la redazione di proposte progettuali di azioni locali.
- Autorità di Bacino dei fiumi Liri Garigliano-Volturno, 2010. Piano di Gestione delle acque del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale.
- 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.
- Autorità di Bacino Nord Occidentale, 2003. Piano di Tutela delle Acque.
- ARPAC, 2009. La raccolta e il trattamento delle acque reflue urbane nella provincia di Caserta. A cura del dipartimento provinciale di Caserta.
- ARPAC, 2006. Monitoraggio della qualità delle acque in Campania.
- Bellucci F. (1994). Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 113, 395-420.
- Cicin-Sain B., Knecht R.W., 1998. *Integrated Coastal and Ocean Management Concepts and Practices*. Washington D.C.: Island Press.
- Comune di Castel Volturno, 2011. Rapporto sullo stato dell'Ambiente.
- Corniello A., Ducci D., 2007. Groundwater Chemistry and contamination in the Volturno river Plain. *Proceedings of the XXXV IAH Congress "Groundwater and Ecosystems"*. Lisbona, 17-21 settembre 2007.
- Corniello A., Ducci D., Trifuoggi M., Rotella M., Ruggieri G. (2010). Hydrology and hydrogeochemistry of the plain between Mt. Massico and the river Volturno. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 1, 1825-6635.
- Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152. Norme in materia Ambientale.
- Doronzo G., 2008. Relazione Geologica P.U.C. Castel Volturno.
- ENEA-Università degli Studi di Napoli, 2002 - Progetto Regi Lagni.
- ENEA, 2006. Caratterizzazione tipologica dei fenomeni di desertificazione nell'Italia Meridionale e insulare.
- ENEA, 2006. Salinizzazione e qualità delle acque: impatti e ipotesi di mitigazione; a cura di Nicola Colonna, Massimo Iannetta, Antonio Palucci.
- 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", edited by Renato Passaro, Antonio Thomas McGraw-Hill, 334 pp. ISBN: 9788838673238.
- Hopkins T.S., Bailly D., Støttrup J.G., 2011. A systems approach framework for coastal zones. *Ecology and Society* 16(4), 25.
- 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. Organisation 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.
- Protocollo Comunitario sulla gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo. Riferimenti web link: <http://water.epa.gov/>



PROGETTO PONA3_00363 I-AMICA



(Infrastruttura di Alta tecnologia per il Monitoraggio Integrato Climatico-Ambientale)

<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/Policy_instruments_for_integrated_coastal_zone_management

<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss4/art25/figure2.html>

<http://www.coastal-saf.eu/>

http://dataportals.pangaea.de/spicosa/SPICOSA_model_library.html

CAPITOLO 7

Conclusioni generali

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 un notevole degrado della qualità ambientale della fascia costiera del Golfo di Gaeta (Report/Acque_01, 2012). Lo studio svolto ha avuto duplice obiettivo: 1) verificare che l'uso integrato delle metodologie sperimentate rappresenta uno strumento valido di monitoraggio ambientale e 2) individuare potenziali *bio-indicatori* di condizioni di stress ambientale (antropico e/o naturale) sia nella matrice acqua che sedimento.

L'attività di monitoraggio ha messo in evidenza la forte peculiarità di questo tratto di costa del Golfo di Gaeta. L'intero ambiente risulta condizionato prevalentemente dalla dinamica fluviale del fiume 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 comporre un quadro conoscitivo dell'evoluzione e dello stato attuale dell'area, ma principalmente potrà fornire un supporto agli enti preposti alla gestione territoriale, nella predisposizione di 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 che si sono verificati negli ultimi cinquanta anni. In particolare l'elaborazione dei dati raccolti ha evidenziato come dalla fine degli anni settanta la presenza dell'uomo sul territorio e l'incremento delle sue opere sono cresciute in modo esponenziale ed hanno influenzato 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.

I risultati finora raggiunti hanno permesso di definire con maggiore precisione lo stato di "salute" dei fondali dell'area oggetto di studio. Le analisi svolte sui sedimenti a fondo mare hanno mostrato che non sussistono condizioni critiche di inquinamento antropico e che la risposta biologica degli organismi, sia in colonna d'acqua (Coccolitoforidi) che a fondo mare (Foraminiferi), risulta direttamente legata all'attività stagionale del fiume Volturno. I Coccolitoforidi ed i Foraminiferi bentonici hanno confermato di essere due gruppi di organismi adatti per la loro utilizzazione in metodiche di monitoraggio ambientale e hanno permesso di evidenziare, integrando i risultati ottenuti con gli altri metodi, sintomi di degrado dell'habitat marino (come fenomeni di eutrofizzazione). Tutti i dati raccolti sono stati inseriti in un preliminare DPSIR (Driving, Pressures, State, Impact, Responses) implementato sulla base di alcune delle informazioni e delle conoscenze acquisite durante il progetto, che potrà rappresentare un 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. Per gestire queste risorse è fondamentale un continuo e costante monitoraggio dei parametri ambientali e delle componenti che le caratterizzano, affinché gli Enti preposti al controllo e alla salvaguardia ambientale della fascia costiera siano messi in grado di prevedere o, quantomeno, di riconoscere le situazioni di pericolo connesse alle diverse pressioni.