



COMUNE DI LATINA

**"COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI PROTEZIONE
DELLA COSTA DA FOCE VERDE A CAPO PORTIERE"**

LOTTO 1

CIG: 86605564E6 - CUP: F26B19003970006

PROGETTO DEFINITIVO

Il RUP:

ARCH. MARCO RAGONE

PROGETTISTI: RTP

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Viale Lazio, n°13
90144 Palermo (PA)

MANDANTE:

DOTT. GEOL. DOMENICO MESSINA
via Belgio, n° 77
90146 Palermo (PA)

Il Professionista incaricato dell'integrazione
delle Prestazioni Specialistiche:
ING. GUGLIELMO MIGLIORINO



Titolo elaborato :

GEN - ELABORATI GENERALI

DOCUMENTI GENERALI

Relazione Generale

0	Luglio 2023	Emissione	M.M.	M.M.	G.M.
Rev.	Data	Descrizione	Eseguito	Controllato	Approvato

COMMESSA						APPALTO		FASE		OPERA			DISCIP.	TIPOLOGIA	PROGR.				REV.	SCALA
2	1	2	1	L	T	L		P	D	G	E	N	A	R	0	1	0	1	0	-



Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3	ANALISI DEI VINCOLI.....	6
3.1	Inquadramento Cartografico	6
3.2	Siti Natura2000.....	6
3.3	Parchi nazionali	8
3.4	Aree Ramsar	9
3.5	Vincolo idrogeologico	11
4	STRUMENTI URBANISTICI E DI PIANIFICAZIONE EDL TERRITORIO	11
4.1	Vincoli da Piano Territoriale Paesistico regionale (PTPr).....	11
5	Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Latina	15
6	Piano di Utilizzazione degli Arenili (PUA).....	16
7	Piano di Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI).....	16
8	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	20
9	STATO DI FATTO	24
10	RISULTANZE DELLE INDAGINI AMBIENTALI E GEOGNOSTICHE	27
10.1	Rilievo topobatimetrico	29
10.1.1	Rilievo magnetometrico.....	29
10.1.2	Rilievo Side Scan Sonar.....	29
10.1.3	Rilievo Sub Bottom Profiler	31
10.1.4	Caratterizzazione e studio sulle biocenosi bentoniche	33
10.1.5	Analisi sedimentologiche e mineralogiche	35
11	STUDIO METEOMARINO	36
11.1	Regime dei venti.....	36
11.1.1	Regime de venti al largo dell'unità fisiografica sulla base dei dati DICCA.....	36
11.2	Analisi e validazione dei dati ondametrici.....	41
11.2.1	Caratteristiche delle serie di dati ondametrici disponibili.....	41
11.2.1.1	Dati Hincasting DICCA.....	41
11.2.1.2	Misure dirette boa accelerometrica di Ponza	41



11.3	Analisi del clima ondoso medio.....	42
11.3.1	Correlazione altezza d'onda – periodo d'onda.....	48
11.3.2	Analisi statistica dei valori estremi di moto ondoso al largo	49
11.3.3	Settore di traversia principale	50
11.3.4	Settore di traversia secondario.....	53
11.4	ANALISI DELLE VARIAZIONI DEL LIVELLO DEL MARE Errore. Il segnalibro non è definito.	
11.4.1	Analisi dei dati mareografici	55
11.4.2	Analisi armonica.....	55
11.4.3	Analisi del residuo	55
11.4.4	Variazioni a lungo termine dei livelli del mare dovute ai cambiamenti climatici	56
12	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO DELLA COSTA.....	57
13	ALTERNATIVE ANALIZZATE CON SIMULAZIONI CON MODELLO NUMERICO AD UNA LINEA 61	
13.1	Opzione 0.....	64
13.2	Opzione 1.....	65
13.3	Opzione 2.....	66
13.4	Opzione 3.....	67
14	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DEFINITIVO GENERALE 68	
15	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL LOTTO 1	69
15.1	Opere di difesa a gettata	70
15.2	Ripascimento morbido.....	71
15.3	Cantierizzazione.....	72
15.4	Fasizzazione	73
15.5	Gestione delle Materie.....	75
15.6	Cronoprogramma	78
15.7	GLI ESPROPRI E OCCUPAZIONI TEMPORANEE Errore. Il segnalibro non è definito.	
16	ASPETTI ECONOMICI E CONTRATTUALI.....	78



1 PREMESSA

La presente Relazione Generale riguarda l'intervento di *Completamento delle Opere di Protezione della Costa da Foce Verde a Capo Portiere* previsto dal "Programma generale per la difesa e la ricostruzione dei litorali e del quadro degli interventi prioritari per il 2019-2021" inoltrato con la D.G.R. N. 74 del 12 febbraio 2019, aggiornato sulla base delle indagini integrative previste nel PFTE e successivamente eseguite.

A seguito di una ricognizione degli interventi già programmati e interamente finanziati con bilancio regionale, con tale deliberazione sono stati previsti interventi di emergenza e ripascimenti stagionali destinati alle località maggiormente colpite dagli eventi meteorologici degli anni scorsi. Tra tali interventi è stato individuato anche quello ricadente nei Comuni di Latina e Sabaudia per "Opere di difesa della costa" per l'importo di 1.100.000,00 euro. Altri importi sono stati destinati a tutti i Comuni costieri del Lazio per "lavori in corso" (€ 551.909,73), "Interventi di emergenza e ripascimenti stagionali" (€ 6.000.000,00), "Caratterizzazione delle sabbie ai sensi del DM n° 173 del 15/07/2016" (€ 420.000,00) e "Contributi per acquisto draghe" (€ 500.000,00).

La delibera G.R. 74/2019 ha previsto inoltre, la ripartizione delle somme indicate nella deliberazione del CIPE n. 11 del 28 febbraio 2018, con la quale è stato approvato:

- Il secondo Addendum al Piano operativo Ambiente, di competenza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), a valere sulle risorse del FSC - Fondo comunitario per lo Sviluppo e la Coesione 2014-2020 per un valore complessivo di 782 milioni di euro, di cui 226,97 milioni di euro per interventi di mitigazione del rischio idrogeologico e di erosione costiera;
- Per la Regione Lazio sono stati previsti interventi per complessivi 15.850.000,00 € per la realizzazione di opere di ricostruzione, mediante ripascimento, delle spiagge e delle strutture dunarie preesistenti, integrate con eventuali opere di contrasto all'erosione e di riassetto organico del lungomare, delle foci armate e delle opere portuali laddove interferenti e l'impiego di cave marine per la sabbia;
- Tra gli interventi che potranno essere oggetto di finanziamento con quest'altra misura, previa istruttoria ai sensi del DPCM 2015, vi è anche il "Completamento opere di protezione da foce Verde a Capo Portiere" nel Comune di Latina per un importo di 5.500.000,00 €.

L'area d'intervento è ubicata lungo il litorale di Latina e si estende da Capo Portiere fino all'ultimo pennello appartenente al sistema di difesa costiero già presente. Infatti, nel corso degli anni sono stati realizzati diversi interventi di difesa costiera che hanno portato alla realizzazione di pennelli di contenimento e scogliere sommerse. Il progetto prevede un potenziamento del sistema di difesa attualmente esistente e una sua marginale ristrutturazione. In particolare, il progetto complessivo di cui è possibile eseguire una suddivisione in stralci prevede:

1. Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende da Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema di difesa costiero già presente;



2. Realizzazione di opere di difesa rigide costituite da pennelli e scogliere sommerse dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente.

Con nota Prot.n. 61187 del 08/04/2022 il Comune di Latina ha comunicato che la soluzione progettuale scelta ai fini della utilizzazione del finanziamento di € 5.500.000,00 è quella che prevede la realizzazione di opere di difesa rigide costituite da pennelli e scogliere sommerse dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente.

Nella revisione 1 del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica gli interventi previsti erano:

1. Realizzazione di opere di difesa rigide costituite da pennelli e scogliere sommerse dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente (I Stralcio Funzionale);
2. Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende da Capo portiere all'ultimo pennello del sistema di difesa costiero già presente.

Considerato che la Delibera CIPE n. 11 del 28 febbraio 2018 copre fino a € 5.500.000,00, la restante parte dell'importo necessario per il I Stralcio Funzionale (Opere di difesa rigide costituite da pennelli e scogliere sommerse) verrà coperto con fondi propri o provenienti da altre fonti di finanziamento.

Successivamente all'approvazione del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica, sono state eseguite le indagini batimetriche, sedimentologiche e geognostiche, indicate nel Piano di Indagini redatto nella Revisione 1 del PFTE e necessarie alla redazione del presente Progetto Definitivo.

Alla luce delle indagini effettuate e della modellazione idraulica-marittima, il Progetto Definitivo prevedeva i seguenti interventi:

1. Realizzazione di opere di difesa rigida, dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente (I Stralcio Funzionale), costituite da:
 - n°8 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso), ortogonali alla costa e di lunghezza variabile (250,00 m ÷ 300,00 m), previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;
 - n°2 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso), anch'essi ortogonali alla costa e di lunghezza pari a circa 90,00 m, previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;
 - n°8 scogliere sommerse, congiunte alla testa degli 8 pennelli, in massi naturali da 3÷5 t di lunghezza pari a 140,00 m, previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;
 - n°7 varchi in massi naturali da 2÷4 t di lunghezza variabile (80,00 m ÷ 196,00 m), previa realizzazione di escavo;
2. Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende da Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema di difesa costiero già presente.

Con nota Prot.N.0110067-2023 del 13/07/2023 il Comune di Latina ha comunicato che il valore delle opere da Progetto definitin (Euro 28.099.708,79) non aveva la necessaria copertura finanziaria, dal



momento che i fondi disponibili tramite finanziamento regionale per l'esecuzione dei lavori ammontano a euro 5.500.000 integrati da fondi di bilancio conformi al valore complessivo già previsto negli strumenti di programmazione dell'ente pari a Euro 6.493.477,33. Di conseguenza, il Comune di Latina ha richiesto la rimodulazione del Progetto per un lotto funzionale idoneo all'acquisizione dei pareri necessari (VIA, VIncA).

Pertanto, è stato redatto un progetto coerente con il progetto complessivo che contempla le lavorazioni seguenti (denominato Lotto 1):

1. Realizzazione di opere di difesa rigida, dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente (l Stralcio Funzionale), costituite da:
 - n°8 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso per una lunghezza complessiva di 52,00 m), ortogonali alla costa e di lunghezza variabile (125,00 m ÷ 152,00 m);
 - n°2 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso), anch'essi ortogonali alla costa e di lunghezza pari a circa 98,00 m;
2. Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende dall'ultimo pennello di difesa già presente, per un totale di n° 7 celle di ripascimento

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto è stato redatto nel rispetto della normativa vigente in materia di Lavori Pubblici con particolare riferimento:

CONTRATTI PUBBLICI

- Decreto Legislativo n. 50 del 18 Aprile 2016 – “Codice dei Contratti pubblici”
- Decreto Presidente della Repubblica n. 207 del 2010 “Regolamento di attuazione ed esecuzione del Codice dei Contratti”;
- Legge Regionale 7 agosto 2007, n. 5 – “Procedure di aggiudicazione degli appalti pubblici di lavori, forniture e servizi, in attuazione della direttiva comunitaria n. 2004/18/CE del 31 marzo 2004 e disposizioni per la disciplina delle fasi del ciclo dell'appalto”;

OPERE MARITTIME

- Codice della Navigazione;

COSTRUZIONI

- Decreto Ministeriale 17/01/2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare n.7 del 21/01/2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 21/01/2018;
- Norme UNI e CEI per i materiali;
- D.P.R. n.120 del 13/06/2017 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo”;

AMBIENTE

- Decreto Legislativo n. 152 del 3 Aprile 2006 “Norme in materia ambientale”;
- D.P.R. n.120 del 13/06/2017 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo”;

SICUREZZA



- D.Lgs. n.81 del 09/04/2008 e s.m.i., Norme per la tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

3 ANALISI DEI VINCOLI

Nel presente capitolo si analizza il progetto e le opere previste in relazione ai vincoli gravanti sul territorio e ricavati dai seguenti siti:

- Geoportale Regione Lazio - <https://geoportale.regione.lazio.it/>;
- Geoportale MATTM - <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>;
- Geoportale ISPRA - <http://geoportale.isprambiente.it/>;
- Geoportale progetto NNB - <https://www.nnb.isprambiente.it/it>.

L'area di intervento è localizzata nel comune di Latina (LT) e precisamente sul litorale tra la Foce del Verde e Capo Portiere, appartiene all'unità fisiografica della Pianura Pontina (Tipo di Paesaggio: PCm - Pianura costiera) e alla parte meridionale dell'unità fisiografica costiera della pianura del fiume Tevere.

3.1 Inquadramento Cartografico

L'area di intervento ricade nella costa laziale, a Marina di Latina (area di ripascimento e costruzione delle opere di difesa costiera).

	Area di ripascimento e costruzione di opere di difesa costiera
CTN 1:5.000	400142 400153
CTRN 1:10.000	400140 400150
IGM 1:25.000	Foglio 400, Quad.III Borgo sabotino Foglio 400, Quad. II Latina
IGM 1:50.000	Foglio 400 Latina

Tabella 1 – Lista della cartografia di riferimento per l'area di intervento.

3.2 Siti Natura2000

La rete Natura 2000 è la rete ecologica europea costituita dai siti protetti dell'Unione Europea si suddivide nelle seguenti categorie:

- ZSC - *Zone Speciali di Conservazione* (SAC – *Special Areas of Conservation*) istituite ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat", relativa alla Conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche; questi siti, prima della designazione a ZSC, erano denominati SIC – Siti di Importanza Comunitaria (SCI - Site of Community Importance);
- ZPS - *Zone di Protezione Speciale* (SPA – *Special Protection Areas*) istituite ai sensi della Direttiva 2009/147/CE "Uccelli", concernente la conservazione degli uccelli selvatici.



In Italia la norma di riferimento per la rete Natura 2000 è il regolamento di attuazione della Direttiva 92/43/CEE "Habitat", il DPR 357/97 e ss.mm.ii., e la tutela dei siti è attuata attraverso specifiche misure finalizzate alla conservazione degli habitat e delle specie di flora e di fauna di interesse unionale presenti nei siti (vedi la sezione Rete Natura 2000). A questa norma si deve collegare anche la L. 157/92 con cui è stata recepita, in Italia, la direttiva 79/409/CEE "Uccelli" oggi sostituita con la Dir. 2009/147/CE.

La rete Natura 2000 nel territorio della Regione Lazio è costituita da 200 siti, di cui 18 ZPS, 161 ZSC e 21 ZSC coincidenti con ZPS, che interessano una superficie di 59.707 ettari nell'ambiente marino e 398.008 ettari in ambito terrestre, pari al 23,1 % della superficie regionale.

L'area costiera compresa tra Anzio e il Promontorio del Circeo è soggetta alla presenza di numerosi siti Natura2000 (Figura 1), che non ricadono direttamente nell'area di ripascimento e di realizzazione delle opere di difesa costiera ma risultano vicini ad essa; in particolare i siti vicini sono:

- IT6040012 – Laghi Fogliano, Monaci, Caprolace e Pantani dell'Inferno (attiguo);
- IT6040018 – Dune del Circeo (attiguo);
- IT6000012 – Fondali tra capo Portiere e lago di Caprolace (a 1.070 metri);
- IT6000011 – Fondali tra Torre Astura e capo Portiere (a 1.040 metri);
- IT6030049 – Zone umide a W del fiume Astura (a 4.840 metri);
- IT6030048 – Litorale di Torre Astura (a 5.020 metri).

L'area ZPS che risulta attigua all'area d'intervento è la "IT6040015 - Parco nazionale del Circeo".

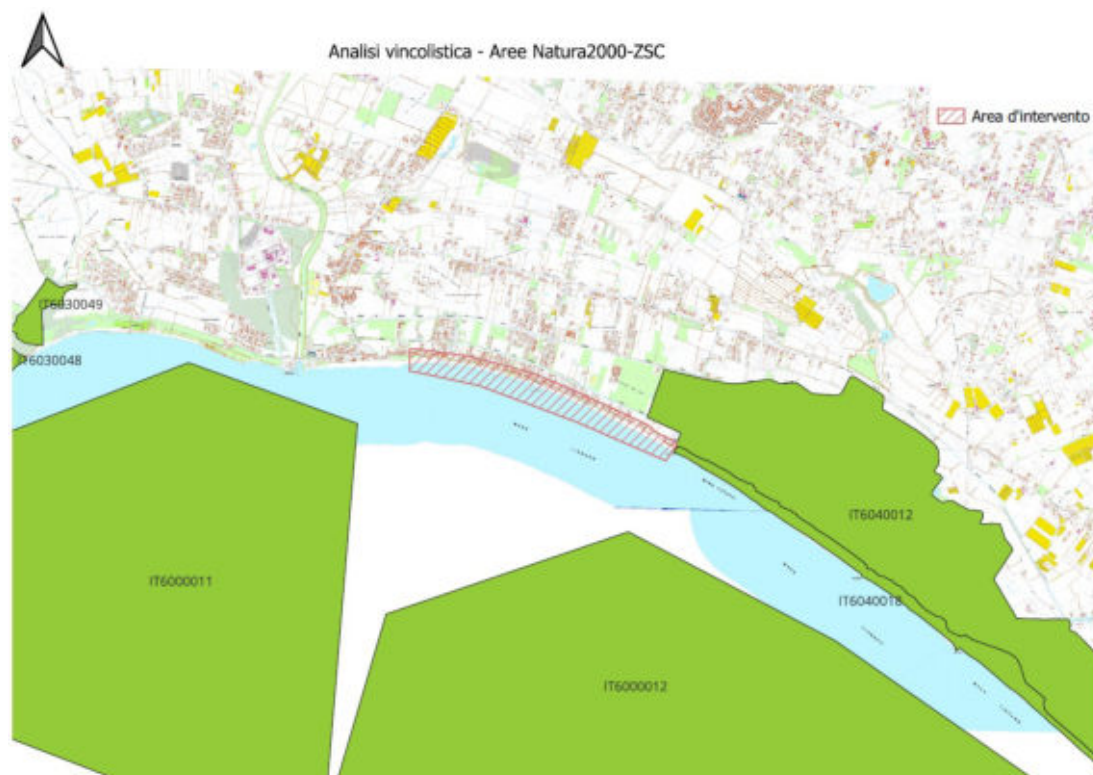


Figura 1 – Carta dei siti ZSC nelle vicinanze dell'area d'intervento a Marina di Latina.

