



Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

**STUDIO DEI FENOMENI DI TRASPORTO SOLIDO
E DELLE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE
NELL'AREA ANTISTANTE E LIMITROFA
AL PORTO COMMERCIALE DI GAETA**

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE	6
2.1 Caratteri geomorfologici e geologici	6
2.2 Descrizione sedimentologica-mineralogica-chimica	13
<i>2.2.1 Mineralogia</i>	15
<i>2.2.2 Chimica dei sedimenti</i>	15
2.3 Caratteristiche idrodinamiche	16
<i>2.3.1 Analisi degli eventi estremi</i>	19
2.4 Descrizione della corrente generale	33
2.5 Descrizione del trasporto solido costiero	36
2.6 Idrologia fluviale	38
2.7 Descrizione delle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche della colonna d'acqua	40
3. AREE SOTTOPOSTE A CONSERVAZIONE AMBIENTALE	40
3.1 Elenco ufficiale delle aree tutelate nell'area compresa tra il Promontorio del Circeo e l'Isola di Ischia	41
3.1.1 Elenco ufficiale dei Sic	43
3.1.2 Elenco ufficiale delle ZPS	44
3.1.3 Elenco di Laghi e Zone Umide	44
3.1.4 Elenco dei Parchi	45
4. AREA DI INDAGINE	48

4.1 Inquadramento geomorfologico	49
4.2 Inquadramento geologico	50
4.3 Descrizione sedimentologica	52
4.4 Descrizione anemometrica	57
4.5 Descrizione del regime ondamentrico nel Golfo di Gaeta	61
4.6 Descrizione delle correnti nel Golfo di Gaeta	73
4.7 Descrizione del trasporto solido	75
4.8 Uso del suolo	77
4.9 Pesca ed Acquacultura nel Golfo di Gaeta	82
4.10 Caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua	84
 5. DRAGAGGIO ASSOCIATO ALL'APPROFONDIMENTO -10	
DA PRP: MONITORAGGIO	88
 6.ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE AL PIANO REGOLATORE	
PORTUALE (PORTO COMMERCIALE DI GAETA)	91
5.1 Chimica ed ecotossicologia dei sedimenti	92
 7. ATTIVITA' DI MONITORAGGIO AMBIENTALE ASSOCIATE ALLE	
OPERAZIONI PREVISTE DALL'ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE	99
7.1 Fase 1 - Ante Operam	100
7.1.1 Prelievo ed analisi di campioni di sedimento nell'area da dragare	103
7.1.2 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero	103
7.1.3 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)	105
7.1.4 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua	106

7.1.5 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari	108
7.2 Fase 2 – Dragaggio	109
7.2.1 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero	109
7.2.2 Analisi in continuo del solido sospeso (area dragaggio)	109
7.2.3 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)	110
7.2.4 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua	110
7.2.5 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari	111
7.2.6 Modalità di intervento in caso di superamento limiti di torbidità	111
7.3 Fase 3 – Post Operam	112
7.3.1 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero	112
7.3.2 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)	112
7.3.3 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua	112
7.3.4 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari	113
7.3.5 Analisi dell'eventuale accumulo dei sedimenti nell'area dragata	113
BIBLIOGRAFIA	114

1. INTRODUZIONE

Il Golfo di Gaeta è situato nel Lazio Meridionale e costituisce un tratto di litorale esteso per circa 15Km da Punta Stando al promontorio di Scauri. Il tratto costiero in esame presenta delle peculiarità uniche dal punto di vista della morfologia costiera infatti l'arco costiero del Golfo presenta un'orientazione che la espone all'incidenza dei venti nord-orientali, i quali producono un moto ondoso significativo nell'area di studio. Il fenomeno del Garigliano, che si configura come un vento di direzione NE, si presenta come l'evento prevalente per il clima ondoso e anemometrico dell'area. Il Golfo di Gaeta si apre verso gli eventi ondosi che provengono dal Tirreno solo per un piccolo settore angolare compreso nelle direzioni di Ostro.

Oltre a delle particolari caratteristiche meteomarine, il Golfo di Gaeta è caratterizzato da un'importante pressione antropica sulle risorse costiere. In poco più di una decina di chilometri di litorale si concentrano una grande moltitudine di attività tra cui quelle cantieristiche, militari, di diporto privato, turistico e commerciale, della pesca, allevamento e balneazione.

In questo contesto il porto di Gaeta costituisce una struttura essenziale per la logistica dei trasporti del Lazio meridionale. Per questo risultano necessarie delle variazioni strutturali che consentano l'evoluzione dell'assetto portuale. A tal fine è stato autorizzato, con DEC/DSA/2005/00749, il progetto di Variante del PRP vigente, che ha previsto l'approfondimento del fondale antistante il porto commerciale di Gaeta fino alla batimetria dei -10 s.l.m.m. Tale intervento ha comportato il dragaggio di 440960 m³.

Recependo le istanze degli operatori portuali e considerando il mutato scenario del naviglio scalante il porto, con Delibera n.31 del 28/03/2011, il Comitato dell'Autorità Portuale ha ritenuto necessario portare la batimetria prospiciente il porto commerciale di Gaeta alla quota -12 s.l.m.m., attività che prevede il dragaggio di circa 366000 m³. Tale progetto 'Adeguamento tecnico funzionale dei fondali prospicienti il porto commerciale di Gaeta' è stato trasmesso al Ministero dell'Ambiente che, con nota DVA-2012-6430 del 14/03/2012, ha confermato che tale intervento non necessita di ulteriori procedimenti valutativi ai fini ambientali.

Le attività di dragaggio necessitano di un approfondito monitoraggio delle potenziali variazioni, sia nello spazio che nel tempo, delle principali caratteristiche chimico-fisiche dei

sedimenti e delle acque. Al fine quindi di redigere il Piano di Monitoraggio sono stati acquisiti una serie di elementi conoscitivi relativi all'area vasta che va da Capo Circeo a Capo Miseno.

In particolare sono stati acquisiti i seguenti elementi:

- caratteristiche idrodinamiche (onde e correnti);
- caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua;
- caratteristiche del fondale (morfologia, batimetria, granulometria e caratteristiche chimiche dei sedimenti);
- principali biocenosi bentoniche, popolazioni ittiche, aree di nursery.

Il monitoraggio ha tenuto inoltre conto delle seguenti aree sensibili:

1. aree archeologiche marine;
2. zone marine di tutela biologica;
3. zone marine di ripopolamento;
4. aree marine protette;
5. aree protette territoriali costiere (parchi e riserve naturali, nazionali e regionali);
6. aree destinate ad acquacoltura e mitilicoltura;
7. Siti Rete Natura 2000;
8. ASPIM (aree specialmente protette).

Infine all'interno dell'area vasta è stata determinata e descritta la porzione dell'ecosistema marino potenzialmente interessata dalle attività di dragaggio (carta allegata), e che è compresa nel tratto di costa tra Punta Stendardo e Formia.

2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

2.1 Caratteri geomorfologici e geologici

Il Golfo di Gaeta si trova al centro di un'area vasta che si estende lungo il tratto di costa litorale tra il Monte Circeo (Lazio), a Nord, e il promontorio di Capo Miseno (Campania) a Sud, mentre a Ovest è fronteggiato dall'arcipelago delle Isole Pontine.

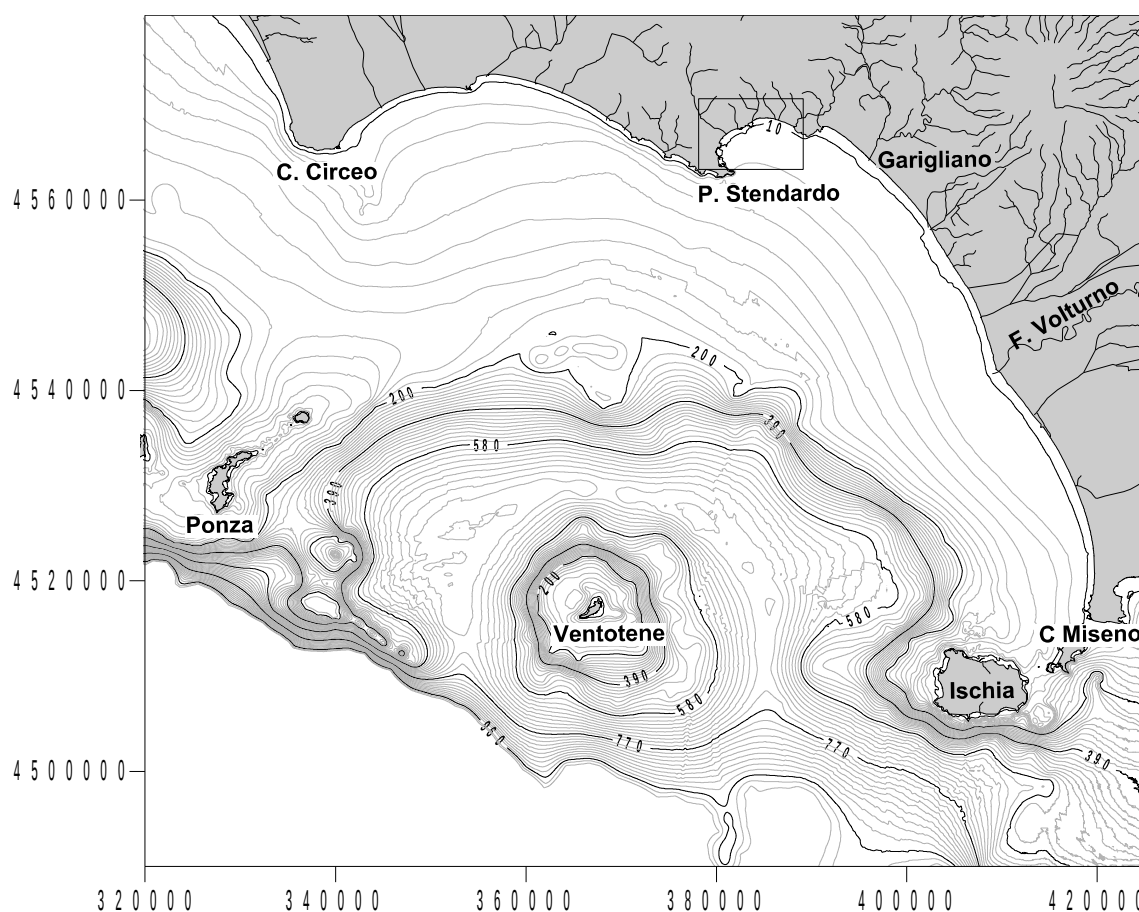


Fig.1. Area vasta in cui è compreso il Golfo di Gaeta

Il tratto di costa che si estende da Capo Circeo a Capo Miseno si presenta come un litorale molto eterogeneo dal punto di vista geomorfologico. L'area compresa tra Capo Circeo e Punta Stendardo ricade nel Lazio meridionale ed è costituita da 6 morfotipi costieri tra cui, procedendo da

nord verso sud, sono presenti: costa di falesia, costa di litorale dritto, costa articolata, costa di litorale stretto, costa di fronte delta e costa di golfo (Fig.2). Il litorale compreso tra Punta Stendardo e Capo Miseno si colloca tra il Lazio meridionale e la Campania settentrionale ed è costituito da 4 morfotipi costieri tra cui, procedendo da nord verso sud, possiamo trovare: costa di litorale dritto, costa di litorale stretto, costa di fronte delta e costa articolata (Fig.3). Le coste alte sono ubicate presso il Circeo, Terracina, Sperlonga, Gaeta e Monte Scauri, nei tratti in cui le propaggini meridionali dei Monti Ausoni e Aurunci arrivano fino al mare. Le coste basse, interrotte dai suddetti rilievi, si sviluppano in corrispondenza della Piana Pontina, della Piana di Fondi, e, in particolare, tra Monte Scauri e Monte Procida, presso il tratto terminale delle piane costiere dei fiumi Garigliano e Volturno i cui arenili sono caratterizzati in prevalenza da materiale clastico di origine arenacea e vulcanica (Russo et al., 2008). Mentre il settore a nord del golfo è caratterizzato da un input limitato di materiale terrigeno la costa a sud fino a Capo Miseno è divisibile in due subzone controllate rispettivamente dagli input del Garigliano e del Volturno.

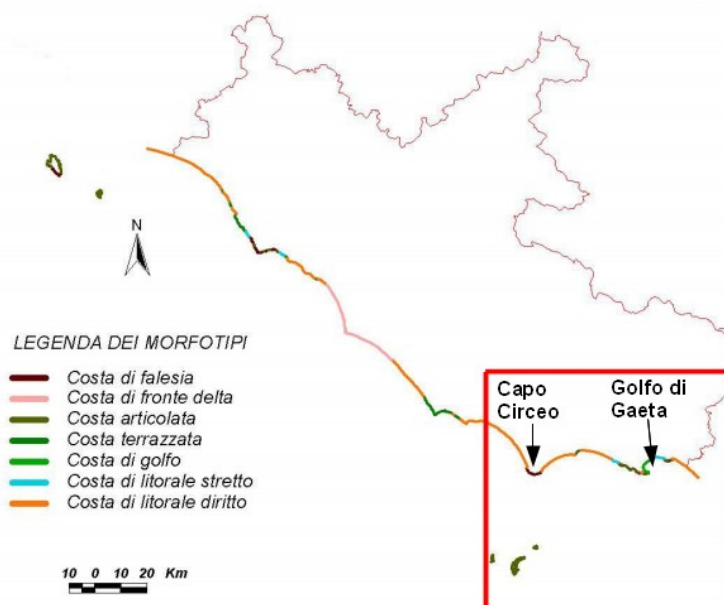


Fig. 2 Morfotipi costieri (ENEA, 2003)



Fig. 3 Morfotipi costieri (ENEA, 2003)

Come accennato in precedenza l'entroterra è costituito sia da rilievi montuosi, che in alcune zone giungono fino a costa, che da zone pianeggianti. Dall'analisi delle figure 4 e 5 è possibile osservare la natura geologica dei rilievi montuosi presenti nel settore nord, che comprendono i complessi dei Monti Ausoni e Aurunci costituiti principalmente da depositi della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese di origine pre-orogenica che non producono un significativo apporto detritico.

Nel settore a Sud, dal promontorio di Scauri fino a Capo Miseno, i rilievi montuosi del Vulcano di Roccamonfina e dei Campi Flegrei sono costituiti da depositi vulcanici basici e intermedi e da rilievi costituiti o coperti da tufi. Le aree pianeggianti rappresentate dalla Pianura di Fondi, del Garigliano e del Volturno sono costituite principalmente da depositi alluvionali antichi e recenti, cordoni dunali antichi e recenti e depositi di delta fluviali.

Substrati litomorfologici

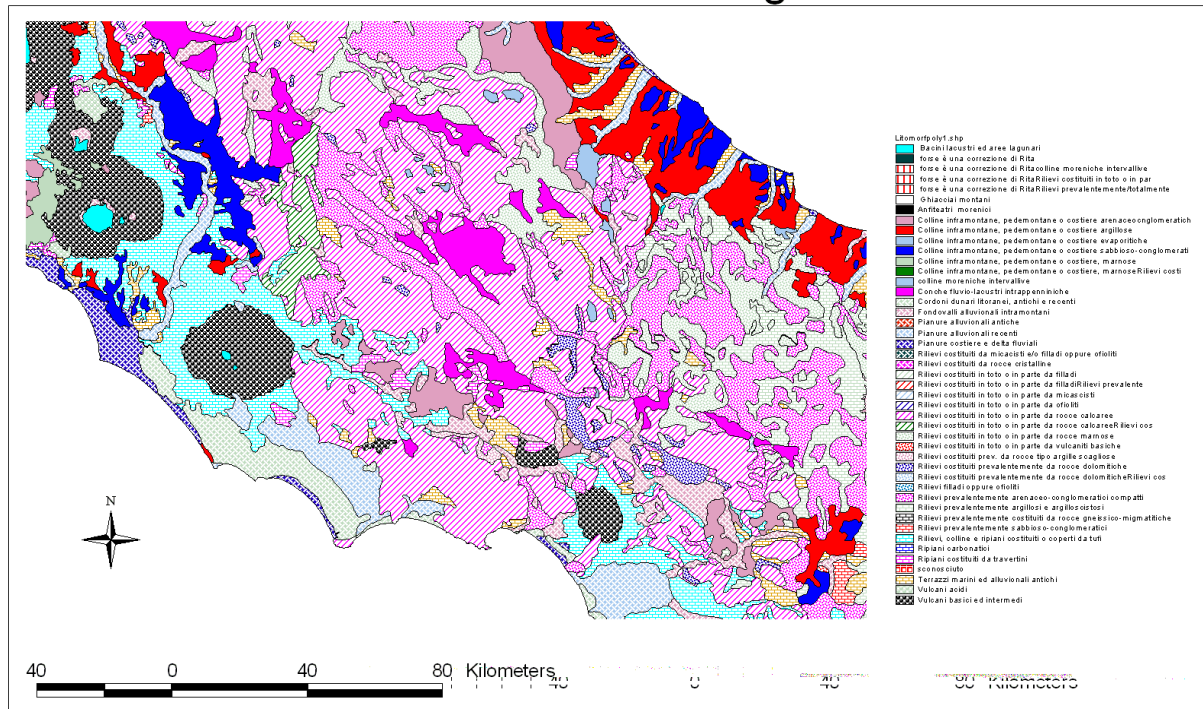
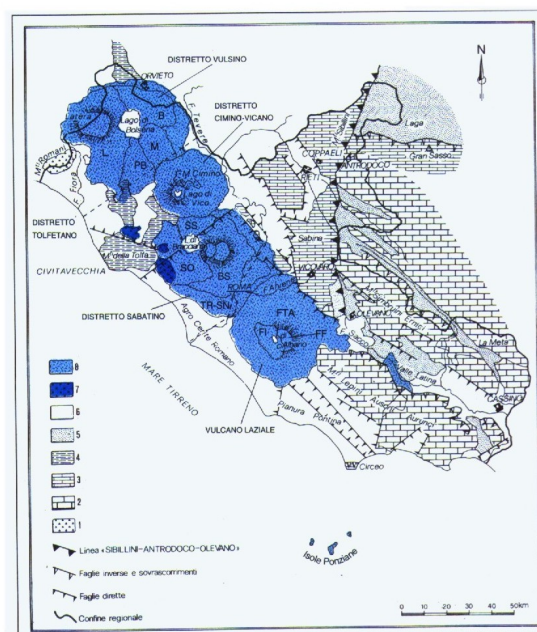


Fig. 4 Substrati litomorfologici dell'Italia centrale

Distretti e complessi vulcanici del Lazio

LEGENDA

- Distretti vulcanici a carattere da potassico ad altamente potassico
 - PB: complesso vulcanico del Paleobolsena; B: complesso vulcanico di Bolsena;
 - M: complesso vulcanico di Montefiascone; L: complesso vulcanico di Latera;
 - MO: complesso vulcanico di Montelupo-Castelnuovo di Porto; SB: complesso di Sacratano-Baccano;
 - SO: attività del settore occidentale; SS: attività del settore settentrionale; TRSN: colata piroclastica del Tufo rosso a scone nere; FTA: fase Tuscolano-Artemisia; FF: fase delle Faete (o dei Campi di Annibale); FI: Fase idromagmatica finale.
- Distretti vulcanici a chimismo da acido a intermedio
- Sedimenti sabbioso-argilloso ghiaiosi neoautoctoni
- Sedimenti alloctoni flyschoidi
- Sedimenti alloctoni del Complesso ligure e subligure
- Sedimenti del Bacino Pelagico Umbro-Marchigiano
- Sedimenti della Piattaforma Laziale-Abbruzzese
- Rocce del basamento metamorfosato
- Linea «SIBILLINI-ANTRODOCO-OLEVANO»
- Faglie inverse e sovraccarichi
- Faglie dirette
- Confine regionale



Da SGI 1993 - Guide Geologiche Regionali - 5 Lazio

Fig. 5 Distretti e complessi vulcanici del Lazio

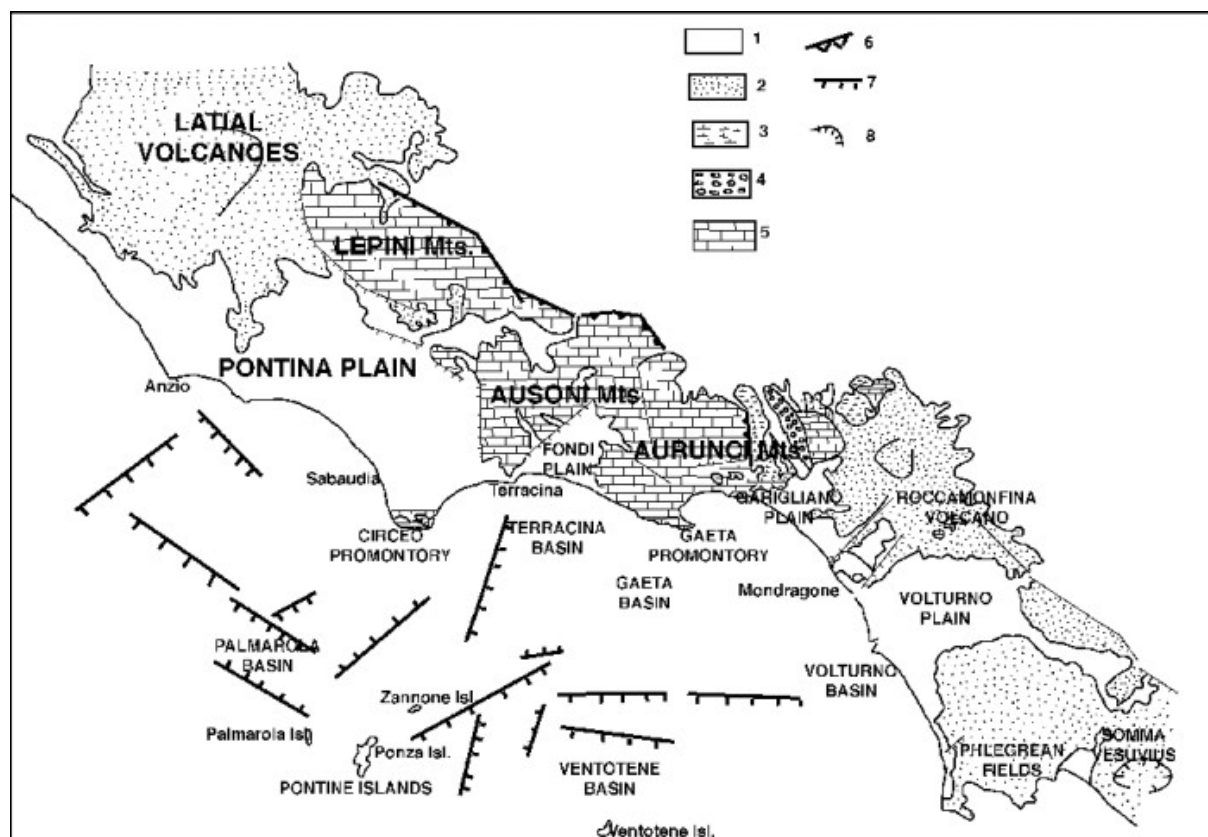


Fig. 6 Carta rappresentante le caratteristiche geologiche della porzione campano-laziale e del relativo bacino marino

1. Depositi continentali e marini (Olocene-Tardo Pleistocene), 2. Depositi vulcanici (Quaternario), 3. Torbiditi arenaceo-argillose (Flysch di Frosinone, Tortoniano-Tirreniano), 4. Calcari organogeni di acque basse (Langhiano-Serravalliano), 5. Calcari di acque basse e profonde (Unità laziale-abruzzese, Jurassico-Cretacico), 6. fronte di spinta, 7. faglia normale, 8. Orli della caldera



Fig. 7 Carta morfologica dell'Italia centrale

L'insieme dei complessi montuosi citati è denominata Catena dei Volsci, alle cui spalle è presente una grande depressione di origine tettonica denominata Valle Latina lunga circa 80Km, impostata su una lunga faglia orientata NO - SE, che li separa dai Monti Simbruini-Ernici. Questi ultimi fanno parte dell'Appennino centrale e sono costituiti anche essi da rocce sedimentarie di natura calcarea della piattaforma Laziale-Abbruzzese di origine pre-orogena.

Il tratto di piattaforma continentale compreso tra Monte Circeo e Gaeta (Punta Stendardo) presenta una caratteristica forma a falce, con la parte più ampia e meno acclive a NO, mentre a sud di Sperlonga la piattaforma presenta un'ampiezza di solo 900 m e una pendenza media maggiore. I fondali presentano un andamento omogeneo, ad esclusione della zona tra Tor Canneto e Lago Lungo, nella fascia compresa tra i 15 e 20m, dove si osservano numerose forme positive allungate e sub-parallelle alla costa, legate alla presenza di “matte” di *Posidonia oceanica*.

Uno degli elementi più caratteristici della piattaforma continentale, nel tratto compreso tra Monte Circeo e Gaeta, è la presenza di paleoalvei sepolti che interessano i fondali fino alla batimetrica dei 50m e talvolta degli 80m. Al limite meridionale dell'area è stata, inoltre, riconosciuta una morfologia di grandi dimensioni corrispondente all'alveo di basso stazionamento del fiume Garigliano (Chiocci e La Monica, 1999). I paleoalvei e i depositi sedimentari ad essi

associati interrompono la continuità dei depositi postglaciali localizzati sottocosta e caratterizzati da piccoli depocentri ben pronunciati e ubicati in prossimità di fonti sedimentarie attuali e subattuali (Chiocci e La Monica, 1996; 1999).

La piattaforma continentale tra Gaeta e Capo Miseno costituisce un'estensione della piana alluvionale dei corsi d'acqua Garigliano e Volturno. La piattaforma continentale si riduce in ampiezza da circa 20Km, nel tratto in corrispondenza della foce del Garigliano, a meno di 10Km in corrispondenza della foce del Volturno, dove c'è la connessione tra il bacino di Gaeta e quello di Ventotene. I dati stratigrafici acquisiti durante diverse prospezioni geofisiche mostrano una successione sedimentaria Plio-Quaternaria costituita da depositi alluvionali, da sedimenti marini e di transizione con intercalazioni di depositi vulcanoclastici e di lava (Ortolani and Aprile, 1978; Mariani and Prato, 1988; Brancaccio et al., 1991). La formazione del Golfo di Gaeta sembra relazionata ad una estensione tettonica lungo un sistema di faglie principalmente con un andamento E-W che delimitano il margine del bacino.

Le Isole Pontine sono localizzate sulla piattaforma continentale che borda le coste del Tirreno orientale, al largo del Golfo di Gaeta. L'arcipelago, costituito da tre isole a ovest (Ponza, Palmarola e Zannone) e da altre due isole verso est (Ventotene e Santo Stefano), forma nel suo insieme una catena lunga circa 30 km, che corre parallela al Lazio, tra Roma e Napoli. L'evoluzione delle Pontine è connessa con i processi tettonici distensivi post orogenici ed all'ispessimento crostale dovuto all'apertura del Mar Tirreno (Bartole, 1984). Ad eccezione delle unità sedimentarie del Mesozoico e Cenozoico e delle metamorfiti affioranti in limitati settori dell'isola di Zannone, tutte le isole sono interamente vulcaniche e principalmente di età pleistocenica.

Del tutto peculiari sono le caratteristiche morfologiche e di distribuzione dei sedimenti rilevabili sulla piattaforma continentale delle isole Pontine che non ha alcun collegamento con quella del litorale peninsulare (La Monica e Raffi, 1996). L'origine vulcanica delle isole e la mancanza di apporti sedimentari locali fanno sì che i fondali tra 10 e 50 m di profondità siano per lo più costituiti da roccia in posto, con andamenti anche molto articolati, associati a brusche variazioni di pendenza e di quota (La Monica e Raffi, 1996). La presenza di corpi sedimentari poco sviluppati fa sì che l'unico lineamento (sismostratigrafico) di un certo rilievo sia costituito da un deposito cuneiforme presente a profondità variabile tra 100m e 140 m e dello spessore minimo di alcune

decine di metri (Chiocci e La Monica, 1996). Esso si sarebbe formato, al di sotto del livello di base delle onde, durante il periodo di basso stazionamento marino conseguente la glaciazione würmiana, mentre la differenza di quota sarebbe imputabile a fenomeni di neotettonica (ovvero a movimenti tettonici avvenuti negli ultimi 20.000 anni) (Chiocci e La Monica, 1996).

La fascia costiera interna è caratterizzata dalla presenza di ampie aree ad uso agricolo, che si estendono prevalentemente nell'agro pontino, presso la piana di Fondi e ad Est sulla piana del Garigliano. Sono presenti inoltre diversi centri di produzione industriale, ubicati in corrispondenza di Gaeta, Formia, Minturno, Itri, Fondi, Lenola, Monte San Biagio, Campodimele, Sperlonga, Castelforte, SS. Cosma e Damiano, Spigno Saturnia.

2.2 Descrizione sedimentologica-mineralogica-chimica

I fondali della piattaforma continentale tirrenica antistanti le coste del Lazio risultano prevalentemente costituiti da sedimenti pelitici (silt e argille) di età olocenica.

Questi sedimenti, immessi nel bacino principalmente dal F. Tevere, dal F. Garigliano e dal Volturno, vengono ridistribuiti dalle correnti di piattaforma, coprendo i più antichi depositi plio-pleistocenici che, negli ultimi milioni di anni, hanno accresciuto il margine continentale, creando la struttura superficiale della piattaforma stessa. I depositi plio-pleistocenici, anch'essi di natura pelitica, sono troncati al tetto da una superficie d'erosione prodottasi (circa 20.000 anni fa) durante l'abbassamento del livello del mare causato dall'ultima glaciazione (Würm), fino all'attuale batimetrica di 120 m. Infatti sotto la copertura di sedimenti attuali, il cui spessore in molte aree è estremamente esiguo, risultano presenti vari corpi deposizionali che rappresentano paleocordoni litorali, cunei deposizionali fluvio-marini, riempimento di paleoalvei fluviali, cunei marini di basso stazionamento (Chiocci e La Monica, 1999). Il successivo innalzamento relativo del livello marino (tra 20.000 e 8.000 anni fa) ha prodotto una sedimentazione di tipo trasgressivo, che in parte risulta conservata sotto la copertura sedimentaria attuale. (Chiocci e La Monica, 1996; Chiocci e La Monica, 1999; Chiocci e La Monica, 2003).

I caratteri tessiturali dei sedimenti superficiali dei fondali del settore compreso tra il Circeo e Gaeta sono stati indagati in dettaglio nell'ambito di uno studio di impatto ambientale condotto da

ICRAM nel 2005. Tale studio ha evidenziato una notevole eterogeneità granulometrica dei sedimenti alle diverse fasce batimetriche, senza quella naturale gradazione tessiturale che normalmente si osserva in relazione alla profondità ed alla distanza dalla costa. A partire dalla costa verso largo è presente un'ampia fascia di sedimenti sabbiosi con peliti scarse, la cui estensione tende a diminuire da Ovest ad Est, procedendo verso Gaeta. La fascia di transizione tra sedimenti grossolani e sedimenti fini, in particolare, presenta un andamento irregolare, probabilmente influenzato dalla morfologia dei fondali, e in generale passa dalla batimetrica di -80 m ad Ovest a quella di -40 m ad Est. A tale fascia sabbiosa non corrispondono lungo costa fonti significative di apporto detritico, ed i sedimenti a tessitura grossolana vengono correlati alla presenza di corpi relitti (La Monica e Raffi, 1996). Per quanto riguarda la composizione dei sedimenti il contenuto bioclastico appare abbastanza scarso tra -5 m e -20 m di profondità, mentre a partire da -40 m risulta in genere da frequente ad abbondante.

Lungo le fasce batimetriche maggiori si rinvencono prima silt argillosi poi argille siltose, ad eccezione del transetto immediatamente prospiciente la foce del fiume, dove si osserva in parte una distribuzione inversa. Alcuni parametri statistici (diametro medio e moda) risultano omogenei all'interno delle singole fasce batimetriche, mentre tutti i sedimenti si presentano in generale molto poco classati, a causa della scarsa selettività del mezzo di trasporto, e mostrano sempre una codafine nella distribuzione granulometrica, dovuta agli apporti del fiume. In Figura è riportata la distribuzione dei sedimenti superficiali nell'area della rada e nella zona antistante la costa tra il Circeo e Gaeta, in base agli studi condotti da ISPRA per la caratterizzazione ambientale dei fondi marini antistanti la costa laziale (Agnesi et al., 2010).

Nel settore fisiografico compreso tra Gaeta e Capo Miseno è stata riconosciuta una zona prossimale della piattaforma, entro la fascia batimetrica di -50 m, in cui si registra un arricchimento graduale delle frazioni fini verso il largo ed una zona distale, corrispondente alla porzione più profonda della piattaforma e alla scarpata successiva, in cui al sedimento fangoso si associa in misura significativa una frazione grossolana, attribuibile a sedimenti relitti (Pennetta et al., 1998). Nei sedimenti di fondi più distali, l'eccesso di frazione grossolana è stata correlata ad un'azione di ripulitura e risospensione della coda fine esercitata da correnti di fondo, che scorrono in prossimità del margine della piattaforma (De Pippo et al., 2003; Pennetta et al., 1998).

2.2.1 Mineralogia

In merito alla composizione mineralogica dei sedimenti del settore, nella frazione sabbiosa predomina nettamente la componente terrigena rispetto a quella bioclastica. La distribuzione composizionale tende a differenziarsi per fasce batimetriche; in particolare, la componente terrigena del sedimento nella fascia batimetrica fra -20 m e -30 m è costituita da quarzo e feldspati, con subordinati elementi carbonatici; poi, nella fascia tra -40 m e -50 m, da quarzo e calcite e subordinatamente feldspati; infine, tra -60 m e -70 m s.l.m., da calcite e subordinatamente quarzo e feldspati. La componente femica risulta subordinata ed è data principalmente da lamelle di biotite e secondariamente da pirosseni augitici. Tra Gaeta e Capo Miseno, i sedimenti prossimali sono caratterizzati, a parità di tenore di CaCO_3 , da valori più elevati della massa di volume secca (Dry Bulk Density) rispetto a quelli dei settori più distali, che testimoniano per i primi la vicinanza dell'apporto fluviale e per i secondi una sorgente intrabacinale (Pennetta et al., 1998).

2.2.2 Chimica dei sedimenti

Dati sul chimismo dei sedimenti sono disponibili in base ai predetti studi condotti da ICRAM nel 2002 e 2005. Per quanto riguarda il primo settore, compreso tra il Circeo e Gaeta, si osserva in generale un aumento della concentrazione dei metalli analizzati (Fe, Zn, Cr, Pb, Ba, Ni, e Cu) in funzione della profondità e della percentuale di frazione fine. Il Mercurio (Hg) presenta invece un andamento gaussiano, con un aumento della concentrazione fino a circa 60 m di batimetria ed una diminuzione a profondità maggiori.

E' stata riscontrata, inoltre, una contaminazione diffusa da Idrocarburi Policiclici Aromatici, con concentrazioni che raggiungono livelli fino a 10 – 35 mg/kg. Secondo quanto emerso dallo studio (ICRAM, 2005) la concentrazione di IPA presenta, nell'area d'indagine, due massimi: uno a Sud del promontorio di Gaeta ed un altro a Sud di Terracina. I transetti di campionamento arrivano circa fino alla batimetrica di -100 m e conseguentemente anche le elaborazioni risultano delimitate dall'area coperta da tali dati. Dallo studio dei rapporti tra le concentrazioni relative ai singoli IPA determinati, si potrebbe ipotizzare che la contaminazione abbia origine da fenomeni di deposizione di particolato originato da eventi pirolici.

Le concentrazioni di PCB rilevate risultano basse e non indicative di una possibile

contaminazione (ICRAM, 2005).

2.3 Caratteristiche idrodinamiche

Le condizioni ondametrichie relative all'area vasta sono descritte attraverso le misure effettuate dalla boa ondamentrica posta a largo di Ponza, alle coordinate geografiche $42^{\circ}52'01''\text{N}$ $12^{\circ}56'60''\text{E}$, che ha effettuato misure in un intervallo temporale esteso dal 1989 al 2008.

La posizione della boa ondamentrica permette di registrare fenomeni ondosi provenienti da un ampio settore angolare compreso tra 42°N e 350°N , entro il quale risulta che il settore di traversia principale come quello secondario sono compresi tra 247°N e 292°N .

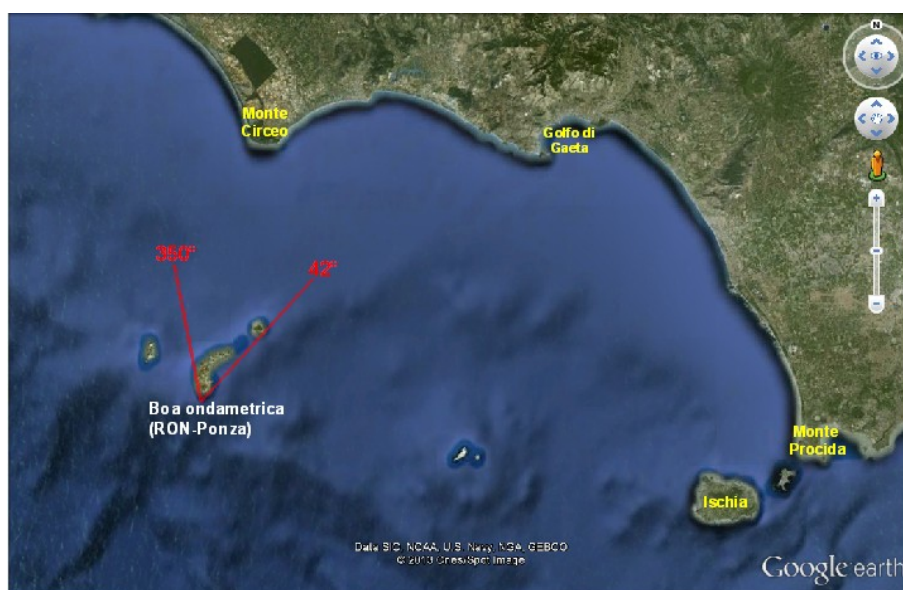


Fig. 8 Paraggio relativo al punto della boa RON

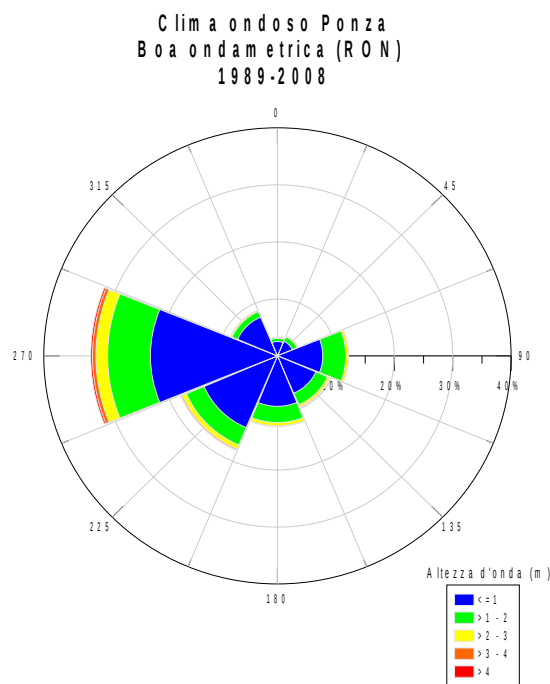


Fig. 9 Clima ondoso di Ponza registrato dalla boa ondometrica (RON)

Allo scopo di mettere in evidenza eventuali variazioni nel tempo dell'intensità delle mareggiate, è stata effettuata un'analisi ondometrica più approfondita attraverso la quale è stato possibile osservare l'evoluzione degli eventi ondosi nel tempo. Il metodo consiste nel prendere in esame innanzitutto le variabili altezza d'onda significativa (H_s), periodo di picco (T_p) e energia relativa (P) calcolata attraverso l'equazione

$$P = (0.49 * (H_s^2) * T_p) * f$$

Suddividere successivamente il dataset registrato dalla boa di Ponza (RON) nei diversi anni e calcolare infine il percentile relativo al 50% (Mediana), 12% e 1% che corrispondono rispettivamente a 3 categorie di eventi: evento medio, mareggiata ordinaria, mareggiata estrema. La mareggiata ordinaria è definita come l'evento ondoso più ricorrente responsabile del maggior trasporto sedimentario litoraneo ed in questo caso è rappresentata da eventi con onde maggiori di 1.5 m.