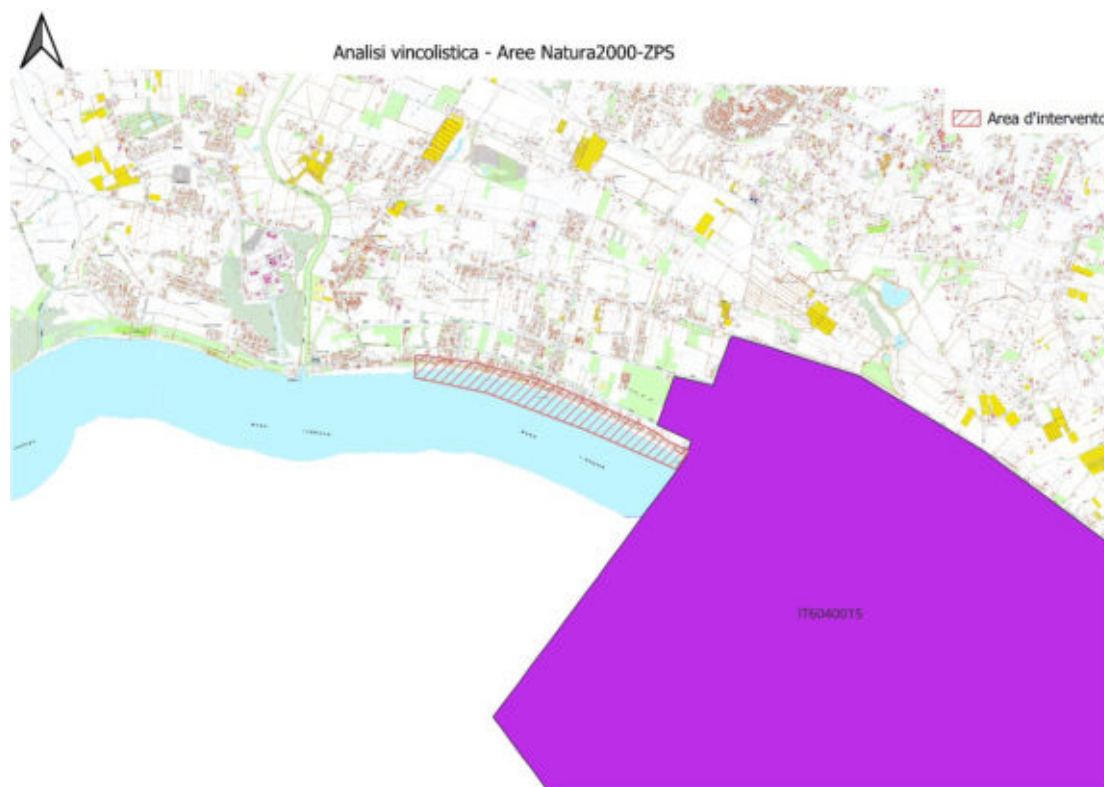


Figura 2 - Carta dei siti ZPS nelle vicinanze dell'area d'intervento a Marina di Latina.

3.3 Parchi nazionali

Le aree naturali protette nella regione Lazio sono 103 di cui:

- 3 Parchi Nazionali istituiti ai sensi della Legge 6 dicembre 1991, n. 394 Legge quadro sulle aree protette;
- 2 Aree Naturali Marine Protette istituite ai sensi della Legge 6 dicembre 1991, n. 394 Legge quadro sulle aree protette;
- 4 Riserve Naturali Statali istituite ai sensi della Legge 6 dicembre 1991, n. 394 Legge quadro sulle aree protette;
- 16 Parchi Naturali Regionali istituiti ai sensi dell'art. 5 della Legge regionale 29 del 6 ottobre 1997;
- 31 Riserve Naturali Regionali istituite ai sensi dell'art. 5 della Legge regionale 29 del 6 ottobre 1997;
- 47 Monumenti Naturali istituiti ai sensi dell'art. 6 della Legge regionale 29 del 6 ottobre 1997.

L'area d'intervento è ubicata a confine con il Parco Nazionale del Circeo che costituisce un'area naturale protetta (Figura 3).

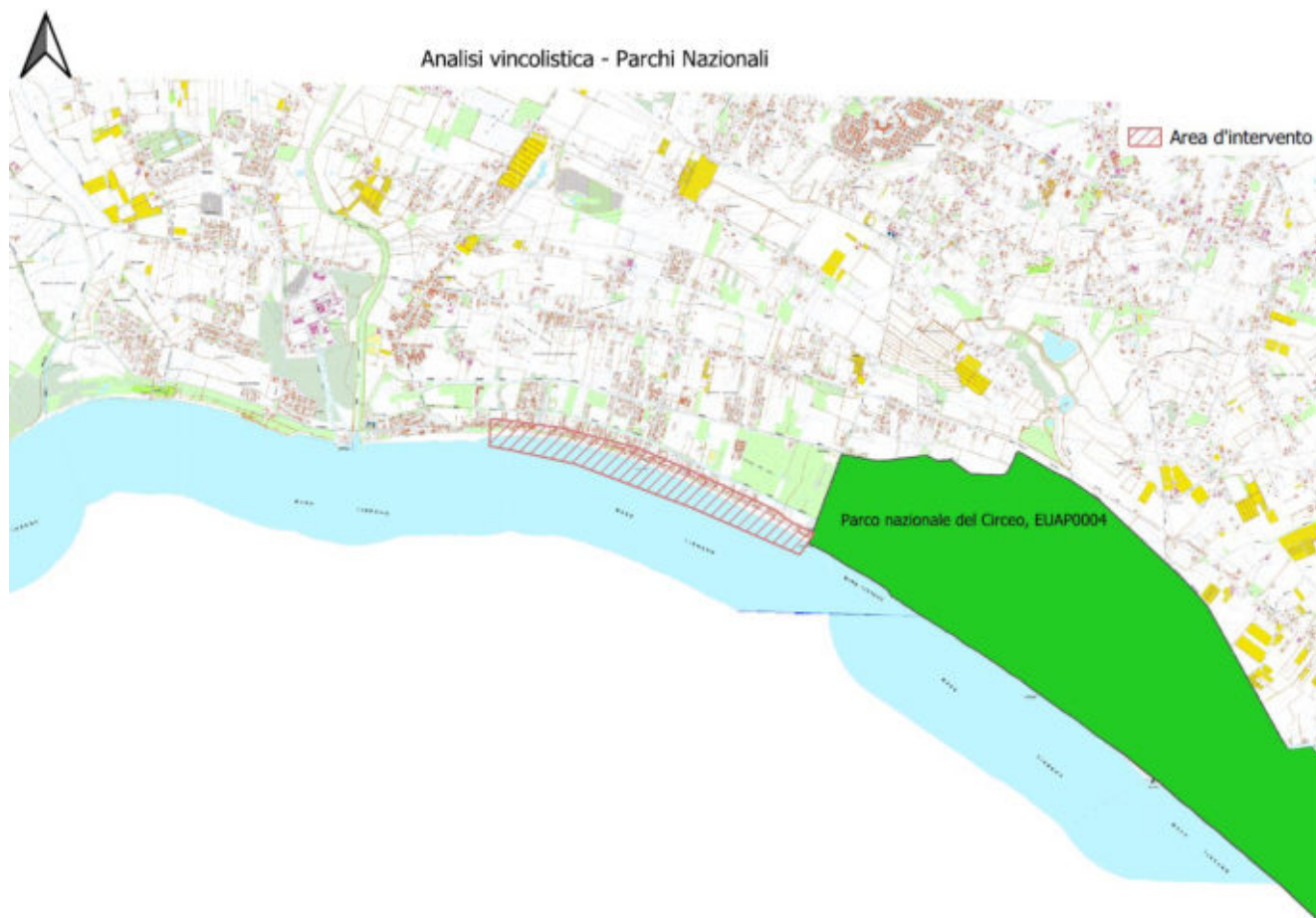


Figura 3 - Carta del parco nazionale del Circeo sito nelle immediate vicinanze dell'area d'intervento.

Il Parco Nazionale del Circeo fu istituito nel 1934 facendone dunque una delle più antiche aree naturali protette d'Italia. E' ubicato lungo la costa tirrenica del Lazio storico, lungo il tratto di litorale tirrenico compreso tra Anzio e Terracina, coprendo una superficie di 8.917 ettari e prendendo il nome dall'omonimo promontorio.

Fu istituito, nel 1934, dall'Amministrazione Forestale del tempo, per volere di Benito Mussolini, dietro suggerimento del Sen. Raffaele Bastianelli, al fine di tutelare gli ultimi resti delle Paludi Pontine che proprio in quegli anni venivano bonificate. Il Parco Nazionale del Circeo è inoltre una "riserva della biosfera" dell'UNESCO dal 1997 ed è stato candidato al titolo di "patrimonio dell'umanità".

Già previsto dalla legge quadro sulle Aree Protette (L. 394/1991), solo nel 2005 il DPR 155/2005 ha dato il via all'istituzione dell'Ente Parco, iter conclusosi nel 2007 con la nomina del Presidente e del Consiglio Direttivo.

3.4 Aree Ramsar

La Convenzione relativa alle zone umide di importanza internazionale, in particolare quali habitat degli uccelli acquatici, è stata firmata a Ramsar, in Iran, il 2 febbraio 1971. La Convenzione è stata ratificata e resa esecutiva dall'Italia con il DPR 13 marzo 1976.



Oggetto della Convenzione di Ramsar sono la gran varietà di zone umide: le paludi e gli acquitrini, le torbiere, i bacini d'acqua naturali o artificiali, permanenti o transitori, con acqua stagnante o corrente, dolce, salmastra o salata, comprese le distese di acqua marina, la cui profondità, durante la bassa marea, non supera i sei metri.

Sono inoltre comprese le zone rivierasche, fluviali o marine, adiacenti alle zone umide, le isole o le distese di acqua marina con profondità superiore ai sei metri, durante la bassa marea, situate entro i confini delle zone umide, in particolare quando tali zone, isole o distese d'acqua, hanno importanza come habitat degli uccelli acquatici, ecologicamente dipendenti dalle zone umide.

Nel Lazio sono iscritte nel registro della Convenzione di Ramsar n°6 zone: *i laghi dei Monaci, Caprolace, Fogliano e Sabaudia nel Parco Nazionale del Circeo (Figura 4), il Lago di Nazzano nella Riserva Regionale Nazzano, Tevere-Farfa e i Lagustelli di Percile nel Parco Regionale dei Monti Lucretili.*

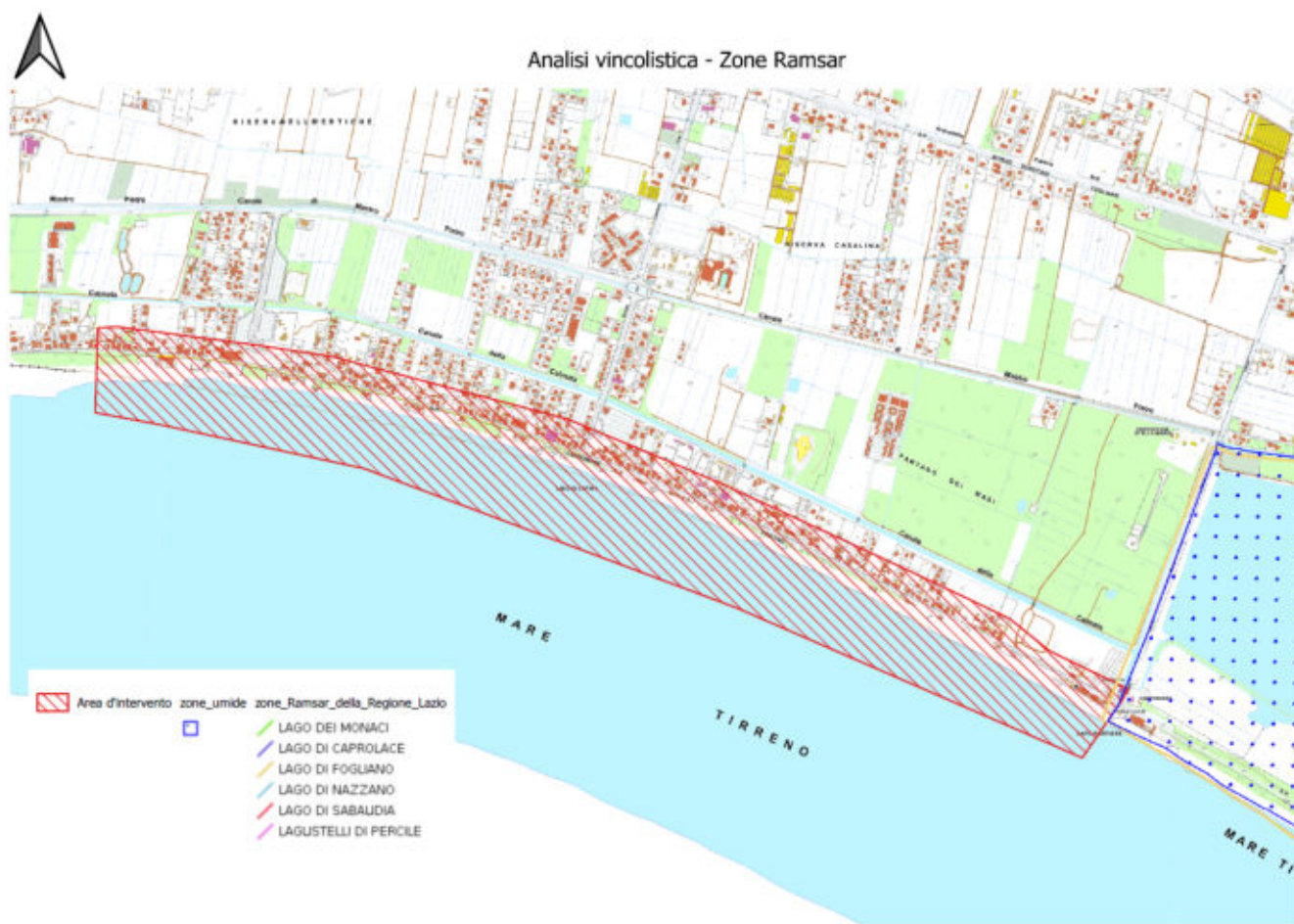


Figura 4 – Carta delle Zone Umide nel registro della Convenzione di Ramsar.



3.5 Vincolo idrogeologico

L'intera area costiera del litorale Pontino è sottoposta a vincolo idrogeologico (Figura 5), come stabilito dal Regio Decreto n. 3267/1923.



Figura 5 – Carta del vincolo idrogeologico.

4 STRUMENTI URBANISTICI E DI PIANIFICAZIONE EDL TERRITORIO

4.1 Vincoli da Piano Territoriale Paesistico regionale (PTPr)

Il Piano Territoriale Paesistico Regionale della Regione Lazio (PTPr) è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 5 del 21 aprile 2021, pubblicato sul B.U.R.L. n. 56 del 10 giugno 2021, Supplemento n. 2.

L'analisi della cartografia del PTPr mostra che l'area di intervento ricade in un'area del paesaggio naturale (Figura 6) ed è solo marginalmente interessata dalla zona del paesaggio agrario di rilevante valore (Figura 7). L'area d'intervento risulta inglobata in un'area di rilevante interesse pubblico ex art. 1497 (Figura 8) definita con codici 059-031 e 059-038 e interessata dal vincolo della fascia di rispetto di 300 metri dalla linea di costa (Figura 9). A circa 5 km dall'area d'intervento è presente la zona a conservazione indiretta (ZCI) denominata "Poligono Torre Astura".