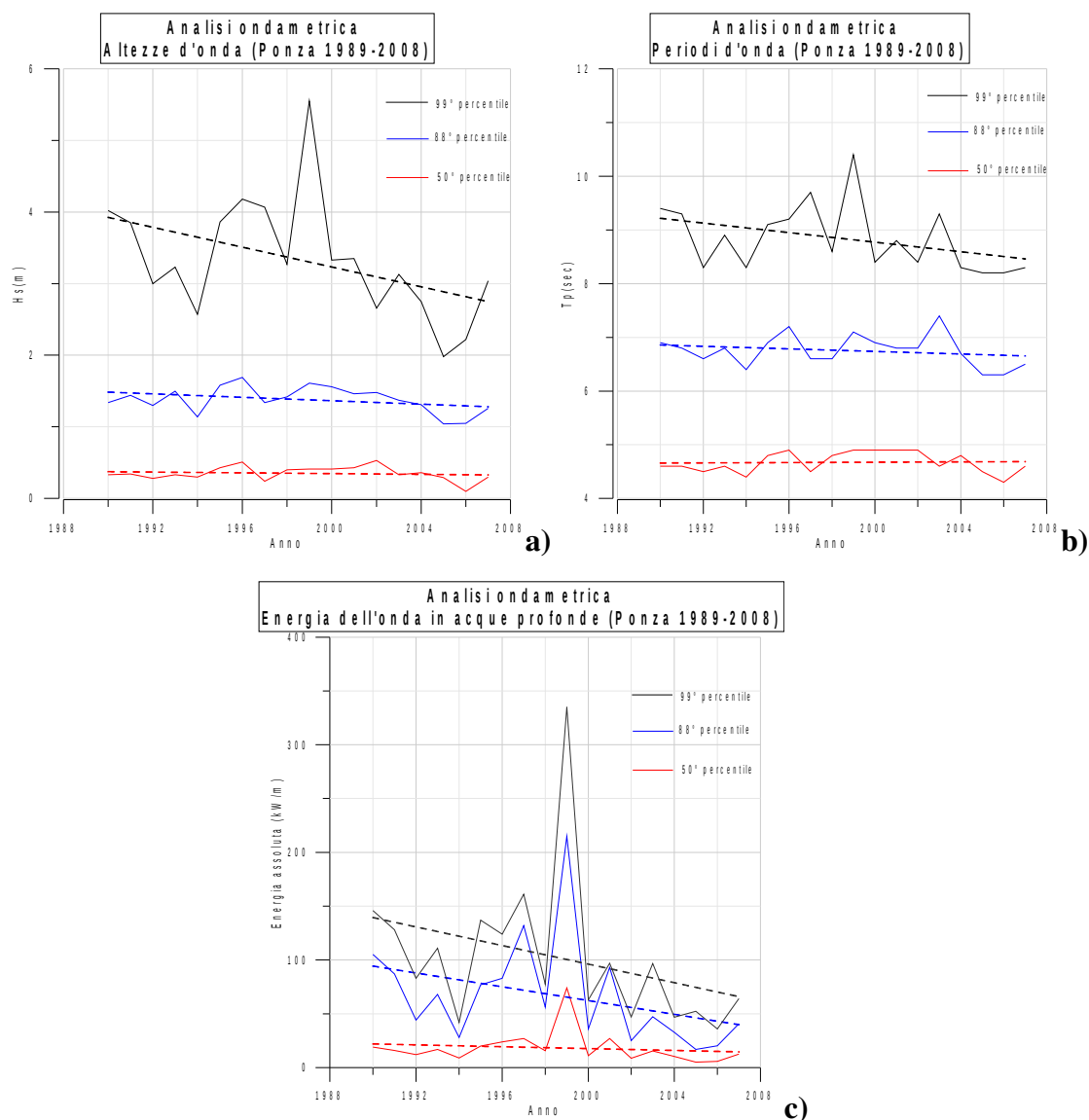


Fig. 10 Grafici rappresentanti l'andamento dei parametri statistici (50, 88, 99 percentile) relativi all'altezza d'onda significativa a), periodo di picco b) ed energia relativa c) dal 1989 al 2008.

Dai risultati si denota come i valori medi non descrivano in modo opportuno eventuali variazioni nell'intensità delle mareggiate in quanto rimane pressapoco costante nell'arco di tempo considerato. L'unica variazione sostanziale che si osserva nella figura 10c è la presenza di un picco nei valori di energia relativa nel 1999.

Per quanto riguarda il grafico relativo alle altezze d'onda le mareggiate ordinarie presentano delle altezze comprese tra 1.5 m e 1.8 m e una tendenza lievemente decrescente nel tempo della loro

intensità. Più importanti sono le variazioni relative alle altezze d'onda degli eventi estremi in quanto questi oscillano tra 2 e 5.5 m ed in particolare si può osservare come nel 1999 si siano raggiunte le intensità maggiori e come dal 2000 in poi questi si siano notevolmente ridotti d'intensità soprattutto nel 2003 dove si osservano i valori più bassi. Osservando la linea di tendenza si osserva una più spiccata tendenza decrescente nell'intensità di questi eventi nell'arco temporale analizzato.

2.3.1 Analisi degli eventi estremi

Per la determinazione dei tempi di ritorno degli eventi estremi è stato necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda maggiori relative alla serie storica di riferimento desunta dalle registrazioni ondametriche. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza).

Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezza d'onda è più affidabile l'analisi statistica di serie tronche, ottenute selezionando per i diversi settori direzionali di caratteristiche omogenee tutte le altezze d'onda significative, registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. Infatti, il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (dati in numero limitato e per alcune "annate" ben poco estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (sicuramente non indipendenti e poco omogenei). La scelta della soglia di troncamento deve essere effettuata al fine di garantire comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione e deve essere tale da separare le mareggiate ordinarie da quelle estreme.

Nel caso in esame, per la determinazione dell'onda di progetto, sono stati analizzate le mareggiate più intense registrate dall'ondametro di Ponza tra il 1989 e il 2008 in sette settori direzionali.

Successivamente distinte le serie "tronche" di dati sono state riferite alle usuali leggi di distribuzione probabilistica, al fine di determinare il valore dell'altezza d'onda associato ad un prefissato tempo di ritorno, o la probabilità di non superamento.

La legge di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento è quella di Gumbel (1)

e di Weibull (2), che sono le due leggi di distribuzione suggerite dall'AIPCN (Report of Working Group n.12, supplement to Bulletin 78/79-1992).

$$P(X < x) = 1 - e^{-[(x-B)/A]^\alpha} \quad (1)$$

$$P(X < x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]] \quad (2)$$

dove X è la variabile aleatoria, x è il valore di non superamento e α , A , B , a , b sono i parametri delle distribuzioni. Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione (2):

$$Tr(X < x) = 1 / (1 - P(X < x)) \quad (3)$$

I valori ottenuti dall'analisi degli eventi estremi sono stati utilizzati come dati di input del modello di propagazione del moto ondoso STWAVE che ha permesso di osservare come l'onda si propaghi all'interno del Golfo di Gaeta.

Il paraggio relativo al dominio del modello di propagazione dell'onda STWAVE, con origine sul punto in cui è installata la boa ondometrica di Ponza, è stato suddiviso in 7 settori direzionali ampi circa 40° in cui è stata effettuata la statistica degli eventi estremi al fine di ottenere le condizioni d'onda da utilizzare come dati di input del modello d'onda STWAVE. È da notare che per quanto riguarda le direzioni di libeccio e ponente il settore direzionale è stato suddiviso con un intervallo più ristretto (c.ca 20°), in quanto gli eventi provenienti da queste direzioni risultano i prevalenti.

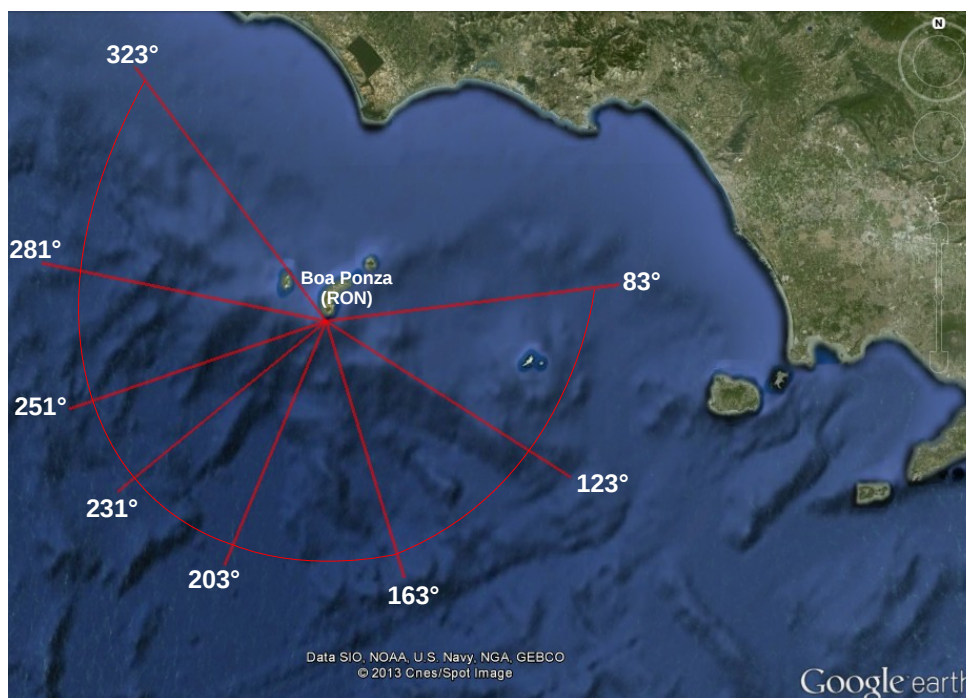


Fig.11 Settori direzionali per cui è stata effettuata l'analisi statistica degli eventi estremi.

Una volta costruite le diverse serie d'onda è stata applicata per ogni settore direzionale la funzione di distribuzione di probabilità di Gumbel rappresentata graficamente (Fig.12) in scala logaritmica con le altezze significative. Dall'analisi dei grafici è stato possibile constatare che le distribuzioni seguono un andamento di tipo lineare, pertanto è stata verificata l'adattabilità della distribuzione ai dati calcolando, col metodo dei minimi quadrati, il coefficiente di determinazione R^2 , il coefficiente angolare e l'intercetta di ogni retta interpolante.

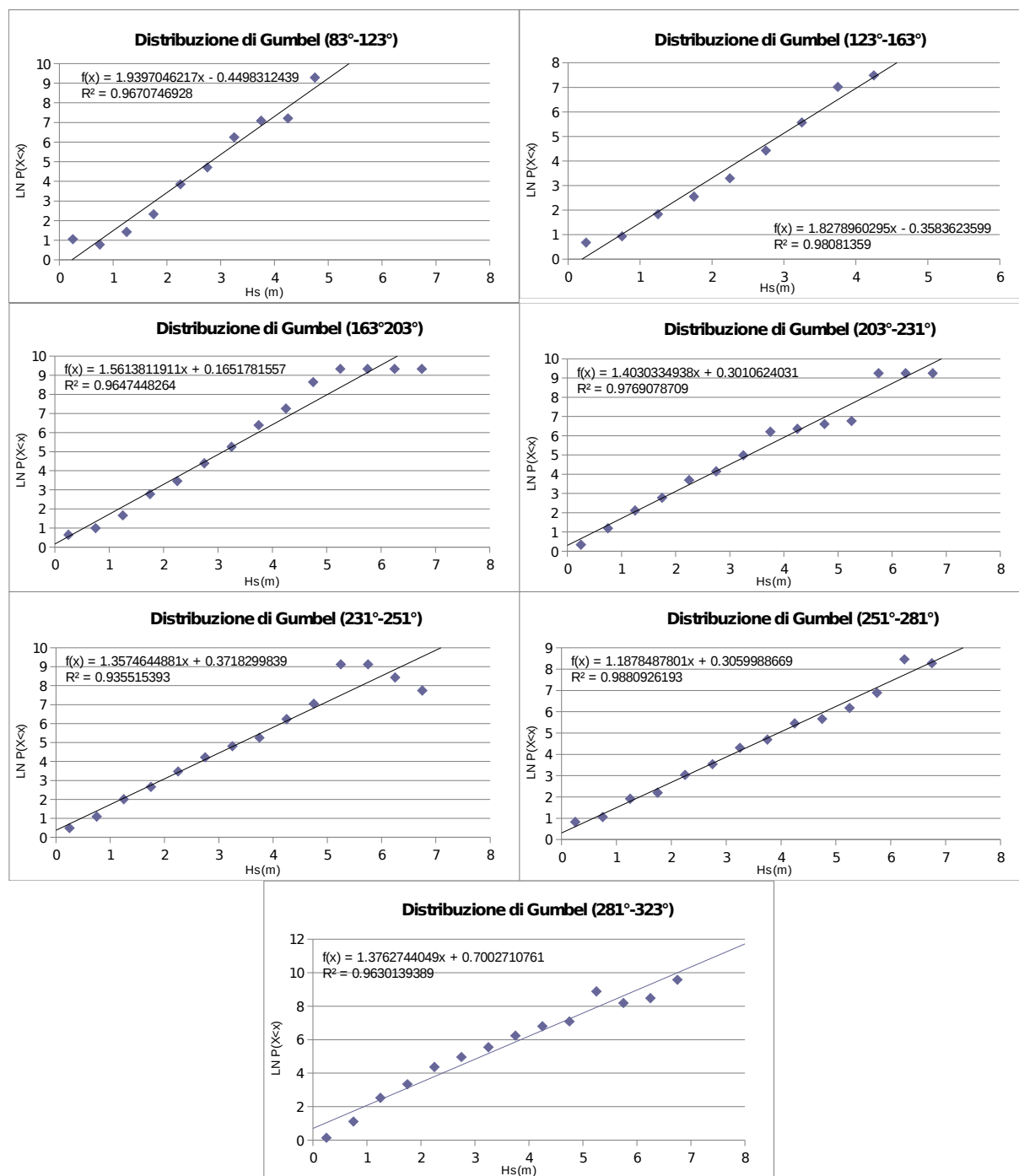


Fig.12 Regressione lineare della distribuzione di Gumbel per i diversi settori direzionali

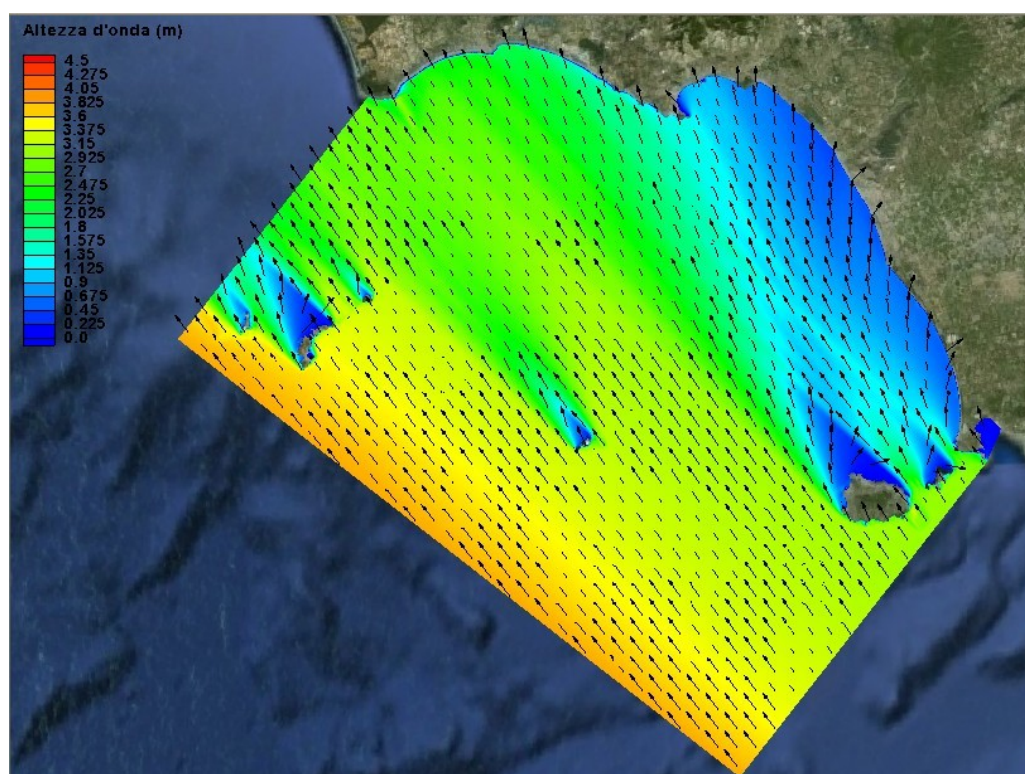
Dai valori di probabilità sono state calcolate le altezze d'onda riferite ai tempi di ritorno compresi tra 1 e 100 anni ed in questo studio sono state prese in considerazione le altezze relative ai tempi di ritorno di 1 e 10 anni.

I risultati ottenuti sono riportati in tabella 1 e corrispondono agli scenari simulati attraverso il modello numerico STWAVE per analizzare la propagazione dell'onda lungo il tratto di costa in esame, ed in particolare all'interno del Golfo di Gaeta.

Tab.1 Risultati relativi all'analisi statistica degli eventi estremi per tempi di ritorno di 1 e 10 anni

Intervallo direzionale (°N)	Hs (m) Tr = 1	Tp (sec) Tr=1	Hs (m) Tr = 10	Tp (sec) Tr=10
80-123	3.75	8.7	4.94	10
123-163	3.56	8.5	4.82	9.9
163-203	3.88	8.8	5.26	10.3
203-231	4.28	9.3	5.92	10.9
231-251	4.28	9.3	5.98	11
251-281	5.74	10.8	7.68	12.4
281-323	4.31	9.3	5.98	11

Scenario 1 (direzione compresa tra 83°-123°)



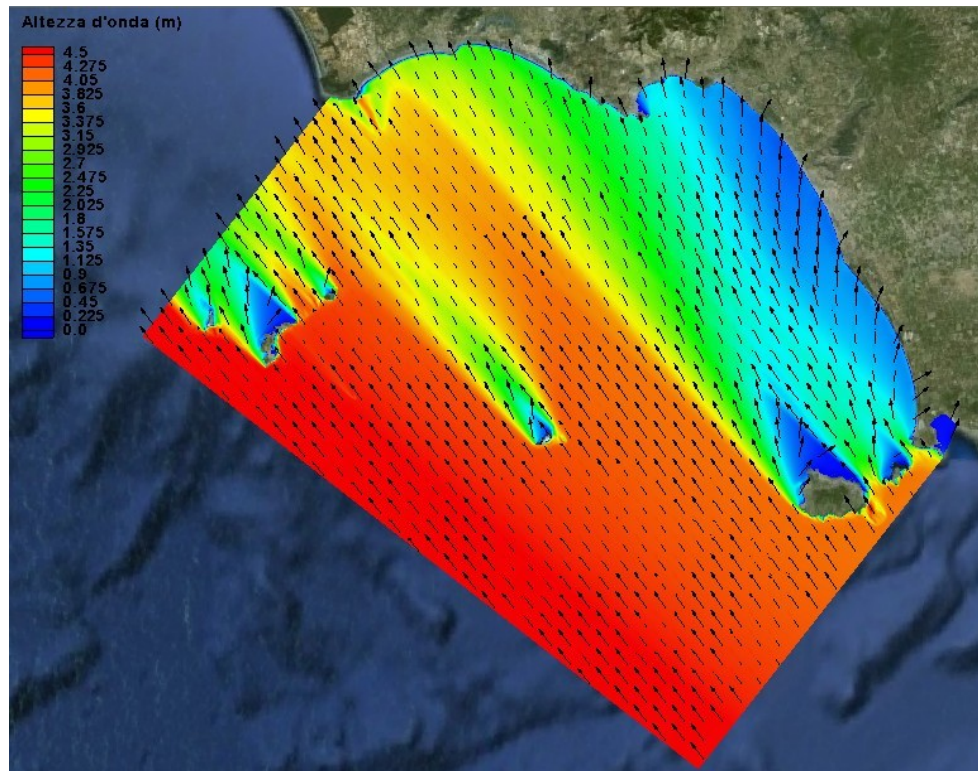


Fig.13 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 1 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 1$ (alto) e 10 (basso), su tutta l'area di studio.

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra l'effetto ombra provocato dalle Isole di Ischia e Procida, che causano un'importante attenuazione dell'onda soprattutto nell'unità fisiografica compresa tra Capo Gaeta e Ischia; il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove è visibile una maggiore intensità del moto ondoso incidente, che raggiunge i valori massimi in prossimità delle isole pontine e Capo Circeo.

Scenario 2 (direzione compresa tra 123° - 163°)

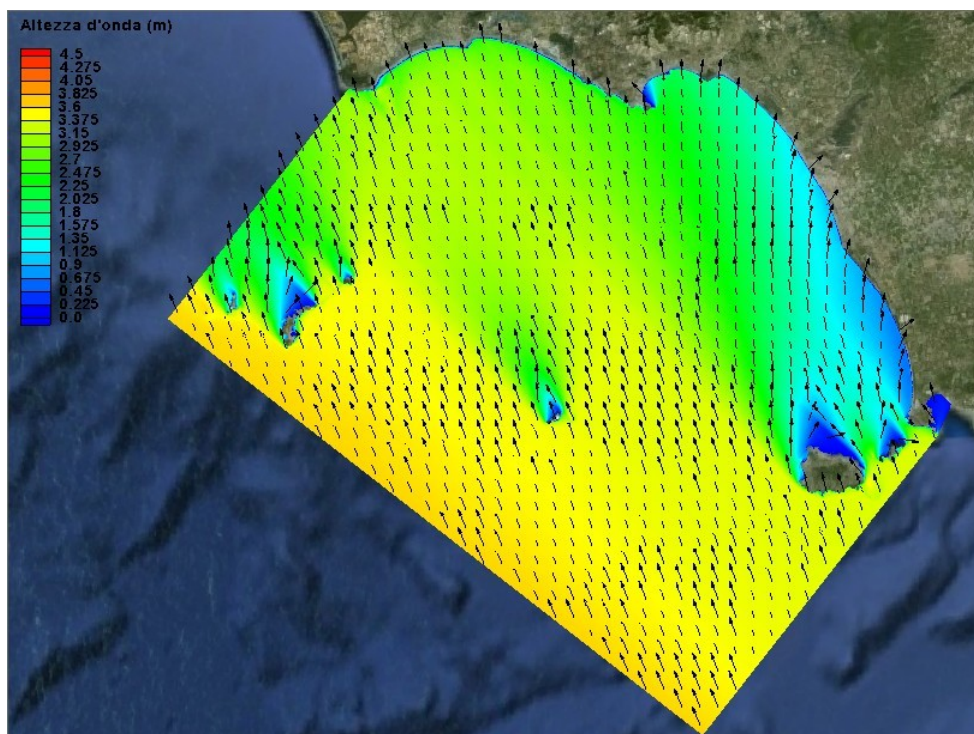


Fig.14 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 2 rappresentante propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

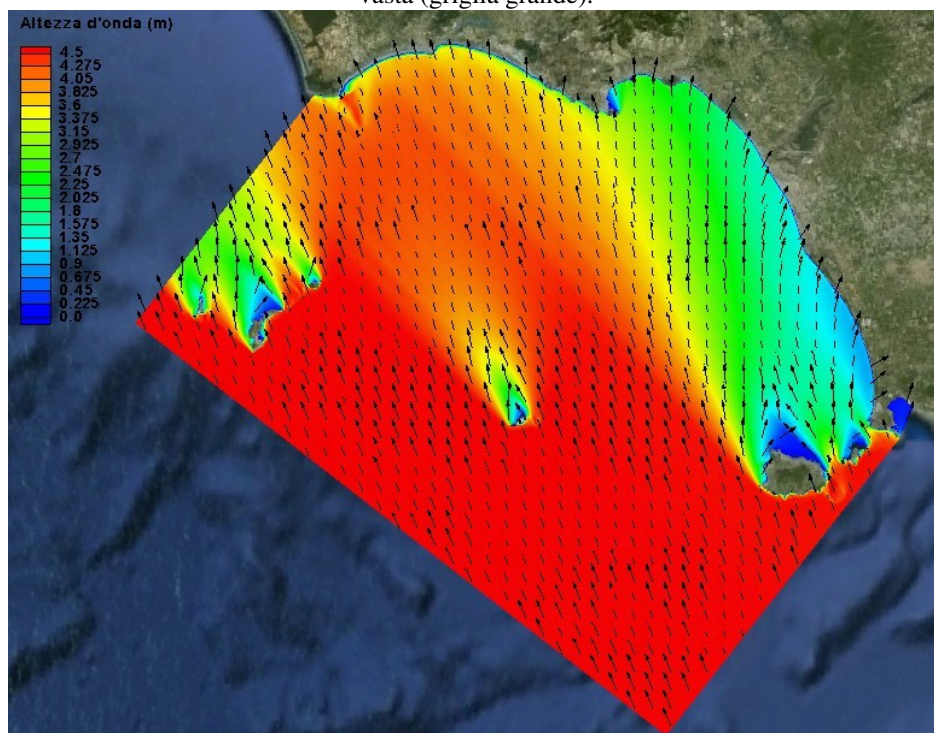


Fig.15 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 2 rappresentante propagazione dell'onda con $Tr = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra l'effetto ombra provocato dalle Isole di Ischia e Procida e dalle Isole Pontine, che causano un'importante attenuazione dell'onda lungo tutta l'area di studio e soprattutto nell'unità fisiografica compresa tra Capo Gaeta e Ischia. Il tratto di costa a nord (Circeo e Punta Stendarda) risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si denota una maggiore intensità del moto ondoso incidente, che raggiunge i valori massimi in prossimità delle Isole Pontine e Capo Circeo.

Scenario 3 (direzione compresa tra 163° - 203°)

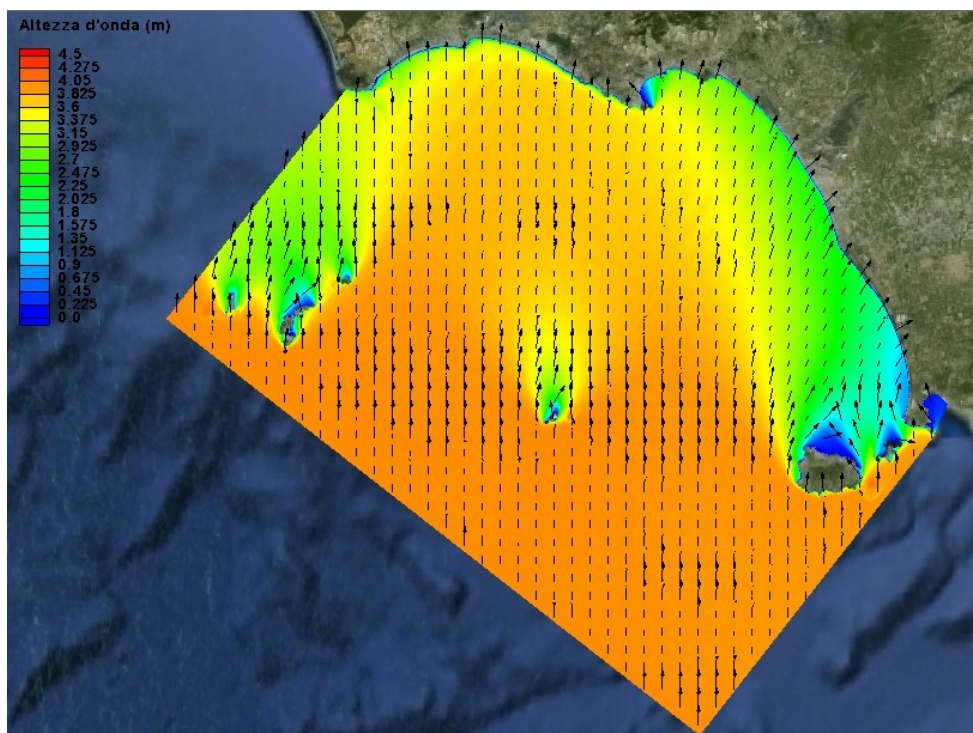


Fig.16 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 3 rappresentante propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

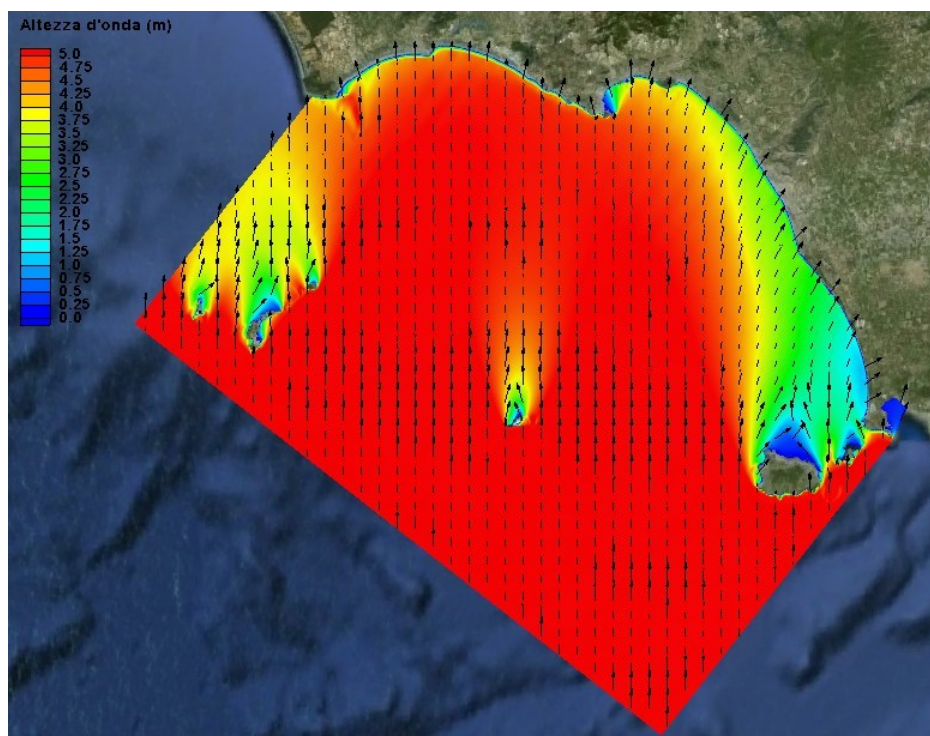


Fig.17 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 3 rappresentante propagazione dell'onda con $T_r = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario si presenta come l'evento che incide maggiormente sul tratto di costa del Golfo di Gaeta. Un importante effetto ombra, provocato dalle Isole di Ischia e Procida si osserva nel tratto di costa a sud del Monte Scauri, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove è presente una maggiore intensità del moto ondoso incidente, che raggiunge i valori massimi lungo il tratto di costa tra promontorio di Terracina e Punta Stendaria nonché le coste delle isole pontine.

Scenario 4 (direzione compresa tra 203° - 231°)

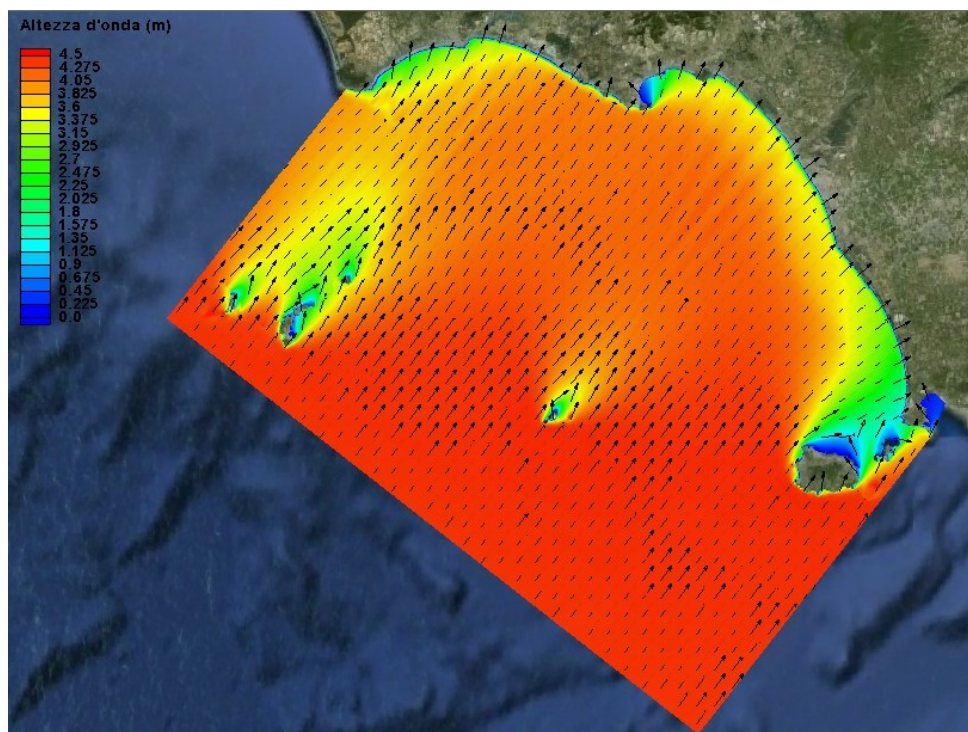


Fig.18 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 4 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

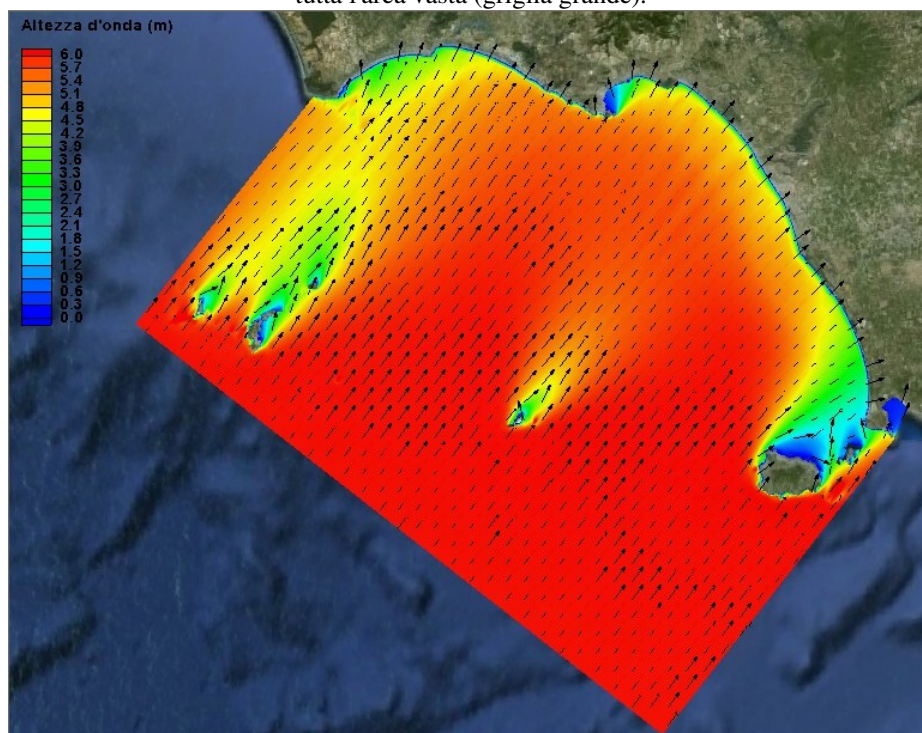


Fig.19 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 4 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Come per lo scenario precedente, il fenomeno ondoso rappresentato si presenta come un evento particolarmente incisivo per il tratto di costa in esame. Un importante effetto ombra, provocato dalle Isole di Ischia e Procida, si osserva nel tratto di costa a sud del Monte Scauri, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa a nord risulta particolarmente esposto a questo evento lungo il tratto costiero tra il promontorio di Terracina e Punta Stendarà, mentre a sud di Capo Circeo il moto ondoso subisce un effetto ombra provocato dalle isole di Ponza, Palmarola e Zannone.

Scenario 5 (direzione compresa tra 231° - 251°)

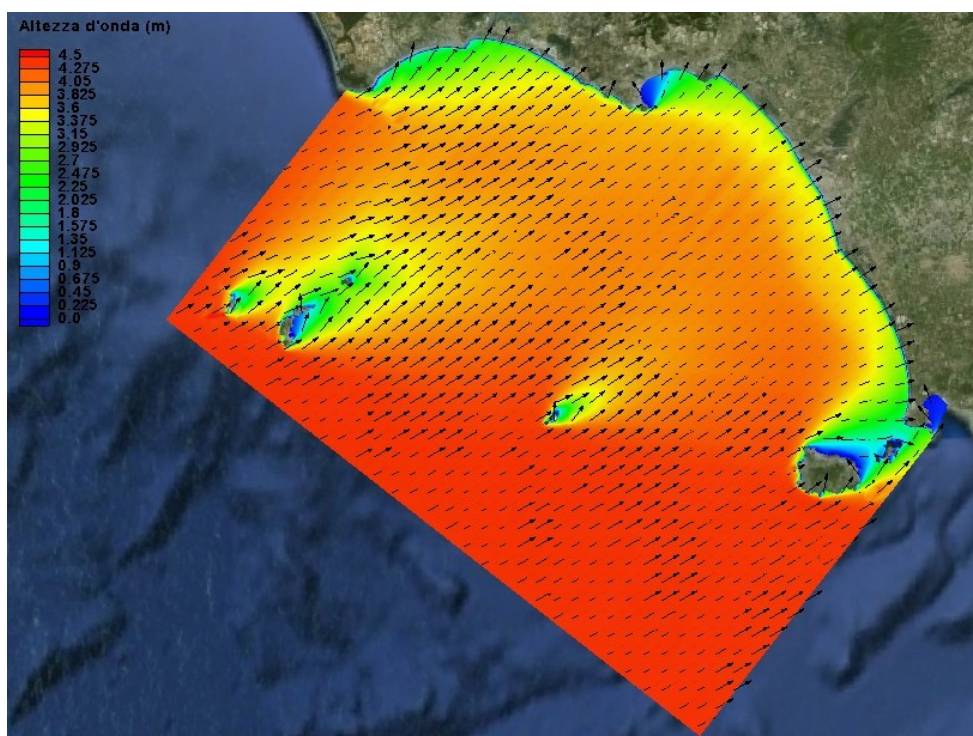


Fig.20 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 5 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

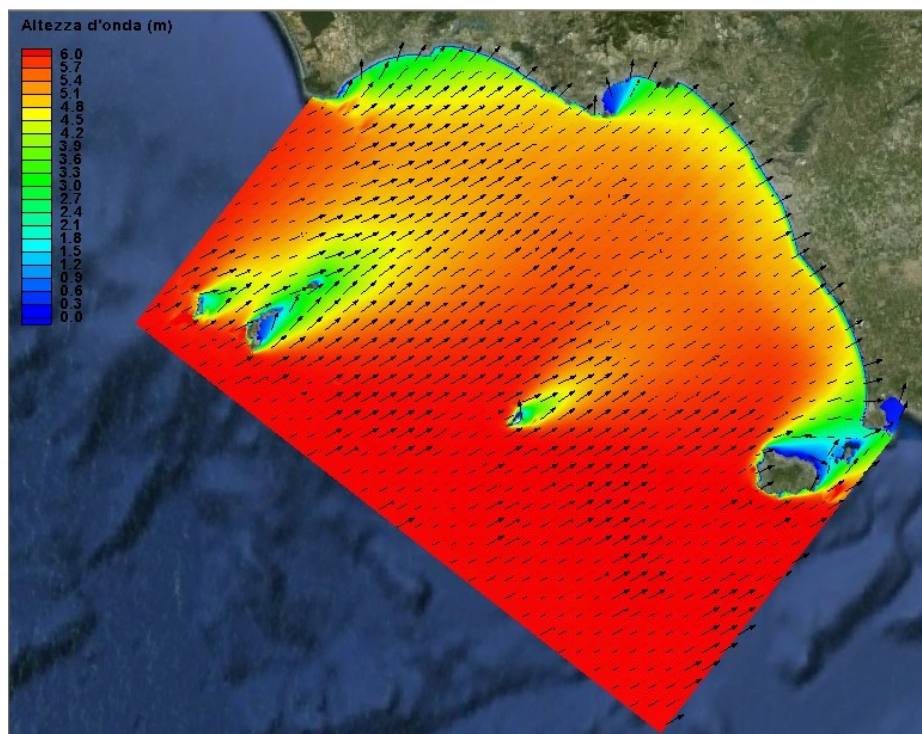


Fig.21 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 5 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra come un importante effetto ombra sia provocato a sud di Capo Circeo dal promontorio stesso, così come le isole pontine creano un effetto ombra che produce un'attenuazione del moto ondoso su quasi tutto il settore costiero. Il tratto di costa di Sperlonga e della foce del Volturno risulta quello dove incide il moto ondoso più intenso.