Figura 6 – Carta dei Paesaggi Naturali

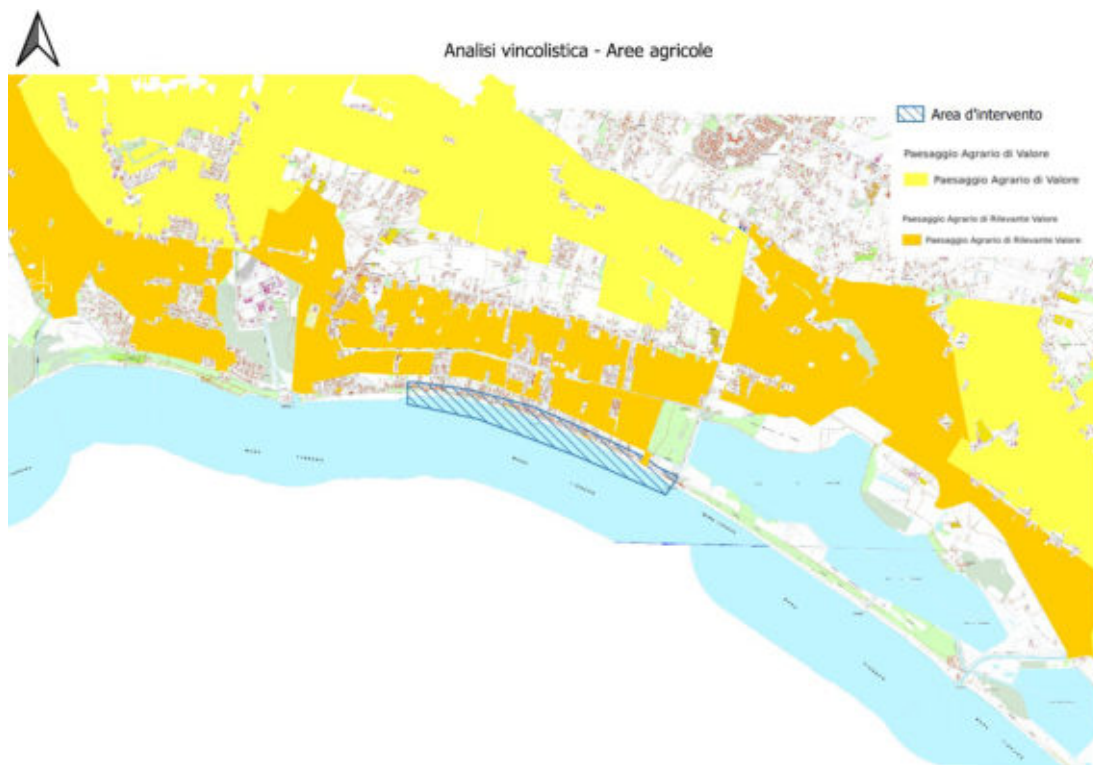


Figura 7 – Carta delle aree agricole di pregio

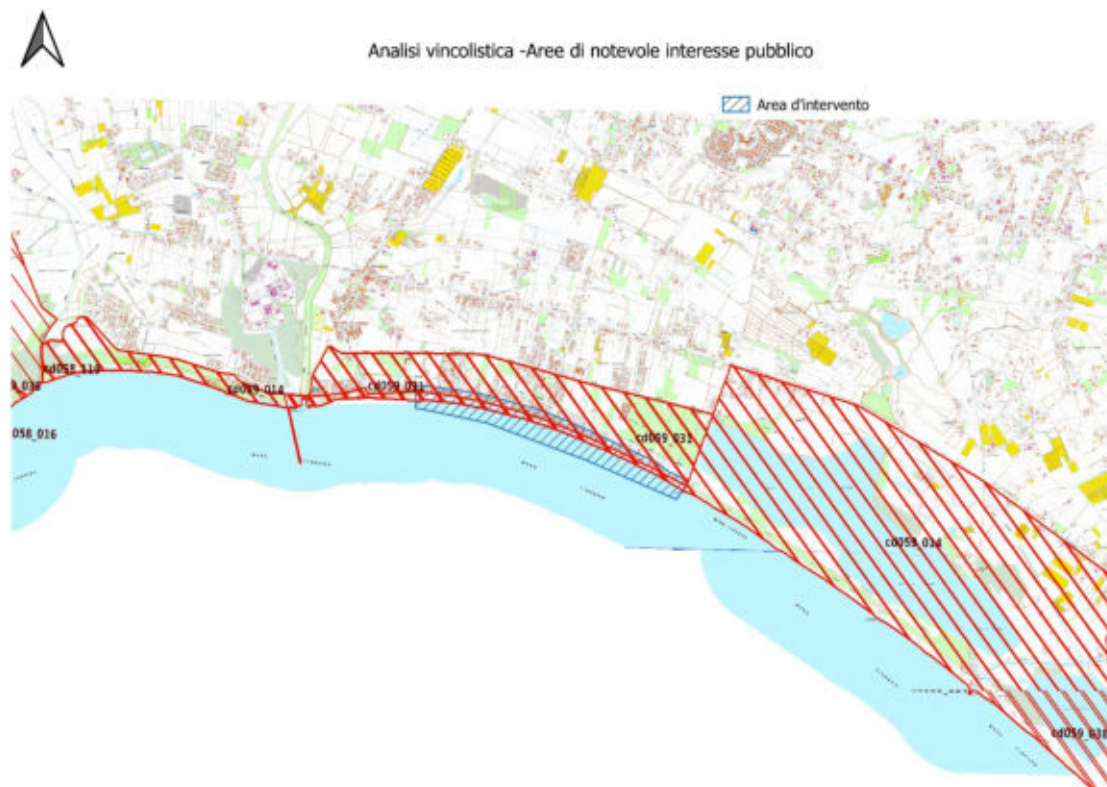


Figura 8 – Carta delle aree di notevole interesse pubblico

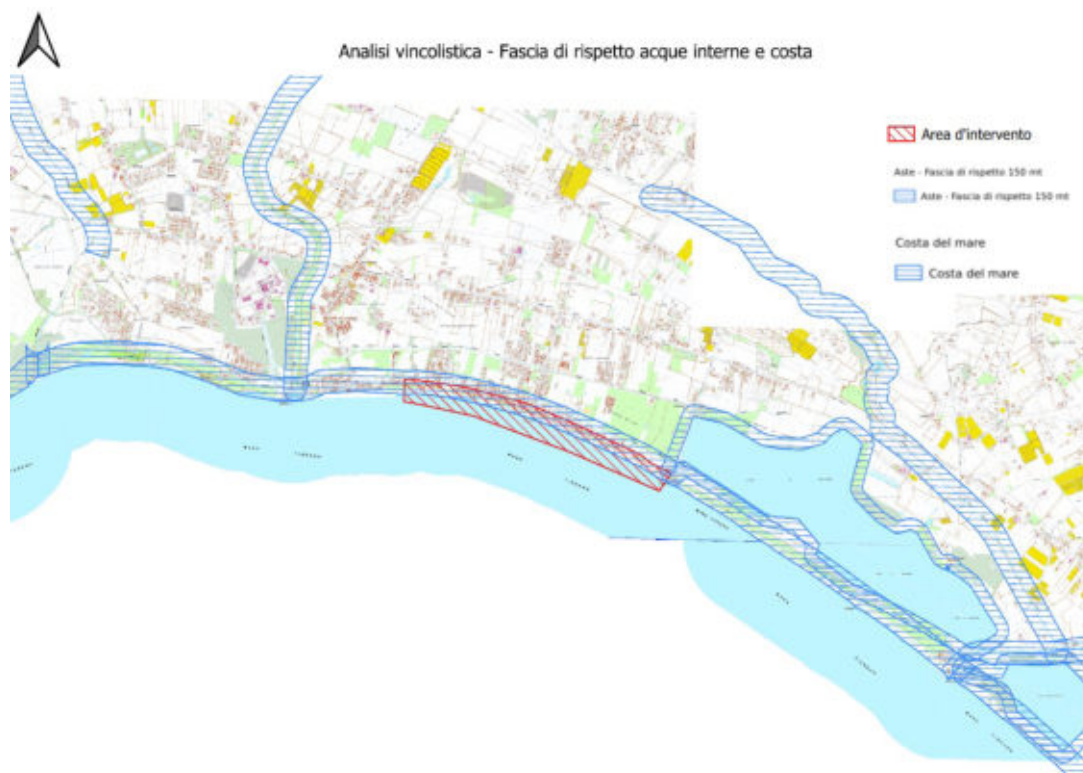


Figura 9 – Carta delle aree di rispetto della linea di costa (300 metri) e dei fiumi (150 metri)

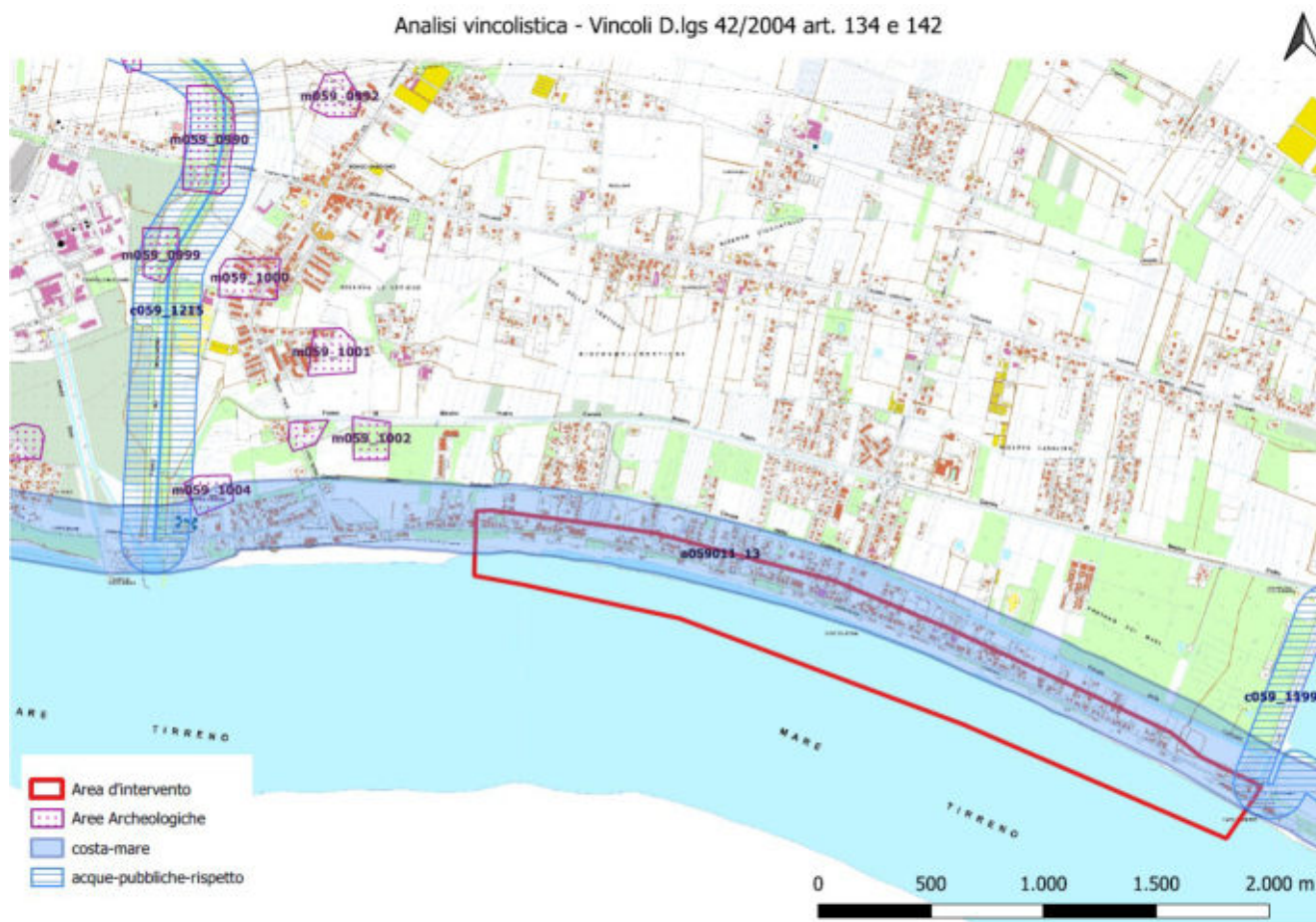


Figura 10 – Carta dei vincoli (D.lgs 42/04 art. 134 e 142)

La carta dei vincoli riporta che l'area d'intervento è sottoposta al solo vincolo della fascia di rispetto della linea di costa; nelle vicinanze ma non ricadenti all'interno dell'area d'intervento sono presenti aree sottoposte a vincolo archeologico lungo il corso del fiume Verde (Figura 10).

Le aree di interesse archeologico sono state individuate attraverso portale telematico e identificate tramite i codici riportati in Figura 10 e di seguito elencate:

- m_059_1004 : Cassia Antica;
- m_059_1003 : S.P per Mazzano Romano;
- m_059_1002: Passo del Lupo, il Monte.

Il Lazio possiede una spiccata varietà di ambienti e di paesaggi dalle vette appenniniche ai laghi costieri, dal mare alle catene montuose localizzate nell'entro terra e lungo la costa.

Ai paesaggi descritti è correlato un patrimonio di biodiversità, sia in termini di habitat che di specie di flora e di fauna, opportunamente tutelato dal sistema delle aree naturali protette e dalla rete Natura 2000, che nel loro insieme interessano circa un quarto del territorio del Lazio.

La Regione Lazio è stata tra le prime regioni italiane ad approvare norme in materia di aree naturali protette approvando, nel 1977, la Legge Regionale 28 novembre 1977, n. 46 "Costituzione di un



sistema di parchi regionali e delle riserve naturali". Successivamente, con la Legge Regionale 6 ottobre 1997, n. 29 "Norme in materia di aree naturali protette regionali", si è dotata di un nuovo strumento normativo, allo scopo di recepire i contenuti della Legge 6 dicembre 1991, n. 394 "Legge quadro sulle aree protette" finalizzata a garantire e promuovere la conservazione e la valorizzazione del proprio patrimonio naturale.

Con l'emanazione della L.R. 29/97, la Regione Lazio ha istituito il Sistema regionale delle aree naturali protette del Lazio che tutela il grande Patrimonio di biodiversità presente in esso.

5 Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Latina

Il Piano regolatore generale del Comune di Latina è stato attuato con le Norme Tecniche di Attuazione del Piano Regolatore Generale - dicembre 1971 e il suo aggiornamento è stato approvato con Deliberazione di Giunta Municipale n.1540 anno 1998 avente ad oggetto "Presenza d'atto della cartografia aggiornata del P.R.G. e della carta dei vincoli ambientali".

L'area d'intervento risulta inclusa nella fascia di rispetto della linea di costa (Figura 11).



Figura 11 – Carta del Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Latina.



6 Piano di Utilizzazione degli Arenili (PUA)

La L.R. 05 Gennaio 2001, n. 1 "Norme per la valorizzazione e lo sviluppo del litorale del Lazio" promuove lo sviluppo economico e sociale del litorale del Lazio: sono concessi finanziamenti regionali per l'attuazione di un programma integrato di interventi che consentano di valorizzare e salvaguardare le risorse strutturali ed ambientali, di diversificare e specializzare l'offerta turistica e culturale, di potenziare le attività produttive marittime e di incrementare i livelli occupazionali.

Il programma, in relazione agli interventi di cui all'articolo 5, comma 1, lettera d), deve essere conforme al piano regionale di utilizzazione delle aree del demanio marittimo di cui all'articolo 6 del decreto legge 5 ottobre 1993, n. 400 e convertito, con modificazioni, dall'articolo 1, comma 1 della legge 4 dicembre 1993, n. 494.

I comuni sono tenuti ad adottare i piani di utilizzazione degli arenili (PUA) in conformità alle disposizioni contenute nel PUA regionale. Il comune di Latina ha redatto il PUA e la relativa cartografia a Dicembre 2020.

Da PUA l'area d'intervento ricade nell'ambito Omogeneo n. 1: "Tratto A – Foce Verde – Capo Portiere e si ribadisce la necessità di interventi di rispascimento e costruzione di impianti di difesa costiera per impedire l'arretramento della linea di costa.

Le cartografie di stato di fatto e di proposta di piano del PUA sono visibili negli elaborati grafici PD-GEN-A-D-504 e PD-GEN-A-D-505.



Figura 12 – Stralcio della proposta di piano del PUA di Marina di Latina.

7 Piano di Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)

Nell'ambito della pianificazione codificata dalla L.183/89 e delle successive modificazioni e integrazioni, nonché della L.R. 39/96, il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (nel seguito sinteticamente riportato PAI), agisce nel campo della "difesa del suolo" e degli elementi a rischio quali popolazione e insediamenti umani.



In attuazione alle disposizioni della normativa di settore (L. 183/89 e ss. mm. ed ii.; DLgs 152/99; DLgs/152/06. L.R. 39/96), il PAI affronta la problematica relativa alla difesa del suolo, in stretta connessione con gli aspetti pianificatori, di difesa dei versanti e di regimazione idraulica.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) costituisce lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio individua le aree regionali da sottoporre a tutela e la rimozione delle situazioni di rischio.

Le finalità del PAI riguardano:

- la difesa ed il consolidamento dei versanti e delle aree instabili, nonché la difesa degli abitati e delle infrastrutture dai movimenti franosi e da altri fenomeni di dissesto;
- la difesa, la sistemazione e la regolazione dei corsi d'acqua;
- la moderazione delle piene, anche mediante serbatoi d'invaso, vasche di laminazione, casse d'espansione, scaricatori, scolmatori, diversivi o altro, per la difesa dalle inondazioni e dagli allagamenti;
- la manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere e degli impianti nel settore idrogeologico e la conservazione dei beni;
- la regolamentazione dei territori interessati dagli interventi ai fini della loro tutela ambientale, anche mediante la determinazione dei criteri per la salvaguardia e la conservazione delle aree demaniali, e la costituzione di parchi fluviali e di aree protette.

Il territorio di competenza dell'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio comprende i bacini idrografici di rilievo regionali, comprendendo il territorio regionale residuale, non appartenente ai bacini nazionali (Tevere e Liri-Garigliano) ed interregionali (Fiora e Tronto) includendo quasi tutta la fascia costiera del Lazio, i bacini dei Laghi di Bolsena e Bracciano nella parte Nord, la bonifica Pontina nella parte Sud, per una estensione complessiva di circa 5761 kmq.

I comuni della Regione Lazio ricadenti nel territorio dell'Autorità dei Bacini Regionali, sono complessivamente 97, ripartiti tra le province di Viterbo, Roma, Latina e Frosinone. In base alle caratteristiche idrografiche, geomorfologiche ed antropiche il territorio dell'ABR è suddiviso in due aree, separate dal bacino idrografico del Fiume Tevere, nel seguito denominate rispettivamente Bacini Regionali Nord e Bacini Regionali Sud.

La sub- unità fisiografica oggetto d'intervento è inquadrata nell'ambito dei bacini Regionali Sud.

Poiché l'area d'intervento consiste in un ambiente litoraneo, il principale rischio a cui esso è potenzialmente esposto è costituito dai fenomeni di inondazione per i quali il PAI ha previsto le seguenti fasce di pericolosità descritte in seguito:

"Sulla base delle caratteristiche dei fenomeni rilevati o attesi il Piano disciplina l'uso del territorio, nell'ambito delle "aree sottoposte a tutela per pericolo e rischio di frana e d'inondazione" individuate nella tavola 2, in funzione di tre classi di pericolosità (art. 7):

- *fasce a pericolosità A: aree ad alta probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con frequenza media trentennale;*

Le fasce a pericolosità A sono a loro volta suddivise in due sub-fasce:

- sub-fasce a pericolosità A1: aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali con dinamiche intense e alti livelli idrici;
- sub-fasce a pericolosità A2: aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite dagli eventi alluvionali con dinamiche graduali e con bassi livelli idrici;
- fasce a pericolosità B: aree a moderata probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con frequenza media compresa tra la trentennale e la duecentennale.

Le fasce a pericolosità B sono a loro volta suddivise in due sub-fasce:

- sub-fasce a pericolosità B1: aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali caratterizzati da dinamiche intense ed alti livelli idrici.
- sub-fasce a pericolosità B2: aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite da eventi alluvionali caratterizzati da dinamiche graduali e bassi livelli idrici.
- fasce a pericolosità C: aree a bassa probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con frequenza media compresa tra la duecentennale e la cinquecentennale.

Le aree classificate a rischio inondazione (Figura 14) sono ubicate in corrispondenza di possibili elementi a rischio ubicati in aree a pericolosità idraulica (Figura 13), opportunamente distanziati dalla linea di riva in cui si prevede la realizzazione degli interventi. A nord-est dell'area d'intervento è presente un sito di attenzione idraulico PAI (Figura 15).