Scenario 6 (direzione compresa tra 251° - 281°)

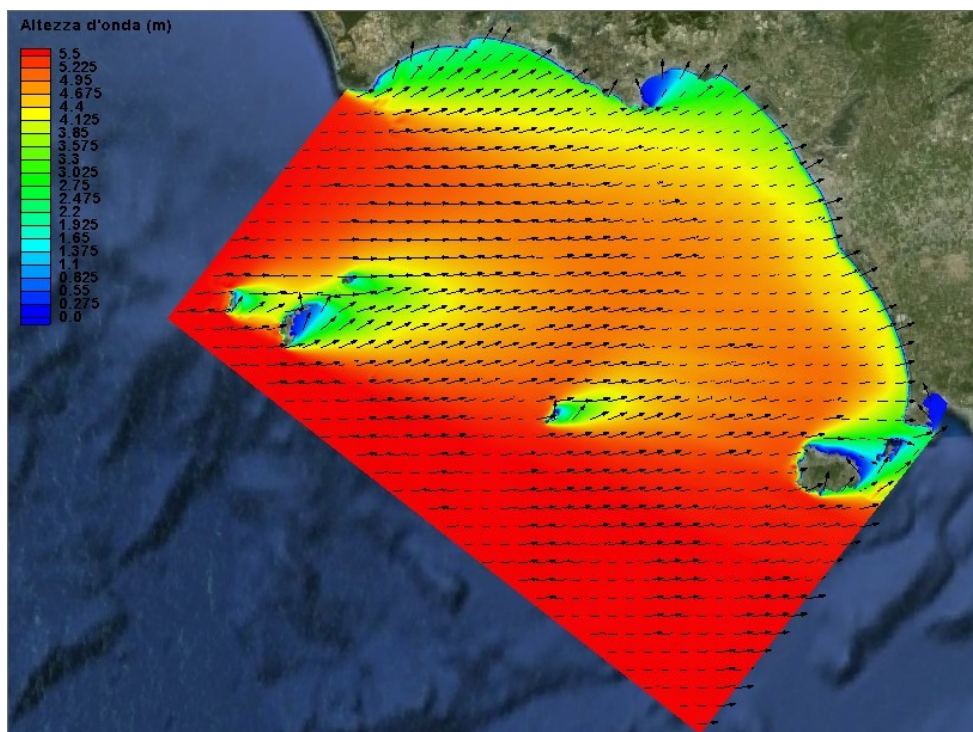


Fig.22 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 6 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

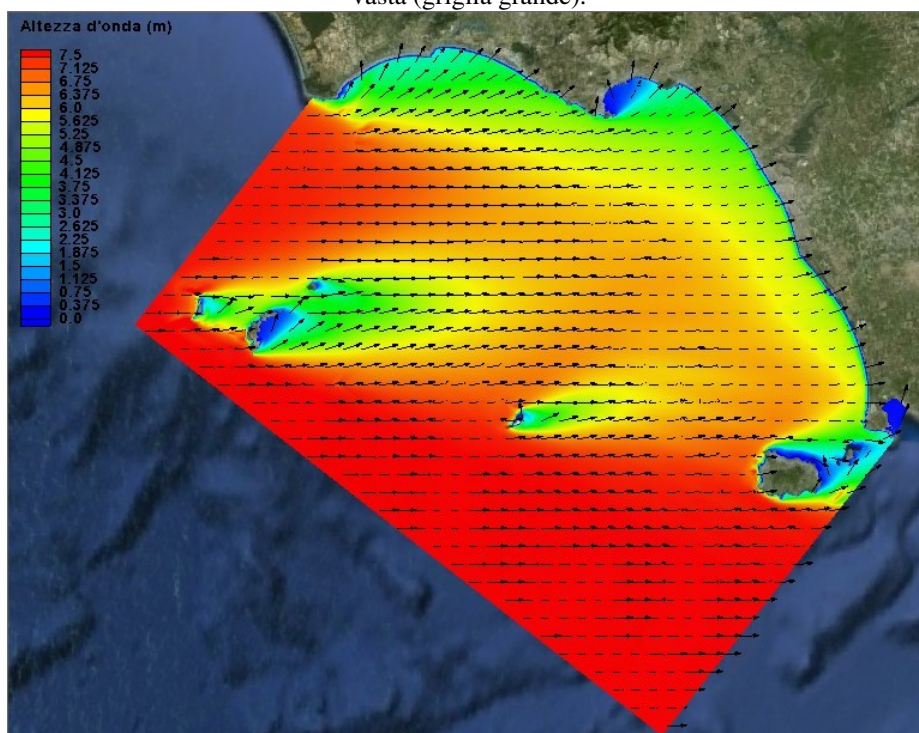


Fig.23 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 6 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario si presenta come l'evento prevalente registrato dalla boa ondometrica (RON), che però non risulta il più incisivo dal punto di vista dell'intensità raggiunta a costa. La presenza di Capo Circeo e delle Isole Pontine determina un effetto ombra lungo l'intera area di studio, in particolare nell'unità fisiografica compresa tra Capo Circeo e Punta Stendarda, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa in cui l'intensità del moto ondoso risulta maggiore è nel tratto di costa in cui è presente il delta del Volturno.

Scenario 7 (direzione compresa tra 281° - 323°)

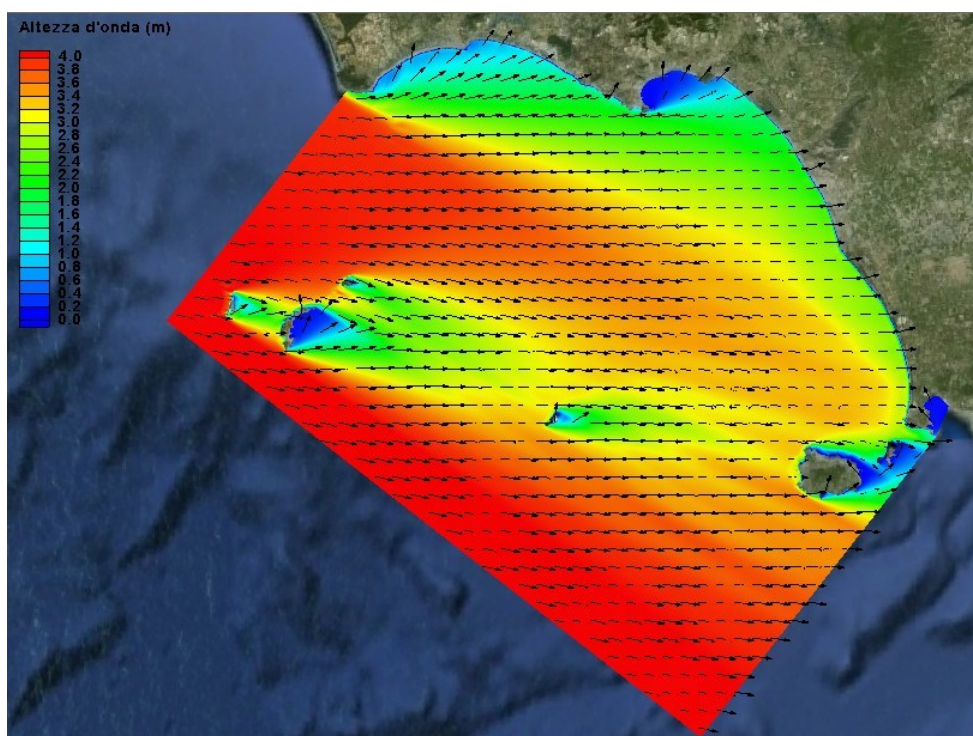


Fig.24 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 7 rappresentante la propagazione dell'onda con $Tr = 1$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

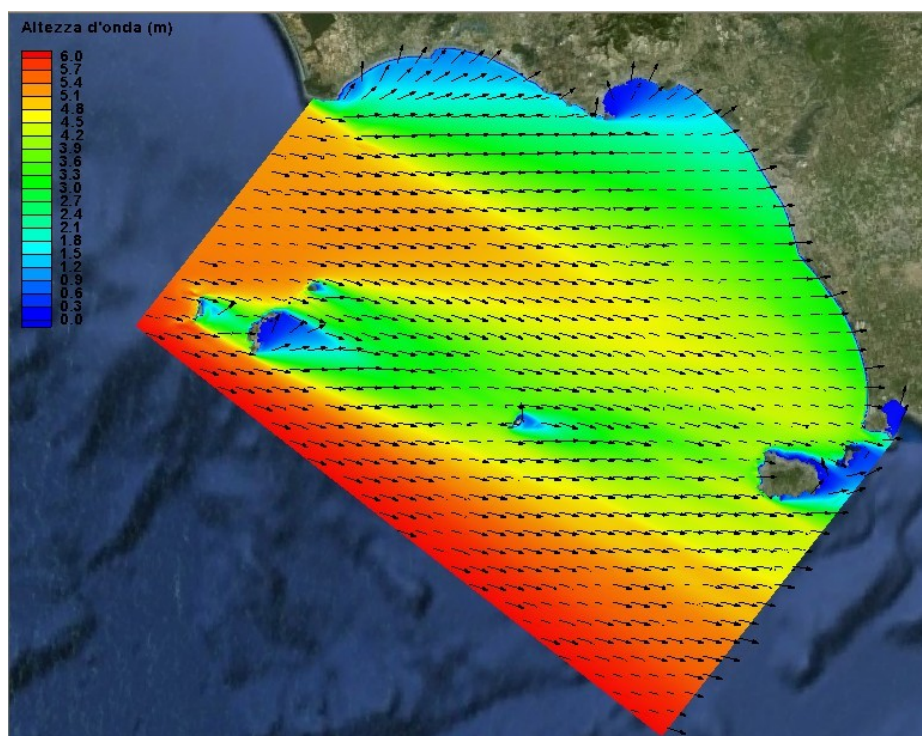


Fig.25 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 7 rappresentante la propagazione dell'onda con $T_r = 10$, su tutta l'area vasta (griglia grande).

Dall'analisi del fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario è possibile osservare un'importante attenuazione dell'intensità del moto ondoso sulle coste dell'area di studio generato dalla morfologia costiera e dalla sua esposizione rispetto alla direzione di provenienza delle onde. La presenza di Capo Circeo, infatti, determina un effetto ombra lungo l'intera area di studio in particolare nell'unità fisiografica compresa tra Capo Circeo e Punta Stendarda, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa in cui l'intensità del moto ondoso risulta maggiore è la porzione meridionale dell'unità fisiografica compresa tra il promontorio di Gaeta e Ischia. La porzione di mare del Golfo di Gaeta, data l'esposizione della costa rispetto alla direzione delle onde e la morfologia costiera, risulta particolarmente riparato dagli eventi di maestrale.

2.4 Descrizione della corrente generale

Dal punto di vista della circolazione generale il bacino tirrenico si presenta come un'area particolarmente attiva del Mar Mediterraneo, con una ricca dinamica a mesoscala (Vetrano et al.,

2010). Il bacino tirrenico che è il principale mare italiano, è un bacino profondo con una batimetria complessa ed in cui confluiscono acque superficiali di origine atlantica (Atlantic Waters, AW) e acque intermedie salate (Levantine Intermediate Waters, LIW) che provengono dal bacino orientale. Negli anni le osservazioni degli scambi attraverso le tre aperture (Canale di Sardegna e Corsica e Stretto di Sicilia) hanno portato alla descrizione della dinamica principale costituita da una corrente guidata dal vento di direzione SE-NW (Krivosheya, 1983; Astraldi e Gasparini, 1994; Millot, 1999) e strutture quasi permanenti costituite da un'area ciclonica a sud-est della Sardegna, il gyre di Bonifacio ed il suo compagno anticiclonico a sud della stretto. In inverno queste strutture si fondono in una cella ciclonica a scala di bacino che porta le acque AW da sud verso nord mentre in estate c'è un indebolimento di questa circolazione con una intensificazione del centro ciclonico e la formazione di diversi eddies nel settore orientale.

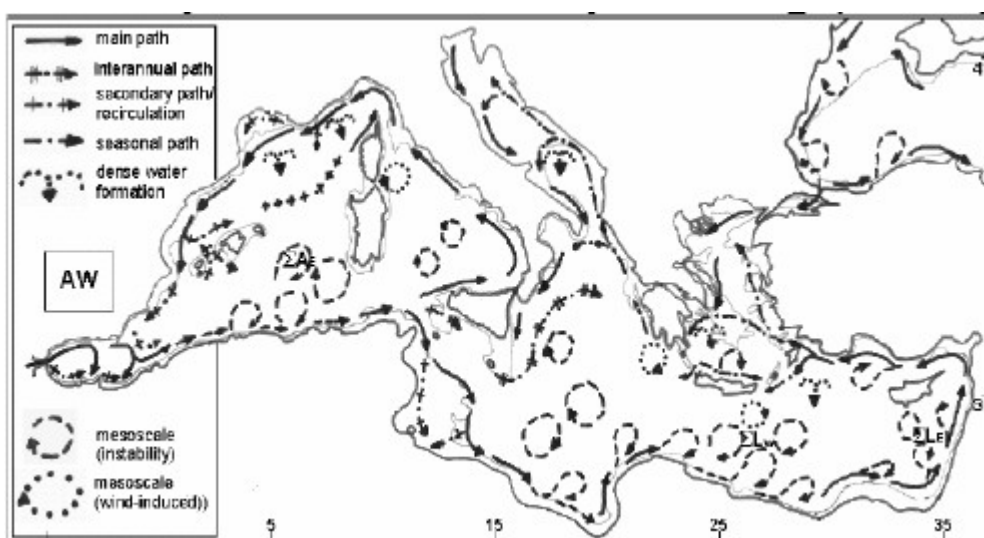


Fig. 26 Circolazione generale del Mediterraneo Millot, 1999

Dal recente studio di Iacono et al. (2013) emerge come il settore orientale del Mar Tirreno sia caratterizzato da una corrente AW che diviene progressivamente ciclonica verso nord formando ampi meandri intorno a diversi anticiclioni collocati lungo la costa italiana. Questi vortici, legati alla instabilità della corrente AW, rappresentano una forte caratteristica della circolazione invernale-primaverile. La circolazione media estiva indica come l'indebolimento della corrente AW determini un isolamento del bacino tirrenico, con la formazione di una cella anticiclonica nel settore orientale

che comprende il settore di fondale in cui è posizionato il monte sottomarino Marsili e Vavilov.

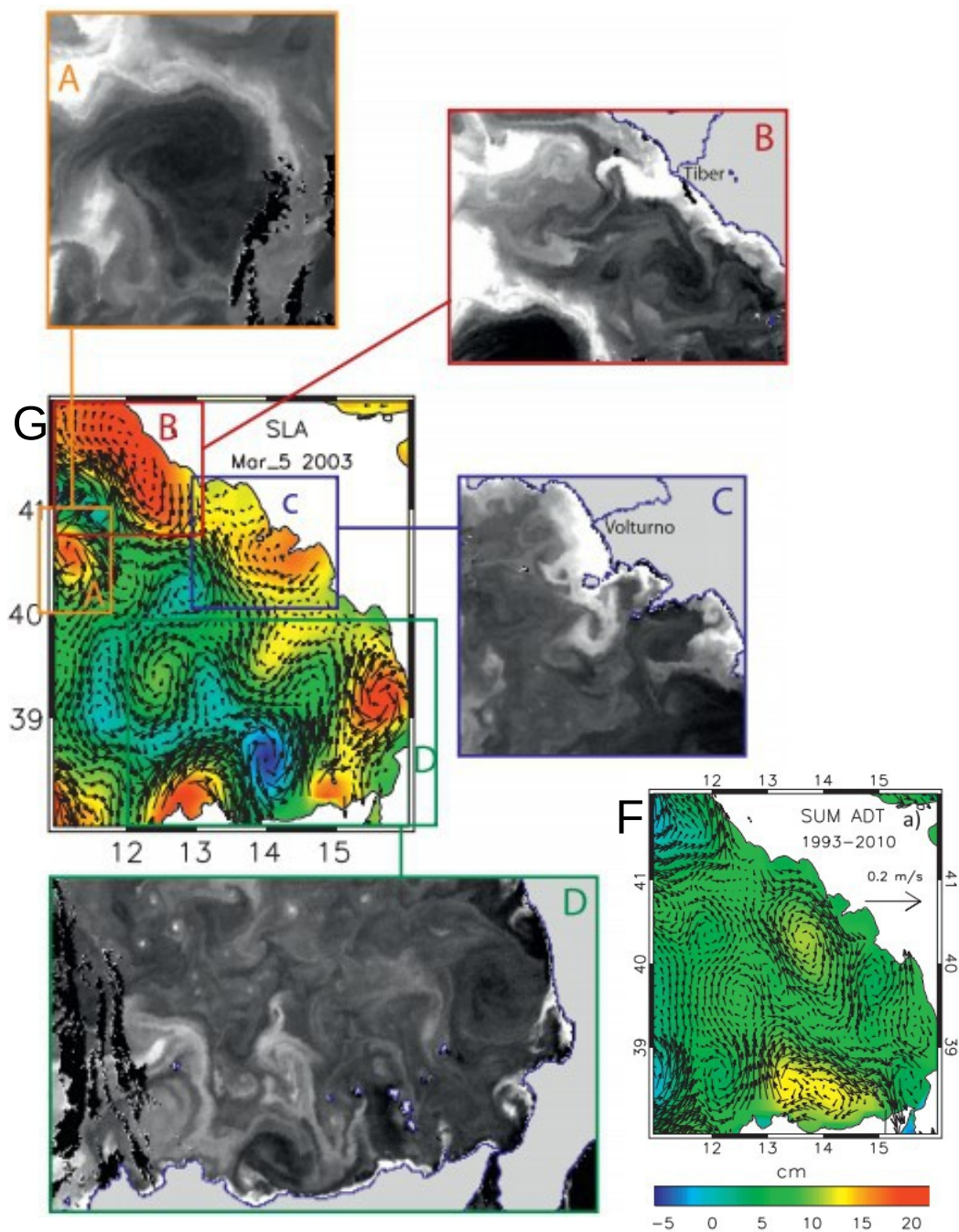


Fig.27 Campo di velocità geostrofiche del periodo invernale ed estivo (F,G); dettaglio delle principali strutture individuate nelle immagini di *clorofilla a* (A,B,C,D) (dal lavoro di Iacono et al., 2013)

2.5 Descrizione del trasporto solido costiero

Dal lavoro di Ferretti et al., 1989 si evince come il settore settentrionale al Golfo di Gaeta sia interessato da uno scarso apporto terrigeno; a sud del golfo l'effetto del trasporto solido del fiume Garigliano è limitato al Golfo di Gaeta, all'interno del quale le condizioni morfologiche e idrodinamiche favoriscono l'accumulo del materiale in sospensione, soprattutto in estate. Gli apporti fluviali del Fiume Volturno interessano invece un'ampia area fino ad una distanza di oltre 15km da costa. Il documento più recente in cui è riportato lo stato delle conoscenze e le ultime indagini relative alla direzione e quantificazione del trasporto solido litoraneo è quello prodotto dal CNR nel 2009. Un'ulteriore studio con arco temporale di riferimento 2005-2011 è quello prodotto dalla Regione Lazio a conclusione del progetto MAREMED, il quale però si configura essenzialmente come uno strumento su cui pianificare gli interventi di ripascimento costiero, in quanto analizza i volumi erosi o depositi solo dalla spiaggia emersa, non fornendo alcuna indicazione di carattere morfodinamico che possa fornire un'ulteriore conoscenza sui flussi ed i processi di dinamica costiera.

Dal promontorio del Circeo a Torre Truglia sono presenti complessivamente circa 28 km di spiagge, separate dal promontorio di Terracina, che, fino alla costruzione del porto (ultimato attorno al 1840), probabilmente permetteva la continuità del flusso di sedimenti litoranei. Il tratto più settentrionale è ormai privo di una vera e propria spiaggia ed è interamente protetto da pesanti opere rigide. Nel tratto centrale, recentemente interessato da forti fenomeni erosivi, la spiaggia deve la sua esistenza ai ripascimenti ed alle opere rigide. Il tratto meridionale, alimentato comunque dall'erosione del tratto soprafflutto, è attualmente abbastanza stabile.

Lungo il tratto di costa esteso dal Monte Circeo a Terracina il trasporto solido risulta prevalentemente diretto verso Levante. Nel tratto di costa tra Terracina ed il promontorio di Gaeta risulta un flusso detritico molto contrastato, con intensità ridotta, più netta nella zona centrale e fortemente attenuata alle estremità. Le spiagge fino a Gaeta sono alimentate dai soli tributi dei bacini imbriferi. Anche le piccole spiagge addossate al promontorio di Gaeta sono pressoché autonome ed alimentate dai piccoli bacini soprastanti. È probabile che esista una certa fuga di materiale oltre il promontorio, che naturalmente si disperde in alto fondale. Nel tratto di costa tra

Gaeta ed il Monte Scauri le alluvioni del Torrente Itri dovrebbero dividersi in due filoni: la prima verso Nord dispersa nella zona portuale, la seconda verso Sud ad alimentare la spiaggia del Vindicio. Il porto di Formia costituisce un ostacolo insuperabile a questo flusso. Ad Est del porto il movimento detritico è alternato ma equilibrato. I detriti scaricati dai fiumi in questo tratto dovrebbero rimanere in loco, con leggera tendenza a disperdersi oltre il promontorio di Scauri. Il promontorio di Gaeta non può essere superato dal pur debole flusso da Ponente. Il promontorio di Scauri è praticamente insuperabile per le alluvioni provenienti dal Garigliano. L'alimentazione è praticamente assicurata dai tributi dei piccoli corsi d'acqua locali (Itri e minori). La lenta erosione delle spiagge di Caboto e Vindicio è da attribuirsi principalmente alle opere portuali di Gaeta, che provocano un richiamo di sedimenti nelle zone più protette. Lungo la costa tra Scauri e il Garigliano le alluvioni del Garigliano vengono prevalentemente sospinte verso Sud, ma una piccola parte viene sospinta verso Nord. Questo tratto di Litorale è alimentato quasi esclusivamente dal Garigliano e fa parte di un'unità più grande, che si estende fino al monte di Procida. La spiaggia sabbiosa orla una piana leggermente rialzata che degrada verso la piana alluvionale del Garigliano, verso Sud. Il flusso detritico è rivolto verso Ponente tra il Garigliano e Monte d'Argento, mentre si annulla più a Ponente. L'area di studio si trova a cavallo tra due regioni (Lazio e Campania) e, per quanto riguarda il tratto costiero che procede verso sud da Gaeta, si è fatto riferimento a studi condotti dall'Autorità di Bacino dei fiumi Liri, Garigliano e Volturno e dalla Rogedil s.r.l rispettivamente del 2010 e 2003. Da tali studi emerge come i fondali ad est del Monte Scauri siano influenzati dagli apporti del fiume Garigliano, mentre scarso o quasi nullo è l'apporto sedimentario da parte di questo fiume verso i litorali ad ovest del Monte Scauri, tanto da considerare Gaeta – Monte Scauri un'unità fisiografica a sè stante per le profondità raggiunte (-10m) dalle strutture aggettanti che delimitano tale tratto costiero (Monte scauri e Prom. Gaeta). Il trasporto solido è diretto verso Nord nel tratto di costa a nord del Volturno, quantificato in 80000 mc/anno nel periodo di riferimento 1997-2007, di direzione opposta nel tratto meridionale dell'apparato deltizio che ammonta a 150000 mc/anno. L'effetto erosivo osservato è limitato solo ai tratti costieri limitrofi al delta della foce del Volturno, in cui è stata registrata nel corso dell'ultimo secolo una netta tendenza alla riduzione del litorale, a causa anche della forte diminuzione degli apporti solidi.

2.6 Idrologia fluviale

A scala regionale i 3 corsi d'acqua di maggiore importanza sono il Tevere, il Garigliano ed il Volturno che riversano circa l'86% delle acque continentali. Di questi, il Garigliano ed il Volturno interessano direttamente il regime idrologico e di trasporto solido dell'area oggetto dello studio.

Il Bacino dei fiumi Liri e Garigliano ha una superficie complessiva di 4.984 km² con una lunghezza dell'asta principale di 164 km. La rete idrografica risulta articolata in numerosi affluenti, di cui i principali sono il Fiume Sacco, che contribuisce per circa il 25% dell'area complessiva, e la conca endoreica del Fucino, morfologicamente e geograficamente separato dal bacino del Liri ma ad esso connesso per il tramite delle opere di bonifica idraulica. Il fiume Liri nasce in Abruzzo nei pressi di Cappadocia (AQ) dai Monti Simbruini ad una quota di circa 958 metri s.l.m., si estende per una lunghezza di circa 136 km ed in corrispondenza dei comuni di Rocca d'Evandro e Sant'Ambrogio sul Garigliano, confluisce con il fiume Gari, assumendo il nome di Garigliano. Da questo punto in poi il corso d'acqua assume un andamento meandriforme e sfocia nel mar Tirreno, nel golfo di Gaeta (LT).

Il fiume Volturno è il sesto bacino idrografico per estensione (6.342 km²) e l'undicesimo per lunghezza (175 km). Esso nasce in Molise, dalle sorgenti di Capo Volturno nel comune di Rocchetta al Volturno, e si sviluppa principalmente lungo il territorio della Campania, interessando anche in minima parte le regioni Lazio, Abruzzo e Puglia. Il suo principale affluente, per superficie del bacino corrispondente e per portata fluente, è il fiume Calore Irpino. Il Volturno sfocia nel mar Tirreno, nel territorio comunale di Castel Volturno. A causa di frequenti fenomeni esondativi avvenuti nel corso del tempo, il corso d'acqua è stato fortemente modificato dall'azione dell'uomo con la costruzione di canali artificiali di bonifica e numerose opere di regimentazione.

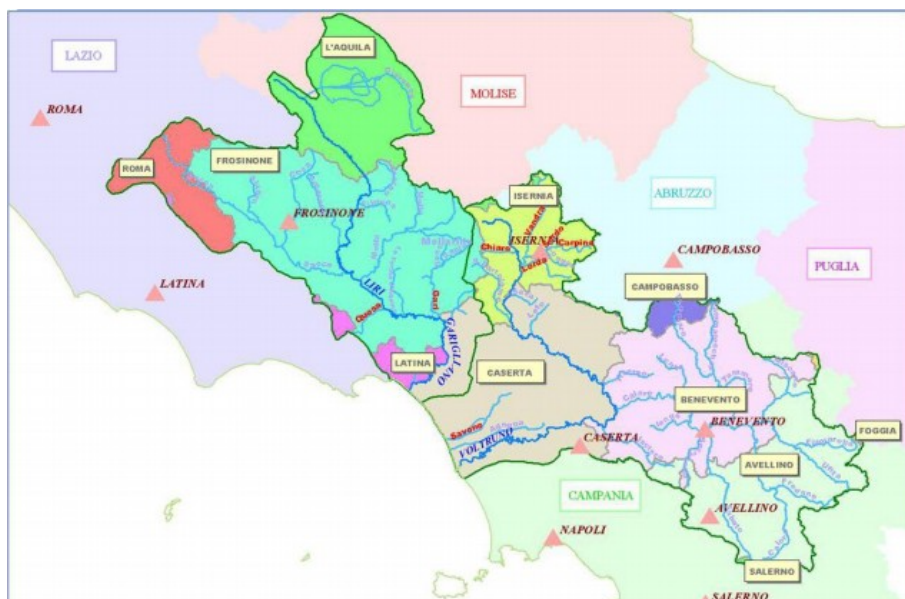


Fig.28 Bacini idrografici del Liri-Garigliano e Volturno

Dal lavoro di Boni et al., 1996 emerge come in prossimità della foce del Fiume Garigliano il flusso di base del trimestre estivo sia di $65.9 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il ruscellamento del trimestre invernale è di $58 \text{ m}^3/\text{s}$. Per quanto riguarda il fiume Volturno la portata media è di circa $19 \text{ m}^3/\text{s}$, con massimi di circa $26 \text{ m}^3/\text{s}$ in inverno e minimi di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ in estate.

Nel lavoro di Paolucci e Siniscalchi, 1996 si ritrovano dei riferimenti sommari relativi al trasporto solido dei corsi d'acqua presenti lungo l'area di studio, stimato mediante le curve di isoerosione (Gazzolo & Bassi, 1962). In tabella 2 sono riportate le informazioni computate da tale studio.

Tab.2 Dati sul trasporto solido dei corsi d'acqua presenti nell'area di studio

Bacini	Superficie (km^2)	Torbida ($\text{t}/\text{km}^2/\text{anno}$)	Volume affluente ai litorali (m^3/anno)
Tra Pianura Pontina e Fondi	1801	150	45000
Tra Fondi e Garigliano	210	250	8800
Garigliano	1025	250	42700

2.7 Descrizione delle caratteristiche fisico-chimiche e biologiche della colonna d'acqua

La struttura verticale delle masse d'acqua tirreniche proposta da Hopkins et al. (1992) per la piattaforma continentale laziale è articolata in quattro strati: Tyrrhenian Intermediate Water (TIW), Tyrrhenian Surface Water (TSW), Tyrrhenian Atlantic Water (TAW) e Levantine Intermediate Water (LIW). Per ciò che concerne più specificatamente l'area meridionale della piattaforma continentale laziale, studi recenti condotti nel golfo di Gaeta (Budillon et al., 1999), e relativi alle condizioni tipiche del periodo autunnale, hanno evidenziato la presenza di uno strato superficiale dello spessore di 20-70 m caratterizzato da temperature di 17.8-18.0°C e salinità di 37.80psu. Nell'area tra il promontorio del Circeo e Gaeta, l'intrusione di una lingua di acque più dense modifica la graduale variazione di densità che accompagna il passaggio dalle acque costiere ($\sigma_t < 27.5$) alle acque Tirreniche ($\sigma_t > 27.5$) (ICRAM, 2002).

Il mare epicontinentale, nell'ambito regionale, presenta livelli di ossigenazione delle acque marine non apprezzabilmente influenzati dalle stagioni, con un minimo intorno all'isobata di 300 m, in corrispondenza di un massimo di salinità. Da ciò si evidenzia un fenomeno caratteristico di stratificazione di acque superficiali più ossigenate e a bassa salinità su acque più salate e con valori di saturazione dell'ordine del 75%, tipici di masse d'acqua di origine remota (Bruno et al., 1996).

3. AREE SOTTOPOSTE A CONSERVAZIONE AMBIENTALE

Il 21 maggio 1992 la Commissione Europea approva la Direttiva n. 92/43/CEE, conosciuta come Direttiva Habitat, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche. L'Italia ha recepito la Direttiva nel 1997 con il D.P.R. 8 settembre 1997 n. 357, modificato ed integrato dal D.P.R. 120 del 12 marzo 2003 (Cosentino et al., 2002, Commissione Europea, 2002).

Nell'articolo 1 vengono date due importanti definizioni ai fini dell'applicazione della Direttiva: S.I.C. (Sito di Importanza Comunitaria) e Z.S.C. (Zona Speciale di Conservazione). Il S.I.C. è un sito che contribuisce in modo significativo a mantenere o a ripristinare un tipo di habitat naturale (allegato I) o una specie (allegato II) in uno stato di conservazione soddisfacente.

La Z.S.C. è un sito di importanza comunitaria designato dagli Stati membri mediante un atto amministrativo in cui sono applicate le misure di conservazione necessarie al mantenimento o al ripristino, in uno stato di conservazione soddisfacente, degli habitat naturali e/o delle popolazioni delle specie per cui il sito è designato (Commissione Europea, 2001).

A questi siti si aggiungono le Z.P.S. Zone a Protezione Speciale istituite ai sensi della Direttiva Uccelli (79/409/CEE).

Il Lazio dopo aver approvato i suoi 199 SIC e ZPS con deliberazione (del G. R. 19.03.1996, n. 2146 Direttiva 92/43/CEE: *approvazione della lista dei siti con valori di importanza comunitaria del Lazio ai fini dell'inserimento nella Rete Ecologica Europea Natura 2000*), emana la L.R. 6.10.1997, n. 29 *Norme in materia di aree naturali protette regionali*, prevedendo all'articolo 6 che i siti di importanza comunitaria, individuati nel territorio regionale in base ai criteri indicati dalla Direttiva Habitat, siano tutelati ai sensi della disciplina di attuazione della normativa comunitaria; queste aree sono integrate nello schema di piano regionale delle aree protette (www.minambiente.it, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, C(2014) 9098).

Tre i parchi nazionali che interessano il Lazio troviamo il Parco del Circeo (istituito nel 1934) e parzialmente il Parco del Gran Sasso e Monti della Laga ed i Parchi di Abruzzo, Lazio e Molise. Sono inoltre presenti diversi parchi regionali e urbani, Riserve naturali ed altre aree protette, pari a circa l'11% della superficie regionale.

3.1 Elenco ufficiale delle aree tutelate nell'area compresa tra il Promontorio del Circeo e l'Isola di Ischia

In figura sono riportate le localizzazioni ed estensioni di tutte le aree soggette a tutela ricadenti nell'area vasta.

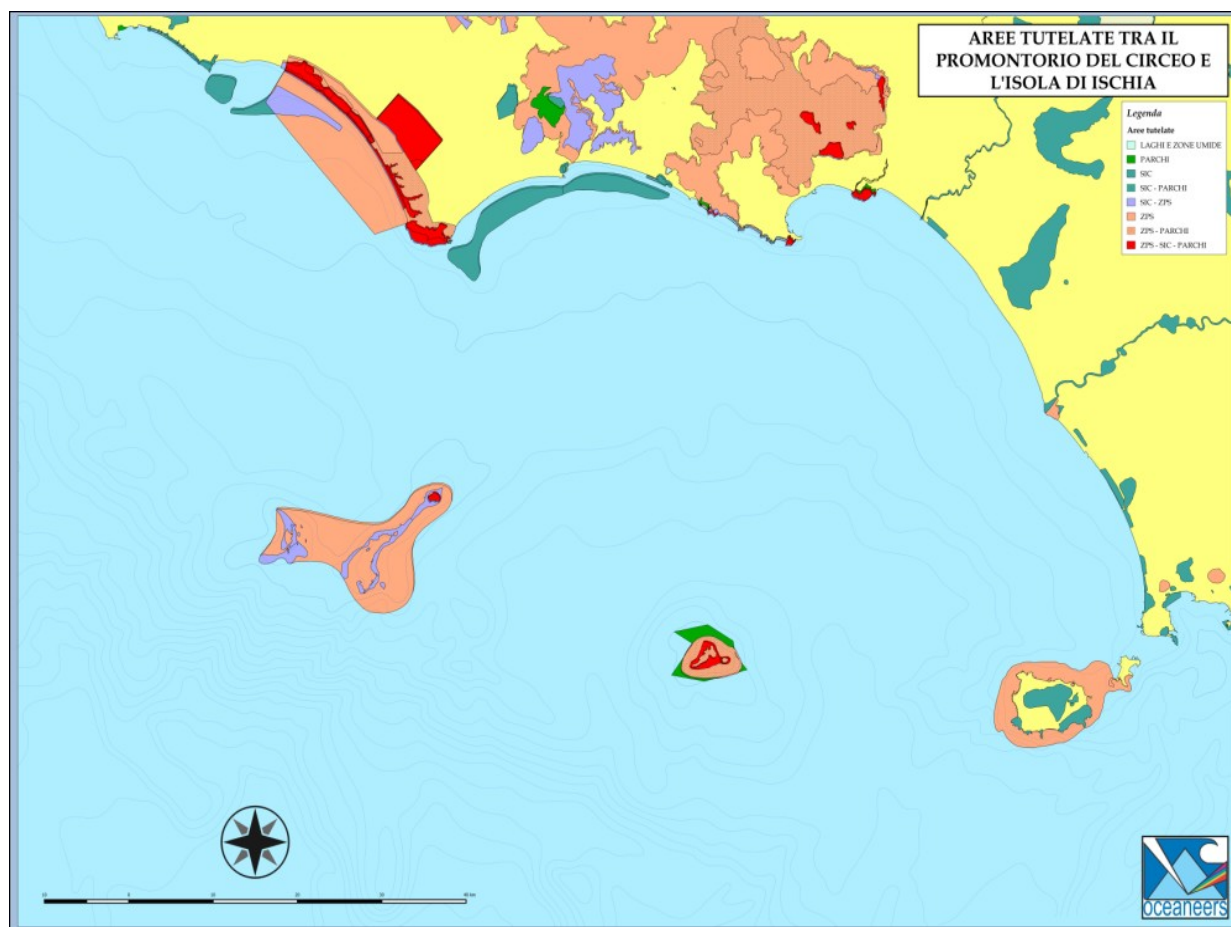


Fig. 29 Localizzazione delle aree soggette a tutela nell'area vasta

3.1.1 Elenco ufficiale dei Sic

TIPO_SITO	DENOMINAZIONE	REGIONE	ETTARI	TUTELA
B	Litorale di Torre Astura	Lazio	23483.904	91C - ZSC
B	Sughereti di S. Vito e Valle Marina	Lazio	15900.872	91C - ZSC
B	Monti Ausoni meridionali	Lazio	62664.301	91C - ZSC
B	Monte Leano	Lazio	12003.463	91C - ZSC
B	Canali in disuso della bonifica Pontina	Lazio	10460.18	91C - ZSC
B	Monte S. Angelo	Lazio	3374.565	91C - ZSC
C	Lago di Fondi	Lazio	27771.739	91C - ZSC
B	Lago Lungo	Lazio	5393.716	91C - ZSC
B	Laghi Fogliano, Monaci, Caprolace e Pantani dell'Inferno	Lazio	33208.011	91C - ZSC
B	Lago di Sabaudia	Lazio	27572.478	91C - ZSC
B	Fondali tra Torre Astura e Capo Portiere	Lazio	10720.316	91C - ZSC
B	Foresta Demaniale del Circeo	Lazio	23370.331	91C - ZSC
B	Fondali tra Capo Portiere e Lago di Caprolace (foce)	Lazio	29696.409	91C - ZSC
B	Promontorio del Circeo (Quarto Caldo)	Lazio	14997.028	91C - ZSC
B	Fondali tra Capo Circeo e Terracina	Lazio	38372.895	91C - ZSC
B	Promontorio del Circeo (Quarto Freddo)	Lazio	19417.42	91C - ZSC
B	Fondali tra Terracina e Lago Lungo	Lazio	27020.064	91C - ZSC
B	Dune del Circeo	Lazio	45425.162	91C - ZSC
B	Fondali circostanti l'Isola di Palmarola	Lazio	34595.395	91C - ZSC
B	Isola di Palmarola e Zannone	Lazio	14904.382	91C - ZSC
B	Fondali circostanti l'Isola di Ponza	Lazio	54835.459	91C - ZSC
B	Duna di Capratica	Lazio	5514.655	91C - ZSC
B	Fondali circostanti l'Isola di Zannone	Lazio	17169.226	91C - ZSC
C	Costa rocciosa tra Sperlonga e Gaeta	Lazio	40146.895	91C - ZSC
B	Fondali circostanti l'Isola di Ventotene	Lazio	23415.43	91C - ZSC
C	Promontorio Gianola e Monte di Scauri	Lazio	10209.427	91C - ZSC
B	Fondali circostanti l'Isola di S. Stefano	Lazio	6083.642	91C - ZSC
B	Rio S. Croce	Lazio	14859.242	91C - ZSC
B	Fiume Garigliano (tratto terminale)	Lazio	4921.488	91C - ZSC
B	Monte Petrella (area sommitale)	Lazio	4220.858	91C - ZSC
B	Monte Redentore (versante sud)	Lazio	8544.466	91C - ZSC
B	Forcelle di Campello e di Fraile	Lazio	8881.537	91C - ZSC
B	Parete del Monte Fammera	Lazio	16869.855	91C - ZSC
B	Pendi meridionali del Monte M. Itria	Campania	14597.348	91C - ZSC
B	Aree umide del Cratere di Averno	Campania	43.935	91C - ZSC
B	Capo Miseno	Campania	50.219	91C - ZSC
B	Collina dei Cariddi	Campania	261.166	91C - ZSC
B	Corpo centrale dell'Isola di Ischia	Campania	1310.261	91C - ZSC
C	Cratere di Astroni	Campania	253.295	91C - ZSC
B	Foce di Licola	Campania	146.883	91C - ZSC
C	Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara	Campania	6115.702	91C - ZSC
C	Fondali marini di Punta Campanella e Capri	Campania	8490.882	91C - ZSC
C	Isola di Vivara	Campania	35.573	91C - ZSC
B	Isolotto di S. Martino e dintorni	Campania	14.045	91C - ZSC
C	Lago d'Averno	Campania	125.34	91C - ZSC
B	Lago del Fusaro	Campania	191.718	91C - ZSC
B	Lago di Lucrino	Campania	10.356	91C - ZSC
B	Lago di Miseno	Campania	78.802	91C - ZSC
B	Lago di Patria	Campania	507.14	91C - ZSC
B	Monte Barbaro e Cratere di Campiglione	Campania	358.047	91C - ZSC
B	Monte Nuovo	Campania	29.536	91C - ZSC
B	Monte Somma	Campania	3076.217	91C - ZSC
B	Pinete dell'Isola di Ischia	Campania	66.446	91C - ZSC
B	Porto Paone di Nisida	Campania	4.074	91C - ZSC
B	Rupi costiere dell'Isola di Ischia	Campania	685.05	91C - ZSC
B	Stazioni di <i>Cyanidium caldarium</i> di Pozzuoli	Campania	4.26	91C - ZSC
B	Stazione di <i>Cyperus polystachyus</i> di Ischia	Campania	13.727	91C - ZSC
B	Vesuvio	Campania	3411.929	91C - ZSC
B	Fondali Marini di Gaiole e Nisida	Campania	166.895	91C - ZSC
B	Fondali Marini di Baia	Campania	179.716	91C - ZSC
B	Bosco di S. Silvestro	Campania	81.239	91C - ZSC
B	Catena di Monte Maggiore	Campania	5184.011	91C - ZSC
B	Lago di Carinola	Campania	20.406	91C - ZSC
B	Monte Massico	Campania	3846.458	91C - ZSC
B	Monte Tifata	Campania	1419.618	91C - ZSC
B	Monti di Mignano Monte Lungo	Campania	2487.453	91C - ZSC
B	Pineta della Foce del Garigliano	Campania	184.991	91C - ZSC
B	Pineta di Castelvolturno	Campania	90.026	91C - ZSC
B	Pineta di Patria	Campania	312.584	91C - ZSC
B	Vulcano di Roccamarina	Campania	3816.45	91C - ZSC
B	Fiumi Volturno e Calore Beneventano	Campania	4923.933	91C - ZSC
B	Foce Volturno - Variconi	Campania	303.079	91C - ZSC
B	Fiume Garigliano	Campania	480.522	91C - ZSC

Elenco Ufficiale dei Siti di Interesse Comunitario dell'area compresa tra il Promontorio del Circeo e l'Isola di Ischia (Regione biogeografia Mediterranea). La tabella riporta le seguenti informazioni: codice dell'area, composto da nove caratteri, di cui i primi due rappresentano il codice ISO dello Stato membro; tipo di sito; denominazione; regione; ed ettari (ha); grado di tutela. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, C(2014) 9098.