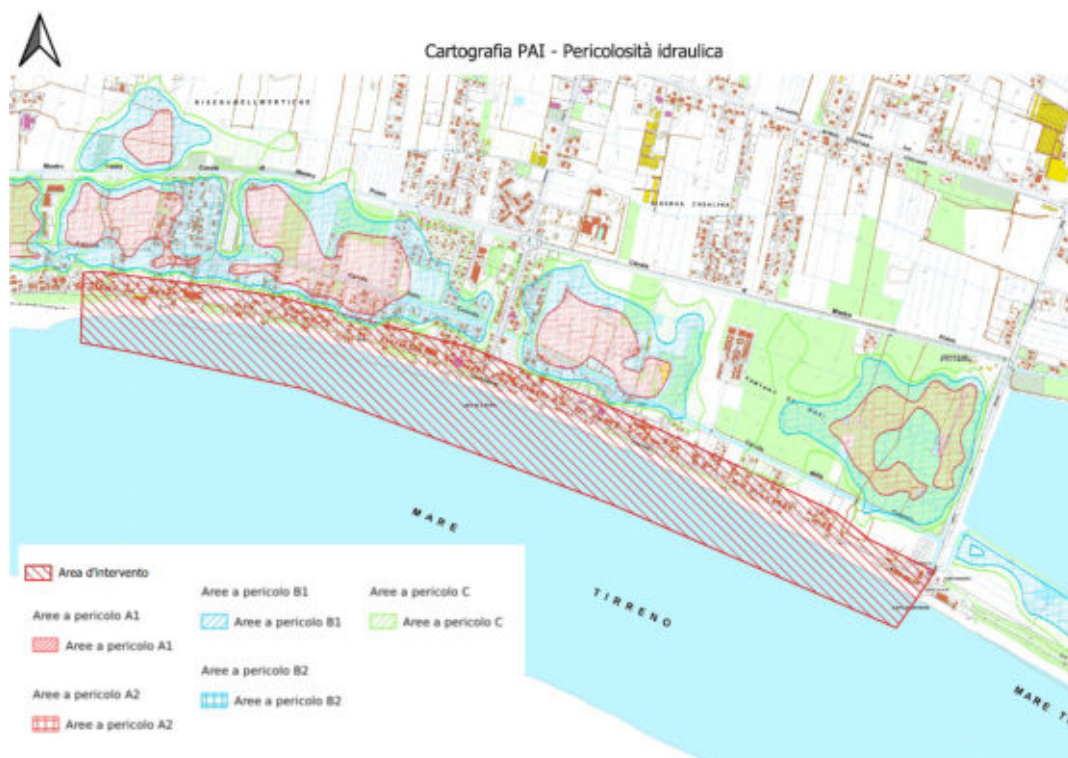


Figura 13 – Carta della pericolosità idraulica PAI

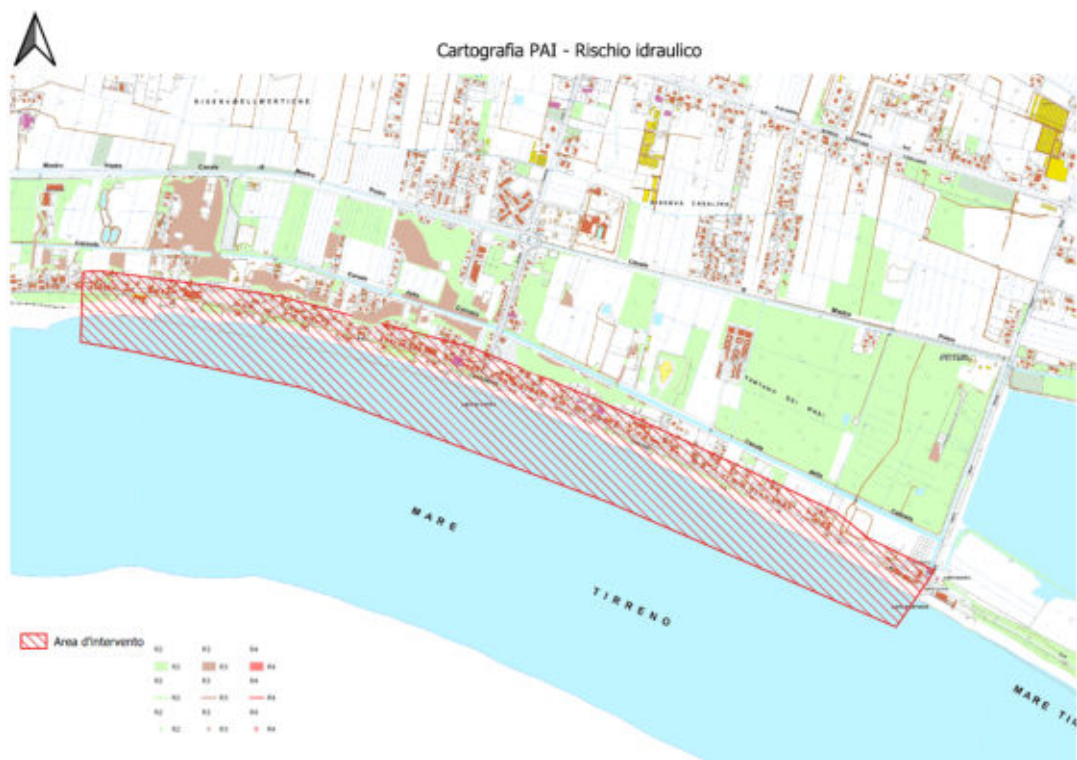


Figura 14 - Carta del rischio idraulico PAI

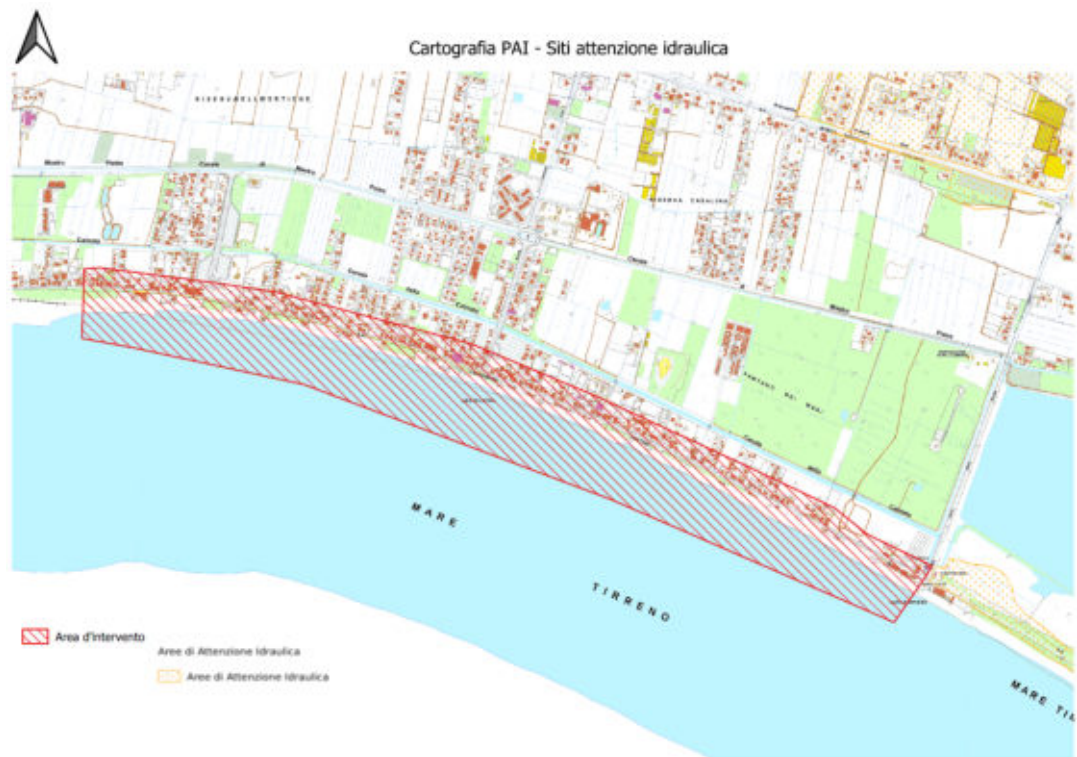


Figura 15 – Carta dei siti di attenzione idraulica PAI



8 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area d'indagine è inquadrabile all'interno dei bacini regionali Sud della regione Lazio; in particolare nella zona a sud dei Colli Albani.

Dai Colli Albani, sul versante meridionale dell'apparato Tuscolano-Artemisio, nasce una rete di corsi d'acqua (fosso delle Cannucce, Leschione, Ficoccia, Spaccasassi, del Campo, della Crocetta, del Carano, Pane e Vino) che poi danno luogo al Fiume Astura collegato, con il canale allacciante omonimo, alle canalizzazioni della pianura Pontina.

Il Fiume Astura propriamente detto ha una lunghezza di 17 km dalla foce alla confluenza dei fossi principali. Il Bacino prosegue con uno spartiacque passante per un susseguirsi di alture che si elevano bruscamente dai bordi della pianura Pontina, i Monti Lepini, che separano la piana costiera dalla Valle del Sacco. La quota più elevata è di 1.536 m s.l.m. del M. Semprevisa.

A sud del bacino del F. Astura, una serie di corsi d'acqua a carattere torrentizio, che si alimentano dai Lepini, tra i quali il Fosso Cisterna, il Fosso Teppia nel cui bacino ricade il lago Giulianello, il fiume Ninfa e il Fosso di Val Carella, confluisce nel canale allacciante delle Acque Alte, fino a sfociare nel M. Tirreno.

L'idrografia superficiale dell'agro pontino (circa 1700 kmq) ha subito, dalle sue condizioni pressoché naturali prima dell'ultima bonifica idraulica, una notevole trasformazione.

Il Canale delle Acque Alte a Ovest di Latina taglia da Nord a Sud la piana intercettando le acque della parte occidentale alta della pianura e dei rilievi, che salgono verso i Colli Albani ed il valico con il bacino del Sacco, nonché le acque montane fino a Sermoneta.

Il fiume Sisto, raccolte le acque delle sorgenti del Ninfa, funziona da canale di raccolta di acque alte per la duna quaternaria.

I bacini che alimentano le canalizzazioni della pianura Pontina proseguono poi con il Fiume Ufente (40 kmq), il Cirione (19 kmq) e quindi con l'ampio bacino del Fiume Amaseno (717 kmq) nel quale confluiscono, tra gli altri, i fossi delle Mole, del Monte Acuto, Fossato, Campo del Tesoro e Rio Pisciarellino.

Dal punto di vista geologico, nel territorio dei bacini regionali Sud (Figura 16) i terreni affioranti possono schematicamente essere raggruppati come segue:

- Unità Carbonatiche della serie Laziale Abruzzese: sono formazioni calcaree tipiche di una deposizione di mare poco profondo in facies di scogliera, i cui spessori evidenziano una subsidenza continua. I termini più antichi della successione affiorano sul Monte Circeo e negli Aurunci sud-occidentali. Carbonati più recenti, fino al Cretacico superiore-Paleocene, costituiscono la maggior parte dei rilievi montuosi dei Lepini, degli Ausoni e il versante occidentale degli Aurunci.
- Depositi terrigeni sintettonici indifferenziati: si tratta dell'unità del Flysch di Frosinone, costituito da torbiditi argilloso arenacee, e della formazione delle argille variegata, affioranti nel margine orientale degli Aurunci.



- Formazioni sedimentarie plio-pleistoceniche: rappresentate da argille e marne grigio-azzurre (Tor Caldara ad Anzio), seguite da sabbie con livelli argillosi e conglomeratici (Formia, Lavinio) e calcareniti;
- Formazioni vulcaniche: si tratta dei prodotti di natura esplosiva ed effusiva emessi dal complesso vulcanico dei Colli Albani. Si riscontrano piroclastiti litoidi, pozzolane nere e rosse, con intercalazioni di lave leucitiche, della fase più antica dell'attività vulcanica, seguite da lapilli, scorie, tufi incoerenti, peperini e coni di scorie.
- Depositi continentali pleistocenico-olocenici: sono rappresentati da travertini, dune sabbiose antiche (affioranti nella piana), depositi palustri e lacustri, dune costiere recenti, alluvioni attuali lungo gli alvei dei corsi d'acqua e, localmente detriti di falda sui versanti.

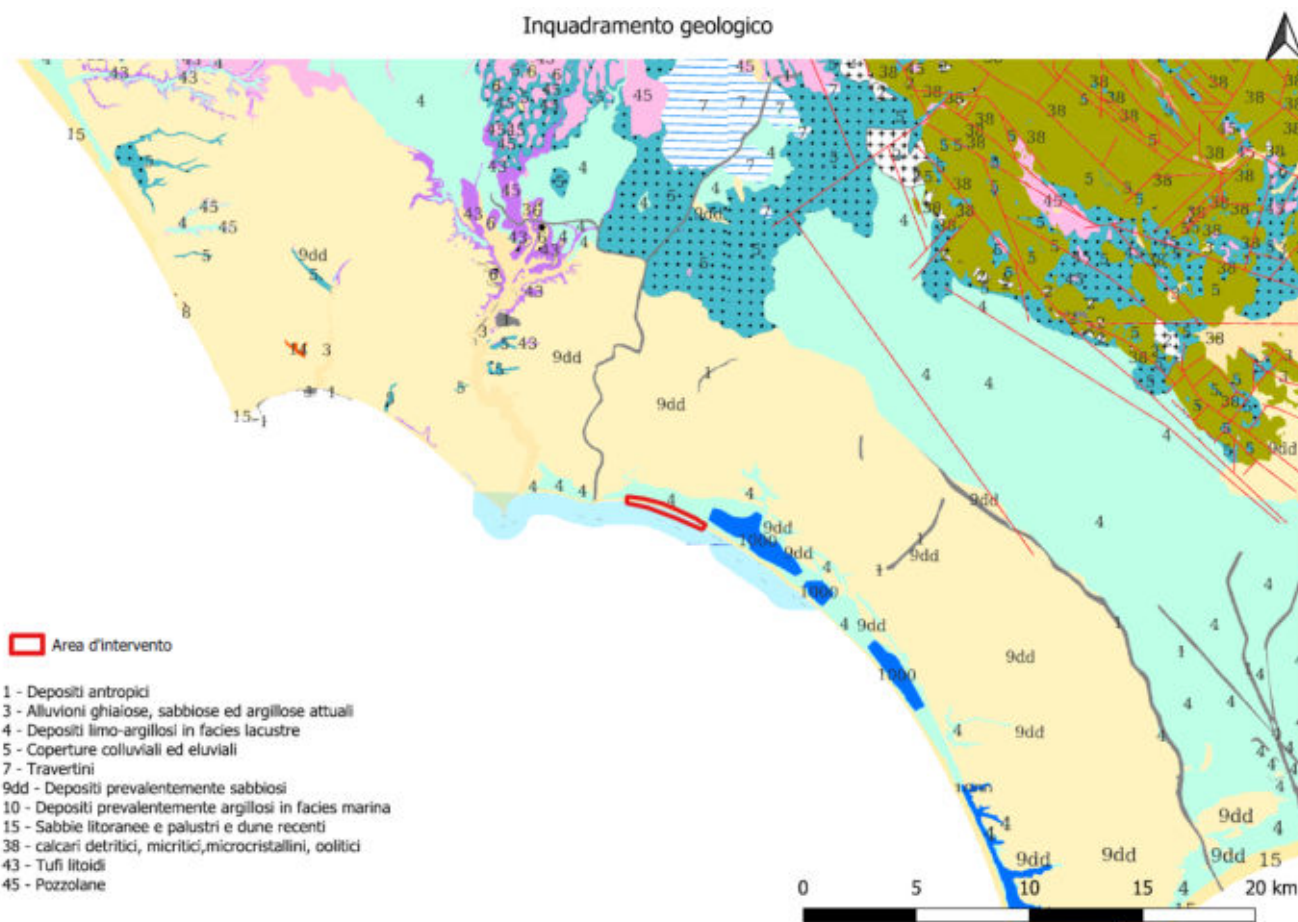


Figura 16 – Inquadramento geologico e strutturale dell'area della pianura pontina.

Il litorale in esame è ubicato ai margini occidentali della Pianura Pontina che presenta quote topografiche che variano da qualche metro fino a raggiungere 30-35 m nei pressi di Latina. Il litorale in esame è lungo circa 3 km e presenta una giacitura in direzione NW-SE.

Al fine di individuare le caratteristiche geologiche del litorale tra Foce Verde e Capo Portiere, occorre riferire una conoscenza sommaria delle caratteristiche geologiche della Pianura Pontina.



La suddetta pianura è caratterizzata da affioramenti di depositi plio-quadernari che, dal rilievo Lepino- Ausona, si estendono fino all'attuale linea di costa.

La stratigrafia sedimentaria si è sviluppata da un ambiente deposizionale di tipo marino fino a un sistema di tipo fluvio-lacustre. In dettaglio tali sedimenti possono essere raggruppati in alcune grandi classi in relazione alla loro composizione e modalità di deposizione:

- terreni torbosi di origine Pluvio-lacustre dell'Olocene;
- argille marine e transizionali, sabbie e ghiaie continentali e marine del Pleistocene superiore;
- depositi sabbiosi-limosi litorali e transizionali del Pleistocene medio;
- piroclastiti ed epivulcaniti riconducibili al vulcanismo albano;
- argille azzurre con intercalazioni sabbiose plio-pleistoceniche;
- depositi marini detritici del Pliocene.

I depositi fluvio-lacustri, olocenici e pleistocenici che caratterizzano l'area compresa tra il settore costiero e l'entroterra sono rappresentati da una grande varietà di terreni a differente composizione granulometrica e caratterizzati da marcate eteropie laterali: sabbie e argille, limi lagunari e lacustri, torbe e sedimenti alluvionali detritici in cui si intercalano livelli e/o orizzonti di travertini.

Ulteriori sedimenti presenti lungo settore costiero sono costituiti dai depositi marini del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, argilloso-sabbiosi, affiorano con continuità lungo il settore costiero della pianura.

I sedimenti marini riferibili al Pliocene mediosuperiore, individuati in sondaggi profondi (Foce Verde, Fogliano I, La Guardia, e Pontinia), sono costituiti da facies detritico-organogene, direttamente trasgressive sul Mesozoico. L'andamento del substrato, ribassato di alcune centinaia di metri al di sotto della piana, è stato ricostruito utilizzando dati geofisici e stratigrafie di numerose perforazioni.

Tali ricostruzioni ipotizzano una depressione lungo l'allineamento Cisterna di Latina-S. Donato nonché una struttura a graben, a spese della dorsale carbonatica (Figura 16), che prosegue sotto la copertura continentale.

L'area d'indagine, sita in area costiera, presenta terreni sabbiosi dunali di origine eolica consolidati e non e terreni argillosi a *Cerastoderma Edule*. Questa alternanza di terreni è riconducibile a fenomeni di trasgressione e regressione marina nel Quaternario.

Il tratto di litorale in esame presenta un arenile costituito da depositi sabbiosi fini e da dune mobili, attribuibili cronologicamente all'Olocene, con alle spalle terreni palustri di colmata attribuibili alle campagne di bonifica dell'Agro Pontino di età fascista.

Per quanto riguarda la geomorfologia, l'area d'indagine mostra solo evidenze dei processi geologici attuali, con i processi erosivi e deposizionali che occorrono lungo la linea di costa; le caratteristiche geologiche della pianura dell'entroterra sono state obliterate da secoli di attività antropica ed, in particolar modo, dalle attività di bonifica del secolo scorso.

I terreni sopracitati sono ascrivibili a due classi di permeabilità (Figura 18):

- Permeabilità alta per porosità (terreni sabbiosi);



- Permeabilità molto bassa (terreni argillosi e limoso-argillosi).

I terreni permeabili sono dunque estremamente importanti per la presenza di falde acquifere molto cospicue, fondamentali per l'irrigazione della fertile pianura Pontina.