3.1.2 Elenco ufficiale delle ZPS

CODICE	TIPO	DENOMINAZIONE	REGIONE	ETTARI	TUTELA
IT6040022	C	Costa rocciosa tra Sperlonga e Gaeta	Lazio	232.561	ZPS
IT6040043	A	Monti Ausoni e Aurunci	Lazio	62326.803	ZPS
IT6040023	C	Promontorio Gianola e Monte di Scauri	Lazio	223.708	ZPS
IT6040015	A	Parco Nazionale del Circeo	Lazio	22164.816	ZPS
IT6040019	A	Isole di Ponza, Palmarola, Zannone, Ventotene e S. Stefano	Lazio	17168.296	ZPS
IT6040010	C	Lago di Fondi	Lazio	701.969	ZPS
IT8010026	A	Matese	Campania	25931.7	ZPS
IT8030037	A	Vesuvio e Monte Somma	Campania	6250.617	ZPS
IT8030007	C	Cratere di Astroni	Campania	253.295	ZPS
IT8030010	C	Fondali marini di Ischia, Procida e Vivara	Campania	6115.702	ZPS
IT8030011	C	Fondali marini di Punta Campanella e Capri	Campania	8490.882	ZPS
IT8030012	C	Isola di Vivara	Campania	35.573	ZPS
IT8030014	C	Lago d'Averno	Campania	125.34	ZPS
IT8010018	A	Variconi	Campania	193.914	ZPS

Elenco Ufficiale delle Zone a Protezione Speciale dell'area compresa tra il Promontorio del Circeo e l'Isola di Ischia (Regione biogeografia Mediterranea). La tabella riporta le seguenti informazioni: codice dell'area, composto da nove caratteri, di cui i primi due rappresentano il codice ISO dello Stato membro; tipo di sito; denominazione; regione; ed ettari (ha); grado di tutela. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, C(2014) 9098.

3.1.3 Elenco di Laghi e Zone Umide

DENOMINAZIONE	REGIONE	AREA	PERIMETRO
Lago dei Monaci	Lazio	914581.4	3830.735
Lago di Caprolace	Lazio	2178352	7996.812
Lago di Fogliano	Lazio	3916528	10761.22
Lago d Fondi	Lazio	4341885	22051.81
Lago di Sabaudia	Lazio	4525403	24077.07
Lago di San Puoto	Lazio	278233.3	2165.675
Lago Lungo	Lazio	550349.1	3790.07
Lago del Fusaro	Campania	951904.4	4108.456
Lago di Averno	Campania	476183.9	2641.668
Lago di Carinola	Campania	104119.2	1207.817
Lago di Licrino	Campania	39511	808
Lago di Patria	Campania	1897671	5333.438

Elenco Ufficiale dei Laghi il Promontorio del Circeo e l'Isola di Ischia. La tabella riporta le seguenti informazioni: denominazione; regione; superficie (m²); perimetro (m). Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, C(2014) 9098.

3.1.4 Elenco dei Parchi

Parco Nazionale del Circeo

Istituito nel 1934 (L. 285/1934), per volere di Benito Mussolini, al fine di tutelare gli ultimi resti delle Paludi Pontine che proprio in quegli anni venivano bonificate, il Parco Nazionale del Circeo, è una delle più antiche aree naturali protette d'Italia (www.parcocirceo.it).

Costituito 'allo scopo di conservare, tutelare e valorizzare il patrimonio naturalistico e per la promozione e lo sviluppo del turismo e delle attività compatibili' (Istituzione dell'Ente parco nazionale del Circeo, Gazzetta Ufficiale (2005) n. 155), si estende lungo il tratto di litorale compreso tra Anzio e Terracina, coprendo una superficie complessiva di 5.616 ettari.

Vi sono cinque habitat fondamentali: La Selva di Circe, il promontorio del Circeo, l'Isola di Zannone, i laghi costieri, la duna litoranea.

Riviera di Ulisse

L'Ente Parco Regionale Riviera di Ulisse è stato istituito con la L.R. n.2 del 6 Febbraio 2003 e costituisce un ente strumentale della Regione Lazio con il compito di gestire tre aree protette regionali quali il Parco di Monte Orlando, il Parco di Gianola e Monte di Scauri ed il Monumento Naturale Villa di Tiberio e Costa Torre Capovento - Punta Cetarola (Statuto dell'Ente Parco Regionale Riviera di Ulisse, 2012).

Risulta quindi opportuno ribadire che l'Ente Parco Riviera di Ulisse non è un'area parco ma un'entità amministrativa che ha competenza su tre distinte aree protette. I comuni nei cui territori, in misura diversa, ricadono le tre aree protette sono Formia, Gaeta, Minturno e Sperlonga (Ente Parco Riviera di Ulisse, 2013).

Il Parco unisce quindi tre aree costiere di particolare pregio naturalistico, storico ed archeologico, che già precedentemente erano state aree protette di competenza regionale, rispettivamente il Parco Regionale Urbano del Comune di Gaeta, istituito nel 1986, Il Parco Suburbano di Gianola e Monte Scauri, istituito nel 1987, il Monumento Naturale 'Promontorio Villa Tiberio e Costa Torre Capovento - Punta Cetarola' istituito nel 2002. Inoltre rientrano nella gestione del Parco le aree marine che costituivano le tre aree 'Oasi Blu' del WWF, di Gianola, estesa 5 ha ed

istituita nel 1988, di Monte Orlando e di Villa Tiberio, estese rispettivamente 30 e 11 ha e istituite nel 195 (Russo, 2007).

Nel suo complesso il parco si estende su una superficie di 514 ha, di cui 434 terrestre e 80 marini e prende il nome da Ulisse, l'eroe omerico che ormeggiò la propria nave nell'odierno golfo di Gaeta.

L'Ente Parco Regionale Riviera di Ulisse si occupa della gestione, conservazione e vigilanza degli ambienti naturali di sua competenza; dell'educazione ambientale delle giovani generazioni e della promozione della sensibilità ambientale dei cittadini; della promozione del turismo ecosostenibile e dei prodotti tipici (www.parcorivieradiulisse.it).

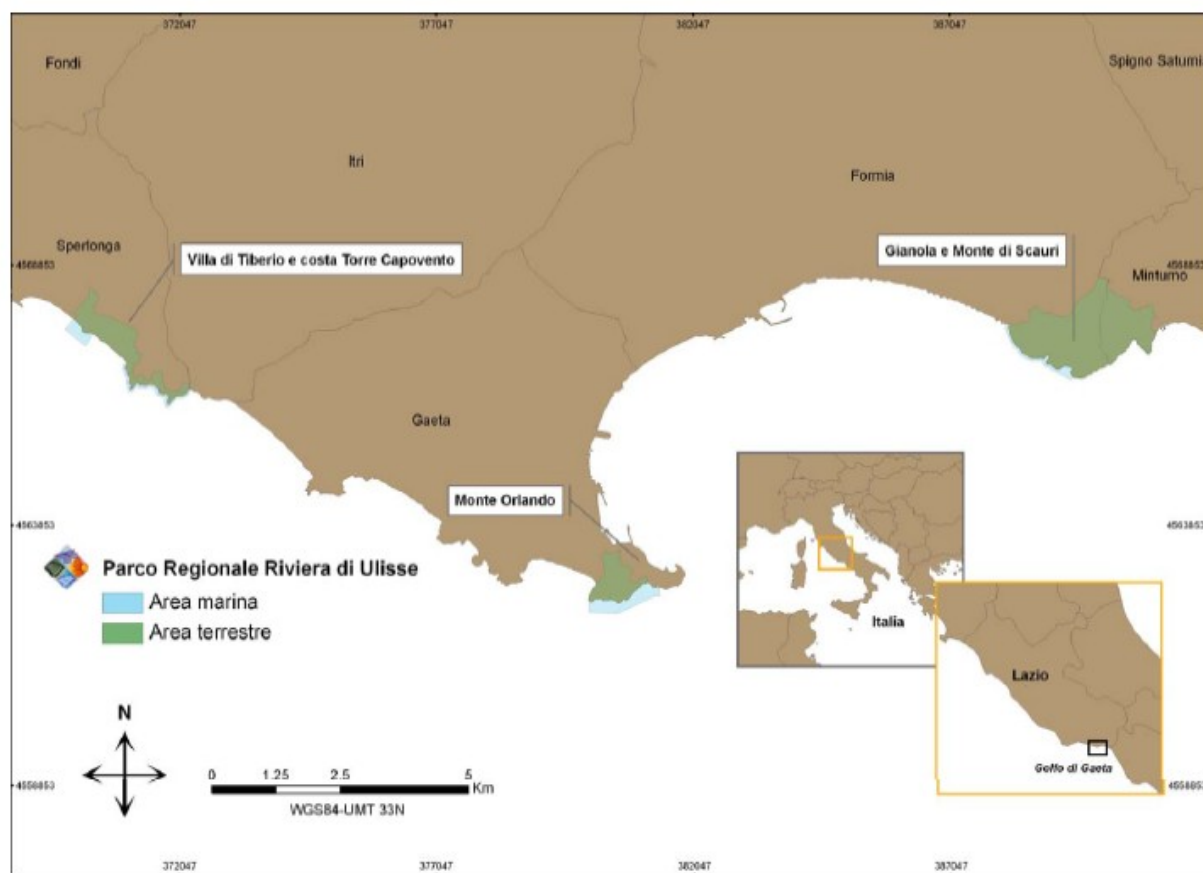


Fig. 30 Parco regionale della riviera di Ulisse

4. AREA DI INDAGINE

Il porto commerciale di Gaeta è situato all'interno dell'omonimo Golfo e le attività di monitoraggio verranno effettuate in prossimità dello stesso e delle aree limitrofe, nell'area compresa tra Punta Stendardo e Formia.

L'area di indagine, nonché le attività indicate nel piano di monitoraggio, sono state determinate tenendo in considerazione gli studi bibliografici, i monitoraggi effettuati ed attualmente in atto. In particolare dagli studi pregressi emerge come la rada di Gaeta sia interessata da una sedimentazione prevalentemente pelitica, che indica come l'area sia soggetta ad un basso idrodinamismo e di conseguenza si configuri come una zona di sedimentazione del materiale fine di origine fluviale, che viene trasportato dai due principali corsi d'acqua presenti nel tratto di costa meridionale (Garigliano e Volturno). Tale dato è confermato anche dall'analisi del modello di propagazione dell'onda, da cui si osserva che, da tutte le direzioni di provenienza delle stesse, il Golfo di Gaeta, ed in particolare il tratto di costa compreso tra Punta Stendardo e il porto commerciale, risulta riparato dai fenomeni di ondazione. L'unico fenomeno che interessa direttamente l'area di indagine in maniera significativa e, che produce un trasporto del materiale fine verso largo, è il 'Garigliano', che si verifica essenzialmente durante il periodo invernale. Da studi precedenti emerge inoltre che in presenza di venti meridionali il materiale in sospensione tenda a rimanere confinato all'interno della rada e per quanto riguarda la direzione del trasporto solido costiero procede da Formia a Punta Stendardo.

E' stato tenuto conto delle considerazioni risultate dallo Studio di Impatto Ambientale, in cui *'non sono stati rilevate particolari criticità né specifiche valenze dell'ecosistema marino interessato dalle opere in progetto'*, nonché della nota (prot. 344343 del 25.06.2015) della Regione Lazio (D.R. Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative-Area Sistemi Naturali), con la quale la stessa ha attestato che gli interventi previsti per l'*'Adeguamento tecnico funzionale'* non producono interferenze significative con i Siti Natura 2000, data la rilevante distanza degli stessi.

Infine, è stato tenuto conto delle osservazioni della Regione Lazio (Direzione Regionale Infrastrutture, Ambiente e Politiche Abitative-Area Difesa del Suolo e Bonifiche (prot. n. GR/03/43/336023 del 22/06/2015), in cui si richiedevano una serie di informazioni integrative.

Pertanto le stazioni di monitoraggio sono state ubicate tenendo conto di tutte le suddette osservazioni, considerando comunque i recettori sensibili presenti nelle aree limitrofe al porto commerciale di Gaeta, quali la spiaggia di Vindicio, le aree destinate ad acquacoltura e mitilicoltura e l'area in prossimità del Parco di Monte Orlando, come riportato nella carta allegata.

In questo capitolo si riportano nel dettaglio tutte le informazioni relative all'area oggetto di monitoraggio, compresa tra Punta Stendardo e Monte Scauri, che ricade nel Golfo di Gaeta dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrologico, climatologico, oceanografico e biologico.

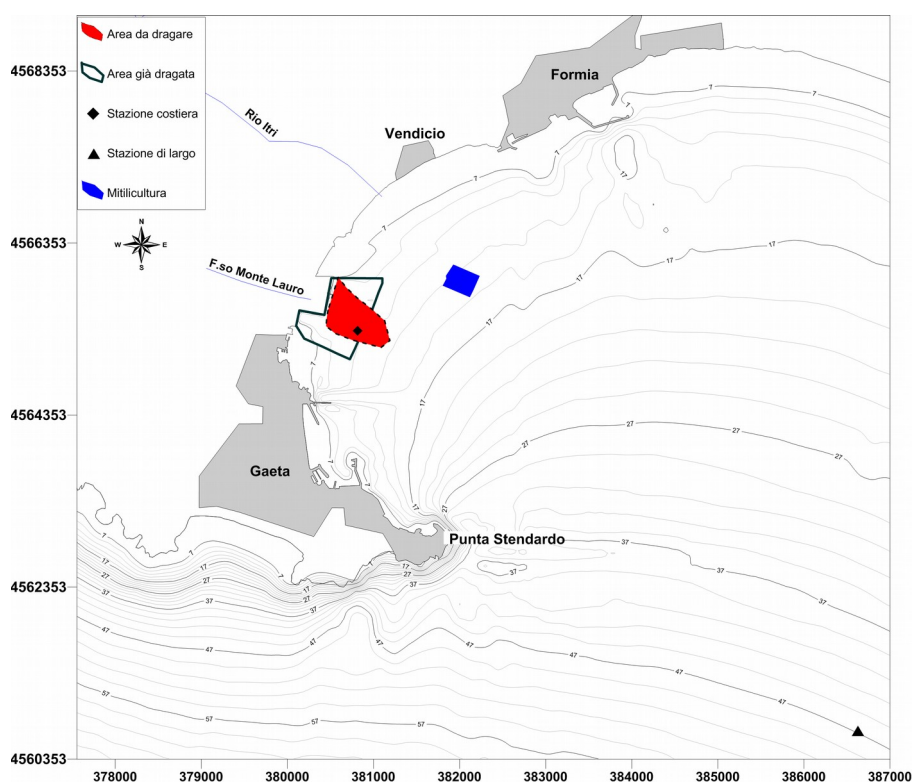


Fig. 31 Area di studio

4.1 Inquadramento geomorfologico

Il Golfo di Gaeta è situato nel Lazio Meridionale e costituisce un tratto di litorale lungo circa 15 km che si estende da Punta Stendardo al Promontorio di Scauri. Il paesaggio è caratterizzato da una serie di colline separate da valli che evolvono in accordo con le linee tettoniche. Il settore costiero è costituito da pocket beaches legate alla presenza delle linee di faglia. Le spiagge di questa

zona ad eccezione di quelle influenzate direttamente dagli apporti fluviali del Garigliano sono spiagge fossili formatesi a seguito dell'ultima trasgressione marina. Si tratta di coste di sommersione il cui assetto morfologico per mancanza di apporti solidi significativi deriva esclusivamente dalle caratteristiche topografiche del territorio su cui il mare ha trasgredito e le spiagge sono quindi costituite da sedimenti fossili. I sedimenti dei fondali costieri sono principalmente sedimenti rielaborati durante la risalita, che si presentano come sedimenti relitti laddove non si è sovrainposta una sedimentazione pelitica attuale. La spiaggia più prossima all'area interessata dal dragaggio è la spiaggia di Vindicio localizzata tra il promontori roccioso del Monte Conca e Formia e che è costituita da sedimenti sabbiosi.

4.2 Inquadramento geologico

Il golfo di Gaeta è costituito in generale da affioramenti carbonatici mesozoici su cui si sono depositi flysch miocenici, conglomerati del pliocene, detriti carbonatici con livelli piroclastici del Pleistocene inferiore-Olocene, depositi eolici rubefatti (Formazione della duna rossa antica) del Pleistocene superiore, depositi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene che si concentrano nel settore orientale del golfo e depositi eolici olocenici. La formazione del Golfo di Gaeta sembra relazionata ad una estensione tettonica lungo un sistema di faglie principalmente con un andamento E-W che delimitano il margine del bacino. Nell'entroterra infatti sono presenti diverse linee di faglia certe e presunte su cui sono impostati i piccoli corsi d'acqua che giungono nel golfo. Nel bacino marino del Golfo di Gaeta è presente un elemento geologico che è stato soggetto ad un recente studio condotto da Aiello et al. 2007 denominato piana costiera di Vindicio estesa per circa 2km dal capo del Monte Conca, a Marina di Castellone (Fig. 32).

Il settore costiero è confinato a NE e NW da faglie orientate NW-SE. Una di queste nominata Gaeta-Itri-Monte Calvo, separa l'area NE, dove dominano i depositi carbonatici del Cretacico da quella SW dove prevalgono gli affioramenti Triassico-Giurassici di dolomite (Servizio Geologico d'Italia, 1968). I depositi di argilla del Giurassico si osservano lungo le pendenze di Lisantro ed il Monte Dragone (DERISO, 1964). Finalmente la porzione esposta della costa mostra l'apice della successione, rappresentata principalmente da argille cretatiche, seguite da depositi

continentali del Pleistocene e Olocene (HEARTY et al., 1986a; 1986b; HEARTY, 1986; ACCORDI & CARBONE, 1988). La successione carbonatica, è attraversata da una rete di discontinuità strutturale con tendenze Apenniniche (NW-SE) e anti-Apenniniche (NE-SW) (AMBROSETTI et al., 1987; CERISOLA & MONTONE, 1992; CARRARA, 1995a; 1995b; CARRARA et al., 1995), che hanno una pronunciata influenza sul locale assetto geomorfologico. Considerando la stretta correlazione tra la struttura tettonica e l'evoluzione morfologica dell'area, i rilievi sono modellati lungo le linee di faglia da processi carsici e di denudazione.

Le falesie sono controllate dallo sviluppo della tettonica ed il più alto rilievo costiero il Monte Orlando è costituito da argille cretaccio. Il versante nord è coperto da depositi clastici come sabbie rosse riferite all'unità litologica chiamata duna rossa antica (BLANC et al., 1953; BERGOMI et al., 1969; BONO, 1985; DAI PRA, 1995), del medio alto Pleistocene, e detriti colluviali parzialmente soggetti a pedogenesi e vegetati (VALENTE, 1999). La falesia del Monte Conca, che borda il settore occidentale della spiaggia di Vindicio continua sotto il mare fino a 5 m di profondità dove c'è un fondale sabbioso.

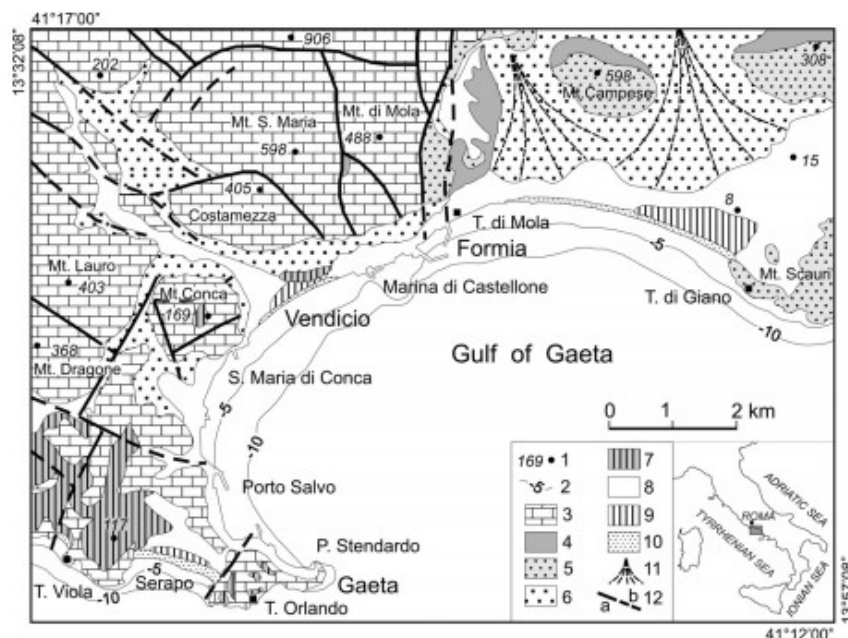


Fig. 32 Schema geologico della piana costiera di Vendicio, ubicata tra Gaeta e Formia (Lazio meridionale, Italia centrale): 1) quota (m s.l.m.); 2) isobata (m s.l.m.); 3) affioramenti carbonatici mesozoici; 4) flysch miocenico; 5) conglomerato pliocenico; 6) detrito carbonatico con livelli piroclastici del Pleistocene inferiore-Olocene; 7) depositi eolici rubefatti (Formazione della duna rossa antica) del Pleistocene superiore; 8) depositi alluvionali del Pleistocene superiore-Olocene; 9) depositi eolici olocenici; 10) spiaggia sabbiosa attuale; 11) conoide detritico-alluvionale pleistocenico; 12) faglia: a) certa; b) presunta o sepolta

La piattaforma continentale lungo l'area di studio è molto estesa (c.ca 8 Km) con pendenza media dello 0.5%. La piattaforma nell'area d'indagine risulta relativamente ampia e presenta alcune irregolarità legate alla morfologia relitta della glaciazione wurmiana e all'attività tettonica quaternaria (Bartole, 1984). Nella fascia litoranea il modellamento geomorfologico ed i processi di distribuzione e rielaborazione del sedimento sono legati all'azione del moto ondoso e dei venti che insistono sulla costa, mentre più a largo la dispersione dei sedimenti e la relativa deposizione sono controllati principalmente dalle correnti, dalla distanza dalle fonti di apporto detritico e dalla costa.

4.3 Descrizione sedimentologica

I dati granulometrici ottenuti dai campioni prelevati in occasione delle campagne riportate nel lavoro 'Mare del Lazio' (1990), relativi alle spiagge ad ovest di Formia indicano una granulometria di circa 2.3 -2.5 *phi* a -10m e 1.8 *phi* sulla battigia. Ad est di Formia fino a Torre Giano i sedimenti hanno granulometria compresa tra 2 e 2.6 *phi* (sabbie fini) alle diverse profondità. Lungo le spiagge ad est del monte Scauri presso marina di Minturno i sedimenti di battigia sono grossolani (sabbie grossolane molto grossolane) soprattutto avvicinandosi verso la foce del Garigliano. Alle profondità di 5 e 10 m tale andamento continua ad essere presente anche se le granulometrie sono comprese tra 1.3 e 3 *phi*. L'area interna alla rada di Gaeta, tra Punta Stendardo e la foce del Fiume Garigliano, è stata oggetto inoltre di indagini sedimentologiche di dettaglio condotte da ICRAM nel 2002. Sui fondali della baia risultano diffuse le peliti sabbiose e le peliti, mentre sono praticamente assenti sedimenti a prevalente componente sabbiosa. In dettaglio, lungo l'isobata dei 20 m si rinvenivano sedimenti più grossolani, quali: sabbia siltosa e loam, peculiari del sistema costiero ancora sottoposto all'azione del moto ondoso. La fascia batimetrica dei 30 m presenta una notevole omogeneità tessiturale e i sedimenti sono classificabili (Shepard, 1954) come silt argilloso, con caratteri tessiturali intermedi tra la fascia batimetrica inferiore, caratteristica di un ambiente più francamente costiero, e quella a maggiore profondità, che presenta invece caratteri di un ambiente di piattaforma.

I litotipi principali presenti nell'area di indagine possono essere ricondotti, a terreni di ambiente marino e continentale, costituiti da alternanze di limi argilloso sabbiosi, sabbie limose,

limi sabbiosi e argille limose, che possono essere così descritti, dall'alto verso il basso:

- **RIPORTI** antropici connessi alla realizzazione delle strutture portuali (banchine, etc.) composti da clasti, ciottoli e blocchi calcarei, morfologicamente non evoluti, in matrice sabbiosa da media a fine, in percentuale variabile.
- **LIMI ARGILLOSI** localmente **SABBIOSI** di colore grigio nerastro, con resti algali in decomposizione e frammenti sub-centimetrici di bivalvi, a tratti con torba, dotato di un basso grado di consistenza/addensamento (molle/sciolto). La frazione sabbiosa è fine e media. Questo livello è composto dai sedimenti recenti ed attuali del fondale marino. Tali depositi, sono connessi all'alternarsi di fasi deposizionali prettamente marine e apporti dall'entroterra operati dai corsi d'acqua, quali l'adiacente Fosso Arzano.
- **SABBIE** e **SABBIE LIMOSE** di colore da giallastro ocraceo a grigio, con intercalati livelli ossidati color arancio, a granulometria generalmente medio fina, localmente è presente una struttura laminata. Questo litotipo corrisponde a fasi di sedimentazione marina di media energia riferibile ad ambiente costiero di spiaggia e salmastro. Tali depositi granulari mostrano un grado di addensamento generalmente buono.
- **ARGILLE LIMOSE E LIMI ARGILLOSI** di colore variabile dal marrone rossastro al grigio verdastro, talora scuro. Tali depositi corrispondono a fasi di sedimentazione marina in ambiente di bassa energia e sono caratterizzate da un grado di consistenza generalmente elevato talora medio. I depositi recenti e pleistocenici sopra descritti giacciono in discordanza stratigrafica al di sopra del substrato calcareo mesozoico, costituito da alternanze di calcari, calcari dolomitici e dolomie di ambiente neritico, a grana fine, talora detritico organogena. Esso risulta fortemente fratturato, in relazione dapprima agli eventi tettonici compressivi che hanno contribuito alla formazione di questa porzione della catena appenninica e successivamente alla fase distensiva, esplicitasi con l'attività di faglie normali, che ha disarticolato le dorsali carbonatiche fino ad oltre la linea di costa.
- **CALCARI** di colore nocciola biancastro. Nell'area in oggetto, in prossimità della primitiva linea di costa, il basamento carbonatico, composto da rocce calcaree a tratti fratturate, è stato rilevato a profondità variabili tra i 36 e 41m ed in prossimità dell'angolo Nord Est della diga esterna alla profondità di 68m. Le rocce calcaree della formazione di base sono ricoperte a tratti da alcuni metri di ghiaia e breccia calcarea in matrice sabbiosa.

Nell'area soggetta a dragaggio il CoNISMa (Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare) ha effettuato le campagne di campionamento dei sedimenti. In particolare sono state prelevate 34 carote di sedimento le quali sono state soggette ad analisi chimico-fisiche e biologiche. In particolare le modalità operative di prelievo e analisi dei sedimenti sono state svolte seguendo le indicazioni contenute nelle linee guida del “Manuale per la Movimentazione di Sedimenti Marini” ICRAM-APAT (2007). Per quanto riguarda le analisi granulometriche sono riportati i risultati ottenuti dai primi due strati di 50 cm delle carote prelevate (Fig. 33-34).

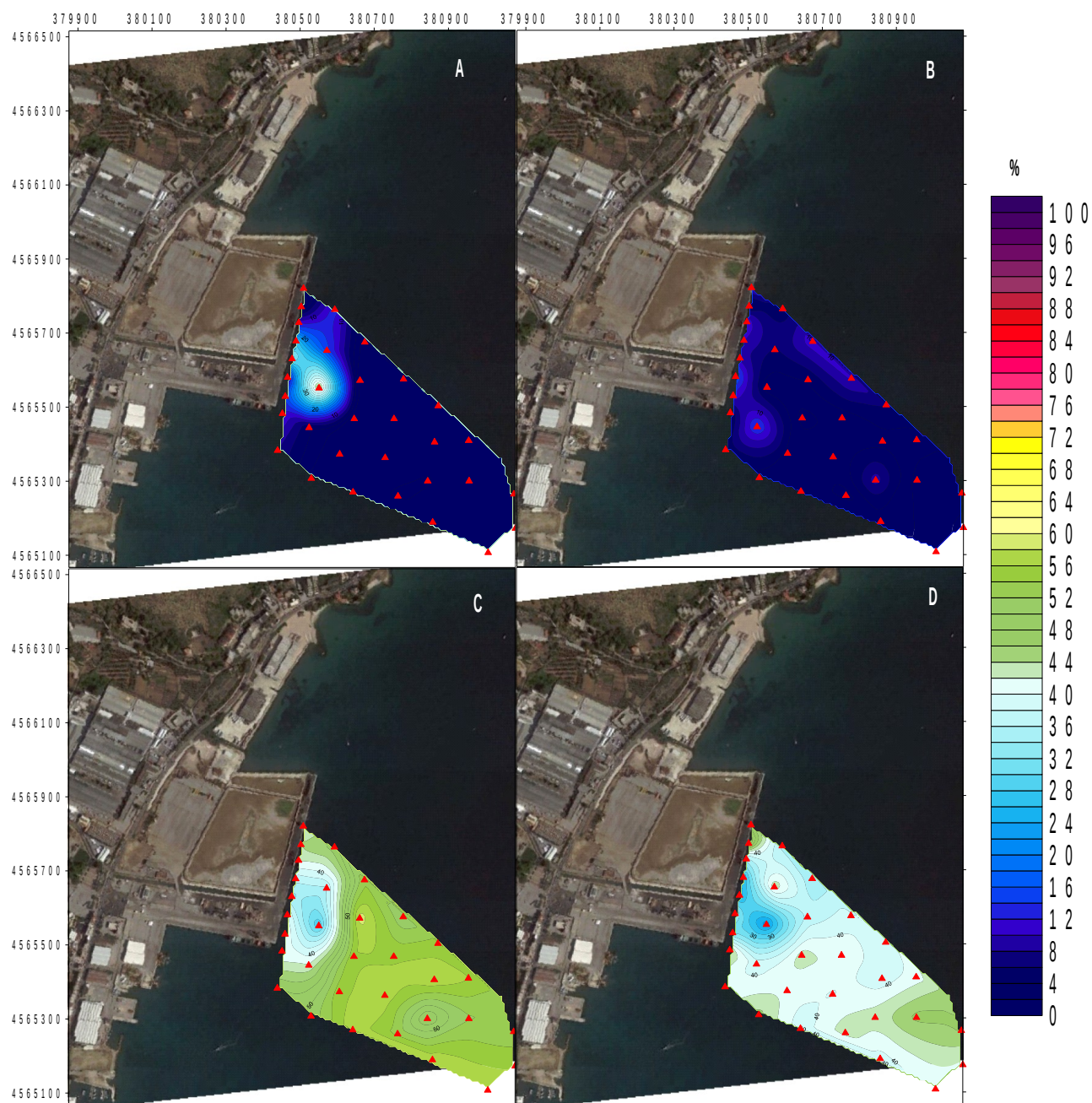


Fig. 33 Localizzazione dei 34 punti di prelievo e distribuzione spaziale delle percentuali delle diverse classi granulometriche a: ciottoli; b: sabbia; c: limo; d: argille dei primi 50 cm della carota

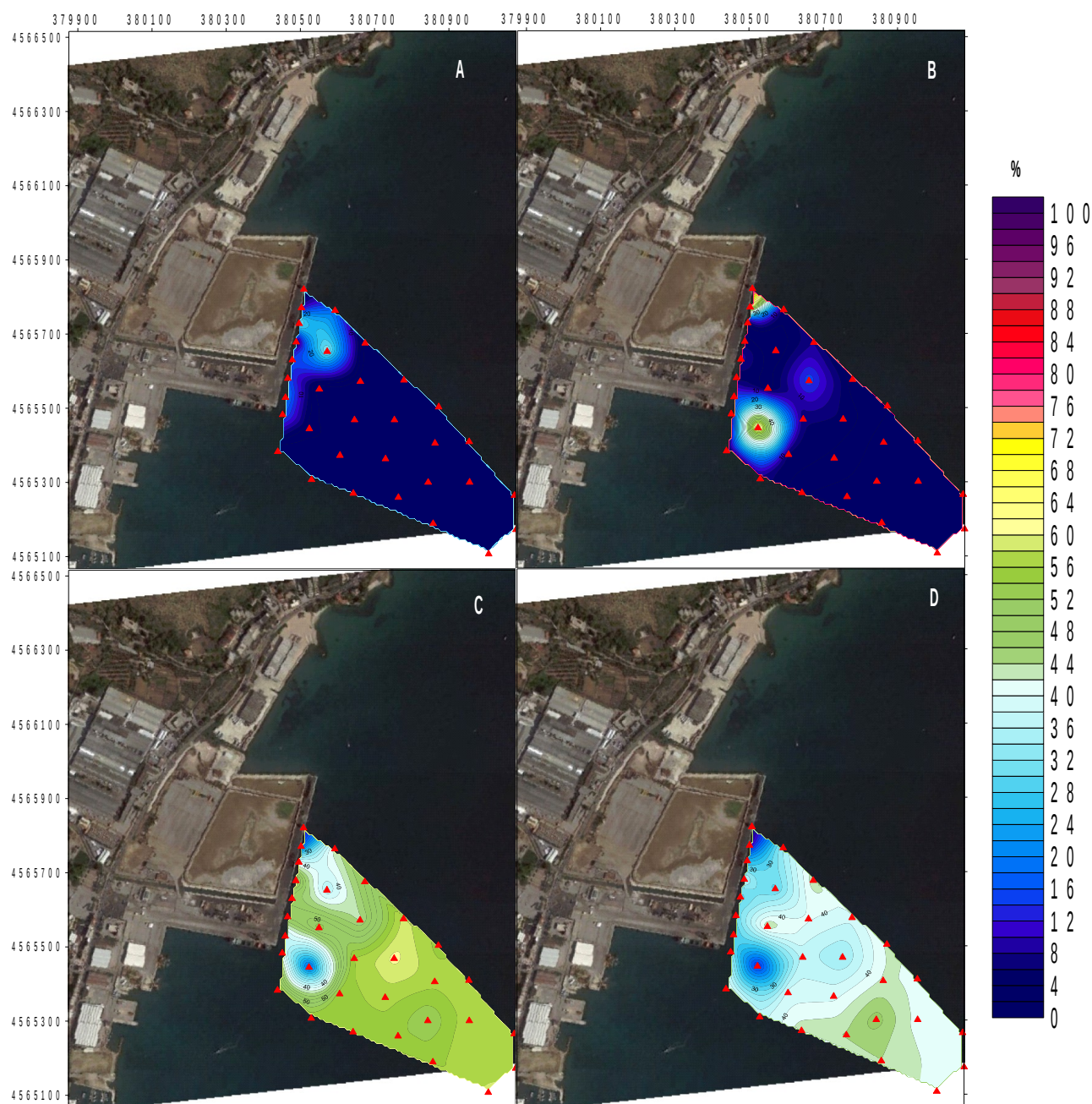


Fig. 34 Localizzazione dei 34 punti di prelievo e distribuzione spaziale delle percentuali delle diverse classi granulometriche a: ciottoli; b: sabbia; c: limo; d: argille dello spessore 50-100cm della carota

Considerando la lunghezza delle carote (di cui n.28 di 2m e n.6 di 1m) sono stati analizzati 124 campioni. Seguendo la classificazione ternaria di Folk in ordine decrescente di granulometria

media, nessun campione cade nel campo della sabbia, solo 4 campioni cadono nel campo della sabbia limosa e 6 in quelli della sabbia fangosa. Solo 2 campioni cadono nel campo del limo molto sabbioso e 42 cadono nel campo del fango sabbioso. I restanti 70 cadono nel campo del fango.

Seguendo la classificazione ternaria di Tortora in ordine decrescente di granulometria media anche qui nessun campione cade nel campo della sabbia, solo 3 campioni cadono nel campo della sabbia limosa e 3 in quello della sabbia fangosa. Solo 2 campioni cadono nel campo del limo molto sabbioso e 15 campioni cadono nel campo del fango molto sabbioso; 45 campioni cadono nel campo del fango sabbioso ed i restanti 56 cadono nel campo del fango. La frazione ghiaiosa risulta essere per lo più bioclastica. Nelle prime 13 stazioni si rinvencono principalmente accumuli di frammenti di coralli e secondariamente gusci di bivalvi e in minor parte gasteropodi. Nelle restanti stazioni questa frazione grossolana è costituita per lo più da gusci di bivalvi e gasteropodi. La composizione della frazione sabbiosa è prevalentemente terrigena con un visibile contenuto bioclastico.

4.4 Descrizione anemometrica

Il clima anemometrico caratteristico del Golfo di Gaeta è descritto attraverso i dati acquisiti dalla stazione meteorologica dell'Autorità Portuale tra il 2007 e il 2009, posta a circa 15 metri di altezza alle coordinate 380080.97 E 45655649.70 N (UTM-WGS84) all'interno del Porto di Gaeta.



Fig. 35 Settore di traversia principale (giallo) e secondario (rosso)

Dai dati si osserva un settore di traversia principale che si apre per un settore angolare compreso tra 45°N e 75°N e un settore di traversia secondario esteso dai 247°N a 292°N .

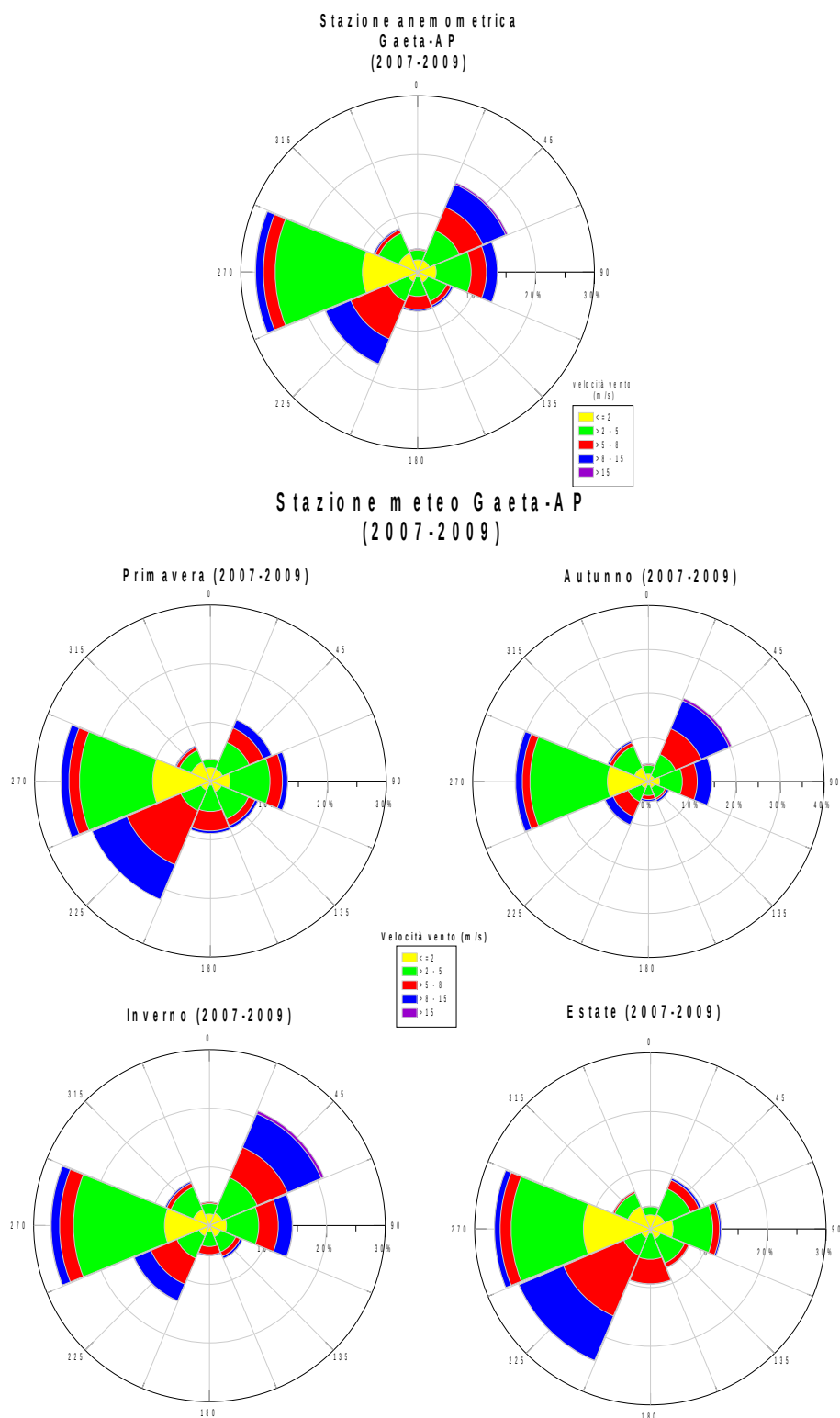


Fig. 36 clima anemometrico annuale e stagionale registrato dall'anemometro all'interno del Porto di Gaeta

Dall'analisi stagionale del clima anemometrico relativo al Golfo di Gaeta si osserva come la direzione regnante degli eventi sia ponente durante tutto l'anno, mentre stagionalmente si osserva un aumento degli eventi provenienti da libeccio, durante il periodo estivo e primaverile, e, nel periodo autunnale e invernale, degli eventi provenienti da grecale, che si presentano come quelli dominanti nel corso dell'anno.