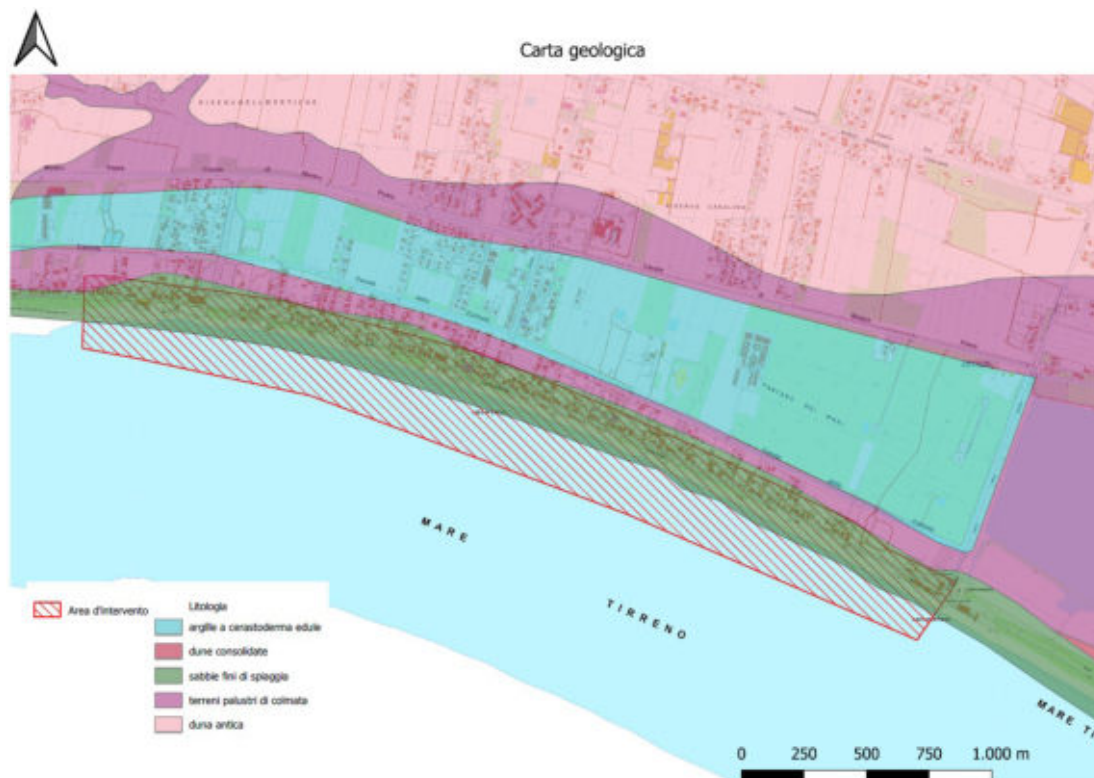
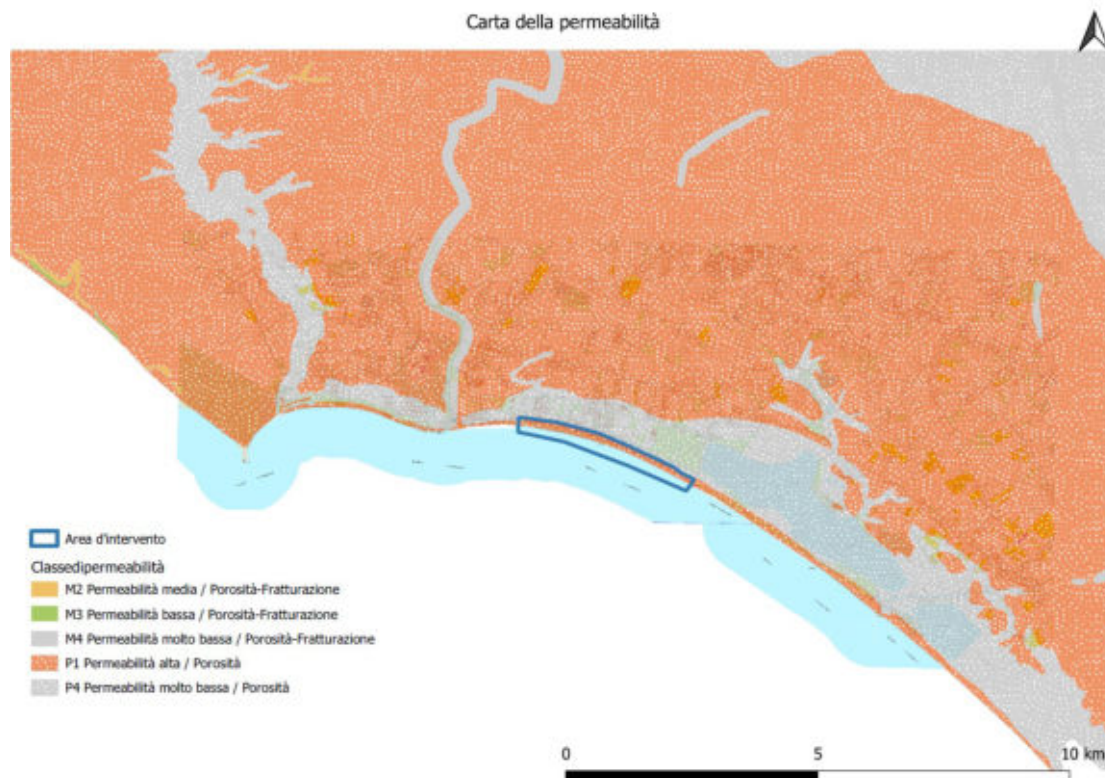


Figura 17 – Carta geologica dell'area d'intervento.

*Figura 18 – Carta della permeabilità*

9 STATO DI FATTO

Il tratto di costa oggetto di intervento ha inizio presso Capo Portiere e si estende per circa 2 km fino a raggiungere gli ultimi elementi che costituiscono il sistema di difesa costiero esistente. La spiaggia è caratterizzata dalla presenza una lunga falcata sabbiosa e da una duna costiera che si estende lungo tutto il litorale compreso tra Foce verde e il promontorio del Circeo. Il litorale costiero oggetto d'intervento delimita una frazione del confine Sud della "grande bonifica pontina" realizzata tra il 1926 e il 1937 (Figura 19)



Figura 19- Bonifica della Pianura Agro Pontina

La frazione costiera in esame ha subito notevoli cambiamenti dal punto di vista morfodinamico nel corso degli anni. Infatti, in Figura 20 sono riportate due ortofoto del tratto di litorale relative al 1954 e al 2019. La differenza sostanziale relativa all'estensione della linea di costa è da attribuire allo sviluppo degli insediamenti antropici. La zona coperta in bianco - probabilmente per ragioni militari essendo la zona posta al confine con l'area del Poligono di Tiro di Nettuno è quella localizzata in corrispondenza della Foce del Canale Mussolini (Foce Verde).

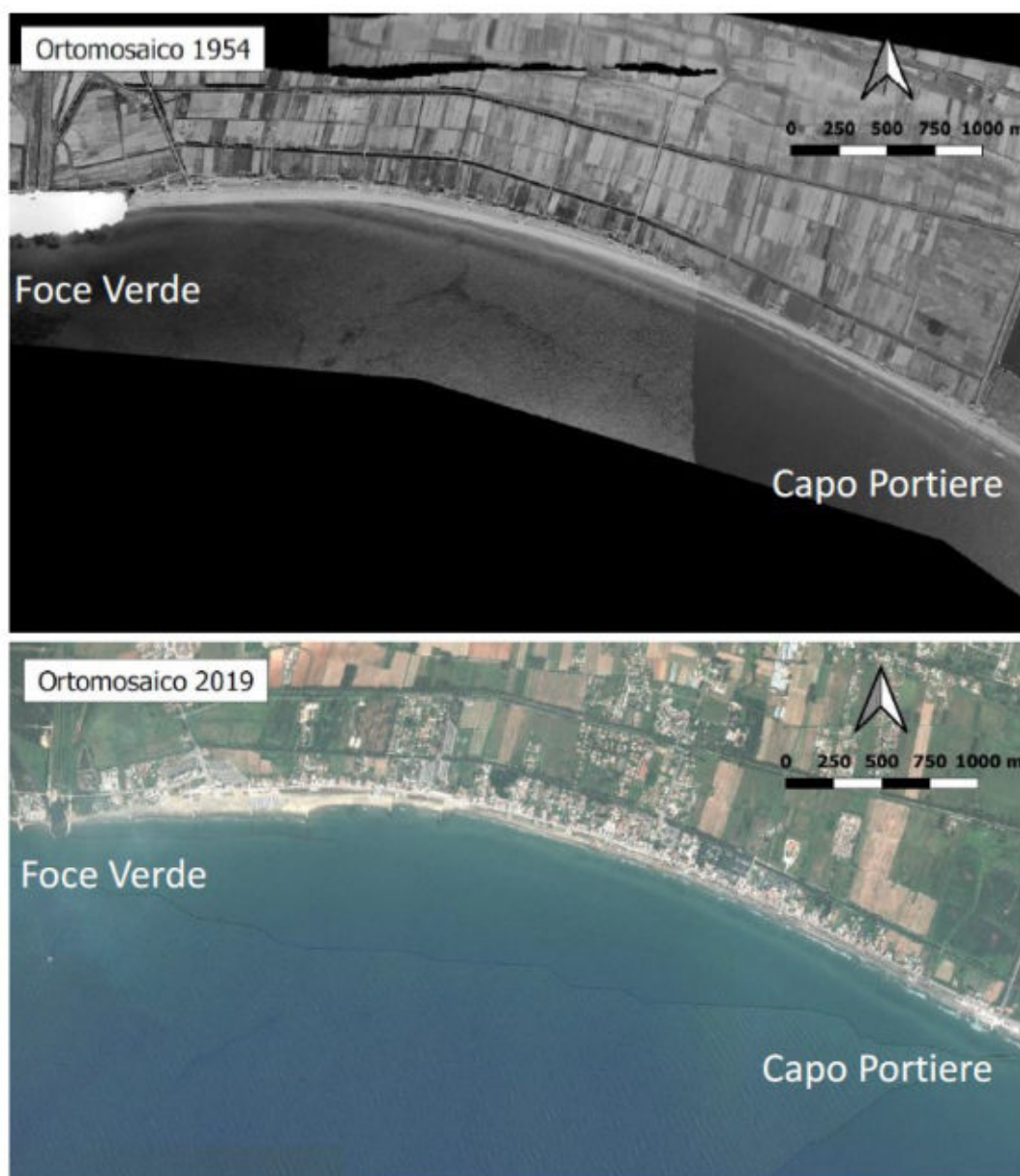


Figura 20- Tratto Foce Verde - Capo Portiere: evoluzione tra il 1954 e il 2019.

Al fine di ridurre i fenomeni erosivi, nel corso degli ultimi decenni le autorità competenza hanno autorizzato diversi interventi di difesa costiera che, ad oggi, si estendono lungo i primi 2 km a partire da Foce Verde.

Il sistema di difesa, del tipo a "celle", presenta una barriera sommersa parallela alla costa sulla quale si innestano pennelli semi-sommersi radicati sulla costa. Inoltre, all'interno e all'esterno delle celle sono stati eseguiti ulteriori versamenti di sabbia provenienti da cave marine.

La frazione di litorale che si estende subito ad Est del sistema di difesa oggi costituisce una zona ad elevata sofferenza di materiale solido e rappresenta una delle principali criticità di questo litorale.

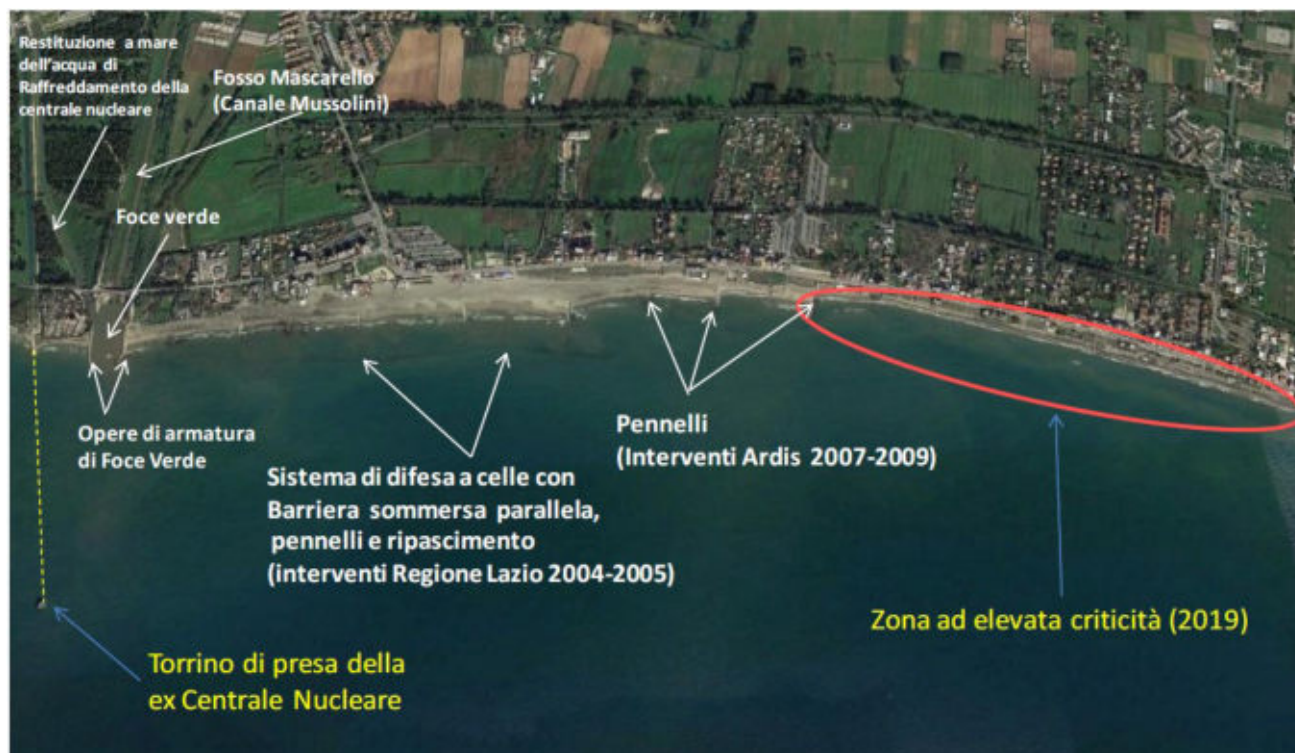


Figura 21- Settore Costiero tra Foce Verde e Capo Portiere

10 RISULTANZE DELLE INDAGINI AMBIENTALI E GEOGNOSTICHE

Le Indagini Batimetriche, sedimentologiche e geognostiche sono state eseguite dalla Società Geonautics tra novembre 2022 e fine marzo 2023.

Nell'ambito della progettazione dei lavori di *"Completamento delle opere di protezione della costa da Foce Verde a Capo Portiere di Latina (RM)"*, la Geonautics S.r.l. ha svolto una campagna di acquisizione dati topo-morfo-batimetrici; sismo-acustici e campionamenti di sedimenti, finalizzati alla caratterizzazione sedimentologica e delle biocenosi bentoniche presenti nel suddetto tratto di litorale ricadente nel Comune di Latina. Oltre alle attività di in campo di acquisizione dati, la Geonautics srl si è occupata anche della elaborazione degli stessi finalizzata alla restituzione delle cartografie del rilievo morfologico di dettaglio dell'area individuata e alla mappatura delle biocenosi presenti.

Gli elaborati consegnati dalla Geonautics S.r.l. che sono sintetizzati nei seguenti capitoli, sono qui elencati:

- C2121LT-A-PD-GEN-B-R-0501 – *Rilievi Topobatimetrici;*
- C2121LT-A-PD-GEN-B-R-0501 – *Rilievo con Side Scan Sonar;*
- C2121LT-A-PD-GEN-B-R-0501 – *Rilievo Magnetometrico;*
- C2121LT-A-PD-GEN-B-R-0501 – *Rilievo sismostratigrafico con Sistema Sub Bottom Prolifer;*
- C2121LT-A-PD-GEN-B-R-0501 – *Indagine Sedimentologica e Mineralogica.*



La planimetria delle aree di rilievo planotopografico, batimetrico, magnetometrico e side-scan sonar sono mostrate in Figura 22, mentre i punti di campionamento per le indagini sedimentologiche/mineralogiche e delle comunità bentoniche rispettivamente nella Figura 23 e Figura 24.



Figura 22 - In evidenza l'area di indagine. Il poligono in giallo evidenzia l'area delle indagini batimetriche e morfologiche, il rettangolo in nero l'area da investigare per fini archeologici.



Figura 23 - Planimetria di campionamento dei sedimenti sulla spiaggia emersa e sommersa del litorale indagato.



Figura 24 – Planimetria dei punti di campionamento dei sedimenti per la raccolta e lo studio delle comunità bentoniche del litorale indagato.

10.1 Rilievo topobatimetrico

I dati topo-batimetrici elaborati hanno restituito una nuvola di punti in file xyz con maglia 1x1 m, la quale è stata utilizzata per la generazione di un modello digitale di terreno (DTM) il quale permette una dettagliata rappresentazione della morfologia delle parti emerse e sommerse. In ambiente GIS, il DTM è stato elaborato al fine di ottenere profili topografici e le batimetrie.

10.1.1 Rilievo magnetometrico

L'indagine magnetometrica ha lo scopo di misurare il campo magnetico terrestre in superficie ed individuare anomalie di tale campo, legate alla presenza di minerali ferromagnetici o oggetti con campo magnetico residuo termico o magnetismo indotto. Dalle informazioni ricavate dalle variazioni nel campo magnetico è possibile risalire alle strutture che hanno generato le variazioni stesse.

La carta magnetometrica mostra forti anomalie magnetiche in corrispondenza di numerosi gavitelli collegati a corpi di ormeggio in ca (presenza di ferri di armatura e ganci di accoppiamento dei corpi morti usati per delimitare le aree demaniali date in concessione agli stabilimenti balneari).

10.1.2 Rilievo Side Scan Sonar

Il rilievo side Scan Sonar è stato eseguito al fine di eseguire una mappatura del fondale, individuare le biocenosi e individuare eventuali target antropici. Il risultato del rilievo SSS è stato integrato con i risultati delle analisi delle comunità bentoniche al fine di definire in dettaglio in ambiente GIS le differenti tipologie di substrato per elaborare la carta delle biocenosi marine.

Il rilievo ha permesso di individuare i substrati mobili sabbiosi, caratterizzati dai classici *ripple marks* variamente distribuiti tra le chiazze di substrato roccioso sulle quali è stata rilevata la presenza di *Cymodocea nodosa*.

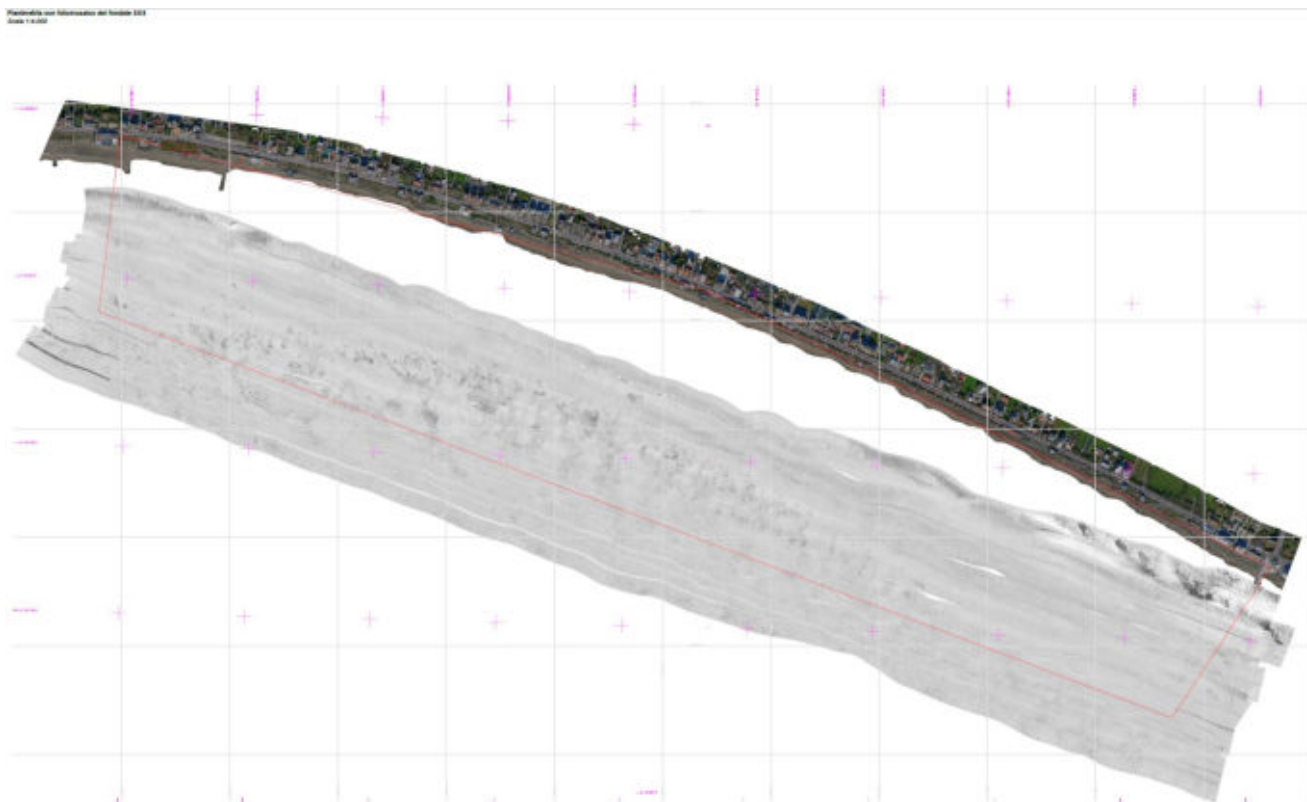


Figura 25- Carta del rilievo Side Scan Sonar

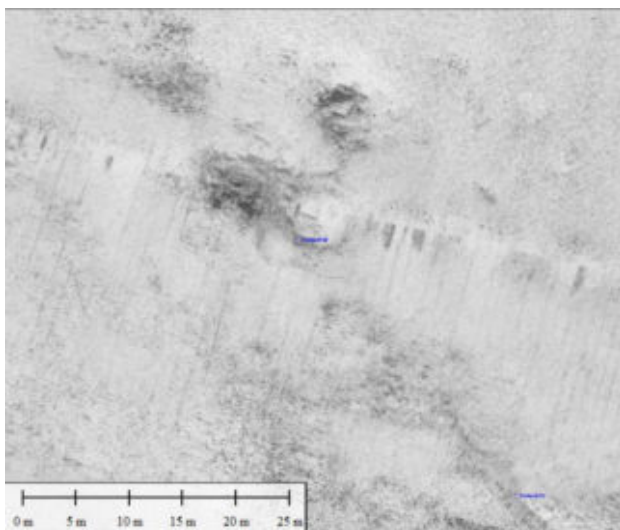


Figura 26 – Macchia a Cymodocea Nodosa

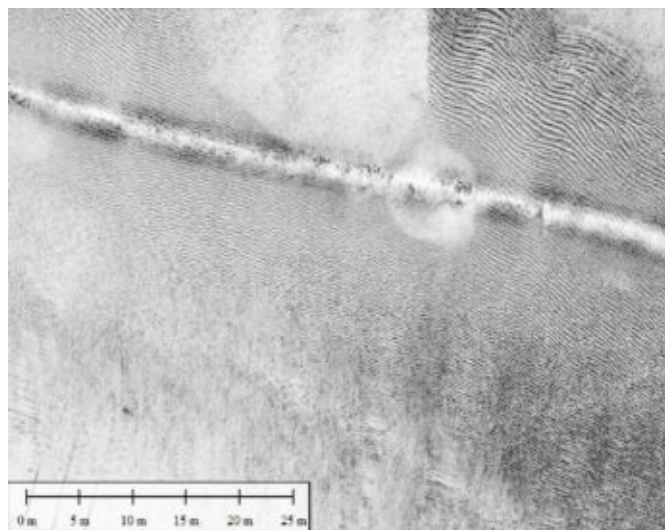


Figura 27 – Substrati sabbiosi mobili caratterizzati dai classici ripple marks.

La correlazione con le analisi delle biocenosi ha permesso di individuare la biocenosi delle sabbie fini ben classate in associazione con la facies a *Cymodocea nodosa*.

10.1.3 Rilievo Sub Bottom Profiler

L'esecuzione dei rilievi sismo-acustici a mezzo sistema Sub Bottom profiler ha permesso di ricostruire in modo accurato la stratigrafia dell'area indagata. Questa indagine, grazie anche all'integrazione con i dati bibliografici e i dati prodotti dalla caratterizzazione sedimentologica e mineralogica eseguite, ha permesso di affinare e tarare al meglio il dato geofisico indiretto.

Dal punto di vista geologico, l'asset riscontrato, presenta una coltre sedimentaria costituita nella porzione superficiale da sabbie e limi con componente feldispatica che poggia in discordanza (drappeggio) su una copertura di probabile sabbia compatta che rappresenta di fatto il substrato acustico. Riconoscibili molto bene all'interno della compagine sedimentaria, geometrie associabili a paleo-canali (Figura 28) riempiti da sedimenti con geometrie sigmoidali tipiche di ambienti soggetti alle variazioni eustatiche del livello del mare registrate nel Quaternario.

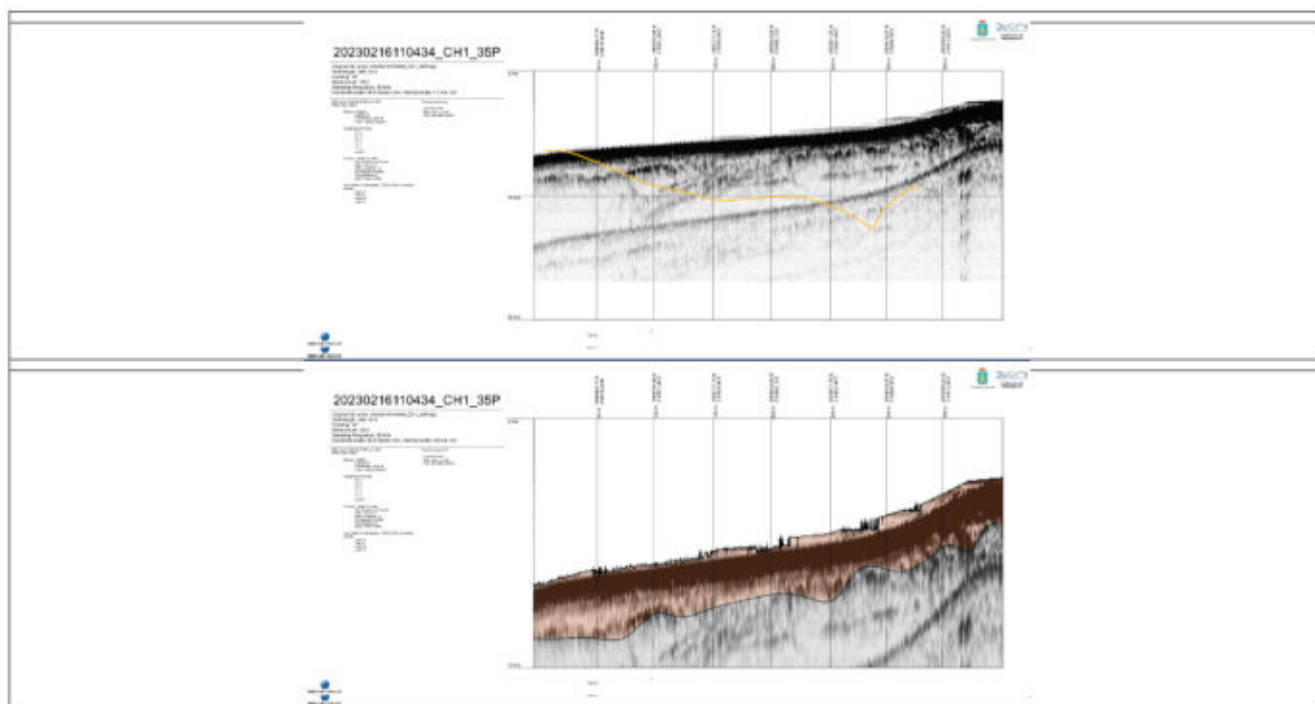


Figura 28 - Presenza di una intercalazione a maggiore competenza che porta ad avere un riflettore ad alta ampiezza e buona continuità laterale associabile ad un probabile paleo-alveo fluviale.

Al fine di comprendere meglio gli spessori e la stratificazione superficiale dei depositi dell'area investigata, si riconoscono nel dettaglio:

- I depositi superficiali rappresentati dal pacco di sedimenti aventi spessore di circa 2 m. (Figura 30) La copertura sedimentaria superficiale è rappresentata dall'alternanza di sabbie e limi che poggiano in discordanza angolare (Figura 29) sui sottostanti depositi di sabbie compatte. Fra le due litologie è riconoscibile chiaramente una superficie di troncatura erosiva.
- Substrato acustico costituito dalla presenza di sabbie compatte che hanno ostacolato la penetrazione dell'energia acustica producendo una riflessione multipla del fondomare.

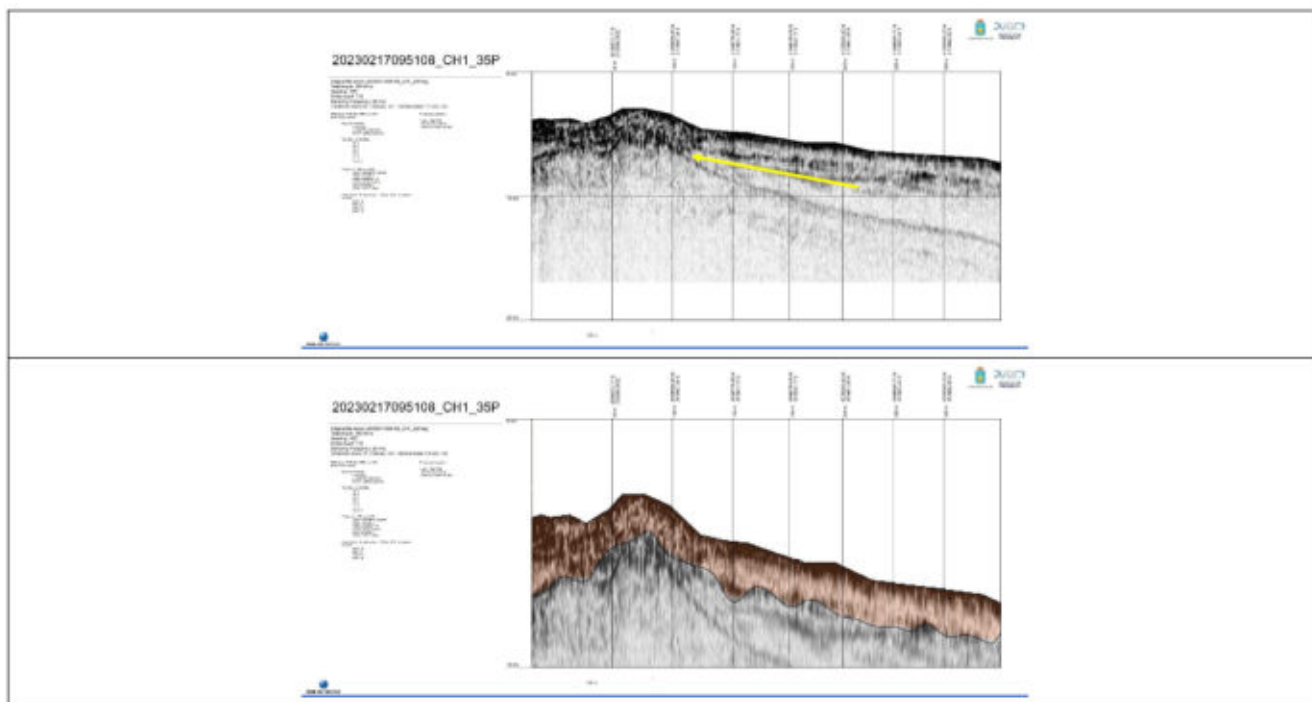


Figura 29 – Geometria di chiusura in Onlap dei sedimenti sabbiosi sciolti verso la linea di costa (freccia in giallo).

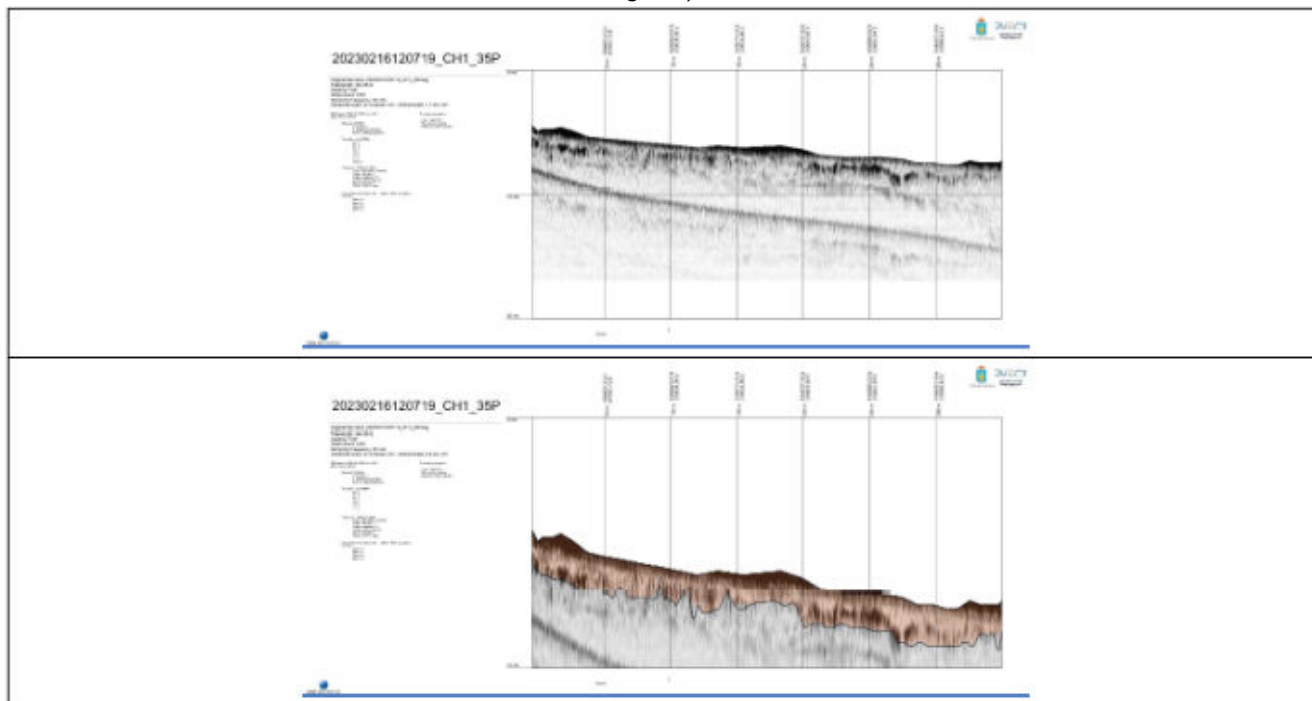


Figura 30 – Copertura dell'alternanza di sabbie e limi di spessore 2 metri su substrato di sabbie compatte.



10.1.4 Caratterizzazione e studio sulle biocenosi bentoniche

Il campionamento e l'analisi delle comunità bentoniche è stato condotto seguendo la "Scheda metodologica per il campionamento e l'analisi del macrobenthos di fondi mobili" pubblicata da ISPRA. I macroinvertebrati Bentonici (invertebrati con dimensioni maggiori di 0.5 mm che vivono a contatto con il fondale) rappresentano una componente importante della biodiversità e occupano un ruolo chiave nel funzionamento degli ecosistemi acquatici marini.

I campionamenti sono stati eseguiti in triplice replica su 4 stazioni di campionamento per un totale di 12 campioni di fondo mobile (Figura 24).

Complessivamente nell'area di indagine sono stati raccolti e determinati 568 individui appartenenti a 65 diverse specie. In Figura 31 è riportato il numero di individui (N) e il numero di specie (S) riscontrato in ogni stazione di campionamento dell'area di indagine.

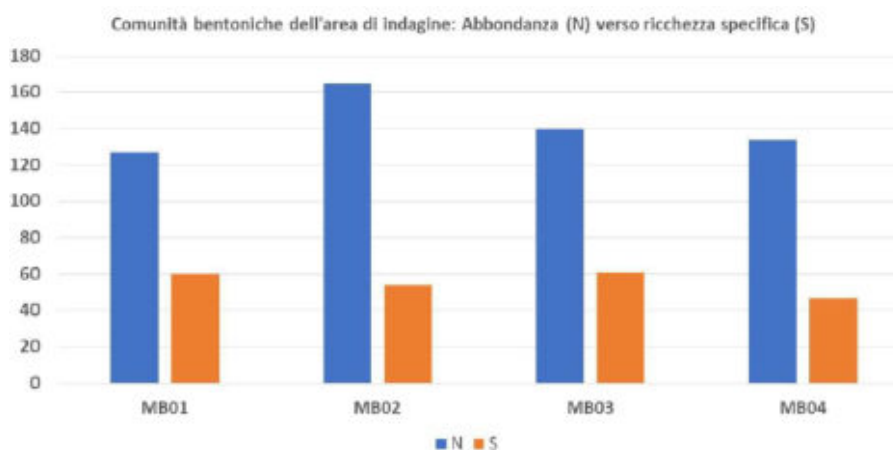


Figura 31 – Comunità bentoniche dell'area d'indagine.

Considerando i valori di abbondanza all'interno di ciascuna stazione, i gruppi sistematici più rappresentati sono stati quelli dei Molluschi, degli Anellidi.

In tutta l'area di indagine questi taxa rappresentano circa l'80% del popolamento, seguiti, con percentuali molto più basse, dal taxon dei crostacei e dagli echinodermi. Solo per la stazione MB02 è stato maggiore al 50% il contributo della classe "altri taxa" costituito esclusivamente dalla specie *Phoronis cf. psammophila* (Cori, 1889) come unico rappresentante.

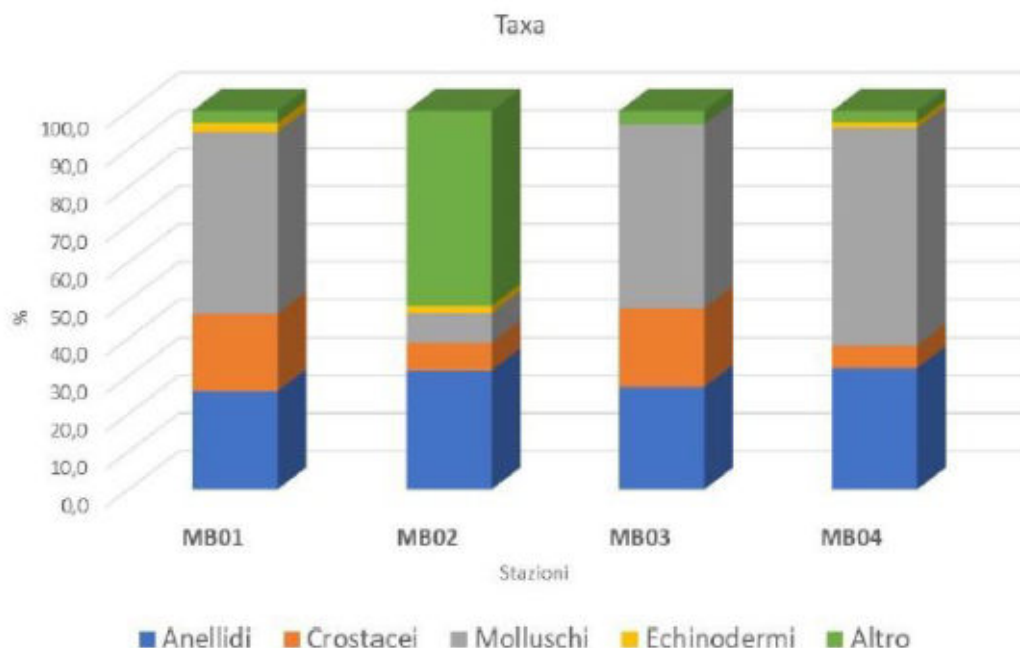


Figura 32 – Distribuzione percentuale dei Taxa nelle singole stazioni di campionamento.