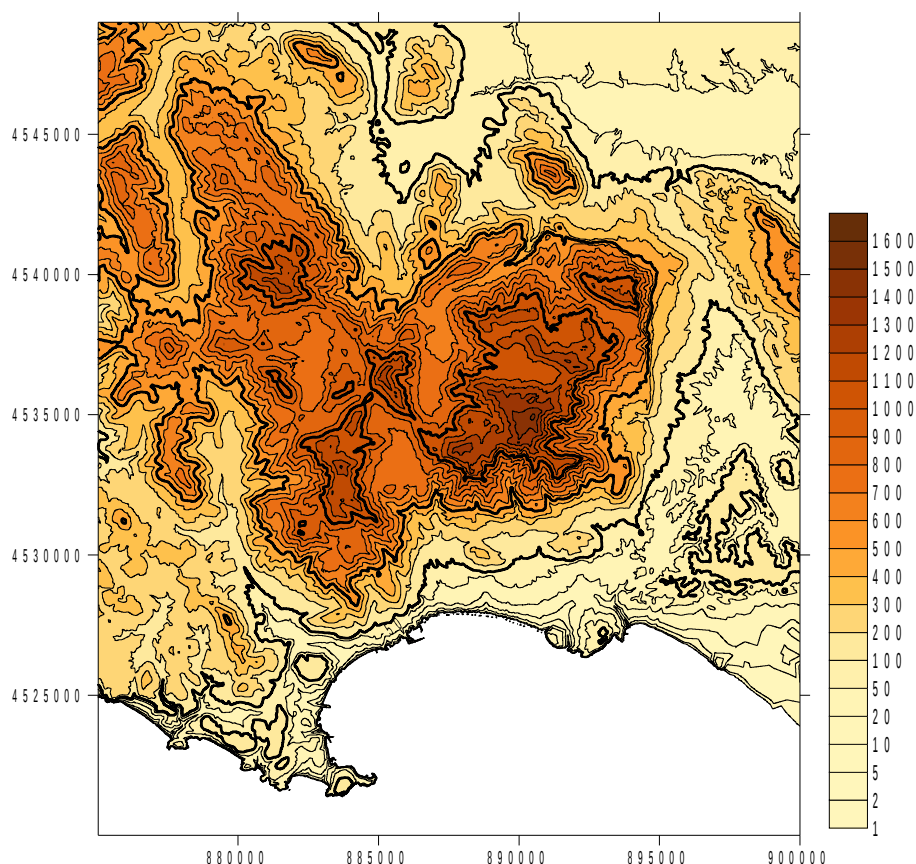


Fig. 37 Carta topografica dell'entroterra del Golfo di Gaeta

L'entroterra, a ridosso del tratto costiero dell'area di studio, è caratterizzato dalla presenza dei Monti Aurunci le cui propaggini si spingono in prossimità della costa. Le quote dei rilievi montuosi raggiungono altezze superiori ai 1000 m e si riducono notevolmente nella porzione orientale del golfo dove è presente la valle del fiume Garigliano che, in prossimità della costa, forma l'omonima Piana. La valle del Garigliano costituisce la porzione terminale della Valle Latina che separa con una lunga depressione la catena dei Volsci da quella dei Monti Simbruini-Ernici

congiungendosi Nord fino alla valle del Tevere. La presenza di questi sistemi di dorsali e depressioni potrebbe generare delle zone preferenziali di passaggio delle correnti d'aria provenienti dai quadranti settentrionali, che, incanalandosi lungo questa serie di valli, giungono a mare producendo un vento di NE di elevata intensità denominato Garigliano.

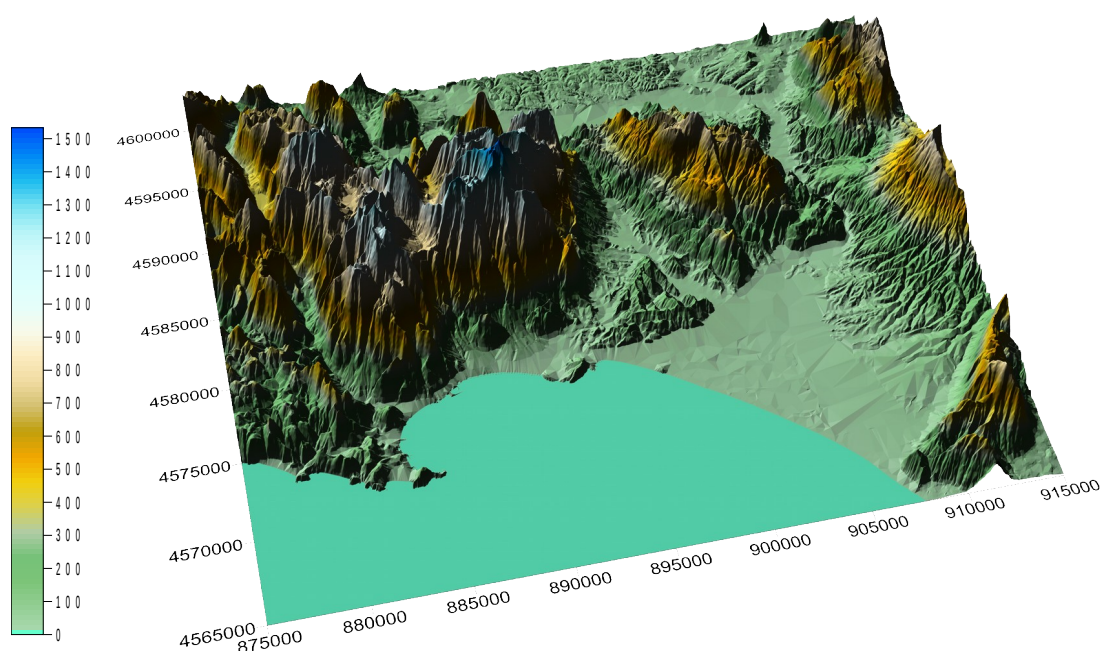


Fig. 38 Carta topografica 3D dell'entroterra del Golfo di Gaeta

4.5 Descrizione del regime ondametrico nel Golfo di Gaeta

Il Golfo di Gaeta è situato tra le due unità fisiografiche descritte precedentemente e presenta un'esposizione della linea di costa compresa tra le direzioni di nord-est e sud-est. Ponendosi sulla batimetrica dei 50 m a largo di Punta Stendardo il paraggio risulta compreso tra 274°N e 158°N .

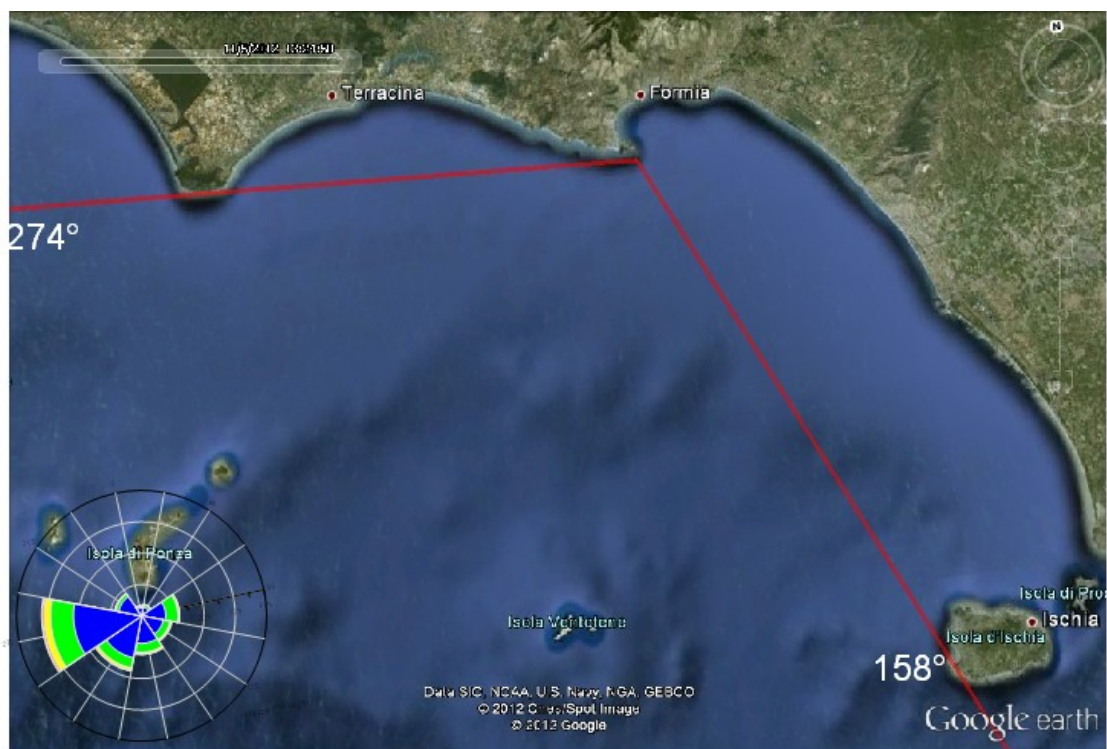


Fig. 39 Paraggio relativo al punto in prossimità della batimetria dei -50m a largo del promontorio di Gaeta

I risultati ottenuti dal modello di moto ondoso STWAVE mostrano la propagazione delle onde provenienti da un settore direzionale compreso tra 83° e 323° all'interno del Golfo di Gaeta.

Le condizioni ondamiche utilizzate come dato di input del modello sono riferite a sette scenari derivanti dai risultati dell'analisi degli eventi estremi (Tab.1). In particolare sono state prese in considerazione le onde con un tempo di ritorno di 1 e 10 anni.

Dall'analisi effettuata sulle onde con un tempo di ritorno di 1 anno si osserva che le altezze d'onda massime misurate a largo del porto di Gaeta si presentano in condizioni di moto ondoso proveniente da Scirocco e Ostro e raggiungono un'altezza massima di circa 1.5m.

Per quanto riguarda le onde con un tempo di ritorno di 10 anni si osserva che le altezze d'onda massime misurate a largo del porto di Gaeta si presentano in condizioni di moto ondoso proveniente da Scirocco e Ostro e raggiungono un'altezza massima di circa 2m. È importante precisare che il modello considera il moto ondoso in condizioni stazionarie, per cui non considera l'eventuale effetto del vento lungo il dominio, che può determinare un incremento di moto ondoso

nell'area di studio soprattutto in condizioni di forte intensità. I singoli scenari simulati sono riportati di seguito.

Scenario 1 (direzione compresa tra 83° - 123°)

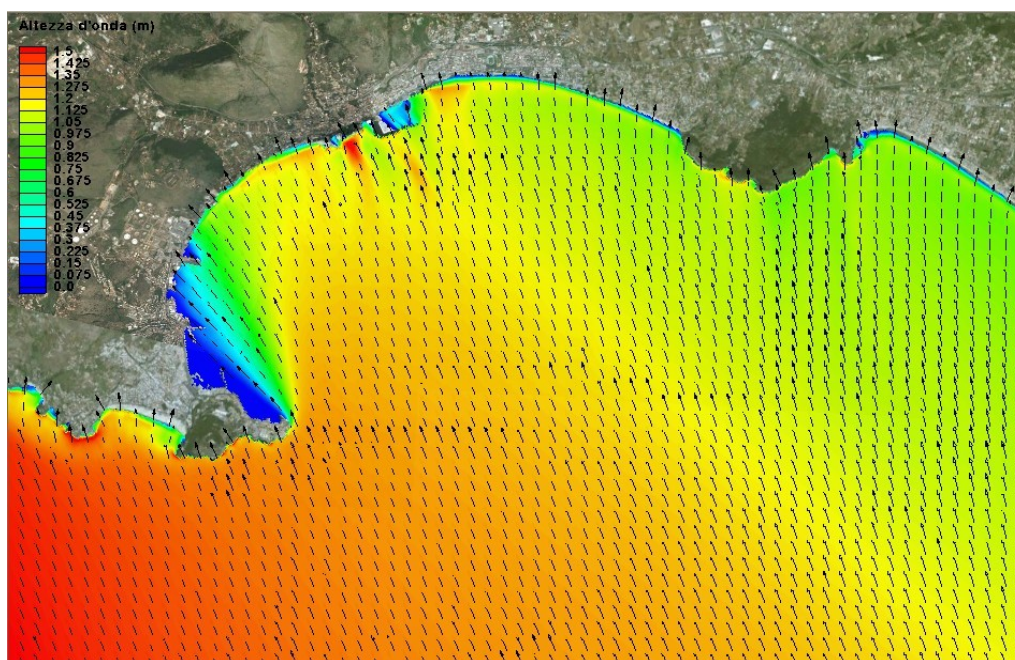


Fig.40 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 1 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

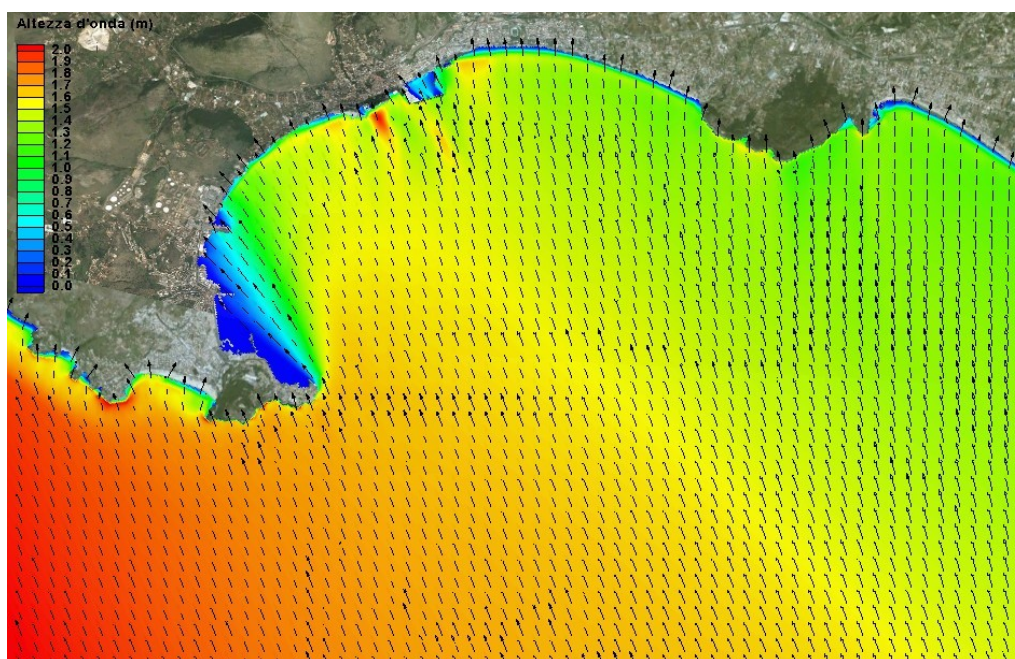


Fig.41 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 1 che rappresenta le onde con $Tr = 10$, Golfo di Gaeta

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra l'effetto ombra provocato dalle Isole di Ischia e Procida, che causano un'importante attenuazione dell'onda soprattutto nell'unità fisiografica compresa tra Capo Gaeta e Ischia; il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si denota una maggiore intensità del moto ondoso incidente che raggiunge i valori massimi in prossimità di Capo Circeo. L'area del Golfo di Gaeta risulta protetta dalle Isole di Ischia e Procida, oltre le quali il moto ondoso si propaga per diffrazione. Il tratto meridionale del Golfo di Gaeta risulta riparato dalle onde per effetto ombra prodotto da Punta Stendarda, oltre la quale si osserva il fenomeno di diffrazione responsabile della propagazione dell'onda in questo tratto di costa. Le altezze maggiori sono registrate in prossimità del Porto di Formia, dove il moto ondoso non risulta ostacolato dal promontorio di Gaeta.

Scenario 2 (direzione compresa tra 123° - 163°)

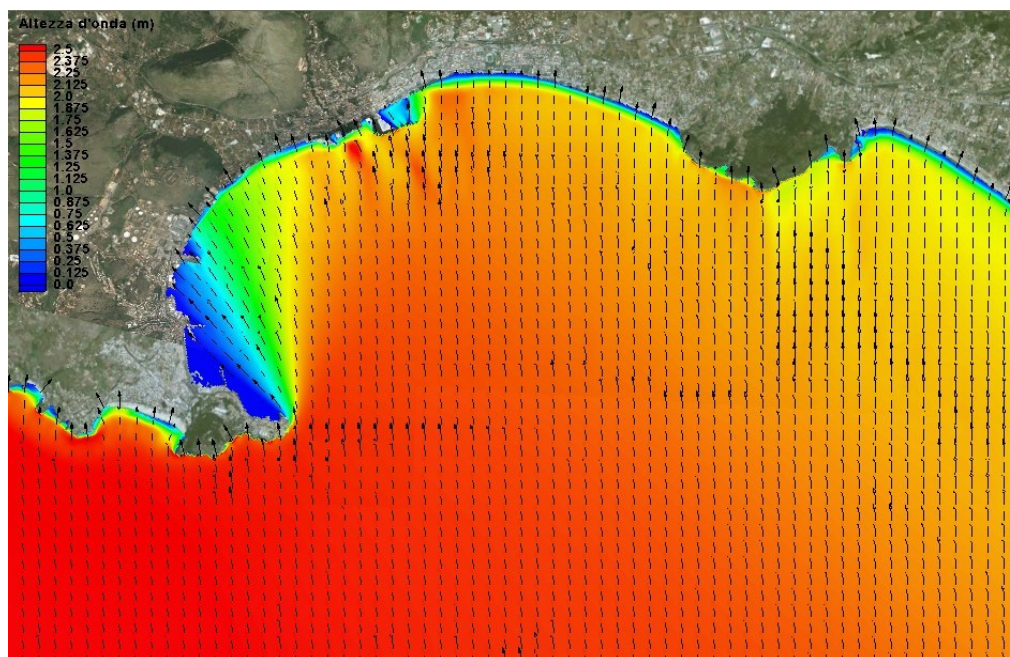


Fig.42 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 2 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

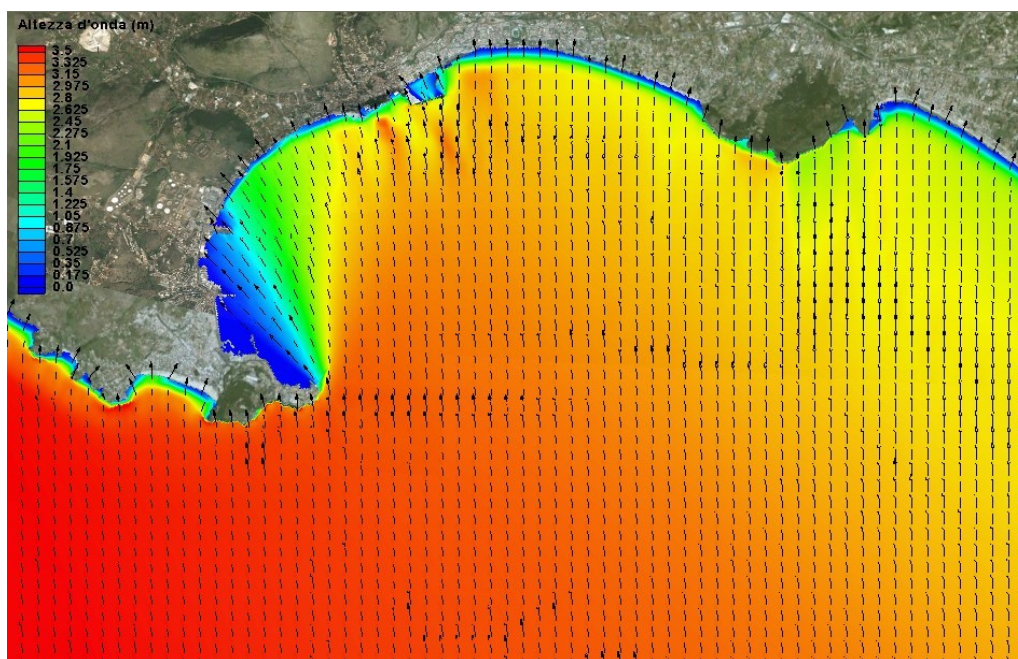


Fig.43 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 2 che rappresenta le onde con $T_r = 10$, Golfo di Gaeta

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra l'effetto ombra provocato dalle Isole di Ischia e Procida e dalle Isole Pontine, che causano un'importante attenuazione dell'onda lungo tutta l'area di studio e soprattutto nell'unità fisiografica compresa tra Capo Gaeta e Ischia. Il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si osserva una maggiore intensità del moto ondoso incidente che raggiunge i valori massimi in prossimità di Capo Circeo.

L'area del Golfo di Gaeta risulta protetta dalle Isole di Ischia e Procida oltre le quali il moto ondoso si propaga per diffrazione. Il tratto meridionale del Golfo di Gaeta risulta riparato dalle onde per effetto ombra prodotto da Punta Stendarda, oltre la quale si osserva il fenomeno di diffrazione responsabile della propagazione dell'onda in questo tratto di costa. Le altezze maggiori sono registrate nel tratto di costa compreso tra Formia e il promontorio di Scauri, dove la propagazione delle onde non risulta ostacolata dal promontorio di Gaeta.

Scenario 3 (direzione compresa tra 163° - 203°)

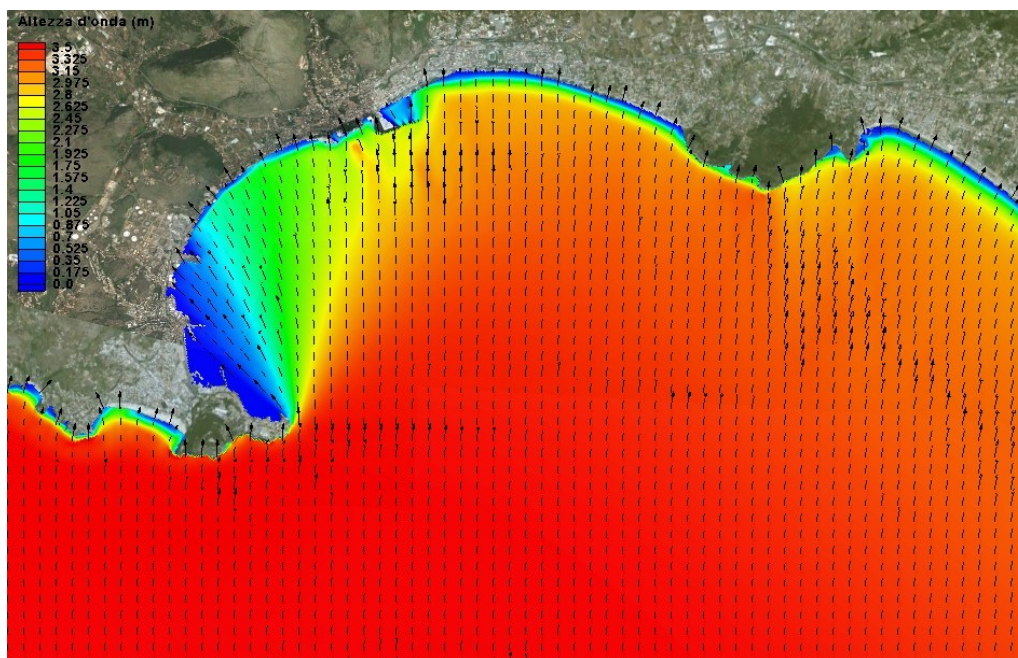


Fig.44 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 3 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

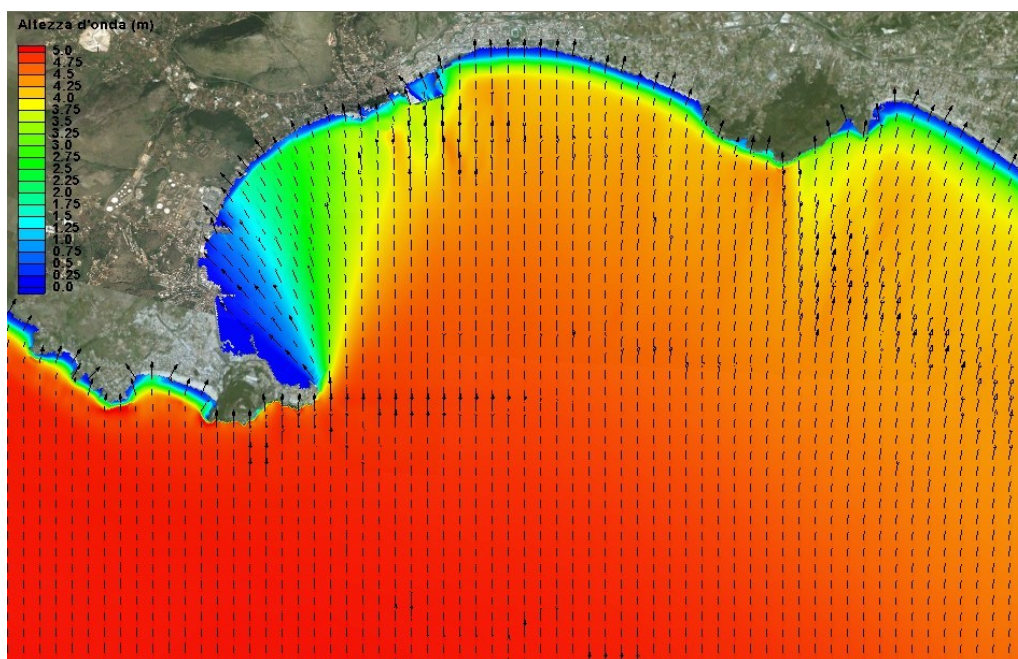


Fig.45 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 3 che rappresenta le onde con $Tr = 10$, Golfo di Gaeta

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario si presenta come l'evento che incide maggiormente il tratto di costa in esame. Un importante effetto ombra, provocato dalle Isole di Ischia e Procida si osserva nel tratto di costa compreso tra il Monte Scauri e dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si denota una maggiore intensità del moto ondoso incidente che raggiunge i valori massimi lungo il tratto di costa prospiciente il promontorio di Terracina. Il tratto meridionale del Golfo di Gaeta risulta riparato dalle onde per effetto ombra prodotto da Punta Stendarda, oltre la quale si osserva il fenomeno di diffrazione responsabile della propagazione dell'onda in questo tratto di costa. Le altezze maggiori sono registrate nel tratto di costa compreso tra Formia e il promontorio di Scauri, dove la propagazione delle onde non risulta ostacolata dal promontorio di Gaeta.

Scenario 4 (direzione compresa tra 203° - 231°)

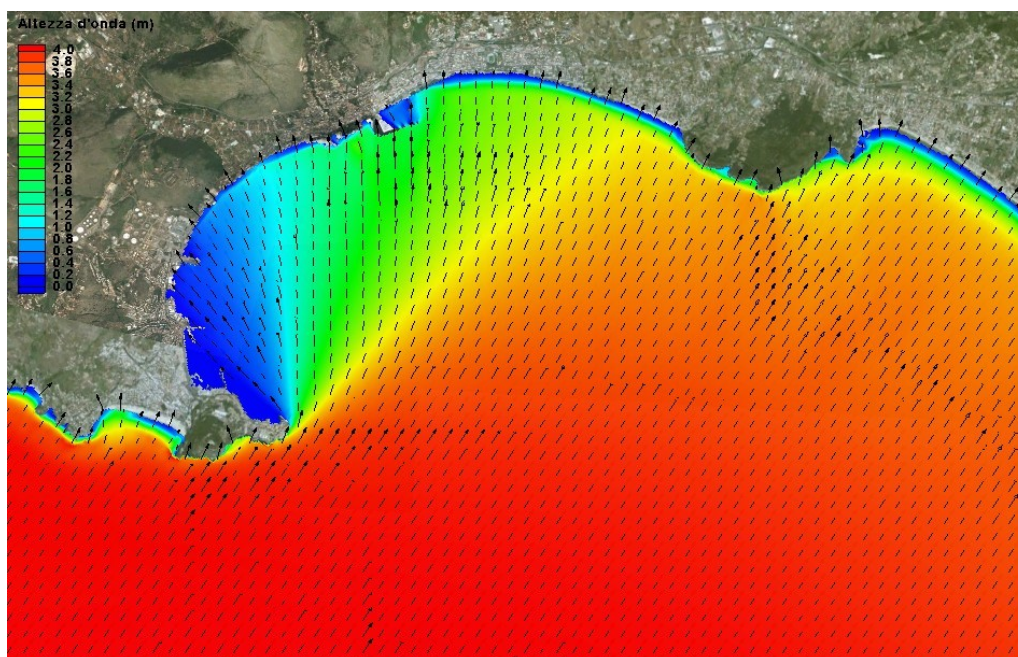


Fig.46 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 4 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

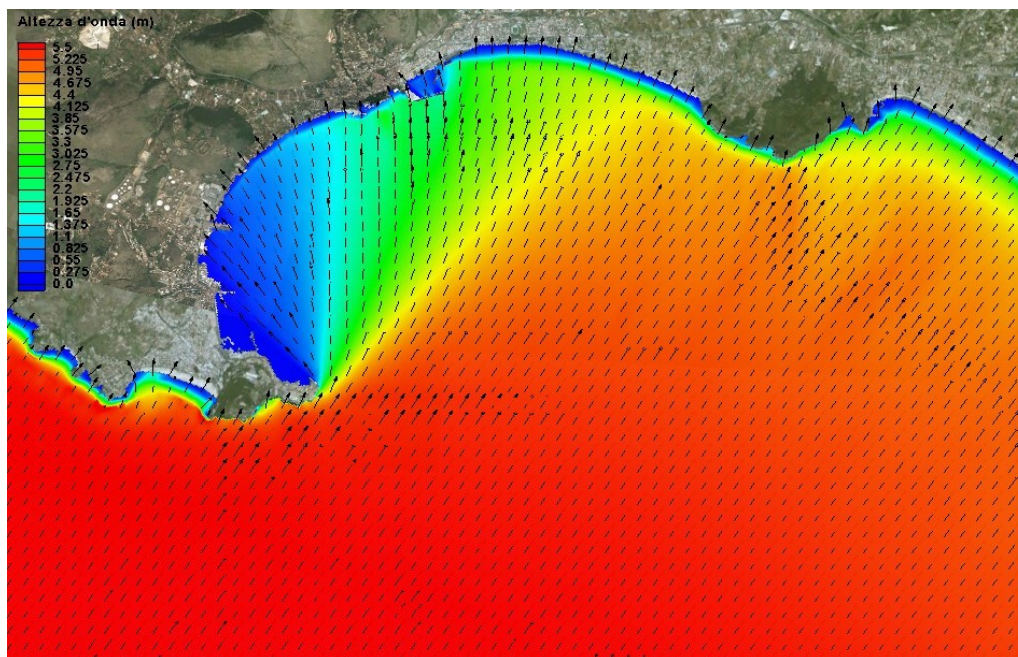


Fig.47 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 4 che rappresenta le onde con $T_r = 10$, Golfo di Gaeta

Come nello scenario precedente il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario si presenta come un evento particolarmente incisivo per il tratto di costa in esame. Un importante effetto ombra, provocato dalle Isole di Ischia e Procida, si osserva nel tratto di costa compreso tra il Monte Scauri e dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si denota una maggiore intensità del moto ondoso incidente che raggiunge i valori massimi lungo il tratto di costa prospiciente il promontorio di Terracina. Il tratto meridionale del Golfo di Gaeta risulta riparato dalle onde per effetto ombra prodotto da Punta Stendarda, oltre la quale si osserva il fenomeno di diffrazione responsabile della propagazione dell'onda in questo tratto di costa. Le altezze maggiori sono registrate nel tratto di costa compreso tra Formia e il promontorio di Scauri dove la propagazione delle onde non risulta ostacolata dal promontorio di Gaeta.

Scenario 5 (direzione compresa tra 231° - 251°)

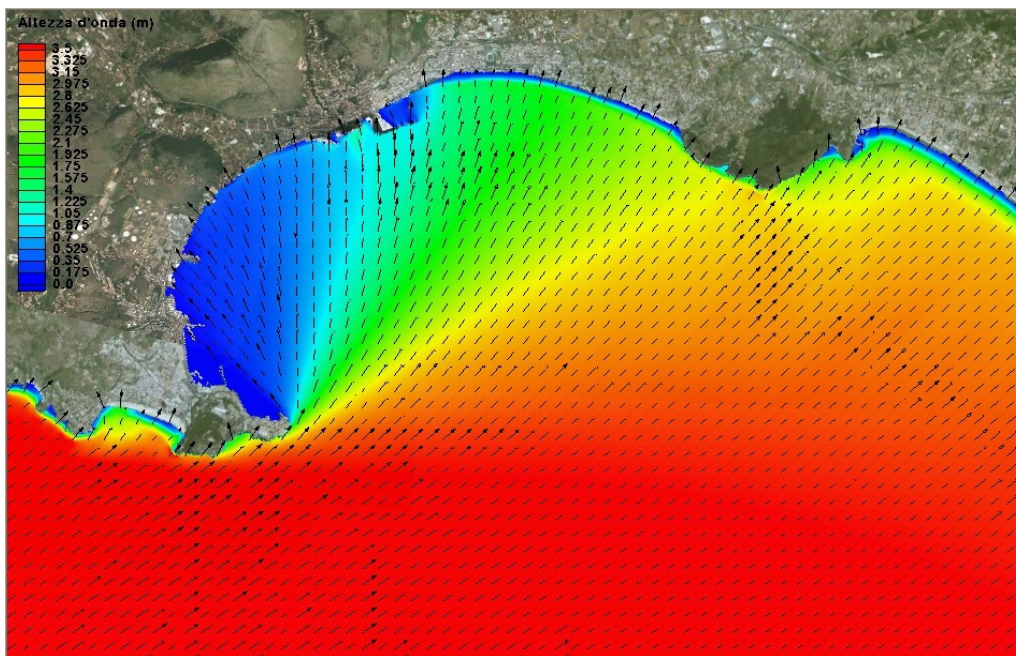


Fig.48 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 5 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

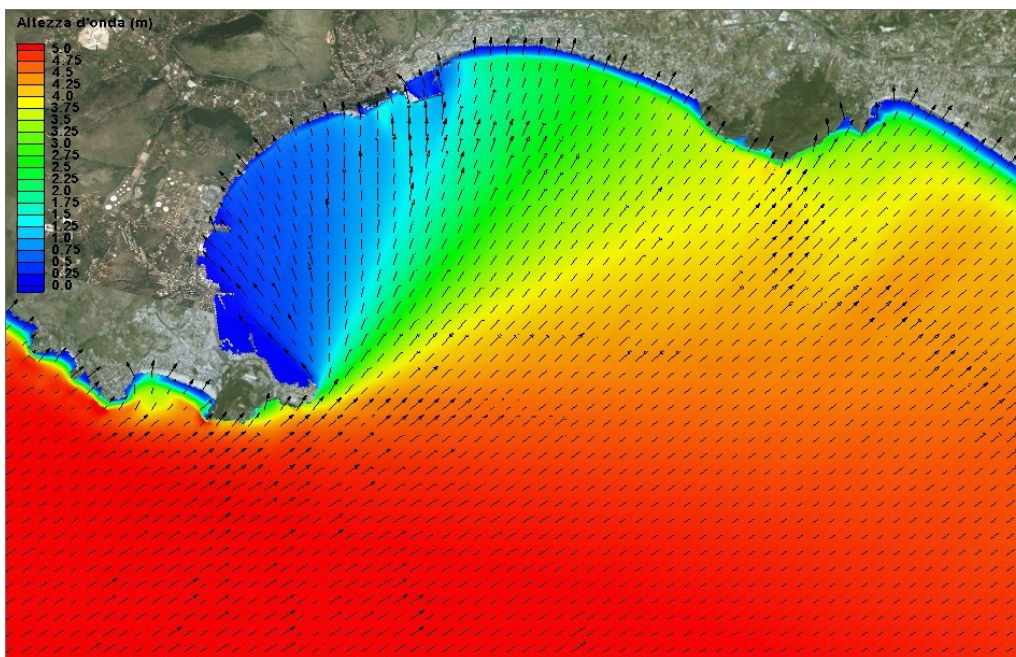


Fig.49 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 5 che rappresenta le onde con $Tr = 10$, Golfo di Gaeta

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario mostra come un importante effetto ombra, provocato dalle Isole di Ischia e Procida, si osserva nel tratto di costa compreso tra il Monte Scauri e dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa a nord risulta maggiormente esposto a questo evento, dove si denota una maggiore intensità del moto ondoso incidente che raggiunge i valori massimi lungo il tratto di costa prospiciente il promontorio di Terracina. Il tratto meridionale del Golfo di Gaeta risulta riparato dalle onde per effetto ombra prodotto da Punta Stendaro oltre la quali si osserva il fenomeno di diffrazione responsabile della propagazione dell'onda in questo tratto di costa. Le altezze maggiori sono registrate nel tratto di costa compreso tra Formia e il promontorio di Scauri, dove la propagazione delle onde non risulta ostacolata dal promontorio di Gaeta.

Scenario 6 (direzione compresa tra 251° - 281°)

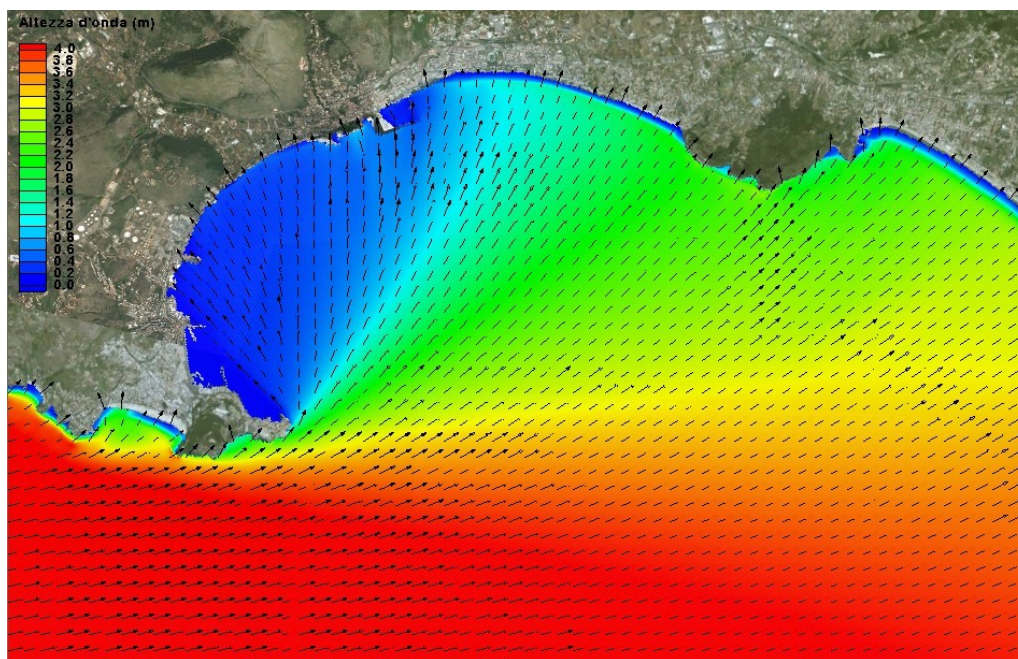


Fig.50 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 6 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

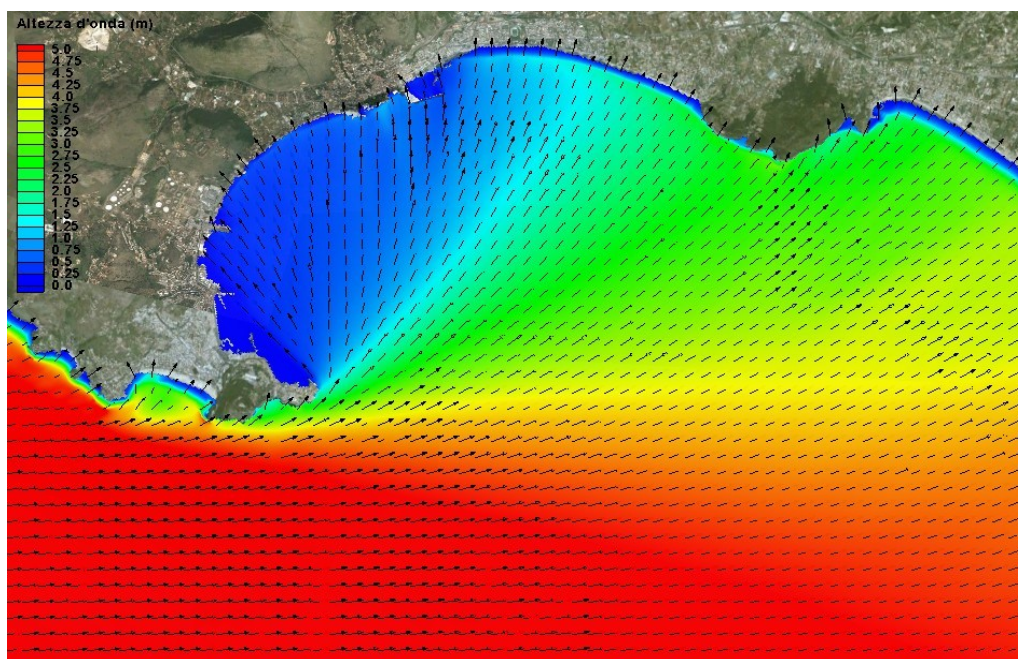


Fig.51 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 6 che rappresenta le onde con $T_r = 10$, Golfo di Gaeta

Il fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario si presenta come l'evento prevalente registrato dalla boa ondometrica (RON): è possibile vedere un'importante attenuazione dell'intensità del moto ondoso sulle coste dell'area di studio generata dalla morfologia costiera. La presenza di Capo Circeo e delle Isole Pontine determina un effetto ombra lungo l'intera area di studio, in particolare nell'unità fisiografica compresa tra Capo Circeo e Punta Stendarda, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa in cui l'intensità del moto ondoso risulta maggiore è nel tratto di costa in cui è presente il delta del Volturno. La porzione di mare del Golfo di Gaeta, data l'esposizione della costa e la morfologia costiera, risulta particolarmente riparata dagli eventi di ponente. Nell'intero tratto di costa compreso tra Capo Stendardo e Formia il moto ondoso subisce un ulteriore fenomeno di diffrazione e le acque antistanti il tratto di costa tra Gaeta e Formia risultano calme o quasi calme.