L'area di indagine, per le caratteristiche morfologiche intrinseche e peculiari del sito, presenta varie tipologie di substrato che si riflettono nella variabilità specifica riscontrata complessivamente. In tutte le stazioni analizzate, il sedimento riscontrato è prevalentemente sabbioso. In queste stazioni è stata riscontrata la presenza sporadica di *Cymodocea nodosa* e le specie bentoniche riscontrate e analizzate risultano infatti prevalentemente riconducibili alla biocenosi delle sabbie fini ben classate (SFBC) con specie caratteristiche come *Scoloplops typicus*, *Sigalion mathildae*, *Nephtys hombergii* e sabbie Fine/Grossolane sotto l'effetto di correnti di fondo (SGCF) con *Phylophorida* tra gli anellidi, *Neverita josephina*, *Moerella pulchella*, *Donax venustus*, *Chamelea gallina* tra i molluschi e *Iphinoe* sp. e *Ampelisca brevicornis* per i crostacei.

Dall'analisi dell'AMBI si evidenzia, che nel suo complesso l'area di indagine si colloca ad un livello di disturbo ambientale "indisturbato" ad eccezione della stazione MB02 che rientra nel livello "leggermente disturbato".

Tale condizione si verifica a causa della presenza di specie prevalenti appartenenti al gruppo ecologico II (indifferent to pollution) ed in varia misura ai gruppi ecologici I (sensitive to pollution) e III (tolerant to organic pollution) e IV, con valori medi di indice AMBI inferiori a 2.



Stazione	Gruppi ecologici					AMBI	BI	Classificazione del disturbo
	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)			
MB-01	72	19,2	4,8	0,8	3,2	0,646	1	Indisturbato
MB-02	20,6	66,1	8,5	3	1,8	1,473	2	Leggermente disturbato
MB-03	63,1	24,1	9,9	0,7	2,1	0,821	1	Indisturbato
MB-04	65,7	18,7	11,2	2,2	2,2	0,906	1	Indisturbato

Figura 33 – Percentuale dei gruppi ecologici per valutazione dell'indice AMBI.

Valutando la struttura ecologica delle stazioni e considerando anche la diversità specifica delle stazioni analizzate (M-AMBI) i risultati confermano il buon stato ecologico complessivo dell'area con valori che rientrano nel livello di giudizio "elevato" per tutte le stazioni.

Con riferimento alle indagini per la caratterizzazione delle biocenosi presenti e l'individuazione di eventuali recettori sensibili nell'area di indagine, si riporta che il substrato sabbioso caratterizza esclusivamente la presenza della biocenosi delle sabbie fine ben classate con la presenza localizzata della *facies* a *Cymodocea nodosa*: unica fanerogama marina individuata. Tuttavia, non è stato riscontrato un prato denso e rigoglioso ma più che altro chiazze sparse che rappresentano comunque per le caratteristiche intrinseche della specie, una componente di grande importanza sulla quale dovrà essere posta particolare attenzione durante le fasi di monitoraggio.

La *Cymonodocea Nodosa* è una specie pioniera e può inserirsi nella serie evolutiva dei Posidonieti ed è inserita nell'allegato II del Protocollo SPA/BIO della Convenzione di Barcellona e nell'allegato I della Convenzione di Berna.

- Liste rosse IUCN (2010), stato di conservazione: Least Concern.

La popolazione è sottoposta a notevoli pressioni per la forte antropizzazione delle coste.

L'antropizzazione delle coste è una delle minacce determinando un'eccessiva sedimentazione; altra minaccia che porta alla regressione della specie è la presenza di specie invasive quali *Caulerpa taxifolia*.

10.1.5 Analisi sedimentologiche e mineralogiche

L'analisi granulometrica eseguita presso i laboratori del Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare (DiSTeM) dell'università degli Studi di Palermo ha sostanzialmente confermato le osservazioni macroscopiche. Nel complesso i campioni risultano composti prevalentemente da sabbie medio/fini. Frazioni più grossolane nel range delle sabbie grossolane/ghiaie sono state trovate solo sporadicamente nei campioni prelevati vicino alla linea di costa, mentre le frazioni più siltose nei campioni più distanti dalla linea di costa (Figura 34); questa variazione è coerente con una distinzione di ambienti ad alta (con sedimenti a granulometria maggiore) e bassa energia (con sedimenti a granulometria più fine).



Campione	Ghiaia (>2mm)	Sabbia grossolana (2mm ÷ 500µm)	Sabbia medio/fine (500µm ÷ 63µm)	Silt (<63µm)	Campione	Ghiaia (>2mm)	Sabbia grossolana (2mm ÷ 500µm)	Sabbia medio/fine (500µm ÷ 63µm)	Silt (<63µm)
	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)
TR1_M1	3,6	16,3	79,8	0,3	TR6_M16	0,0	3,8	96,1	0,1
TR1_M2	20,5	15,2	64,2	0,2	TR6_M17	0,0	0,1	99,6	0,3
TR1_M3	2,3	0,5	96,8	0,5	TR6_M18	0,0	0,2	99,7	0,1
TR1S1 -3,5	0,5	1,1	97,1	1,3	TR6M6 -3,5	0,0	0,0	98,7	1,3
TR1S1 -4,5	0,1	2,3	96,4	1,2	TR6S6 -4,5	0,0	0,1	98,4	1,5
TR1S1 -8,5	0,0	0,6	98,2	1,2	TR6S6 -8,5	0,0	0,2	96,1	3,7
TR2_M4	9,2	1,4	89,2	0,2	TR7_M19	0,9	27,6	71,4	0,1
TR2_M5	7,1	7,8	85,1	0,0	TR7_M20	0,0	2,2	97,5	0,2
TR2_M6	1,6	0,6	97,4	0,5	TR7_M21	0,3	1,8	97,6	0,3
TR2S2 -3,5	1,1	1,1	95,8	1,9	TR7S7 -3,5	0,7	0,3	96,1	2,9
TR2S2 -4,5	0,1	0,8	97,9	1,1	TR7S7 -4,5	0,0	0,1	97,7	2,1
TR2S2 -8,5	0,1	0,6	96,4	2,9	TR7S7 -8,5	0,0	0,1	98,2	1,7
TR3_M7	0,0	1,8	97,8	0,4	TR8_M22	0,1	19,0	80,4	0,5
TR3_M8	0,0	0,6	99,2	0,1	TR8_M23	0,0	0,2	99,7	0,2
TR3_M9	0,0	0,0	100,0	0,0	TR8_M24	2,5	7,9	89,2	0,4
TR3S3 -3,5	2,0	6,3	90,6	1,1	TR8S8 -3,5	0,0	0,1	98,0	1,9
TR3S3 -4,5	0,0	0,2	98,4	1,5	TR8S8 -4,5	0,0	0,1	97,8	2,2
TR3S3 -8,5	0,0	0,4	98,2	1,4	TR8S8 -8,5	0,0	0,2	92,7	7,1
TR4_M10	4,1	13,2	82,1	0,6	TR9_M25	0,0	0,1	99,6	0,2
TR4_M11	0,0	0,5	99,3	0,2	TR9_M26	5,7	36,6	57,4	0,3
TR4_M12	0,0	0,2	99,7	0,1	TR9_M27	0,0	0,3	99,6	0,1
TR4S4 -3,5	0,8	4,3	94,4	0,5	TR9S9 -3,5	0,0	0,4	97,4	2,2
TR4S4 -4,5	0,0	0,2	98,6	1,1	TR9S9 -4,5	0,4	0,4	96,0	3,3
TR4S4 -8,5	0,1	0,7	98,5	0,7	TR9S9 -8,5	0,0	0,1	88,2	11,6
TR5_M13	0,0	13,2	86,6	0,1	TR10_M28	1,3	23,6	74,9	0,2
TR5_M14	0,0	0,2	99,5	0,3	TR10_M29	11,8	28,9	59,0	0,3
TR5_M15	0,0	0,1	99,7	0,2	TR10_M30	0,0	0,8	99,1	0,2
TR5S5 -3,5	0,0	0,0	99,0	1,0	TR10S10 -3,5	0,2	0,2	94,2	5,4
TR5S5 -4,5	0,1	0,0	98,6	1,3	TR10S10 -4,5	0,3	0,2	93,2	6,3
TR5S5 -8,5	0,0	0,1	97,9	1,9	TR10S10 -8,5	0,0	0,1	92,6	7,2

Figura 34 – Abbondanze percentuali delle varie frazioni granulometriche nei campioni di sedimento.

L'analisi della densità media dei sedimenti è di 2,92 g/cm³, coerente con la densità media dei costituenti individuata dalle analisi diffrattometriche.

11 STUDIO METEOMARINO

11.1 Regime dei venti

Per la definizione del regime di vento della fascia costiera in esame è stata utilizzata la serie oraria dei dati anemometrici, alla quota di +10 m sul l.m.m., ricostruiti al largo di Capo d'Anzio e il promontorio del Circeo dal DICCA, che coprono il periodo storico 1979 – 2019.

I campi di vento sono stati ottenuti utilizzando il modello non idrostatico in mesoscala WRF-ARW versione 3.3.1 (Skamarock et al., 2008).

Un unico dominio computazionale è stato implementato per il modello WRF, coprendo l'intero Mediterraneo con una griglia conforme alla Lambert di circa 10 km.

Le condizioni iniziali e al contorno per le simulazioni atmosferiche con il modello WRF sono state fornite dalla banca dati CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) (Saha et al., 2010).

11.1.1 Regime de venti al largo dell'unità fisiografica sulla base dei dati DICCA

Per analizzare il regime dei venti a largo di Capo Anzio e Capo Circeo, le serie storiche dei dati di vento ricostruite sono state suddivise in classi di direzione e velocità del vento (Figura 37 e Figura 38).



Per il punto DICCA_P001 al largo di Capo d'Anzio in termini di frequenza di accadimento i venti regnanti (più frequenti) provengono dal settore di levante - scirocco e di ponente.

Le calme (stati di vento con velocità inferiore a 2 m/s) di scarso interesse ai fini della generazione di moto ondoso, si verificano con una frequenza pari all'12.1 %.

I venti dominanti (più intensi), con una velocità del vento superiore a 16 m/s, si verificano in media poche ore l'anno (35 ore/anno) e provengono prevalentemente dai settori di levante - scirocco.

Dal punto di vista stagionale della distribuzione dei venti (Figura 35) si osserva una marcata differenza tra il regime di vento primaverile – estivo, contraddistinto da prevalenza di venti da ponente - maestrale, e il regime di venti autunnale – invernale, contraddistinto da venti provenienti dal settore di scirocco.

Per il punto DICCA_P002 al largo di Capo Circeo in termini di frequenza di accadimento i venti regnanti (più frequenti) provengono dal settore di levante/scirocco e di ponente/maestrale.

Le calme (stati di vento con velocità inferiore a 2 m/s) di scarso interesse ai fini della generazione di moto ondoso, si verificano con una frequenza pari all'9.8 %.

I venti dominanti (più intensi), con una velocità del vento superiore a 16 m/s, si verificano in media poche ore l'anno (38 ore/anno) e provengono prevalentemente dai settori di levante e di libeccio.

Dal punto di vista stagionale della distribuzione dei venti (Figura 38) si osserva che i regimi di vento primaverile ed estivo sono contraddistinti da prevalenza di venti da scirocco e da maestrale, il regime dei venti invernale è contraddistinto da venti provenienti da scirocco e il regime dei venti autunnale presenta una marcata differenza dagli altri, essendo contraddistinto da venti provenienti dai settori di libeccio e maestrale.

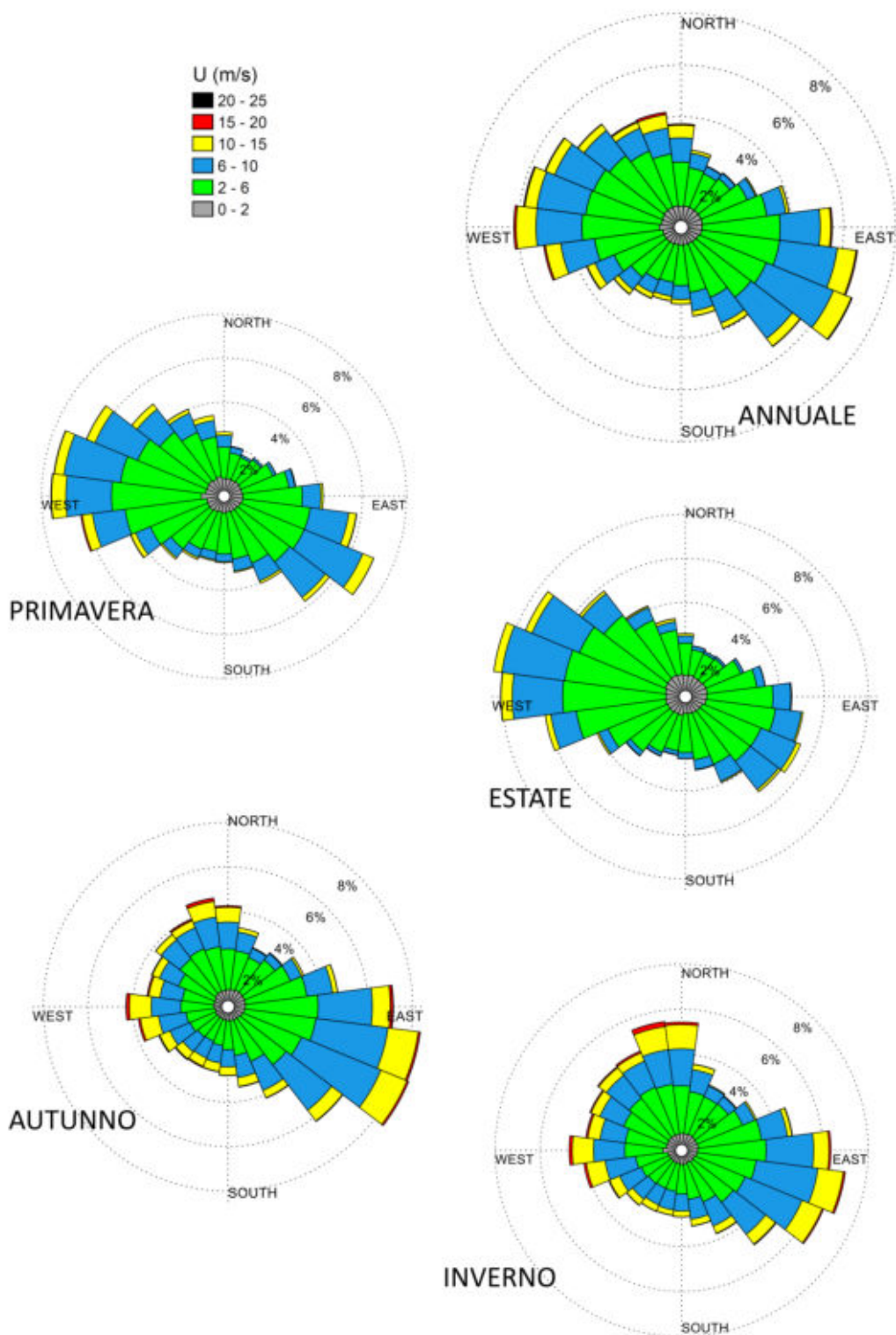


Figura 35 - Distribuzione direzionale dei venti ricostruiti al largo di Capo d'Anzio dal DICCA su base annuale e stagionale (periodo 1979 – 2019)

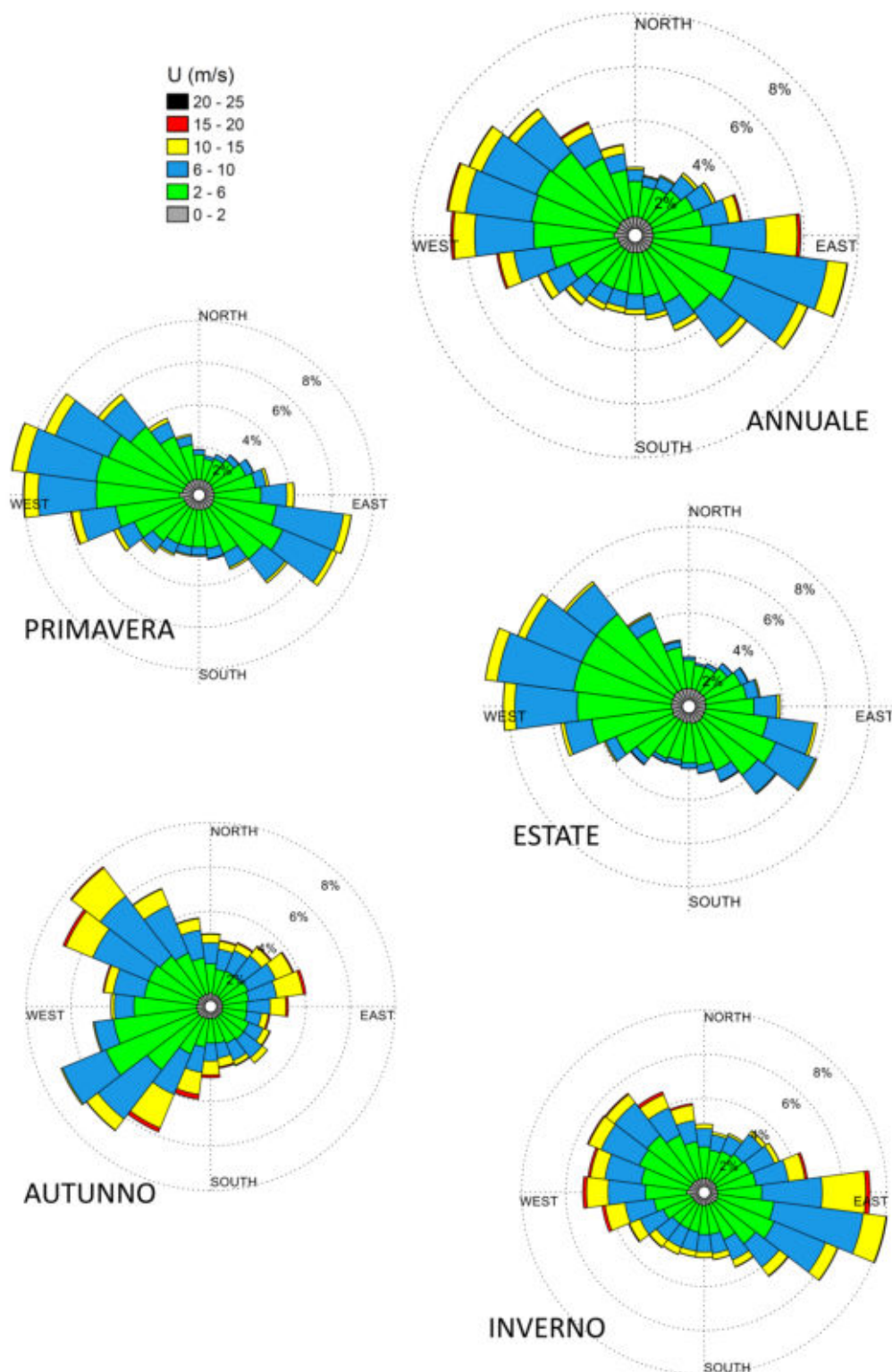


Figura 36 - Distribuzione direzionale dei venti ricostruiti al largo di Capo Circeo dal DICCA su base annuale e stagionale (periodo 1979 – 2019)