Scenario 7 (direzione compresa tra 281° - 323°)

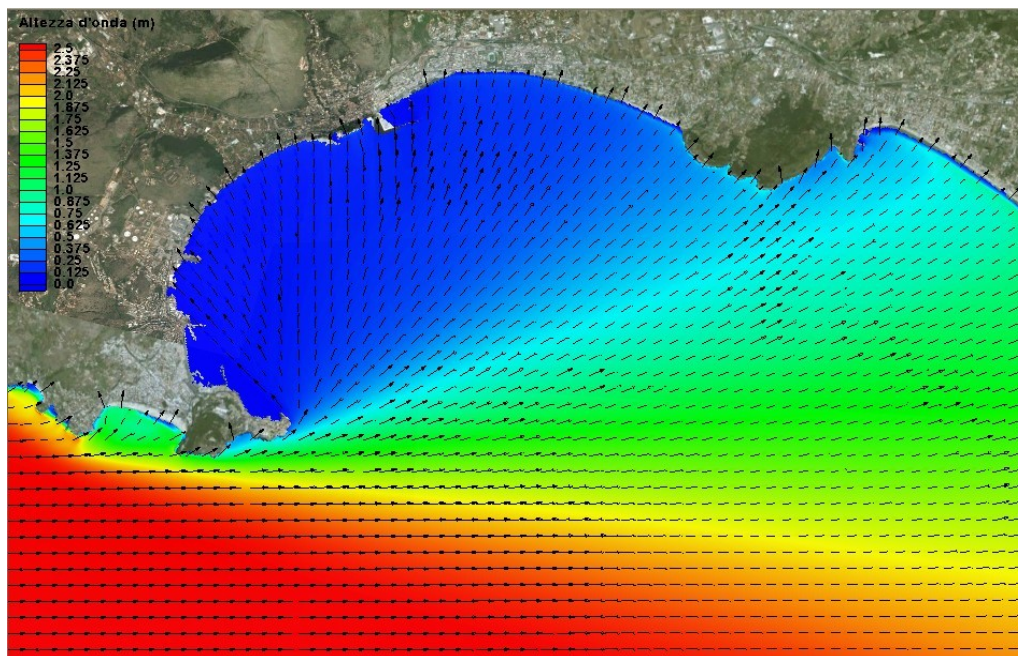


Fig.52 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 7 che rappresenta le onde con $Tr = 1$, Golfo di Gaeta

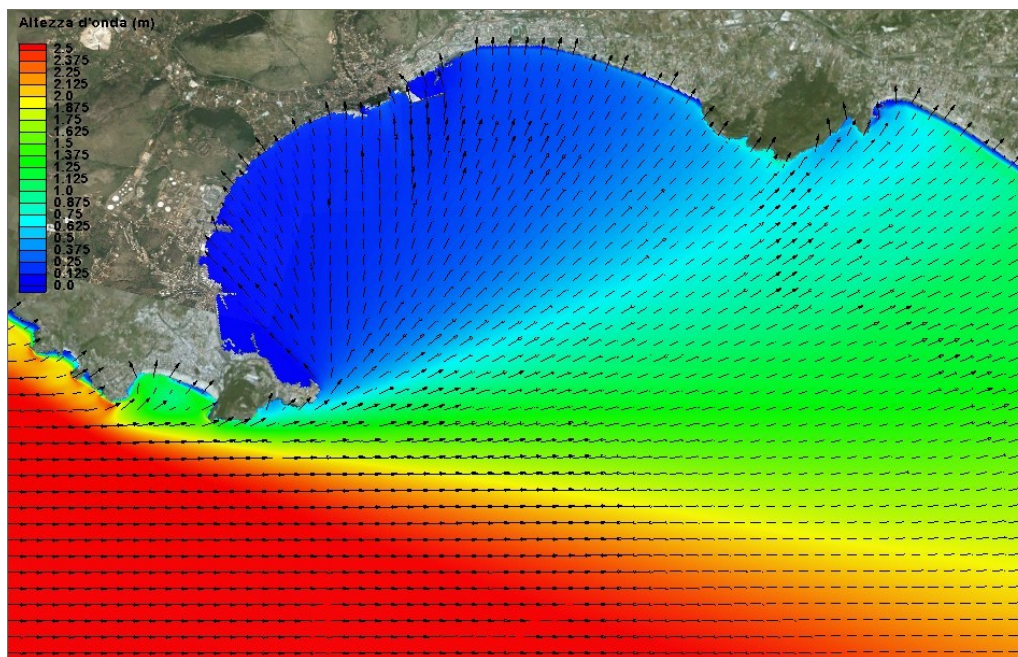


Fig.53 Risultati modello ST-WAVE dello scenario 7 che rappresenta le onde con $Tr = 10$, Golfo di Gaeta

Dall'analisi del fenomeno ondoso rappresentato in questo scenario è possibile osservare un'importante attenuazione dell'intensità del moto ondoso sulle coste dell'area di studio, generata dalla morfologia costiera e dalla sua esposizione rispetto alla direzione di provenienza delle onde. La presenza di Capo Circeo infatti determina un effetto ombra lungo l'intera area di studio, in particolare nell'unità fisiografica compresa tra Capo Circeo e Punta Stendardo, dove le onde si propagano per diffrazione. Il tratto di costa in cui l'intensità del moto ondoso risulta maggiore è la porzione meridionale dell'unità fisiografica compresa tra il promontorio di Gaeta e Ischia. La porzione di mare del Golfo di Gaeta, data l'esposizione della costa rispetto alla direzione delle onde e la morfologia costiera, risulta particolarmente riparata dagli eventi di maestrale. Nell'intero tratto di costa compreso tra Capo Stendardo e il Monte Scauri il moto ondoso subisce un ulteriore fenomeno di diffrazione e le acque antistanti il tratto di costa tra Gaeta e Formia risultano pressoché calme.

4.6 Descrizione delle correnti nel Golfo di Gaeta

Studi recenti (De Pippo et al., 2003) effettuati nell'area compresa tra Gaeta e Capo Miseno mostrano che l'andamento delle correnti risente di un'influenza stagionale e presenta celle di circolazione controllate dalla morfologia costiera che interessano sia le acque superficiali che quelle intermedie. La circolazione invernale è più intensa con direzione SE-NO creando, a causa dell'ostacolo determinato dall'isola di Ischia, una separazione tra un flusso a largo, con andamento parallelo alla costa, ed un flusso costiero, caratterizzato invece da una circolazione a celle posizionate di fronte alla foce del F. Volturno e del F. Garigliano. In estate la circolazione subisce l'influenza della morfologia costiera e della presenza di alto morfologico sommerso posto a Sud del promontorio di Gaeta; le masse d'acqua si muovono verso Sud e all'interno della rada si formano diverse celle secondarie.

Dagli studi condotti da ENEA e CNR nel periodo maggio-giugno 1981 ed in novembre 1982, risultava una buona concordanza tra il vento e le correnti ed il flusso medio tendeva a seguire le isobate a tutte le quote. In presenza di stratificazione dovuta al riscaldamento stagionale, la corrente superficiale, sotto l'effetto del vento locale, poteva inoltre presentare un andamento

ortogonale alla linea delle isobate (Bignami et al., 1996). All'interno della rada di Gaeta, nell'area marina prospiciente la foce del Fiume Garigliano, sono state effettuate da ICRAM nel 2002 indagini correntometriche a febbraio e aprile dello stesso anno. Da tali misure è emerso che la dinamica di è caratterizzata da un comportamento prevalentemente barotropico, con un movimento delle masse d'acqua con valori maggiori in corrispondenza della batimetria dei 50 m. In particolare le misure invernali hanno mostrato una notevole uniformità in direzione, caratterizzando un campo di corrente diretto verso SE con intensità di circa 0.2-0.3 m/s. Un'apprezzabile intensificazione dell'intensità della corrente è stata rilevata in corrispondenza delle batimetriche più profonde. In primavera la circolazione superficiale ha evidenziato un campo di velocità sostanzialmente uniforme con direzioni prevalentemente verso E tra Gaeta e Scauri e verso NE a sud della foce del Garigliano, con intensità di circa 0.1 e 0.15 m/s. Le misure effettuate in prossimità del fondale hanno evidenziato un campo di velocità sostanzialmente coerente con quelle ottenute in superficie.

Anche in presenza di una circolazione generale si possono osservare controcorrenti lungo la fascia costiera. In particolare, i fenomeni fisici che governano la fascia compresa tra 0 e 20m possono essere diversi da quelli che governano le correnti sulla piattaforma continentale, oltre i 20m di profondità. Rilevamenti di salinità e temperatura condotti nelle acque costiere della piattaforma continentale laziale (Bignami et al., 1996) hanno messo in evidenza, dal punto di vista della dinamica costiera, l'esistenza di due zone dalle caratteristiche significativamente differenti: quella meridionale e costiera con salinità relativamente basse e temperature relativamente alte e quella settentrionale con caratteristiche opposte. Tutto ciò viene associato a un flusso costiero proveniente da SE, compresso verso costa all'altezza di Anzio.

L'apporto più significativo lungo la piattaforma continentale della regione è quello del Tevere (portata media 225 m³/s) (Boni et al., 1996). Le acque fluviali si immettono in mare e si mescolano con le acque costiere secondo le forzanti del vento e della circolazione generale: si stratificano e scivolano sulle più dense acque marine, generando plume più o meno estese cui si deve la dispersione del materiale più sottile (Bellotti et al., 1993). All'aumentare della distanza dalla foce le acque si mescolano e vengono deviate verso NO dalla corrente costiera (Hopkins et al., 1992; Bellotti et al., 1993), caratterizzata da una velocità media di 0.1- 0.25 m/s (Bellotti et al., 1993).

Studi condotti lungo la piattaforma laziale hanno infatti evidenziato come la plume si

disponga generalmente entro la fascia costiera a nord della foce (Hopkins et al., 1992; Bignami et al., 1996). I venti da sud rafforzano tale tendenza, restringendo maggiormente la plume lungo la fascia costiera, mentre condizioni meteo particolari (forti venti da settentrione, in particolare da NE) ne forzerebbero la direzione verso Sud e verso il largo.

4.7 Descrizione del trasporto solido

L'assetto naturale della costa è completamente alterato da una forte antropizzazione legata ad attività industriali, commerciali e turistiche. Sono presenti due grandi porti (Gaeta e Formia). Da Gaeta a Formia la costa è occupata da strutture portuali, mentre da Formia al Garigliano la costa è densamente urbanizzata, ad eccezione del tratto costiero roccioso del monte Scauri. I fondali antistanti Formia hanno una pendenza di circa 1.7% e barre assenti, mentre i fondali antistanti Scauri e Marina di Minturno presentano pendenze di circa 0.7% in cui sono presenti barre.

I fondali ad est del Monte Scauri sono influenzati dagli apporti del fiume Garigliano, mentre scarso o quasi nullo è l'apporto sedimentario da parte di questo fiume verso i litorali ad ovest del Monte Scauri tanto da considerare Gaeta – Monte Scauri un'unità fisiografica a se stante per le profondità raggiunte (-10m) dalle strutture aggettanti che delimitano tale tratto costiero (Monte scauri e Prom. Gaeta). Dal punto di vista idrodinamico, all'interno della rada di Gaeta, durante gli eventi dominanti caratterizzati da forti venti di libeccio e scirocco, si determina una corrente costiera abbastanza intensa che lambisce la costa da Formia a Gaeta – Porto Salvo ed esce dalla rada rasentando Punta dello Stendardo (IIM, 2002). E' noto che diversi fattori, quali la presenza di fiumi, le forzanti locali, la differenza di riscaldamento solare e l'isolamento provocato da fronti termici marini, possono influenzare profondamente i fenomeni dinamici costieri (Bignami et al., 1996; Hopkins et al., 1992). L'analisi del bilancio sedimentario condotto attraverso l'analisi della variazione della linee di riva, condotte mediante immagini aerofotogrammetriche e satellitari, relative al periodo 1975-1990 e 1997 – 2007, ha prodotto i seguenti risultati:

- Avanzamento tra Torre Scauri e Minturno dovuto al ripascimento 2005 – 2007.
- Stabilità a sud della foce del Garigliano

- Forte erosione nell'area prossima alla foce del fiume Volturno

Il contributo solido del Fiume Volturno è pari a circa 150000 mc/anno 1975-1990, e 75000 mc/anno tra il 1997-2007 e contribuisce significativamente al bilancio sedimentario del settore meridionale dell'unità fisiografica compresa tra Monte Scauri e Capo Miseno.

Il trasporto solido è diretto verso Nord, nel tratto di costa a nord del Volturno quantificato in 80000 mc/anno nel periodo di riferimento 1997-2007, di direzione opposta nel tratto meridionale dell'apparato deltizio che ammonta a 150000 mc/anno. L'effetto erosivo osservato è limitato solo ai tratti costieri limitrofi al delta. I dati rilevati nel 2002 dalle campagne di misura condotte dall'ICRAM per conto della Regione Lazio a Febbraio, Aprile e Settembre hanno permesso di individuare due diversi meccanismi dinamici che condizionano la massa d'acqua antistante Gaeta.

La corrente costiera è caratterizzata da un flusso entrante che si dirige verso est in direzione del monte Scauri nel tratto tra Gaeta e il monte il quale costituisce un blocco alla circolazione. A ovest del monte è presente un flusso verso nord-est.

In profondità è presente uno strato nefeloide di fondo che, tra le batimetriche dei 40 e 60 m, ha uno spessore superiore ai 7 metri e che consentirebbe la risospensione e rimobilitazione dei sedimenti depositi. Dalla scheda di bacino portuale aggiornata al 2014 nella zona interessata dal porto commerciale di Gaeta la dinamica dei fondali è del tutto trascurabile, in quanto si tratta di una delle rade italiane più ridossate dal moto ondoso e in essa di conseguenza il movimento dei sedimenti è impossibile, mancando la causa prima del movimento stesso. Non a caso nella rada sono presenti, anche a bassa profondità fondali costituiti da materiali “coesivi” (fango, argille, limi argillosi) i quali subiscono movimenti lentissimi (non apprezzabili nei tempi storici) solo a causa del deposito dei fanghi presenti in sospensione in occasione di eventi particolari.

Dal punto di vista sedimentario la spiaggia di Vindicio è alimentata dagli apporti solidi grossolani del Rio d'Itri che sfocia nella parte occidentale della spiaggia.

Il bacino sotteso dalla foce del Rio d'Itri risulta avere un'estensione di circa 84.8 km². Sulla base del valore dell'apporto solido di corsi d'acqua dell'Italia centrale aventi un'estensione simile a quella del Rio d'Itri si può stimare un valore degli apporti solidi di tale corso d'acqua di circa 2.000 m³/anno. L'entità di questa alimentazione nell'ultimo decennio è stata tale da mantenere inalterata

la conformazione del litorale.

4.8 Uso del suolo

Il tratto di costa che comprende il Golfo di Gaeta si presenta come un litorale sottoposto ad un forte impatto antropico per la presenza di centri abitati a ridosso della linea di riva e di strutture portuali.

Per descrivere quindi l'assetto della costa oggetto di studio è utile osservare la carta di uso del suolo costruita e messa a disposizione dall'ISPRA nell'ambito del progetto Corine Land Cover 2006 dove è rappresentato l'utilizzo del suolo nell'area in esame.

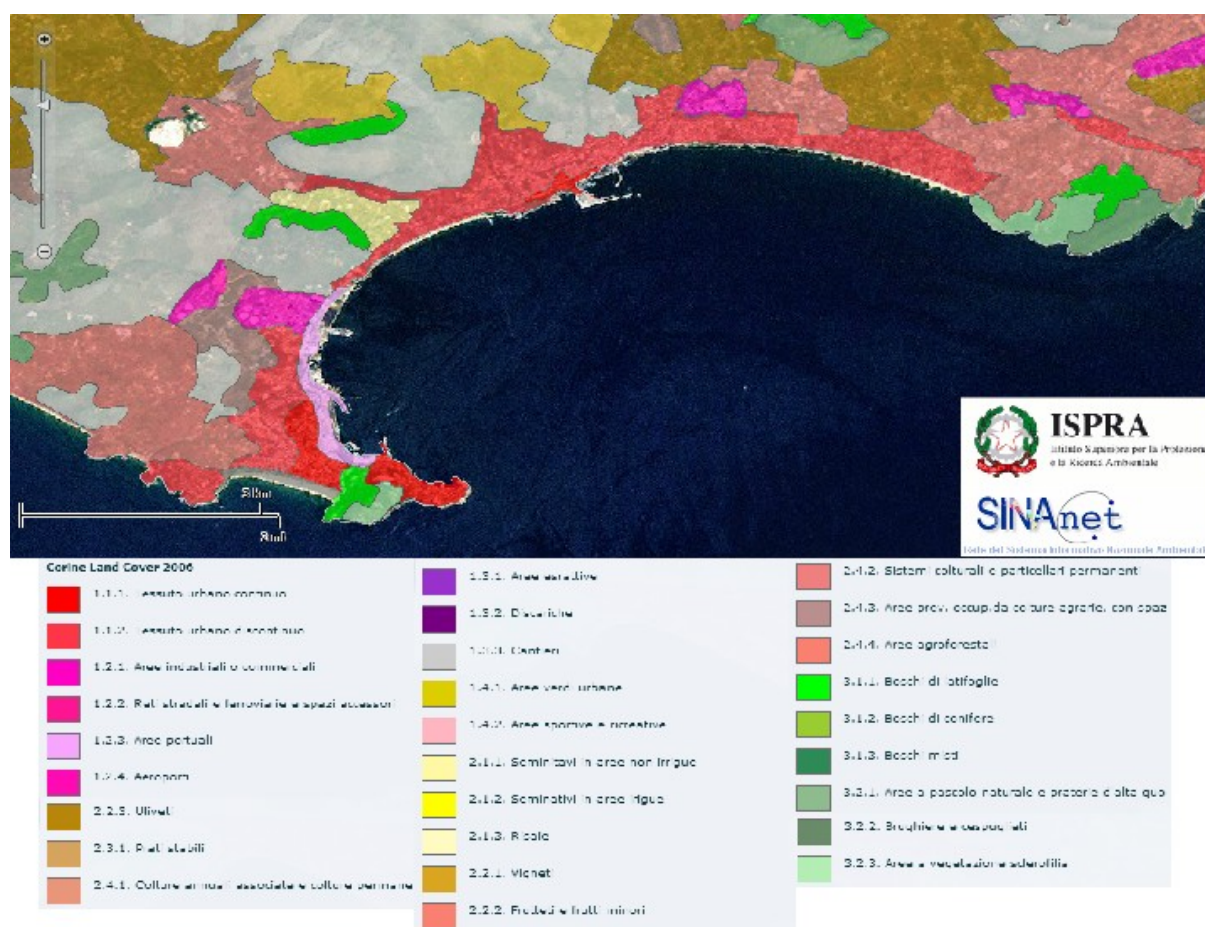


Fig. 54 Carta di Uso del Suolo relativa al Golfo di Gaeta (ISPRA, SINAnet, 2006)

Dall'analisi della carta si può osservare come la porzione costiera sia per la quasi totalità sfruttata da attività umane. Infatti ad eccezione di una porzione del promontorio di Gaeta e del Monte di Scauri, in cui si osserva la presenza di un ambiente naturale vegetato l'intero tratto di costa del Golfo di Gaeta presenta un tessuto urbano molto sviluppato con aree industriali e portuali.

L'impatto antropico si presenta a ridosso della linea di riva con su cui insistono le diverse opere prodotte dall'uomo.

Da un sopralluogo effettuato il giorno 10/04/2013 è stato osservato come l'intero tratto di costa compreso tra Gaeta e Formia abbia perso totalmente le caratteristiche naturali. Infatti lungo la linea di riva e nella porzione immediatamente retrostante sono state costruite banchine, strutture di protezione costiera, strutture portuali, strade ed edifici.

Inoltre anche il comparto marino dell'area in esame subisce un'importante pressione antropica determinata da molteplici attività umane quali la maricoltura, la pesca e il naviglio portuale commerciale e turistico.

Le immagini di seguito riportate mostrano lo stato attuale della linea di riva procedendo dal centro abitato di Gaeta verso sud.



Fig. 55 Banchinamento presente sul lungomare di Gaeta



Fig. 56 Banchinamento presente sul lungomare di Gaeta



Fig. 57 Molo dei pescatori con il centro abitato di Gaeta



Fig. 58 Tratto finale del banchinamento presente sul lungomare di Gaeta e scogliera a protezione del muro di recinzione della base NATO



Fig. 59 Tratto finale della scogliera a protezione del muro di recinzione della base NATO. In lontananza gonfiabili usati per lavori portuali in corso



Fig. 60 Banchinamento presente lungo il limite Sud del centro abitato di Gaeta



Fig. 61 Molo di attracco di navi mercantili all'interno del Porto di Gaeta

4.9 Pesca ed Acquacultura nel Golfo di Gaeta

La pesca è da sempre una delle maggiori fonti di sostentamento dei cittadini di Gaeta e questo lo dimostrano gli 'Statuti privilegia et consuetudines civitatis Caietae', scritti nel 1553 ed oggi custoditi nell'Archivio Storico dell'Istituto della SS. Annunziata di Gaeta.

Da un'indagine effettuata con l'ausilio della Capitaneria di porto di Gaeta risulta che le licenze concesse per lo svolgimento delle attività di pesca professionale nei comuni di Gaeta, Formia e Minturno usano i seguenti sistemi di pesca:

- Strascico
- Nassa
- Rete da posta
- Draghe turbo soffianti

Sono connesse alle attività di pesca professionale, purché non prevalenti rispetto a queste ed effettuate dall'imprenditore ittico mediante l'utilizzo di prodotti provenienti in prevalenza dalla propria attività di pesca ovvero di attrezzature o risorse dell'azienda normalmente impiegate nell'impresa ittica, le seguenti attività:

- a) imbarco di persone non facenti parte dell'equipaggio su navi da pesca a scopo turistico-ricreativo, denominata: «pesca turismo»;
 - b) attività di ospitalità, ricreative, didattiche, culturali e di servizi, finalizzate alla corretta fruizione degli ecosistemi acquatici delle risorse della pesca e alla valorizzazione degli aspetti socio-culturali delle imprese ittiche esercitate da imprenditori, singoli o associati, attraverso l'utilizzo della propria abitazione o di struttura nella disponibilità dell'imprenditore stesso, denominata: «ittiturismo»;
- Secondo la Capitaneria di porto di Gaeta, nei comuni di Formia, Gaeta e Minturno viene praticato pescaturismo ma non ittiturismo.

Il golfo di Gaeta, trattandosi di un tratto di mare protetto dalle mareggiate, dagli anni '50, è sede di diversi impianti di mitilicoltura che, con il passare degli anni, hanno dato una produzione tipica "la cozza di Gaeta", apprezzata in tutta il Lazio e in tutta Italia per la qualità del prodotto, particolarmente sapida. La loro sapidità è dovuta all'alta percentuale di salinità delle acque del Golfo. Le cozze gaetane sono più grandi, più nere e contengono più ardesia di quelle spagnole. Ma

la loro nota distintiva sono i riflessi azzurri brillanti e il sapore deciso di muschio e di alga marina.

La coltura dei mitili si avvale di impianti posti in mare aperto e di strutture complementari di appoggio sulla terraferma. Gli impianti in mare aperto sono situati in zone con fondale che varia da 10 a 30 metri circa, in presenza sia di correnti leggere (< 2 nodi/h) che di un trofismo adeguato.

Il sito interessato è una concessione marittima con una estensione che varia da poche decine a oltre cento ettari; tale concessione è opportunamente delimitata con boe dotate di segnali luminosi. L'area complessiva oggetto della richiesta di concessione è localizzata dinnanzi al Porto Commerciale di Gaeta ed il litorale di Vindicio nel comune di Formia ad una distanza di circa 1-1.3 km dalla costa.

Tipicamente la struttura è costituita da una serie di moduli paralleli fra loro; ogni modulo è costituito da una fune denominato trave che può essere in polipropilene, in poliestere o poliammide, di lunghezza totale fra i 100 ed 300 metri circa, ai cui due estremi si trova agganciato un corpo morto (in cemento, pietra o metallo) che poggia sul fondale ed ha funzione di ancoraggio. La trave ha la funzione di sostenere le reste di mitili, a cui sono agganciate, che scendono perpendicolarmente in acqua. Ogni resta è costituita da una calza in polipropilene lunga da 2 a 4 metri, con maglie di dimensioni adeguate in cui sono inseriti i mitili. Le reste vengono appese alla trave alla distanza di circa 50 centimetri l'una dalle altre. L'intero modulo è tenuto nel corretto assetto idrostatico da una serie di appositi gaviboa (boe in polietilene) posizionati sulla trave, il cui numero varia in base al peso di prodotto che il trave da sostenere. Su 150 metri di trave in produzione possono essere collocate da 6 a 60 gaviboe. Sono inoltre presenti boe sommerse posizionate vicino agli ancoraggi. La distanza minima consigliata fra due moduli paralleli è di circa 20 metri. Le fasi del processo produttivo della mitilicoltura si possono dividere in 6 fasi: raccolta e preparazione del seme; incalzo del seme; immersione delle reste; reincalzo delle reste; pulizia delle reste; raccolta del prodotto.

Oltre all'impianto di mitilicoltura, nel Golfo di Gaeta sono presenti impianti di itticoltura e allevamento in gabbia di orate, spigole e branzini. Secondo quanto dichiarato dalla ditta titolare della concessione gli impianti di acquacoltura per branzini ed orate sono composti da 500mila metri di concessione in mare aperto e 110mila metri quadrati di concessione nel Golfo, a fronte di un'area occupata dagli allevamenti di 80mila metri quadrati pari ad un volume di 150mila metri cubi.

4.10 Caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua

Nel febbraio 2002 è stata condotta un'indagine, all'interno della rada, sull'andamento di alcuni parametri idrologici lungo la colonna d'acqua, quali: temperatura, salinità, torbidità, ossigeno disciolto e fluorescenza. I risultati hanno evidenziato condizioni caratteristiche di un ambiente marino costiero particolarmente sensibile all'apporto di acque dolci, come evidenziato dalla diminuzione della salinità in prossimità della foce del Fiume Garigliano. Le indagini hanno inoltre evidenziato la presenza di una leggera torbidità della colonna d'acqua, con valori di trasmittanza compresi tra 60% e 75% decrescenti dalla superficie a circa 5 m dal fondo. In prossimità del fondale la trasmittanza ha raggiunto il valore di 20%, registrando un forte aumento della torbidità dovuto a fenomeni di risospensione del sedimento. E' stata osservata, inoltre, una variazione della distribuzione di fluorescenza e trasmittanza tra le acque costiere e quelle più a largo, identificando la zona di transizione a circa 7000 m di distanza dalla costa.

Il materiale sospeso nelle acque è risultato molto variabile e compreso tra 0.21 e 9.14 mg/l, con un valore medio di 2.60 mg/l; nelle acque prossime al fondo si riscontrano i valori maggiori, con una media di 4.26 mg/l (minimo 0.85 – massimo 9.14 mg/l, quest'ultimo valore costituisce il massimo assoluto ed è stato riscontrato sulla batimetrica dei 50 m, in corrispondenza dei valori massimi di corrente sul fondo). Le concentrazioni di particellato sospeso totale (TPM) nelle acque prossime al fondo hanno mostrato uno sviluppo del 175% rispetto agli apporti provenienti dalle acque soprastanti; se valutiamo solo la componente inorganica, questo incremento tocca il 500%. Tale aumento tende a dimostrare un forte effetto di risospensione dei sedimenti più fini. Il materiale sospeso nelle acque superficiali tende a concentrarsi all'interno della baia di Gaeta ed a fluire verso Sud in lenti di acqua più torbida; queste lenti sono condizionate dall'ingresso di acque che, dal largo, si dirigono verso Nord-Est.

Il materiale sospeso nelle acque prossime al fondo si diffonde verso Sud-Est, una volta giunto in corrispondenza della batimetrica dei 50 m. Le concentrazioni di ferro e manganese nel solido sospeso della colonna d'acqua sono maggiori nei settori prospicienti le foci fluviali del Garigliano e del Volturno, ma altri elementi si trovano in concentrazioni massime nel solido sospeso delle acque di largo.

Da Aprile 2013 il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (LOSEM-DEB), dell'Università degli Studi della Tuscia, ha svolto con cadenza mensile una serie di campagne di misura volte a misurare le caratteristiche chimico-fisiche e biologiche della colonna d'acqua all'interno e all'esterno della rada di Gaeta. I parametri relativi alla colonna d'acqua sono stati misurati mediante una sonda multiparametrica che permette di effettuare profili verticali di temperatura, conducibilità, pH, ossigeno disciolto e fluorescenza della clorofilla *a*. I valori di salinità sono calcolati dalla conducibilità (EOS-80 seawater equation recommended by UNESCO in 1981). Le stazioni in cui sono state effettuate le misure sono due: una in prossimità della batimetrica dei 10 metri nell'area soggetta a dragaggio, l'altra a largo, al di fuori del Golfo di Gaeta. Sono state inoltre elaborate una serie di immagini satellitari della zona, per i parametri di clorofilla *a* e solido sospeso, per integrare le informazioni nel periodo di interesse. Le immagini sono state elaborate dai dati provenienti da diversi sensori: MODIS Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), spettroradiometro montato sul satellite EOS PM per la misura sia della concentrazione della clorofilla *a* che del solido sospeso totale. Per la rappresentazione dei dati satellitari relativi alla distribuzione superficiale della clorofilla *a* e solido sospeso sono prodotte mappe a partire da dati acquisiti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) montato sulla piattaforma satellitare Aqua (EOS PM).

In corrispondenza delle stazioni in cui sono stati acquisiti i dati con la sonda multiparametrica, sono stati effettuati campionamenti di acqua superficiale per l'analisi delle concentrazioni di solido sospeso e clorofilla *a*. Il campione di acqua, una volta prelevato, è stato trasportato in laboratorio, filtrato ed analizzato con lo spettrofotometro (ISPRA 'Metodologie di studio del plancton marino' 56/2010) per quanto attiene la concentrazione della clorofilla *a*, filtrato, essiccato e pesato (2090 APAT-IRSA/CNR 29/2003) per quanto attiene il solido sospeso.

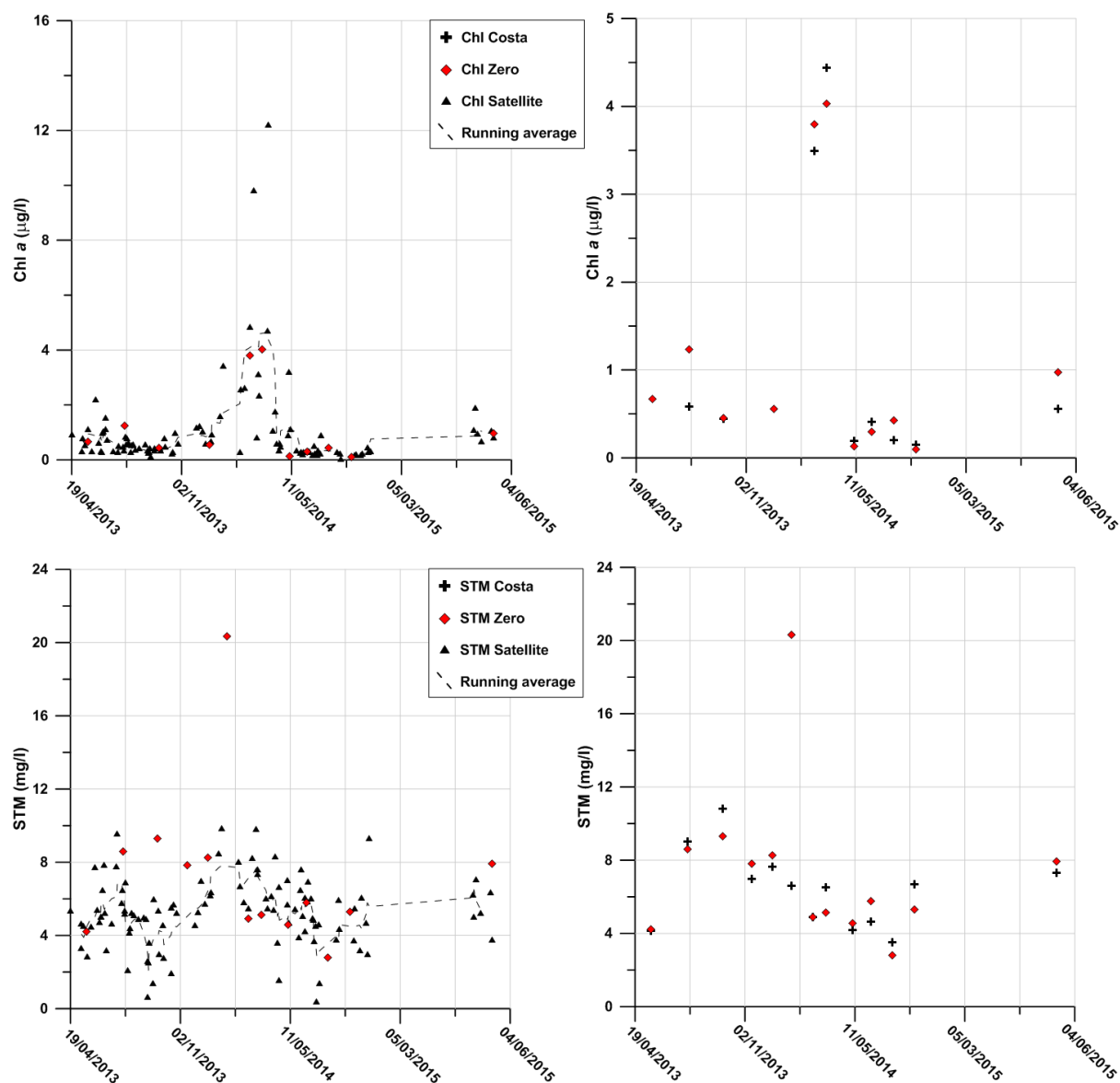


Fig. 62 Serie temporale dei risultati ottenuti dall'analisi dei campioni d'acqua e delle immagini satellitari. STM e Chl *a* Zero indicano rispettivamente i risultati del solido sospeso e clorofilla *a* dei campioni prelevati a largo del Golfo. STM e Chl *a* Costa indicano rispettivamente i risultati del solido sospeso e clorofilla *a* dei campioni prelevati a -10 m nell'area soggetta a dragaggio e Chl *a* e STM Satellite indica il valore computato dal processamento delle immagini satellitari in corrispondenza del punto di largo.

Dall'analisi della serie temporale si osserva come la concentrazione di solido sospeso mantenga in media valori compresi tra 2 e 8 mg/l (linea tratteggiata), con valori massimi che superano i 20 mg/l. Per quanto riguarda la concentrazione di clorofilla *a*, i valori medi sono compresi tra 1 e 5 µg/l, con valori massimi che superano i 12 µg/l. Il campione preso in

corrispondenza della batimetrica dei 10 m, all'interno dell'area soggetta a dragaggio, presenta un valore massimo di solido sospeso di 11 mg/l e di concentrazione di clorofilla *a* di circa 4.5 µg/l.

Relativamente ai dati acquisiti in colonna d'acqua mediante sonda multiparametrica si possono effettuare le seguenti considerazioni: la temperatura nella stazione costiera mostra la tipica variabilità annuale con i minimi valori che si riscontrano nel mese di febbraio (13.7°C). I valori massimi si osservano nel mese di agosto (25.9 °C). La temperatura in colonna d'acqua tende a rimanere omogenea tra la superficie e il fondo. Durante il periodo invernale le temperature minori si osservano in superficie. Nella stazione di largo la temperatura presenta un andamento stagionale, i valori massimi si osservano nel periodo tardo estivo (25.8°C) mentre quelli minimi nel periodo invernale (15°C). La colonna d'acqua mostra temperature omogenee durante il periodo invernale, mentre il periodo estivo è caratterizzato da un accentuato gradiente termico superficie fondo. Durante il periodo invernale le temperature minori si osservano in superficie. Nella stazione costiera la salinità presenta valori massimi di 37.8 psu, e minimi di 34 psu. Non si riscontra un andamento stagionale ben definito presumibilmente dovuto ad eventi piovosi che hanno alterato i valori di salinità a momento della misura. Nella stazione di largo la salinità mostra il tipico andamento stagionale i valori più elevati si osservano nel periodo estivo (38 psu) eccezion fatta per il mese di luglio 2014 che presenta salinità particolarmente basse (36.8 psu) riscontrate anche nella stazione di prossimità. I valori minimi si osservano nel mese di gennaio.

Nella stazione costiera la variabile presenta valori massimi di 1.7 µg/l tipici della stagione tardo invernale. Il periodo tardo estivo e quello autunnale mostrano i valori minimi. Nella stazione di largo i valori massimi di fluorescenza della clorofilla *a* si osservano tra i 10 e i 20 m di profondità nel periodo tardo invernale (>3 µg/l). il periodo estivo è caratterizzato da valori massimi in prossimità del fondo (1.2 µg/l).

5. DRAGAGGIO ASSOCIATO ALL'APPROFONDIMENTO -10 DA PRP: MONITORAGGIO

Le attività di dragaggio ad oggi eseguite, hanno riguardato l'approfondimento dei fondali dello specchio acqueo antistante la banchina Cicconardi, come previsto nel Piano Regolatore Portuale alla -10,00. Tali attività si sono svolte dal giugno 2011 al aprile 2012, ed i sedimenti dragati, ca 440.960 mc, sono stati sversati in cassa di colmata come da planimetria allegata (Escavo -10,00).

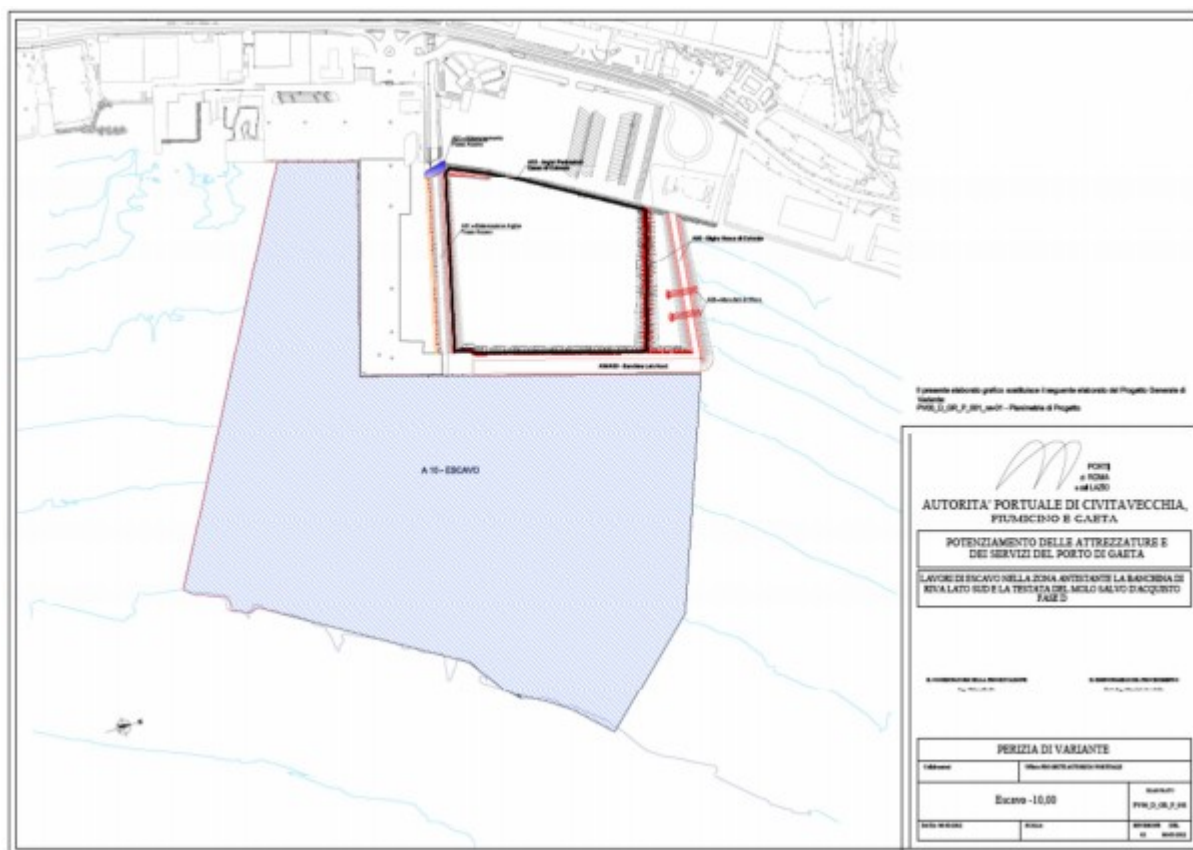


Fig. 69 Configurazione Porto commerciale di Gaeta

Nell'ambito dei 'Lavori di escavo nella zona antistante la banchina di lato sud e la testata del molo Salvo d'Acquisto del Porto di Gaeta – Fase D' avvenuti nel 2011- 2012 sono state effettuate delle campagne di misura dalla Alpine Ocean Sismic Survey Italy srl prima e durante le attività di

dragaggio relativamente alla torbidità dell'acqua. Sono state effettuate 5 stazioni di misura in cui il turbidimetro è stato posizionato in acqua a diverse profondità procedendo dai -7m fino a -1m.

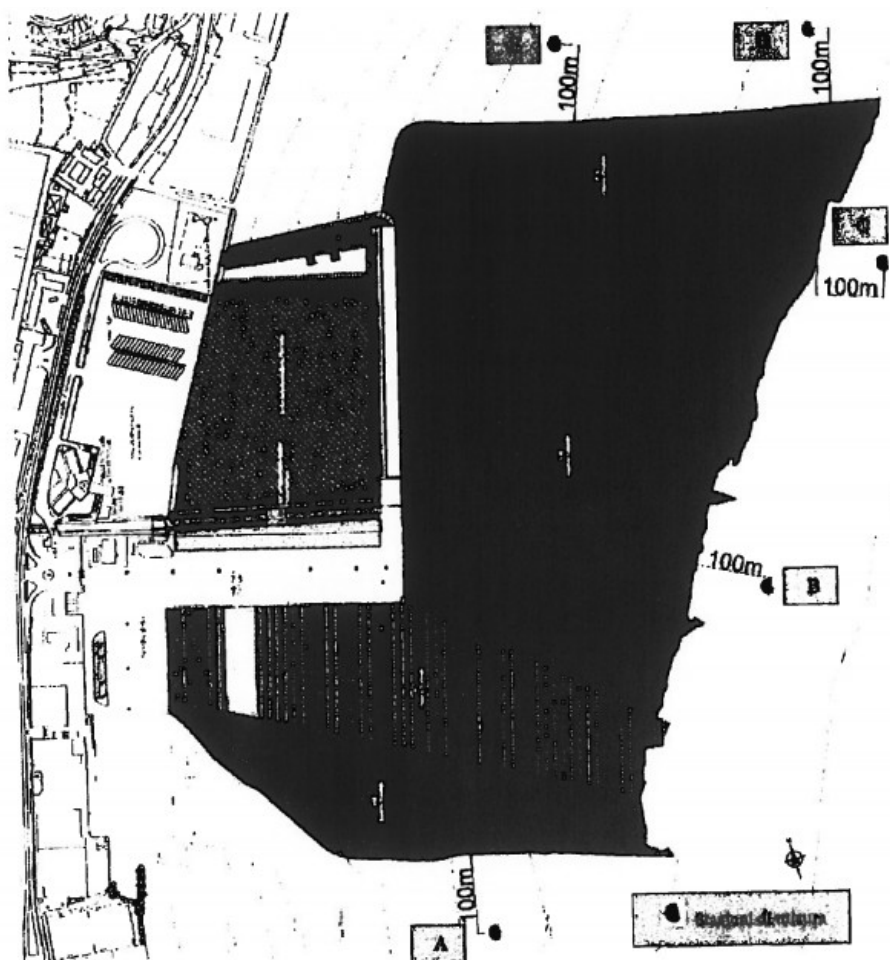


Fig. 71 Ubicazione delle stazioni di monitoraggio (A,B,C,D,E)

I rilievi della fase pre-dragaggio sono stati ripetuti per due giorni il 28/01/2011 ed il 02/02/2011 in condizioni diverse delle condizioni del mare, mosso e poco mosso i cui risultati sono riportati in tabella 3.

Tabella 3 Dati di torbidità nelle diverse stazioni

Giorno	Prof. (m)	Staz A (NTU)	Staz B (NTU)	Staz C (NTU)	Staz D (NTU)	Staz E (NTU)
28/01/2011	-1	4.6	3.8	3.8	4.2	4.4
	-2	4.4	4.2	3.8	4	4.8
	-3	4.2	4	4	4.4	4.6
	-4	4.4	4.2	3.6	4	4.2
	-5	4.8	4.8	4.4	4.4	4.2
	-6	5	5	5.4	7.2	5.6
	-7	7.2	6.4	9	16.8	9.8
02/02/2011	-1	2.4	2.6	2.4	2.8	2.6
	-2	2.6	2.6	2.4	2.6	2.2
	-3	2.6	2.6	2.2	2.6	2.4
	-4	2.6	2.2	2.2	2.4	2.4
	-5	2.4	2.2	2	2.4	2.6
	-6	2.2	2.4	2	2.4	2.6
	-7	2.4	2.4	2.2	2.2	2.8

Durante le operazioni di dragaggio sono state condotte due campagne di misura nelle 5 stazioni nelle date 08/07/2011 e 02/08/2011. Da queste indagini i livelli di torbidità registrati durante le operazioni di escavo sono contenuti nei range dei valori di bianco riportati in tabella 3 senza evidenziare aumenti significativi di materiale in sospensione. Il valore massimo registrato è di 9 NTU in corrispondenza della stazione A alla profondità di 6 m.

5. ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE AL PIANO REGOLATORE PORTUALE (PORTO COMMERCIALE DI GAETA)

A seguito dell'approvazione, da parte della Regione Lazio con Delibera n.607358 del 20/05/2014, dell' "Adeguamento Tecnico Funzionale - Dragaggio alla profondità -12,00", e della caratterizzazione dei sedimenti marini sulla base del "Piano di caratterizzazione ambientale dei fondali dell'area marina antistante la banchina Cicconardi nel porto di Gaeta" redatto da ISPRA, sono state effettuate dal CoNISMa le analisi sui campioni prelevati. Per le attività previste si stima una quantità di sedimento da dragare di 366.000 m³.

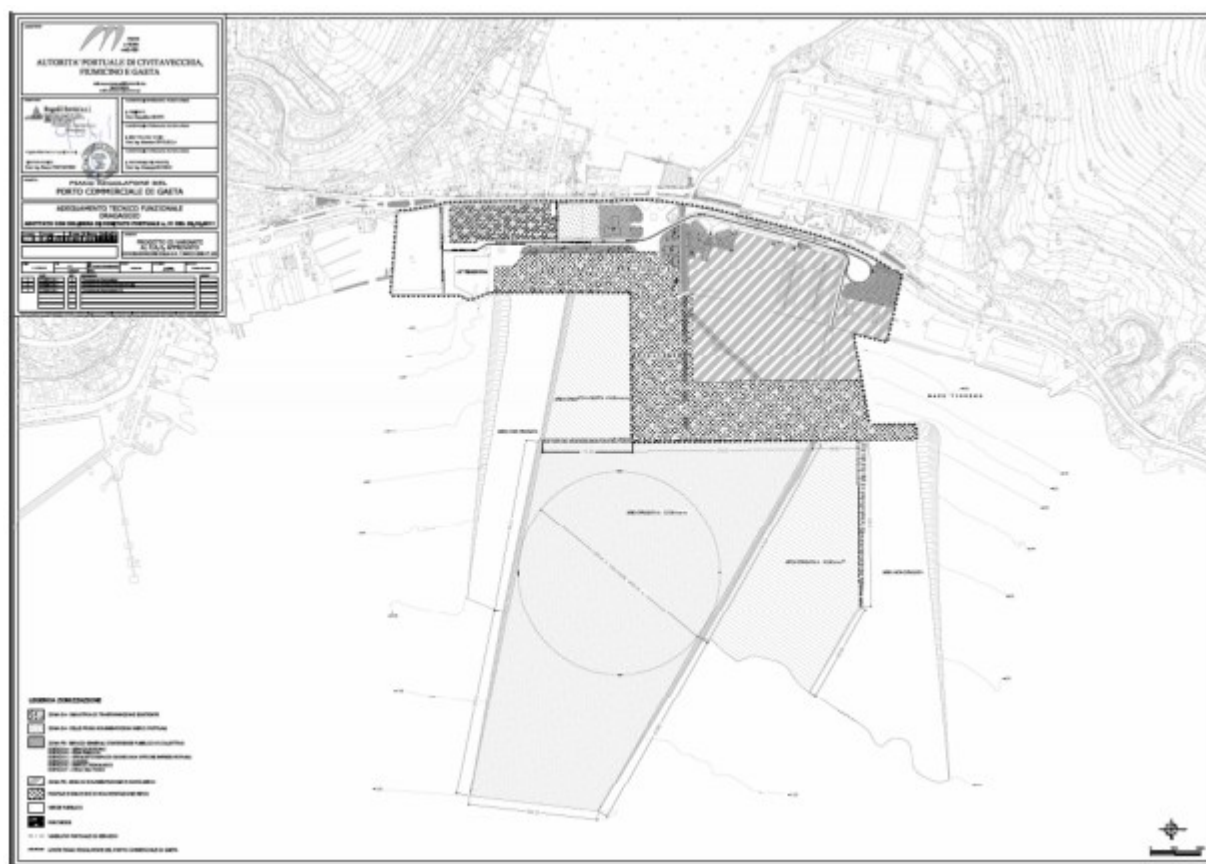


Fig. 70 Area del dragaggio

5.1 Chimica ed ecotossicologia dei sedimenti

Di seguito è riportata la mappa ricostruita dai risultati delle analisi chimiche condotte dal CoNISMa sui sedimenti prelevati nell'area da dragare, al fine di individuare i punti da ripetere per la caratterizzazione chimica dei sedimenti.

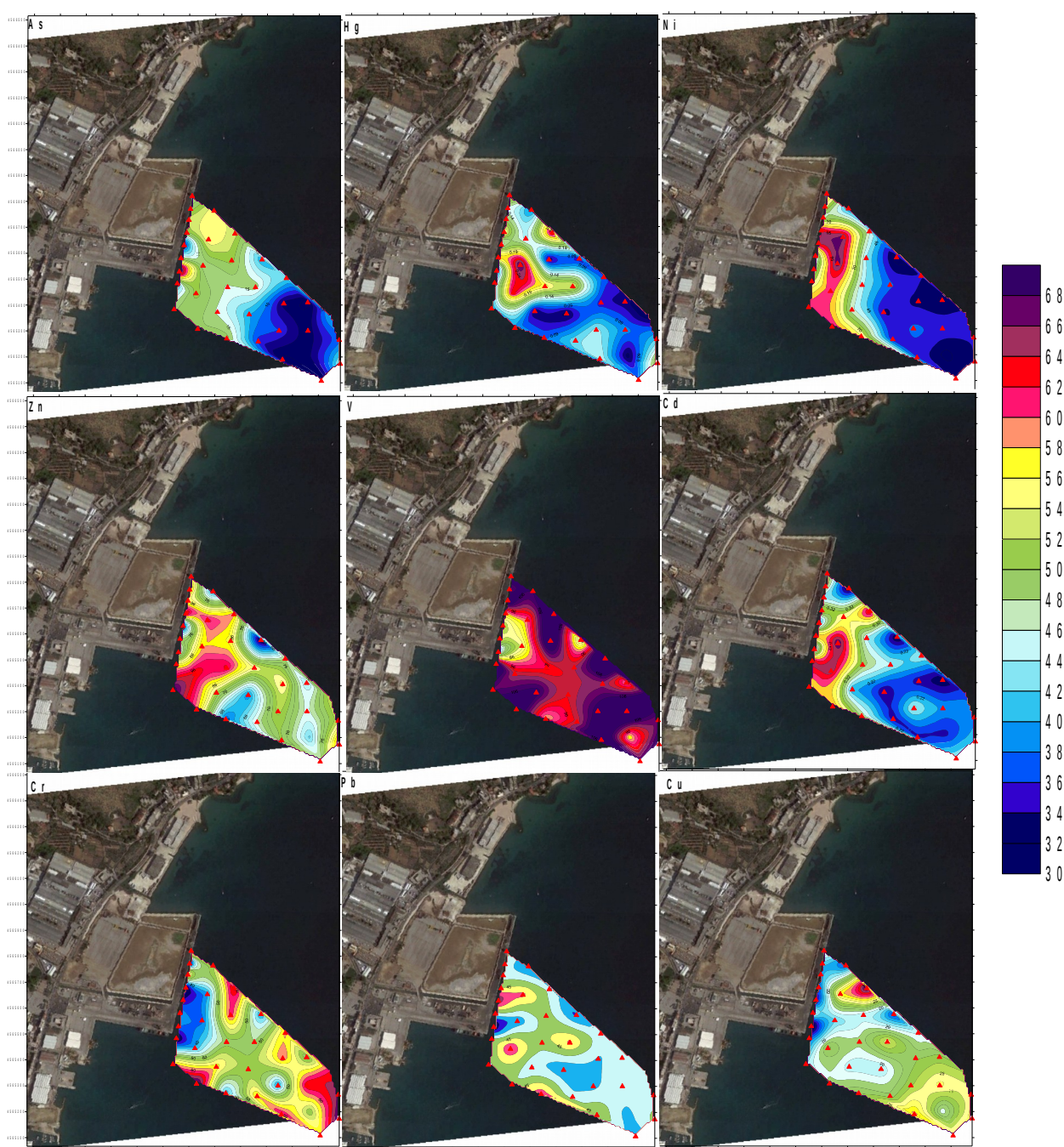


Fig. 63 Concentrazione dei metalli nei primi 50 cm della carota espressi in mg/Kg

Tutti i risultati delle analisi chimiche sono stati elaborati da ISPRA all'interno della relazione 'Valutazione dei risultati della caratterizzazione ambientale dei fondali dell'area marina antistante la Banchina Cicconardi da sottoporre ad approfondimento' (dicembre 2013), ai fini della valutazione della qualità ambientale dell'area indagata e per definire quindi un corretto piano di gestione dei materiali.

Per rendere più immediato il quadro ambientale che emerge dalla caratterizzazione, i risultati analitici dei parametri chimici sono stati visualizzati per ciascun livello e fino alla massima profondità indagata, secondo la scala di colori di seguito riportata, che sono riferiti al Manuale ICRAM-APAT 2007, per le tolleranze ammesse rispetto ai valori di riferimento dei Livello Chimici di Base e dei Livelli Chimici Limite. Tali tolleranze consistono in uno scostamento massimo ammissibile non superiore al 20 % per le sostanze Pericolose Prioritarie, al 25 % per le sostanze Prioritarie ed al 50 % per tutte le altre, per un massimo del 20 % dei campioni esaminati, purché isolati ('Hot spot').

Dall'osservazione dei risultati si evidenzia che non vi sono sedimenti con concentrazioni delle sostanze ricercate superiori ai valori limite indicati nella colonna B, Tabella 1, Allegato 5, Titolo V, Parte IV, del D.Lgs. 152/06.

Rispetto ai valori chimici di riferimento di cui al manuale APAT-ICRAM (2007), la sostanza che ha mostrato superamenti con maggior frequenza è rappresentata dal Nichel. Sono state, infatti, riscontrate concentrazioni di Nichel superiori ai valori di LCL (75 mg/kg s.s.) e LCB (70 mg/kg s.s.) e concentrazioni di Cadmio e Piombo superiori ai rispettivi valori di LCB (Cd: 0,35 mg/kg s.s.; Pb: 40 mg/kg s.s.). Sono risultati, inoltre, presenti un numero limitato di superamenti dei valori di LCB per Arsenico, Zinco e PCB.

Nel dettaglio, le concentrazioni di Nichel riscontrate sono comprese tra 20,6 mg/kg s.s. e 141,7 mg/kg s.s., con superamenti del valore di LCL (75 mg/kg s.s.) determinati in tutte le maglie 50x50 m ricadenti al di sotto della banchina Cicconardi (stazioni GA01/01, GA01/02, GA01/03, GA01/04, GA01/05, GA01/06 e GA01/07) e nelle maglie 100x100 m prossime ad esse (GA01/09, GA01/10, GA01/11, GA01/12, GA01/13, GA01/14, GA01/19 e GA01/22), in campioni rappresentativi di tutti i livelli indagati; il valore massimo è stato determinato nel campione GA01/11 afferente al livello 100-150 cm. I superamenti del valore di LCB (70 mg/kg s.s.) sono stati

determinati sia nei campioni prelevati nelle maglie interessate anche dai superamenti di LCL (GA01/02, GA01/04, GA01/06, GA01/09, GA01/10, GA01/12, GA01/13 e GA01/19), sia in alcuni campioni prelevati nelle maglie prossime a quelle interessate da superamenti di LCL (GA01/08, GA01/20 e GA01/21). Le concentrazioni di Cadmio sono comprese tra 0,10 mg/kg s.s. e 0,68 mg/kg s.s., con superamenti del solo valore di LCB (0,35 mg/kg s.s.) in quasi tutte le maglie 50x50 m poste al di sotto della banchina Cicconardi (stazioni GA01/04, GA01/05, GA01/06, GA01/07 e GA01/08,) e nelle maglie 100x100 m prossime ad esse (GA01/09, GA01/10, GA01/11, GA01/12, GA01/13, GA01/14, GA01/15, GA01/16 e GA01/19) in campioni rappresentativi dei diversi livelli indagati, compresi i livelli più profondi; il valore massimo è stato determinato nel campione GA01/05 afferente al livello 50-100 cm.

Le concentrazioni di Piombo sono comprese tra 13 mg/kg s.s. e 67 mg/kg s.s., con superamenti del solo valore di LCB (40 mg/kg s.s.) in numerose maglie, in campioni rappresentativi dei diversi livelli indagati, compresi quelli più profondi, con il valore massimo determinato nel campione GA01/19 afferente al livello 100-150 cm.

Le concentrazioni di Arsenico sono comprese tra 2,1 mg/kg s.s. e 29,8 mg/kg s.s., con un solo superamento del valore di LCB (25 mg/kg s.s.) nel campione afferente al livello 0-50 cm prelevato nella stazione GA01/07 ubicata sotto la banchina Cicconardi.

Le concentrazioni di Zinco sono comprese tra 22 mg/kg s.s. e 125 mg/kg s.s., con superamenti del solo valore di LCB (100 mg/kg s.s.) che si esauriscono entro la profondità di 150 cm e coinvolgono un numero limitato di maglie, raggiungendo il valore massimo, in GA01/11.

Le concentrazioni degli altri metalli ed elementi in tracce ricercati (Rame, Cromo totale e Mercurio), risultano inferiori ai rispettivi valori di LCB. Le concentrazioni del Vanadio sono comprese tra 25 mg/kg s.s. e 180 mg/kg s.s..

Per quando concerne la maggior parte dei composti organici ricercati, sono state rilevate concentrazioni al di sotto dei limiti di determinazione o molto prossime ad essi, comunque quasi sempre inferiori al rispettivo valore di LCB. Nei casi di singoli congeneri di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e dei Policlorobifenili (PCB) risultati inferiori al limite di quantificazione (LOQ), purché, in ciascun campione, almeno uno sia risultato rilevabile, al fine del calcolo della sommatoria i risultati di tali congeneri sono stati considerati pari alla metà del limite medesimo,

secondo quanto previsto dal D.lgs. 219/2010.

In particolare, le concentrazioni di IPA sono comprese tra 0,021 mg/kg s.s. e 0,126 mg/kg s.s. (LCB pari a 0,9 mg/kg s.s.); quelle dei PCB, visualizzate da figura 4.2.18 a figura 4.2.21, sono comprese tra 0,001 mg/kg s.s. e 0,008 mg/kg s.s., con lievi superamenti dei valori di LCB (0,005 mg/kg s.s.) in soli 3 campioni.

Le concentrazioni determinate per la maggior parte dei pesticidi organoclorurati sono inferiori ai limiti di determinazione, ad eccezione del DDE che presenta concentrazioni comprese tra 0,0002 mg/kg s.s. e 0,0013 mg/kg s.s. (LCB pari a 0,0021 mg/kg s.s.); infine, le concentrazioni determinate dei composti organostannici sono inferiori ai limiti di determinazione. Per quanto concerne composti per i quali non sono presenti valori di LCB o LCL di riferimento, si segnala che le concentrazioni degli Idrocarburi leggeri ($C \leq 12$) sono inferiori ai limiti di determinazione, mentre quelle degli Idrocarburi pesanti ($C > 12$) sono comprese tra 15 mg/kg s.s. e 42 mg/kg s.s.. Infine, con riferimento all'Esaclorobenzene (HCB), composto compreso tra le sostanze Pericolose Prioritarie per le quali il D.M. 260/2010 ha individuato lo Standard di qualità ambientale al fine della classificazione dello stato chimico ed ecologico del corpo idrico, in ottemperanza alla Direttiva 2000/60/CE, pari a 0,0004 mg/kg s.s., le concentrazioni sono comprese tra 0,0001 mg/kg s.s. (limite di determinazione) e 0,0003 mg/kg s.s. e risultano pertanto inferiori al suddetto valore.

Dall'osservazione dei risultati delle indagini microbiologiche effettuate sui sedimenti dei fondali dell'area in esame, non si evincono, dal punto di vista ambientale, particolari situazioni di inquinamento microbiologico in atto. Infatti, non è stata rilevata la presenza di organismi patogeni, quali Salmonella, e le concentrazioni di Enterococchi fecali, Escherichia coli, spore di clostridi solfito riduttori e Stafilococchi non si discostano in misura evidente da quelle comunemente presenti lungo le coste nazionali, anche al di fuori delle aree fortemente antropizzate quali quelle urbane e portuali.

I saggi biologici sono stati eseguiti nel rispetto di quanto riportato nel piano di caratterizzazione, analizzando 41 campioni. La batteria di saggi biologici impiegata è stata costituita da 3 organismi ben distinti per posizione filogenetica e ruolo ecologico: la diatomea *Phaedadctylum tricorutum* (applicata all'elutrio), il rotifero *Brachionus plicatilis* (applicato all'elutrio) e il crostaceo anfipode *Corophium orientale* (applicato alla fase solida). Sono state così testate due

matrici ambientali, per complessivi 123 saggi biologici.

In linea generale, i sedimenti indagati hanno mostrato una prevalentemente assenza di effetti tossici. Solamente 3 campioni testati con *Corophium orientale* hanno mostrato un lieve effetto tossico: i livelli 0-50 cm delle stazioni GA01/01 e GA01/05 (in prossimità della banchina) e il livello 50-100 cm della stazione GA01/13. I restanti saggi, eseguiti sull'elutriato, non hanno mostrato effetti tossici in nessuno dei campioni.

Integrando i giudizi chimici (comprensivi delle tolleranze ammesse) con quelli ecotossicologici (secondo i criteri di cui alla tabella 2.4 del Manuale APAT-ICRAM, 2007), è stato possibile effettuare una classificazione dei sedimenti in esame secondo i criteri di cui al paragrafo 2.3.2 dello stesso. Per i campioni sui quali non sono stati effettuati i saggi ecotossicologici, la classificazione è stata ottenuta attribuendo loro la risposta tossica del campione limitrofo con caratteristiche fisico chimiche simili.

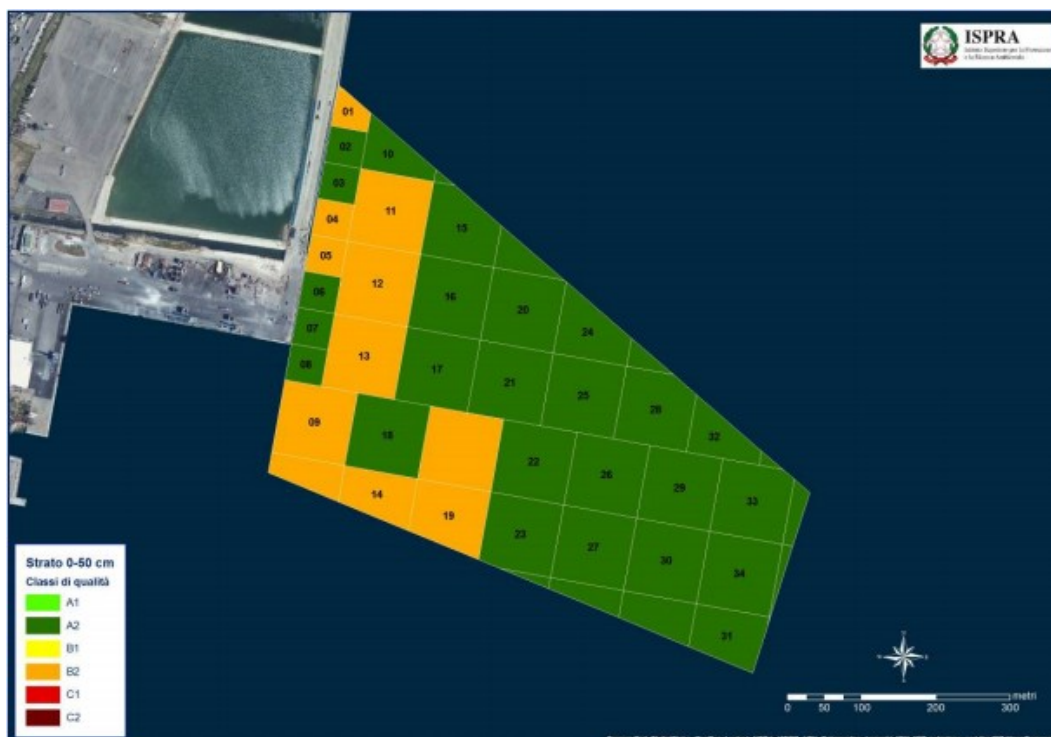


Fig. 64 Classificazione qualitativa del livello 0-50 cm

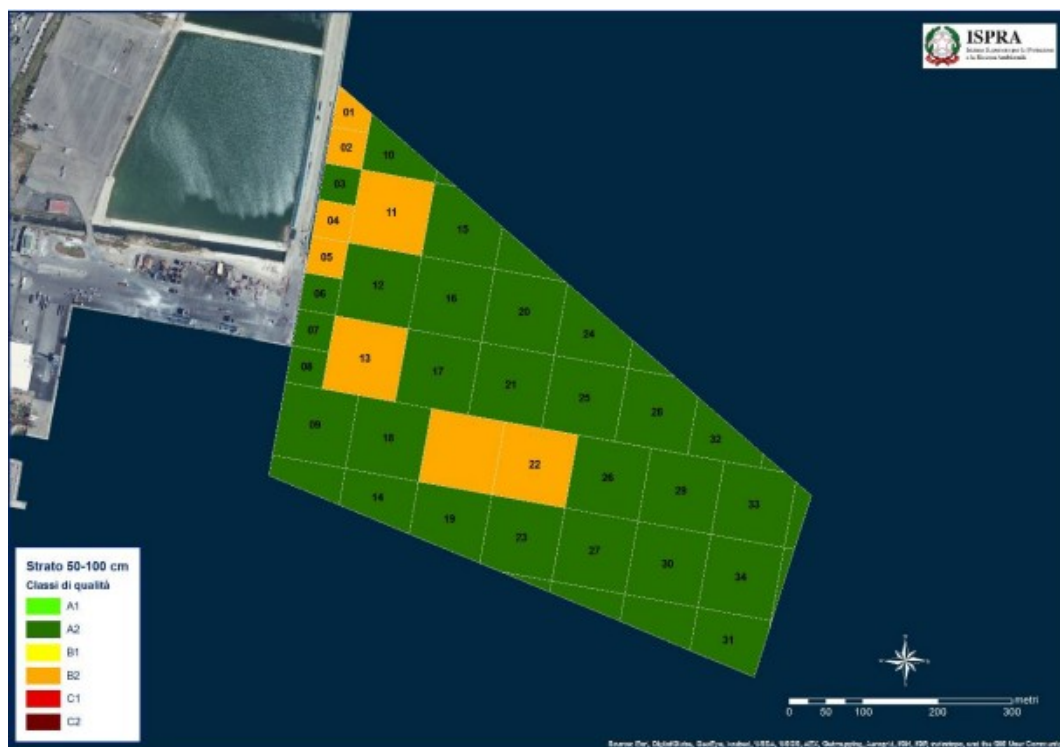


Fig. 65 Classificazione qualitativa del livello 50-100 cm

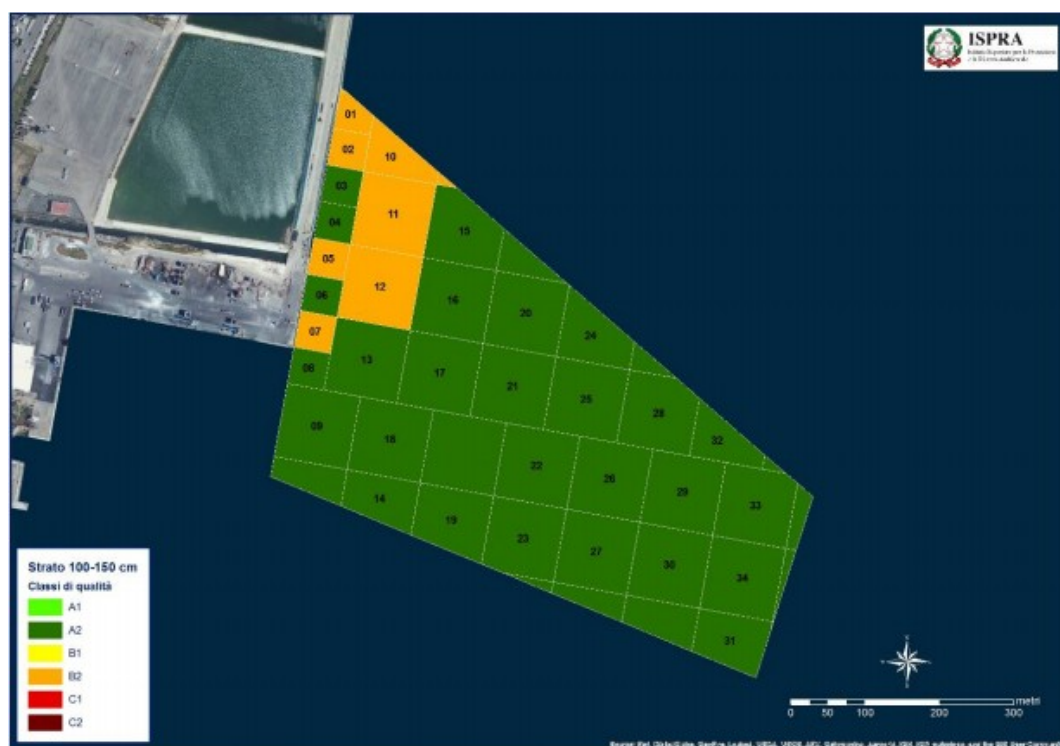


Fig. 66 Classificazione qualitativa del livello 100-150 cm



Fig. 67 Classificazione qualitativa del livello 150-200 cm

La totalità dei sedimenti caratterizzati è risultata appartenente alle classi A2 e B2 e il principale fattore responsabile di tale classificazione qualitativa è risultato essere il Nichel. La qualità complessiva dei sedimenti è distribuita secondo un gradiente in base al quale essa tende a peggiorare in prossimità della Banchina Cicconardi e, in senso verticale, negli strati superficiali.

7. ATTIVITA' DI MONITORAGGIO AMBIENTALE ASSOCIATE ALLE OPERAZIONI PREVISTE DALL'ADEGUAMENTO TECNICO FUNZIONALE

Al fine di studiare il trasporto solido nelle aree limitrofe al porto di Gaeta ed i potenziali impatti della dispersione del sedimento derivante dal dragaggio, che sarà effettuato nella zona antistante la banchina Cicconardi, saranno messe in atto una serie di attività di monitoraggio a breve e lungo termine su diverse matrici. Le attività saranno effettuate prima, durante e per i due anni successivi al dragaggio, come di seguito schematizzato (tab. 4) e successivamente descritto.

Tab. 4 Schema delle attività di monitoraggio

LISTA ATTIVITA'	FASE	N. CAMPIONI	REPLICHE
Acquisizione dati di onde e correnti con Radar X-Band	Fase I	in continuo	in continuo
	Fase II	in continuo	in continuo
	Fase III	in continuo	in continuo
Campionamento Sedimenti (DM 24.01.1996)	Fase I	7	1
	Fase II	0	0
	Fase III	0	0
Misure e campionamenti colonna d'Acqua	Fase I	10	2
	Fase II	10	8
	Fase III	10	8
Campionamento Acqua (Chimica)	Fase I	5	1
	Fase II	5	2
	Fase III	5	8
Campionamento Sedimento (Chimica)	Fase I	5	1
	Fase II	5	1
	Fase III	5	2
Batimetrie Area Dragata	Fase I	0	0
	Fase II	0	0
	Fase III	come da cap.4	come da cap.4
Acquisizione dati di torbidità con n.1 stazione di misura fissa	Fase I	0	0
	Fase II	in continuo	in continuo
	Fase III	0	0
Acquisizione dati di livello del mare con mareografo	Fase I	0	0
	Fase II	0	0
	Fase III	in continuo	in continuo

7.1 Fase 1 - Ante Operam

Dall'aprile 2013 il Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (DEB-Università degli Studi della Toscana) ha posto in essere una serie di attività volte allo studio della dinamica costiera ed allo studio delle principali caratteristiche oceanografiche ed ecologiche all'interno del Golfo di Gaeta.

A tal fine è stata installata una boa ondametria nel punto di coordinate Lat 41.22968 e Long 13.57602 dinnanzi la banchina Cicconardi in corrispondenza della batimetrica dei -10m, vengono effettuate campagne di misura e campionamento della colonna d'acqua e vengono elaborate immagini satellitari giornaliere di solido sospeso e biomassa fitoplanctonica.

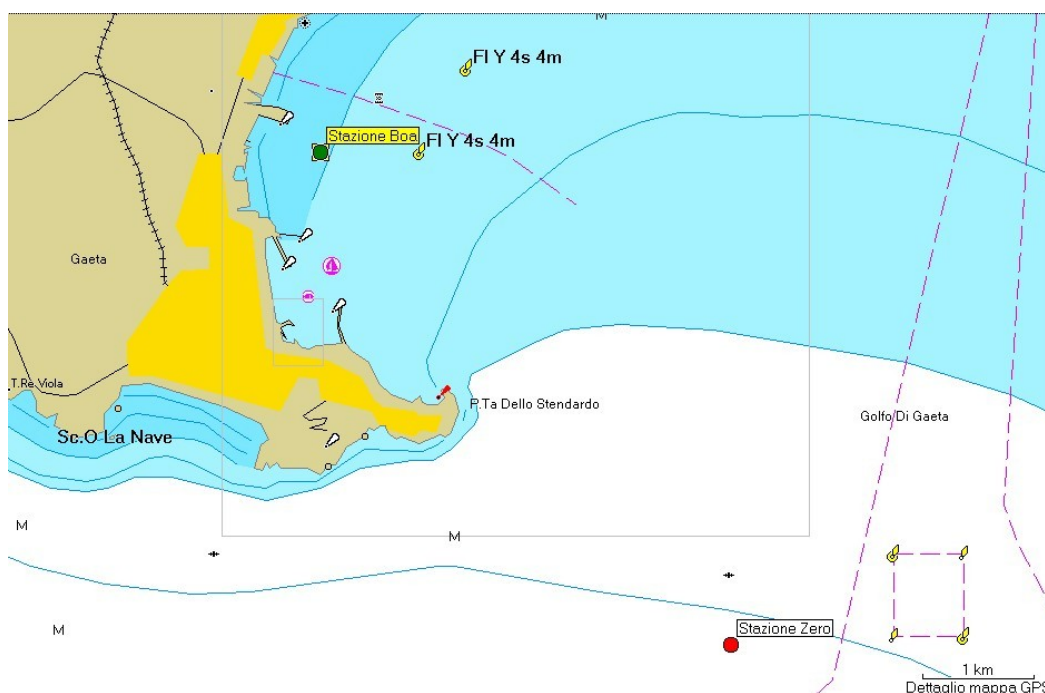


Fig. 72 Boa ondametria di Gaeta

Per quanto riguarda la caratterizzazione della colonna d'acqua vengono effettuate, con cadenza mensile, delle campagne con sonde multiparametriche e campionamenti superficiali di acqua per l'analisi del solido sospeso e della clorofilla *a* in due stazioni: una ubicata in corrispondenza della boa ondametria (Long 13.57602E, Lat 41.22968N) ed una al di fuori del

Golfo di Gaeta (stazione zero).

I parametri relativi alla colonna d'acqua vengono acquisiti mediante una sonda multiparametrica, che permette di effettuare dei profili verticali di pressione, temperatura, conducibilità (da cui vengono calcolati i valori di salinità), pH, ossigeno disciolto e fluorescenza della clorofilla *a*. I dati acquisiti vengono utilizzati per la calibrazione delle immagini telerilevate.

Vengono inoltre elaborati, quando disponibili, dati da telerilevamento satellitare, mediante l'acquisizione ed analisi di immagini satellitari giornaliere della zona, al fine di ottenere mappe della distribuzione della clorofilla *a* e del solido sospeso. Le immagini vengono elaborate dai dati provenienti da diversi sensori: MODIS Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), spettroradiometro montato sul satellite EOS PM per la misura sia della concentrazione della clorofilla *a* che del solido sospeso totale.

Di seguito vengono riportate a titolo esemplificato le mappe superficiali di distribuzione della clorofilla *a* e della torbidità.

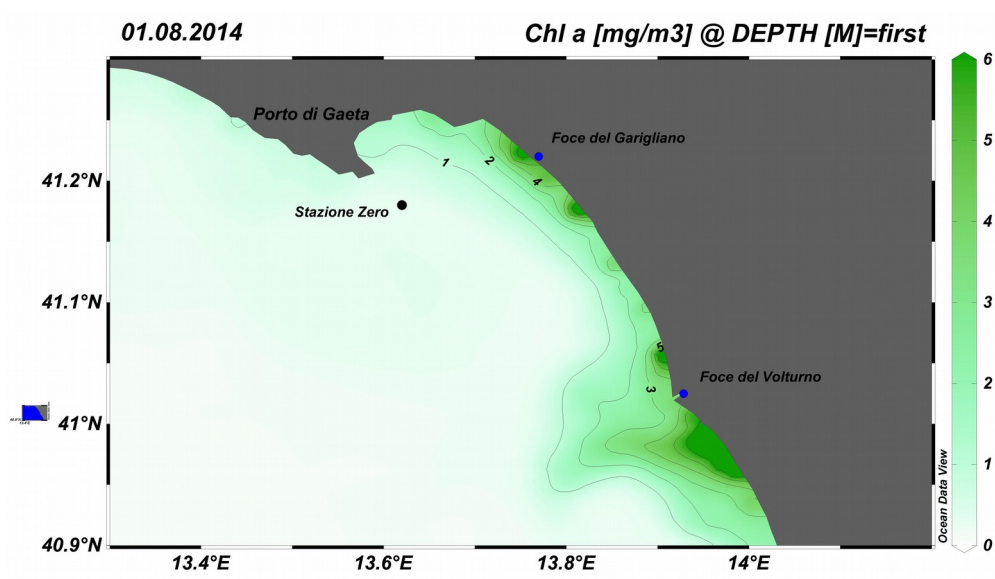


Fig. 73 Mappa superficiale di clorofilla *a* elaborata da dati satellitari

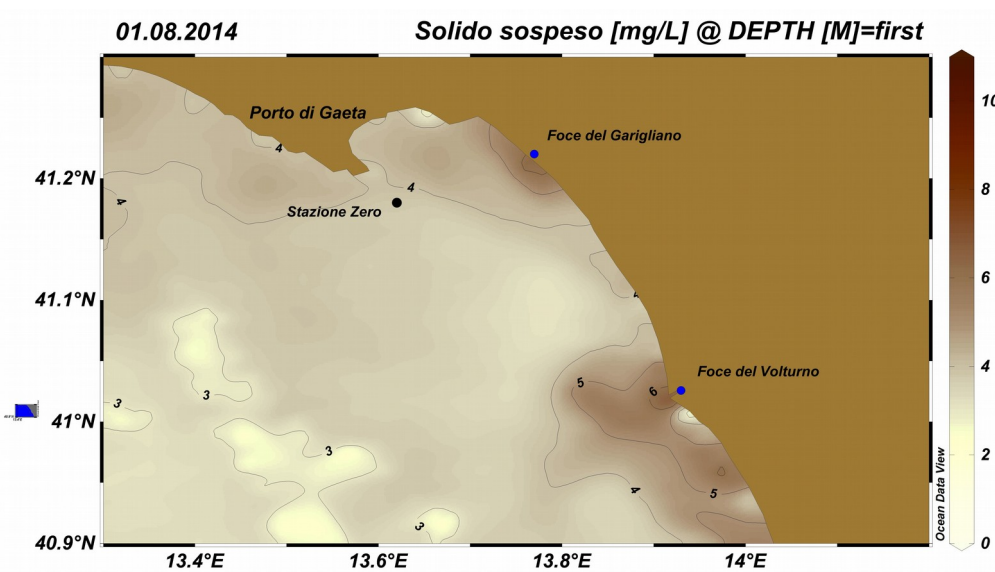


Fig. 74 Mappa superficiale di solido sospeso elaborata da dati satellitari

Oltre ai dati acquisiti durante le attività di monitoraggio effettuate dall'aprile 2013 ed attualmente in corso, saranno effettuate una serie di misure nel periodo immediatamente precedente le attività di dragaggio. Durante questa fase, che avrà una durata di circa n.1 mese, verranno effettuate le seguenti attività.

7.1.1 Prelievo ed analisi di campioni di sedimento nell'area da dragare

Al fine di verificare che le caratteristiche fisico-chimiche dei sedimenti presenti nell'area antistante la banchina Ciccionardi siano rimaste immutate, rispetto alle analisi effettuate per la caratterizzazione tra aprile e maggio 2013 (di cui alla relazione CoNISMa), si propone di prelevare durante la fase Ante Operam di n.7 campioni superficiali distribuiti nell'area antistante la banchina, sui quali saranno effettuate le analisi ai sensi del DM 24 gennaio 1996. I primi n.4 campioni sono stati scelti sulla base delle percentuali di frazione grossolana maggiore e i livelli più elevati di concentrazione di metalli pesanti. La frazione grossolana indica una maggiore suscettibilità di tali aree ad una perturbazione antropica e all'accumulo naturale di frazione sabbiosa che potrebbe quindi essersi incrementata a seguito di eventi estremi. A questi campioni si aggiungono altri n.3 campioni localizzati in aree a sedimentazione fine con basse concentrazioni di metalli pesanti, al fine di verificare se queste aree abbiano subito una variazione rispetto ai livelli registrati in precedenza. Tale piano di campionamento consentirà di rappresentare al meglio i trend osservati nell'area e individuare significative variazioni chimico-fisiche nei sedimenti.

La localizzazione dei n.7 campioni proposti (rappresentati in blu) è riportata nella mappa in Fig.75.

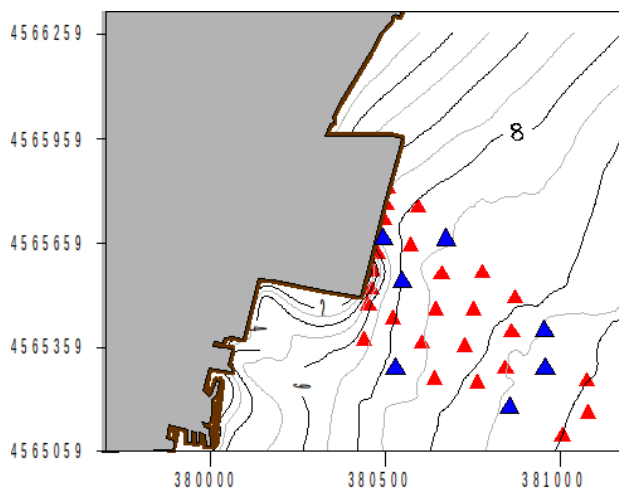


Fig. 75 Localizzazione, in blu, punti di campionamento dei sedimenti da sottoporre ad analisi (DM 24.01.1996)

7.1.2 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero

Durante questa fase è prevista l'installazione di un sistema radar X-Band per la misura in

continuo di moto ondoso e correnti superficiali in corrispondenza dell'area costiera in cui verrà realizzata l'opera portuale. Le informazioni acquisite permetteranno di misurare il campo di velocità e direzione della corrente marina e i parametri ondametrici.

In dettaglio il radar costiero in esame è costituito da un sistema X-Band il cui principio operativo della misura è basato sul back-scattering del segnale elettromagnetico della rugosità della superficie del mare dovuto all'effetto della risonanza di Bragg (Nieto et al. 2004, Nieto et al. 2000).

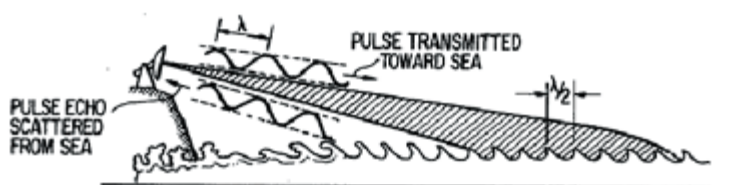


Fig.76 Principio di funzionamento del radar costiero

Questo rappresenta un segnale utile all'elaborazione quando lo scopo è ottenere una caratterizzazione spazio-temporale dello stato del mare; ma per ottenere queste informazioni è necessaria un'ampia elaborazione dei dati. L'elaborazione del dato viene effettuata mediante il software REMOCEAN (Serafino et al. 2011, Serafino et al. 2012) che permette attraverso il processamento dei dati acquisiti dal radar di acquisire i dati di corrente e moto ondoso.

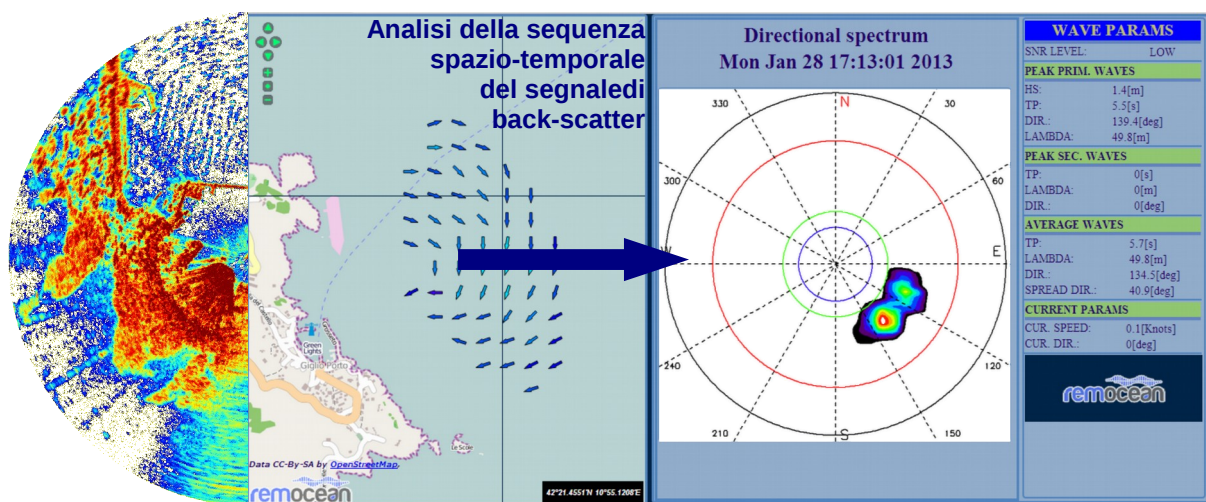


Fig.77 Elaborazione dei dati del radar costiero

I sistemi radar a corto raggio permettono di misurare corrente e moto ondoso (spettro direzionale) attraverso la ricezione del backscatter delle microonde dalla rugosa superficie del mare che è visualizzabile come un 'sea clutter' in tutte le immagini radar X-Band. Il radar X Band (Extendend AM broadcast band) utilizza un segmento della regione delle microonde radio dello spettro elettromagnetico. L'evoluzione temporale e spaziale del *sea clutter* è analizzata per derivare lo spettro direzionale e la corrente superficiale in tempo reale.

Ogni sistema è costituito da un'antenna da 9325 – 9425 MHz che permette un raggio d'osservazione di circa 4 km ed una risoluzione di circa 100 m e che consente di misurare lo spettro direzionale del moto ondoso da cui ricavare i parametri statistici quali altezza d'onda significativa con una risoluzione di circa 0.5 m, la direzione di picco del moto ondoso con un'accuratezza di 2° ed il periodo di picco da un valore minimo di 3 sec ed un'accuratezza di 0.5 sec.

Le informazioni acquisite permetteranno di ottenere in continuo (frequenza di 30 min.) informazioni riguardanti lo spettro direzionale del moto ondoso della zona di largo e costiera da cui sarà possibile calcolare i parametri ondametrici relativi a: altezza d'onda significativa, direzione di picco e periodo di picco. Saranno inoltre fondamentali per calibrare i modelli di propagazione del moto ondoso ottenendo informazioni sia nella zona di largo che nella porzione costiera.

Sarà inoltre possibile ottenere una serie di dati che potranno essere confrontati con quelli acquisiti da remoto attraverso diverse piattaforme satellitari, quali il satellite Sentinel-1 dell'ESA, lanciato nell'aprile 2013, ed equipaggiato con un C-Band advanced Synthetic Aperture Radar (SAR), come già viene largamente fatto con i satelliti della costellazione COSMO-SkyMed© (X-Band SAR), (Benassai et al. 2013).

7.1.3 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)

Al fine di studiare i potenziali effetti della movimentazione del sedimento presente nell'area sottoposta a dragaggio, sono state prese in considerazione le porzioni costiere rispettivamente posizionate così come segue: la porzione in corrispondenza dell'area da dragare; la porzione a sud in corrispondenza del lungomare Caboto; la porzione a nord di fronte la spiaggia di Vindicio e nelle vicinanze degli impianti di mitilicoltura ed acquacoltura. In particolare i campioni meridionali sono

stati posizionati lungo un transetto costa largo a partire dalla foce del Rio Itri, mentre i campioni settentrionali sono stati posizionati lungo un transetto costa largo a partire dal lungomare Giovanni Caboto e procedendo verso punta Stendar da cui il Golfo si apre verso il Mar Tirreno.

Saranno quindi effettuate n. 2 campagne (con un intervallo di 15 giorni l'una dall'altra) durante le quali saranno eseguite le suddette attività in n. 10 stazioni, distribuite su transetti costa largo (500m -1000m – 3000m dalla costa, come da D.Lgs. 152/99). In corrispondenza di ciascuna stazione saranno prelevati campioni di acqua a differenti profondità per l'analisi della concentrazione di solido sospeso e saranno effettuati profili verticali con sonde multiparametriche per l'acquisizione di temperatura, conducibilità, salinità, densità, pH, ossigeno disciolto, clorofilla a e torbidità.

I risultati ottenuti dall'analisi delle concentrazioni di solido sospeso, insieme ai dati ottenuti dai campionamenti effettuati nei periodi antecedenti il presente progetto, saranno fondamentali per la determinazione dei valori di allerta da monitorare durante le attività di dragaggio.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.1.4 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua

Al fine di inquadrare la presenza dei metalli, le cui concentrazioni sono risultate superiori ai LCL (Nichel) e LCB (Cadmio e Piombio, in numero di stazioni limitato Arsenico, Zinco e PCB) nell'area di studio, come risultato dalla relazione 'Valutazione dei risultati della caratterizzazione ambientale dei fondali dell'area marina antistante la Banchina Cicconardi da sottoporre ad approfondimento' trasmessa da ISPRA con nota prot. n. 1616 del 13 gennaio 2014, si è fatto riferimento alla carta del Fondo geochimico Formazionale (Fig.78) ottenuta dai dati di Turekian, il quale ha analizzato il fondo geochimico naturale nelle formazioni rocciose del mondo sulla base delle diverse matrici sedimentarie. Dalla carta emerge come l'area di studio naturalmente presenti valori bassi di As, B, Cd, Sb, Sn, Hg, Ni, Co, Cr, Fe, Cu, Pb e alti di Mn e Sr; tuttavia nelle aree prospicienti il Golfo di Gaeta, con particolare riferimento al settore meridionale del promontorio di Scauri, della foce del Garigliano e della foce del Volturno sono presenti litotipi con concentrazioni elevate e medio elevate di Ni, che quindi potrebbe essere confluito nell'area di studio attraverso fenomeni di trasporto solido.

Al fine quindi di valutare la distribuzione dei metalli le cui concentrazioni sono risultate superiori ai LCL (Ni) e LCB (Cd, Pb, As, Zn, PCB) oltre l'area dragata, sono state inserite n. 5 stazioni di campionamento, in cui verranno prelevati sedimento superficiale e acqua per l'analisi chimica. In particolare, le analisi chimiche nella matrice acqua saranno effettuate sia sul campione *tal quale* sia sul particolato in sospensione, in quanto gli elementi dei composti da analizzare presentano un'elevata affinità con il particolato fine soggetto a movimentazione nel corso delle attività di dragaggio.

La distribuzione di tali campioni è stata pianificata al fine di ottenere la maggiore copertura spaziale delle aree limitrofe all'area soggetta a dragaggio.

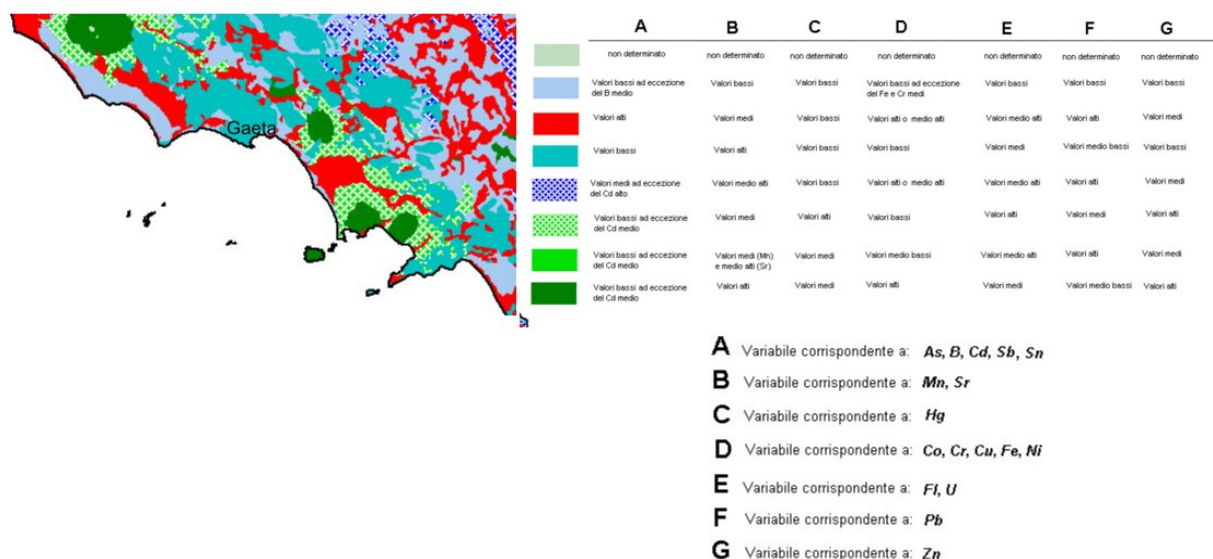


Fig. 78 Carta geochimica formazionale

Sarà quindi effettuata n. 1 campagna, durante la quale saranno eseguite le attività di campionamento dell'acqua e del sedimento superficiale in n. 5 stazioni, al fine di analizzare la concentrazione di Ni, Cd, Pb, As, Zn, PCB nelle aree limitrofe all'area del dragaggio nelle matrici sedimento e nell'acqua.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.1.5 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari

Per la rappresentazione dei dati satellitari relativi alla distribuzione superficiale della clorofilla *a* e del solido sospeso saranno utilizzati i dati acquisiti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) montato sulla piattaforma satellitare Aqua (EOS PM). Tali dati, prodotti e distribuiti gratuitamente dalla NASA, vengono scaricati, nei periodi disponibili, direttamente dal sito <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> a livello L1A e quindi processati mediante il software di elaborazione SeaDAS, attraverso il quale viene effettuata la correzione atmosferica, la geolocalizzazione e riproiezione, e l'applicazione degli algoritmi bio-ottici.

L'ESA sta sviluppando una nuova famiglia di missioni satellitari, denominata Sentinel, specifica per le necessità operative del programma Copernicus per l'osservazione e il monitoraggio dell'atmosfera, degli oceani e delle superfici continentali. Il satellite Sentinel-2A è stato lanciato nel giugno 2015 ed è equipaggiato con uno strumento multispettrale a 13 bande ad elevata risoluzione. Questa tipologia di dati sarà di fondamentale importanza e, una volta che il flusso dei dati distribuiti dall'ESA sarà a regime, saranno utilizzati per integrare le conoscenze a livello costiero. Inoltre i dati acquisiti durante le campagne di misura e di campionamento saranno utilizzati per le procedure di CAL/VAL dei dati satellitari ad alta risoluzione, al fine di ottenere delle mappe accurate della distribuzione di solido sospeso e clorofilla *a* a scala locale.

7.2 Fase 2 - Dragaggio

Questa fase avrà una durata di circa n.2 mesi, durante i quali le attività di dragaggio saranno suddivise in tre diverse sotto-fasi, ciascuna delle quali prevede una movimentazione di sedimenti pari a circa 122000 m³. Le attività di monitoraggio saranno effettuate contestualmente alle attività di dragaggio e con una frequenza temporale maggiore, per poter studiare l'eventuale dispersione dei sedimenti legata all'effettiva operatività del cantiere. In particolare, le attività connesse allo studio della potenziale dispersione dei sedimenti dragati sarà concentrata e concordata con il personale impegnato nelle attività di dragaggio, in modo da acquisire dati in modo tempestivo ed avere un effettivo controllo delle operazioni. Saranno quindi effettuate le seguenti attività:

7.2.1 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero

Il radar installato durante la fase Ante Operam acquisirà in continuo, durante l'intera fase di dragaggio, i dati di altezza, periodo e direzione d'onda, direzione e intensità delle correnti superficiali, come precedentemente descritto.

7.2.2 Analisi in continuo del solido sospeso (area dragaggio)

Al fine di analizzare in continuo le variazioni delle concentrazioni di solido sospeso e l'eventuale aumento della torbidità dovuta alle attività di dragaggio sarà installata n. 1 stazione fissa equipaggiata con sensori per la misura in continuo della torbidità (calibrati in concentrazione di solido sospeso attraverso campionamenti di acqua ed analisi in laboratorio) nell'area interessata dalle attività del dragaggio.

I dati saranno trasmessi al Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina (DEB-Tuscia), che provvederà all'elaborazione ed al processamento, al fine di inviarli al Centro Elaborazione Dati dell'Autorità Portuale di Civitavecchia con frequenza giornaliera. L'elevata frequenza di dati permetterà un controllo continuo della concentrazione dei solidi sospesi. Non essendoci specifica normativa di riferimento relativa al superamento di limiti di torbidità in caso di dragaggio, saranno considerati i dati acquisiti durante i monitoraggi antecedenti, durante i quali

sono state ottenute concentrazioni di quasi 30 mg/l.

Al fine di controllare la dispersione del sedimento dragato, la frequenza con cui saranno effettuate le suddette attività sarà funzione dell'operatività del cantiere, in modo da poter intervenire tempestivamente in caso di eventuale superamento dei limiti.

7.2.3 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)

Al fine di studiare i potenziali effetti a breve termine della movimentazione del sedimento presente nell'area sottoposta a dragaggio saranno effettuate n. 8 campagne (contestualmente alle attività di dragaggio), durante le quali saranno eseguite le suddette attività in n. 10 stazioni, distribuite su transetti costa largo (500m -1000m – 3000m dalla costa, come da D.Lgs. 152/99). In corrispondenza di ciascuna stazione saranno prelevati campioni di acqua a differenti profondità per l'analisi della concentrazione di solido sospeso e saranno effettuati profili verticali con sonde multiparametriche per l'acquisizione di temperatura, conducibilità, salinità, densità, pH, ossigeno disciolto, clorofilla a e torbidità.

Al fine di analizzare l'eventuale dispersione del sedimento dragato, la frequenza con cui saranno effettuate le suddette attività sarà funzione dell'operatività del cantiere.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.2.4 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua

Al fine di valutare la distribuzione di Ni, Cd, Pb, As, Zn, PCB nelle aree limitrofe all'area di dragaggio saranno eseguite le attività di campionamento dell'acqua e del sedimento superficiale in n. 5 stazioni. Le frequenze con cui saranno effettuati i campionamenti saranno le seguenti:

- n. 1 campagna di campionamento del sedimento superficiale;
- n. 2 campagne di campionamento dell'acqua; le analisi chimiche nella matrice acqua saranno effettuate sia sul campione *tal quale* sia sul particolato in sospensione.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.2.5 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari

Per la rappresentazione dei dati satellitari relativi alla distribuzione superficiale della clorofilla a e solido sospeso saranno prodotte mappe a partire da dati acquisiti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ove disponibili, come precedentemente dettagliato.

Se disponibili già in questa fase, saranno utilizzati i dati acquisiti dal satellite Sentinel-2A.

7.2.6 Modalità di intervento in caso di superamento limiti di torbidità

Al fine di monitorare l'eventuale dispersione del sedimento dragato e poter intervenire tempestivamente in caso di superamento del valore 'soglia' di 30mg/l, la frequenza con cui saranno effettuate le suddette attività sarà funzione dell'operatività del cantiere, nonché dell'andamento temporale dei dati acquisiti dalla stazione di misura fissa della torbidità.

In particolare, i dati acquisiti con la stazione di misura fissa saranno trasmessi giornalmente al CED dell'Autorità Portuale e saranno visibili sul portale ambientale dell'Ente, al fine di osservare la tendenza generale e controllare eventuali aumenti significativi rilevati nel corso delle attività di dragaggio. Le misure ed i campionamenti effettuati nelle stazioni, di cui alla carta in allegato, saranno effettuate in maniera concordata con il personale impegnato nelle attività di dragaggio, in modo da poter verificare ed accertare ulteriormente l'eventuale dispersione dei sedimenti ed il superamento del valore 'soglia' di 30 mg/l. In tal caso verrà data immediata comunicazione alla Direzione Lavori affinché provveda immediatamente ad applicare le opportune misure.

7.3 Fase 3 - Post Operam

Durante questa fase, che avrà una durata di circa n.2 anni, saranno analizzati i potenziali impatti a lungo termine delle attività di dragaggio effettuate di fronte la banchina Cicconardi. A tal fine verranno effettuate le seguenti attività:

7.3.1 Monitoraggio in continuo delle correnti e del moto ondoso attraverso un RADAR costiero

Il radar installato durante la fase Ante Operam acquisirà in continuo, durante i due anni successivi il dragaggio, i dati di altezza, periodo e direzione d'onda, direzione e intensità delle correnti superficiali, come precedentemente descritto.

7.3.2 Caratterizzazione della colonna d'acqua e della distribuzione del solido sospeso (aree limitrofe)

Al fine di studiare i potenziali effetti a lungo termine della movimentazione del sedimento presente nell'area sottoposta a dragaggio saranno effettuate n. 8 campagne (frequenza trimestrale) durante le quali saranno eseguite le suddette attività in n. 10 stazioni, distribuite su transetti costa largo (500m -1000m – 3000m dalla costa, come da D.Lgs. 152/99). In corrispondenza di ciascuna stazione saranno prelevati campioni di acqua a differenti profondità per l'analisi della concentrazione di solido sospeso e saranno effettuati profili verticali con sonde multiparametriche per l'acquisizione di temperatura, conducibilità, salinità, densità, pH, ossigeno disciolto, clorofilla a e torbidità.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.3.3 Analisi chimiche nelle matrici sedimento e acqua

Al fine di valutare la distribuzione di Ni, Cd, Pb, As, Zn, PCB nelle aree limitrofe all'area di dragaggio saranno effettuati campionamento dell'acqua e del sedimento superficiale in n. 5 stazioni. Le frequenze con cui saranno effettuati i campionamenti saranno le seguenti:

- n. 2 campagne di campionamento del sedimento superficiale (frequenza annuale);

- n. 8 campagne di campionamento dell'acqua (frequenza trimestrale); le analisi chimiche nella matrice acqua saranno effettuate sia sul campione *tal quale* sia sul particolato in sospensione.

In allegato la carta della distribuzione delle stazioni di campionamento.

7.3.4 Analisi della distribuzione superficiale di solido sospeso e clorofilla da immagini satellitari

Per la rappresentazione dei dati satellitari relativi alla distribuzione superficiale della clorofilla a e solido sospeso saranno prodotte mappe a partire da dati acquisiti dal sensore MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ove disponibili, come precedentemente dettagliato.

Se disponibili in questa fase, saranno utilizzati i dati acquisiti dal satellite Sentinel-2A ed eventualmente dagli altri satelliti della costellazione resi disponibili dall'ESA.

7.3.5 Analisi dell'eventuale accumulo dei sedimenti nell'area dragata

La zona dragata si colloca in un'area che presenta caratteristiche tali da poter essere suscettibile a variazioni stagionali e/o collegate ad eventi meteomarinari di particolare rilevanza. Al fine di verificare il potenziale accumulo dei sedimenti all'interno dell'area dragata e quindi le possibili variazioni di batimetria legate alle caratteristiche dell'area, si prevede un monitoraggio di sezioni batimetriche rappresentative con le seguenti cadenze temporali:

- n.1 campagna dopo il dragaggio;
- n.1 campagna dopo le prime mareggiate di ottobre/novembre 2015;
- 6 – 24 mesi n. 6 campagne con cadenza stagionale e dopo mareggiate di particolare rilevanza.

Al fine di effettuare rilievi batimetrici ad elevata risoluzione è prevista l'installazione di un mareografo per l'acquisizione in continuo dei dati del livello del mare.

BIBLIOGRAFIA

ACCORDIG. & CARBONEF. (1988) - Sequenze carbonati-che meso-cenozoiche. In: G. ACCORDI, F. CARBONE, G. CIVITELLI, L. CORDA, D. DE RITA, D. ESU, R. FUNICIELLO, T. KOTSAKIS, G. MARIOTTI & A. SPOSATO (eds.), Note illustrative della Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe, C.N.R., Quad. de «La Ricerca Scientifica», 114, 11-92.

Aiello G., Barra D., De Pippo T., Donadio C., Miele P. & Russo Ermolli E., 2007. Morphological and palaeoenvironmental evolution of the Vindicio coastal plain in the Holocen (Latium, central Italy). *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences* 20(2), 185-194.

Aiello G., Ennio Marsella e Marco Sacchi, 2000 “*Quaternary structural evolution of Terracina and Gaeta basins (Eastern Tyrrhenian margin, Italy)*”. *Rend. Fis. Acc. Linceis*. 9, v. 11:41-58.

AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (1987) - Neotectonic map of Italy. Foglio n.6, scala 1:500.000, Prog. Fin. Geodinamica, C.N.R., Roma.

APAT – ICRAM (2007) - Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini. 64 pp.
http://www.apat.gov.it/site/_files/manualeSedimentiMarini.pdf

Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta, 2014. Porto Commerciale di Gaeta - Scheda di Bacino Portuale.

Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno. Progetto di Piano di Stralcio Erosione Costiera litorale domitio (Adottato con Delibera n.01 del C.I. Del 10 Marzo 2010). Relazione generale.

Bartole R. (1984) – Tectonic structure of the latian-campanian shelf (Tyrrhenian Sea). *Boll.*

Oceanol. Teor. Appl., 2(3), 197-230.

Bartole R., Savelli C., Tramontana M., Wezel F. C., 1983. “*Structural and sedimentary features in the Tyrrhenian margin off Campania, southern Italy*”. Marine Geology, 55: 163-180.

Beachmed 2004, IL PROGETTO BEACHMED: Recupero ambientale e manutenzione dei litorali in erosione, mediante l’impiego dei depositi sabbiosi marini, Primo quaderno tecnico fase A - seconda edizione. www.beachmed.it.

Benassai, G., Montuori, A., Migliaccio, M., Nunziata, F., 2013. Sea wave modeling with X-band COSMO-SkyMed© SAR-derived wind field forcing. Ocean. Sci. 9, 325e341. <http://dx.doi.org/10.5194/os-9-325-2013>.

Bignami F., Manzella G. M. R., Salusti E., Sparnocchia S. (1996) – Circolazione delle acque, in “Il mare del Lazio. Indagini e studi sul Mar Tirreno prospiciente le coste dello regione Lazio”. Convenzione Regione Lazio. Università degli studi di Roma "La Sapienza".

Blanca .C., Segrea.G. & Tongiorgie. (1953) -Le Quaternaire de l’Agro Pontino. Atti IV Congr. Int. INQUA, Roma-Pisa.

Boni C., Petitta M., Preziosi E., Sereni M. (1996) - Acque continentali: Idrologia. In: Il Mare del Lazio – Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarina, dinamica dei sedimenti ed apporti continentale. Regione Lazio. Tip. Borgia. Roma: 221-261.

Bono P. (1985) -Seminario informativo sui risultati del progetto “laghi costieri”. Sintesi della relazione finale.Univ. degli Studi La Sapienza, Roma, vol. 1, 163 pp.

Bortoluzzi G., Frascari F., Guerzoni S., Ravaioli M., Rovatti G. (1983):“Caratterizzazione sedimentologica e chimica (nutrienti) dei fondali marini” .Quad. Ist. Ric. Acque, 66, pag.255-306.

Brancaccio L., Cinque A., Romano P., Roskopf C., Russo F., Santangelo N., Santo A., 1991. "Geomorphology and neotectonic evolution of a sector of the Tyrrhenian flank of the Southern Apennines". *Zeisch fur Geomorph.*, 82: 47-58.

Brondi A., Ferretti O., Damiani V. (1983) - Tipologia geomorfologica del tratto di costa tra capo Circeo e l'Isola d'Ischia. In: Un esempio di analisi ecologica del sistema marino costiero da Capo Circeo all'Isola d'Ischia, a cura di G. Zurlini e V. Damiani, ENEA Atti 14 giugno 1983 Santa Teresa, La Spezia: 35-60.

Bruno M., Cipollini R., Giacomello P., Manna F. (1996) – Ossigenazione delle acque, In: "Il mare del Lazio. Indagini e studi sul Mar Tirreno prospiciente le coste dello regione Lazio". Convenzione Regione Lazio. Università degli studi di Roma "La Sapienza"

Budillon G., Ficca G., Pangia M., Purini R., Sansone E. (1996) - Campagne di misure oceanografiche 1991-1993. Coste Campano-Laziali. Rapporto Interno. Istituto di Fisica dell'Atmosfera. C.N.R.: 1-29. ROMA.

Budillon G., Pierini S., Sansone E., Spezie G. (2000) - Caratteristiche Idrodinamiche lungo la Fascia Costiera Campano-Laziale. *Annali dell'I.U.N.*, vol. LXIV: 7-17.

CARRARA C. (1995a) - Elementi di geologia regionale. In: Lazio Meridionale - Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari. ENEA, Dip. Ambiente, 23-33.

CARRARA C. (1995b) - Elementi di neotettonica. In: Lazio Meridionale - Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari. ENEA, Dip. Ambiente, 34-36.

CARRARA C., DAI PRA G. & PAGANIN G. (1995) - Lineamenti di tettonica plio-quadernaria. In: Lazio Meridionale - Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari. ENEA, Dip. Ambiente, 151-

155.

CERISOLA R. & MONTONE P. (1992) - Analisi strutturale di un settore della catena dei monti Ausoni – Aurunci (Lazio, Italia centrale). Boll. Soc. Geol. It., 111, 449-457.

Chiocci F.L., La Monica G.B., 1996. *“Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale”*. In: Il Mare del Lazio – Elementi di oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentale. Regione Lazio. Tip. Borgia. Roma: 40-61.

Chiocci e La Monica, 1996. *“Il Mare del Lazio, oceanografia fisica e chimica, biologia e geologia marina, clima meteomarinario, dinamica dei sedimenti ed apporti continentali”*; cap. 2.1 – Analisi sismostratigrafica della piattaforma continentale.

Chiocci F.L., La Monica G.B., 1999. *“Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti sulla piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini del ripascimento dei litorali in erosione”*. Rapporto Finale della I Fase. Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Dip.to Sc. Della Terra – Assessorato Opere e Reti di Servizio e Mobilità.

Chiocci F.L., La Monica G.B. (2003) – Individuazione e caratterizzazione dei depositi sabbiosi presenti nella piattaforma continentale della Regione Lazio e valutazione di un loro utilizzo ai fini del rinascimento di litorali in erosione. Rapporto finale della seconda fase.

CNR- MURST (1997) – Atlante delle spiagge italiane. SELCA Firenze .

Cristofalo G., 1992. *“Sedimenti attuali recenti della piattaforma continentale interna tra Monte Circeo e la foce del Fiume Garigliano”*. Tesi di Laurea inedita in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”.

DERISO R. (1964) - Osservazioni geologiche sui monti di Gaeta. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Napoli, 9, 5-2.

De Pippo T., Donadio C. Pennetta M. (2003) - Morphological control on the sediment dispersal along the southern tyrrhenian coastal zones (Italy). *Geologica Romana* 37 (2003-2004), 113-121.

De Pippo T. (1988) - Coastal dynamic and sedimentary transit axes on the Volturno river Mouth (Campania, Italy). *Rendiconto dell'Accademia delle scienze fisiche e matematiche*, 4.s., vol. 55 (1988), P. 27-45.

Donelan, H. A. 1980. *"Similarity Theory Applied to the Forecasting of Wave Heights, Periods, and Directions"* Proceedings of the Canadian Coastal Conference. National Research Council, Canada, pp 47-61.

ENEA, Dip. Ambiente. DAI PRAG. (1995) - Geomorfologia e stratigrafia dei depositi del Pleistocene e dell'Olocene. In: «Lazio Meridionale - Sintesi delle ricerche geologiche multidisciplinari», 36-50.

Ferretti O., I. Del Bono, S. Furia, M. Barsanti, 2003. *"Elementi di gestione costiera - Parte prima - Tipi morfo-sedimentologici dei litorali italiani"*, ENEA.

Ferretti O., Niccolai I., Bianchi C.N., Tucci S., Morri C., Veniale F. (1989) – An environmental investigation of marine coastal area: Gulf of Gaeta (Tyrrhenian Sea). *Hydrobiologia* 176/177: 171-187, 1989.

Ferretti O., Niccolai I., Bianchi C.N., Tucci S. (1991) – Indagine ambientale del sistema marino costiero fra Capo Circeo e Isola d'Ischia. In "L'ENEA per l'ambiente", ENEA, Roma: 249-265.

Ferretti O., Tucci S. (1989) – Nuove osservazioni sul sistema marino costiero del Golfo di Gaeta

alla foce del Volturno. Serie Studi Ambientali ENEA., Roma (1989): 177 pp.

Ferretti O., Tucci S., Morri C., Bianchi C. N., Niccolai I. M., Piccazzo M. (1989) – Interazioni tra materiale sospeso e benthos nel golfo di Gaeta. Atti del 3° Congr. Naz. S.IT.E., Siena 21-23 ottobre 1987, 7 : 605-608.

HEARTYP.J. (1986) - An inventory of last interglacial (s.l.) age deposits from the Mediterranean basin: a study of isoleucine epimerization and U-series dating. Zeit. Geomorph. N. F., Suppl. Bd., 62,51-69.

HEARTYP.J. & DAIPRAG. (1986a) - Aminostratigraphy of Quaternary marine deposits in the Lazio Region of Central Italy. Zeit. Geomorph. N. F., 62, 131-140.

HEARTYP.J., MILLER G.H., STEARNSC.E. & SZABOB.J. (1986b) – A minostratigraphy of the Quaternary shorelines in the Mediterranean basin. Geol. Soc. Am. Bull., 97, 850-858.

Iacono R. ,Napolitano E., Marullo S. and Artale V., 2013. Seasonal Variability of the Tyrrhenian Sea Surface Geostrophic Circulation as Assessed by Altimeter Data. Journal of Physical Oceanography, 43, 1710-1732.

ICRAM (2001) – Metodologie analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio e controllo dell'ambiente marino - costiero. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

ICRAM (2002) - Quaderno ICRAM n°1, 2002 “Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nelle attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi Portuali”.

ICRAM (2002) - "Studio di impatto ambientale per lo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi lungo la piattaforma continentale laziale ai fini di ripascimento" Regione Lazio. Roma.

ICRAM (2004) - Aspetti ambientali della piattaforma continentale. condizioni per l'impiego di cave marine e per il ripascimento. La regione Lazio, in Primo quaderno tecnico fase A, progetto Beachmed pp. 122-130.

ICRAM (2004) - Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini di ripascimento lungo la piattaforma continentale laziale: Gaeta (LT) Fase C1 – Caratterizzazione del sito, Regione Lazio, Roma

ICRAM (2005) – Studio per l'impatto ambientale connesso allo sfruttamento di depositi sabbiosi sommersi ai fini del rinascimento lungo la piattaforma continentale laziale (MACROAREA D e E). Fase B. Caratterizzazione area vasta, Regione Lazio, Roma.

ISPRA, 2012. Individuazione e caratterizzazione ambientale di siti da utilizzare per l'eventuale immersione di materiali da sottoporre a dragaggio nel porto di Gaeta.

ISPRA, 2013. Porto di Gaeta - Valutazione dei risultati della caratterizzazione ambientale dei fondali dell'area marina antistante la banchina Cicconardi da sottoporre ad approfondimento.

La Monica G.B, Raffi R. (1996)- Morfologia e sedimentologia della spiaggia e della piattaforma continentale interna. In: Il mare del Lazio. Indagini e studi sul Mar Tirreno prospiciente le coste della regione Lazio", pp: 62-87.

Mariani M., Prato R., 1988. *"I bacini neogenici costieri del margine tirrenico: approccio sismico-stratigrafico"*. Mem. Soc. Geol. Ital., 41: 519-531.

Ortolani F., Aprile F., 1978. *"Nuovi dati sulla struttura profonda della Piana Campana a sud-est del fiume Volturno"*. Boll. Soc. Geol. Ital., 97: 591-608.

Pesca e Acquacoltura nella Gestione Integrata delle Zone Costiere. Il ruolo di Pesca e Acquacoltura

nell'ICZM del Golfo di Gaeta. Progetto: Normativa comunitaria e impegni internazionali per la Gestione Integrata della Zona Costiera: Opportunità per lo sviluppo di una pesca e una acquacoltura sostenibile in Italia Primo Programma Triennale della Pesca e dell'Acquacoltura 2007-2009 (prorogato al 2012) 06/10/2013.

Pinardi N., Arneri E., Crise A., Ravaioli M., Zavatarelli M.-2004 *The physical and ecological structure and variability of shelf areas in the Mediterranean Sea*, The Sea, Vol. 14, Chapter 32.

Paolocci P. e Siniscalchi C., 1996. Valutazione del Trasporto solido di fondo alla foce dei corsi d'acqua. In Il Mare del Lazio. Università degli Studi di Roma "La Sapienza", Regione Lazio Assessorato Opere e Reti di Servizi e Mobilità, 262-279.

Regione Lazio, CNR-ISMAR, 2009. Climatologia dell coste del Lazio per la determinazione delle correlazioni tra clima marino e presenza di Posidonia oceanica mediante simulazioni da modello, ricerca dei budget sedimentari e stima a grande scala delle dinamiche del trasporto solido litoraneo.

Jane M. Smith, 1991 "*Wind-wave generation on restricted fetches*". Coastal Engineering Research Center, DEPARTMENT OF THE ARMY.

Smith J.M., Sherlock A.R., Resio D.T., 2001. "*STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model. User's manual for STWAVE, Version 3.0*", Coastal and Hydraulics Laboratory, ERDC/CHL SR-01-1.

Smith, J. M., and Smith, S. J., 2002. "*Grid nesting with STWAVE*", ERDC/CHL CHETN I-66, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

Università degli studi di Roma "La Sapienza", 1990. "*Relazione di fine ricerca*" Volume terzo. Convenzione Regione Lazio.

Us-Army Corps of Engineers, 1984. "*Shore Protection Manual*". US Army Engineer Waterways



Laboratorio di Oceanologia Sperimentale ed Ecologia Marina
DEB – Università degli Studi della Tuscia

Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, US Government Printing Office, Washington, DC. US-Army Corps of Engine.

Vetrano A., Napolitano E., Iacono R., Schroeder K., Gasparini G.P., 2010. Tyrrhenian Sea circulation and water mass fluxes in spring 2004: Observation and model results. *J. Of Geophysical research*, 115(C6) DOI: 10.1029/2009JC005680.