DIR (°N)	U 10 (m/s)												Freq. %	≥ 2.00
	calme	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	> 20		
0 - 15	0.097	0.323	0.944	0.549	0.322	0.217	0.106	0.048	0.020	0.003	0.001	-	2.63	2.21
15 - 30	0.094	0.312	0.956	0.528	0.347	0.188	0.126	0.057	0.024	0.005	0.001	-	2.64	2.23
30 - 45	0.097	0.325	1.005	0.566	0.355	0.213	0.125	0.062	0.022	0.005	0.001	0.001	2.78	2.35
45 - 60	0.101	0.346	1.164	0.714	0.407	0.275	0.164	0.068	0.027	0.011	0.002	0.001	3.28	2.83
60 - 75	0.097	0.342	1.319	1.041	0.601	0.415	0.267	0.132	0.052	0.021	0.004	0.000	4.29	3.85
75 - 90	0.108	0.354	1.441	1.411	0.975	0.580	0.416	0.271	0.111	0.031	0.005	0.001	5.70	5.24
90 - 105	0.213	0.369	1.460	1.517	1.245	0.664	0.375	0.207	0.082	0.028	0.006	0.003	6.17	5.59
105 - 120	0.108	0.411	1.477	1.465	1.160	0.629	0.266	0.101	0.037	0.015	0.004	0.001	5.67	5.15
120 - 135	0.116	0.427	1.491	1.304	0.949	0.480	0.246	0.094	0.026	0.010	0.002	0.000	5.14	4.60
135 - 150	0.109	0.459	1.406	1.076	0.697	0.352	0.159	0.060	0.020	0.013	0.005	0.002	4.36	3.79
150 - 165	0.102	0.459	1.255	0.932	0.628	0.327	0.197	0.115	0.073	0.031	0.012	0.004	4.13	3.57
165 - 180	0.117	0.430	1.126	0.726	0.569	0.417	0.329	0.211	0.097	0.038	0.007	0.001	4.07	3.52
180 - 195	0.132	0.445	0.984	0.593	0.472	0.325	0.190	0.085	0.025	0.007	0.001	-	3.26	2.68
195 - 210	0.120	0.434	0.944	0.490	0.281	0.125	0.034	0.009	0.004	0.000	-	-	2.44	1.89
210 - 225	0.116	0.448	1.004	0.441	0.185	0.053	0.018	0.004	0.001	-	-	-	2.27	1.70
225 - 240	0.123	0.437	1.177	0.555	0.216	0.070	0.022	0.008	0.001	0.001	-	-	2.61	2.05
240 - 255	0.125	0.446	1.336	0.850	0.365	0.140	0.048	0.023	0.007	0.001	0.001	0.000	3.34	2.77
255 - 270	0.116	0.438	1.475	1.313	0.795	0.306	0.147	0.066	0.029	0.013	0.003	0.001	4.70	4.15
270 - 285	0.121	0.417	1.513	1.562	1.256	0.660	0.359	0.190	0.070	0.027	0.006	0.006	6.19	5.65
285 - 300	0.108	0.398	1.350	1.559	1.521	1.071	0.556	0.194	0.068	0.018	0.005	0.001	6.85	6.34
300 - 315	0.094	0.360	1.222	1.533	1.559	1.001	0.408	0.135	0.037	0.008	0.004	-	6.36	5.91
315 - 330	0.095	0.331	1.218	1.322	0.980	0.484	0.171	0.073	0.018	0.006	0.001	0.001	4.70	4.27
330 - 345	0.090	0.318	1.136	0.888	0.586	0.284	0.137	0.060	0.020	0.004	0.000	-	3.52	3.11
345 - 360	0.096	0.320	1.028	0.662	0.377	0.215	0.117	0.054	0.016	0.003	0.001	-	2.89	2.47
Tot. %	2.69	9.35	29.43	23.60	16.85	9.49	4.98	2.33	0.89	0.30	0.07	0.02	100.00	87.96
Tot. Cumulato %	12.04	41.47	65.07	81.92	91.41	96.39	98.72	99.60	99.90	99.98	100.00			

Figura 37 - Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti al largo di Anzio (hindcasting DICCA periodo 1979-2019)

DIR (°N)	U 10 (m/s)												Freq. %	≥ 2.00
	calme	1.00 2.00	2.00 4.00	4.00 6.00	6.00 8.00	8.00 10.00	10.00 12.00	12.00 14.00	14.00 16.00	16.00 18.00	18.00 20.00	> 20		
0 - 15	0.092	0.296	0.916	0.605	0.350	0.200	0.124	0.058	0.027	0.004	0.001	0.000	2.67	2.28
15 - 30	0.086	0.279	0.905	0.577	0.393	0.213	0.136	0.065	0.025	0.004	-	-	2.68	2.32
30 - 45	0.082	0.285	0.921	0.629	0.398	0.262	0.152	0.076	0.030	0.008	0.001	0.001	2.84	2.48
45 - 60	0.090	0.293	1.022	0.813	0.462	0.290	0.173	0.088	0.028	0.011	0.004	0.002	3.28	2.89
60 - 75	0.088	0.291	1.149	1.115	0.669	0.393	0.252	0.124	0.058	0.020	0.006	-	4.16	3.79
75 - 90	0.098	0.309	1.243	1.506	1.180	0.602	0.396	0.250	0.110	0.031	0.007	0.001	5.73	5.33
90 - 105	0.200	0.326	1.353	1.792	1.604	0.851	0.459	0.252	0.105	0.039	0.006	0.003	6.99	6.46
105 - 120	0.094	0.335	1.370	1.834	1.545	0.793	0.358	0.150	0.043	0.018	0.004	0.001	6.55	6.12
120 - 135	0.089	0.336	1.467	1.825	1.361	0.648	0.264	0.121	0.028	0.008	0.004	0.001	6.15	5.73
135 - 150	0.102	0.346	1.401	1.484	0.895	0.437	0.217	0.097	0.044	0.019	0.008	0.004	5.05	4.61
150 - 165	0.092	0.333	1.140	0.885	0.504	0.285	0.201	0.133	0.076	0.027	0.005	0.001	3.68	3.26
165 - 180	0.099	0.324	0.936	0.557	0.323	0.178	0.133	0.056	0.013	0.001	0.000	-	2.62	2.20
180 - 195	0.099	0.329	0.802	0.426	0.253	0.130	0.044	0.012	0.004	0.000	-	-	2.10	1.67
195 - 210	0.095	0.311	0.759	0.407	0.255	0.121	0.038	0.010	0.003	-	-	-	2.00	1.59
210 - 225	0.097	0.297	0.833	0.510	0.361	0.178	0.069	0.024	0.008	0.002	-	-	2.38	1.98
225 - 240	0.097	0.306	0.884	0.707	0.494	0.231	0.094	0.032	0.010	0.004	0.001	-	2.86	2.46
240 - 255	0.101	0.312	0.949	0.832	0.546	0.245	0.127	0.075	0.035	0.014	0.007	0.004	3.25	2.83
255 - 270	0.088	0.289	0.968	0.995	0.767	0.531	0.415	0.283	0.146	0.051	0.016	0.006	4.56	4.18
270 - 285	0.090	0.311	1.100	1.379	1.674	1.345	0.740	0.310	0.085	0.026	0.008	0.005	7.07	6.67
285 - 300	0.091	0.300	1.267	1.998	2.267	1.124	0.363	0.093	0.023	0.007	0.001	-	7.53	7.14
300 - 315	0.094	0.323	1.374	1.729	1.262	0.569	0.233	0.090	0.029	0.008	0.002	0.000	5.71	5.30
315 - 330	0.096	0.305	1.270	1.175	0.746	0.342	0.152	0.069	0.023	0.006	0.002	0.001	4.18	3.78
330 - 345	0.096	0.317	1.044	0.780	0.502	0.233	0.132	0.059	0.016	0.003	0.001	-	3.18	2.77
345 - 360	0.076	0.303	0.908	0.667	0.409	0.211	0.116	0.051	0.014	0.004	0.001	-	2.76	2.38
Tot. %	2.33	7.46	25.98	25.23	19.22	10.41	5.39	2.58	0.98	0.32	0.09	0.03	100.00	90.21
Tot. Cumulato %	9.79	35.77	61.00	80.22	90.63	96.01	98.59	99.57	99.88	99.97	100.00			

Figura 38 - Frequenza di accadimento dei venti ricostruiti al largo di Capo Circeo (hindcasting DICCA periodo 1979-2019)



11.2 Analisi e validazione dei dati ondametrici

11.2.1 Caratteristiche delle serie di dati ondametrici disponibili

11.2.1.1 Dati Hincasting DICCA

Il gruppo MeteOcean del DICCA ha effettuato una ri-analisi delle condizioni atmosferiche e delle onde, producendo per l'intero bacino del Mediterraneo un database hindcast a partire dal gennaio 1979 con una risoluzione spaziale pari a 0.1° ed una risoluzione temporale pari a 1 ora. La validazione delle serie storiche ricostruite è stata condotta in maniera rigorosa ed estensiva grazie al confronto con le misure di campo disponibili (si vedano i lavori di Mentaschi et al., 2013a, b, 2015).

Per lo studio in oggetto sono stati analizzati i dati di moto ondoso relativi a due nodi di calcolo del data-base del DICCA in corrispondenza di Capo d'Anzio e del Promontorio del Circeo identificati rispettivamente con le sigle P_002741 in seguito DICCA_P001 ($41^\circ 20' 24.00''N$, $12^\circ 33' 48.24''E$) e P_002969 in seguito DICCA_P002 ($41^\circ 9' 36.00''N$, $12^\circ 56' 43.44''E$).

Questi due punti di ricostruzione degli stati di mare (definiti sulla base dei parametri caratteristici di altezza significativa H_s , periodo di picco T_p e direzione di provenienza) sono pienamente rappresentativi delle condizioni di esposizione al largo del sito in esame.

11.2.1.2 Misure dirette boa accelerometrica di Ponza

La stazione ondametrica direzionale di Ponza (dapprima del tipo Datawell directional Wavec MKI e poi del tipo TRIAXYS), appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale, è posizionata nel punto di coordinate $40^\circ 52' 0.00''N$, $12^\circ 56' 60.00''E$ su fondali di circa 90 m a Sud dell'Isola di Ponza. Il periodo di registrazione si estende dal 01/07/1989 al 31/03/2008, per un periodo complessivo di 18 anni e 6 mesi.

La boa di Ponza ha ripreso ad operare da fine dicembre 2009 fino ad agosto 2014, ma con un rendimento scarso e con ripetuti malfunzionamenti. Per tale motivo questi ultimi dati risultano poco significati ai fini di questo studio e quindi sono stati scartati.



Figura 39 - Localizzazione della stazione ondametrica RON di Ponza e dei punti di ricostruzione DICCA



In Figura 39 è riportata la localizzazione della stazione ondometrica di Ponza e dei punti di ricostruzione DICCA utilizzati per il presente studio.

I dati della boa direzionale di Ponza sono stati utilizzati per verificare e validare i dati ricostruiti dal DICCA attraverso il modello di generazione e propagazione WWIII.

11.3 Analisi del clima ondoso medio

Il fine ultimo dell'analisi del clima ondoso medio è quello di conoscere i settori angolari da cui provengono la maggior parte delle onde, ma anche per valutare da quale direzione del settore di traversia provengono gli eventi ondosi più significativi.

Il clima di moto ondoso al largo della zona di interesse è sintetizzato dalle rose ondometriche annuali di Figura 40 e Figura 41. Tali diagrammi, ottenuti utilizzando i dati dell'intera serie storica di hindcasting a meno delle calme ($H_s < 0.5$ m), riportano la distribuzione direzionale della frequenza annuale di accadimento degli stati di mare aventi altezza d'onda superiore a 0.5 m per classi di altezza:

- $0.50 \text{ m} < H_s \leq 0.75 \text{ m}$;
- $0.75 \text{ m} < H_s \leq 1.00 \text{ m}$;
- $1.00 \text{ m} < H_s \leq 2.00 \text{ m}$;
- $2.00 \text{ m} < H_s \leq 3.00 \text{ m}$;
- $3.00 \text{ m} < H_s \leq 4.00 \text{ m}$;
- $H_s > 4.00 \text{ m}$.

Per la valutazione del clima ondoso al largo, con riferimento a ciascuna delle direzioni di provenienza del moto ondoso di largo, le altezze d'onda sono state suddivise in classi e a ciascuna di esse è stata associata una persistenza media annua.

Per tutti e due i punti si può affermare che gli stati di mare più frequenti presentano generalmente altezza d'onda significativa compresa tra 0.5 e 2.0 m. Le calme (stati di mare con altezza d'onda significativa H_s inferiore a 0.5 m) si verificano in media su tutta la fascia di interesse per il 38% del tempo, pari a circa 138 giorni/anno.

Per il punto DICCA_P001 al largo di Capo d'Anzio la suddivisione degli eventi per classi di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza e la conseguente frequenza di accadimento mostra che gli stati di mare più significativi ($H_s > 0.5$ m) si presentano da libeccio (13.2 %) e da ponente (18.6 %), per una frequenza di accadimento complessiva pari al 32%. Meno frequenti risultano gli stati di mare da scirocco (11%) e da mezzogiorno (11.3%).

Gli stati di mare caratterizzati da altezza d'onda superiori a 2 m si verificano in media 587 ore l'anno. La persistenza degli stati di mare con $H_s > 3.0$ m si riduce a 130 ore/anno e solamente 27 ore anno si hanno altezze d'onda superiori a $H_s > 4.0$ m.

Per il punto DICCA_P002 al largo del promontorio del Circeo la suddivisione degli eventi per classi di altezza d'onda significativa e direzione di provenienza e la conseguente frequenza di accadimento mostra che gli stati di mare più significativi ($H_s > 0.5$ m) si presentano da libeccio



(11.4 %) e da ponente (21.5 %), per una frequenza di accadimento complessiva pari al 33%. Meno frequenti risultano gli stati di mare da scirocco (8.6 %) e da mezzogiorno (8.4 %). Gli stati di mare caratterizzati da altezza d'onda superiori a 2 m si verificano in media 533 ore l'anno. La persistenza degli stati di mare con $H_s > 3.0$ m si riduce a 113 ore/anno e solamente 23 ore anno si hanno altezze d'onda superiori a $H_s > 4.0$ m.

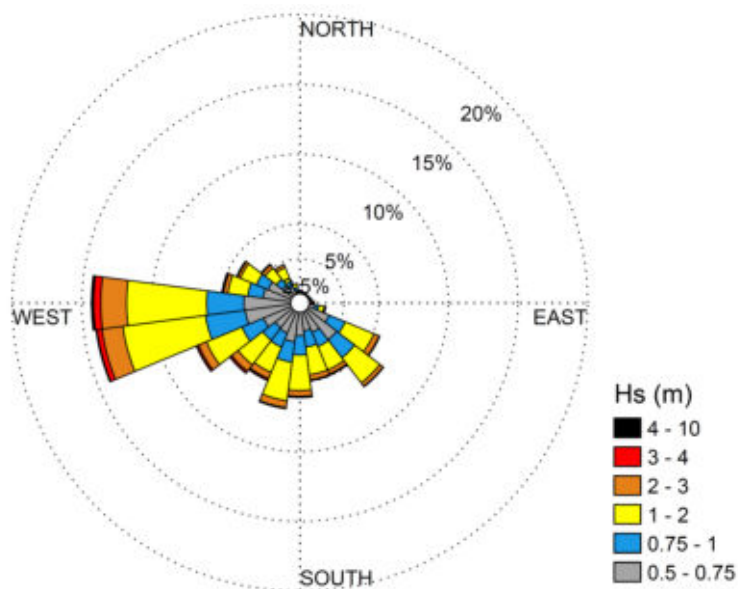


Figura 40- Rosa ondometrica ottenuta dai dati in rianalisi punto DICCA_P001 al largo di Anzio (dal 1979 al 2019)

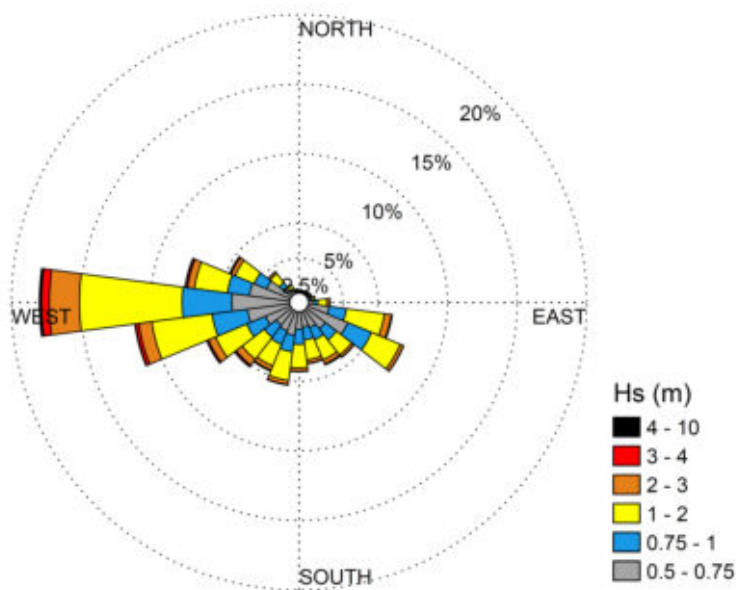




Figura 41 - Rosa ondometrica ottenuta dai dati in rianalisi punto DICCA_P002 al largo di Capo Circeo (dal 1979 al 2019)

In Figura 42 sono riportate le rose ondamentriche in corrispondenza dei rispettivi punti di hincasting. La Figura 43 e la Figura 44 riportano in forma numerica le rose ondamentriche climatiche e rappresentando le distribuzioni annuali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza ($^{\circ}N$).

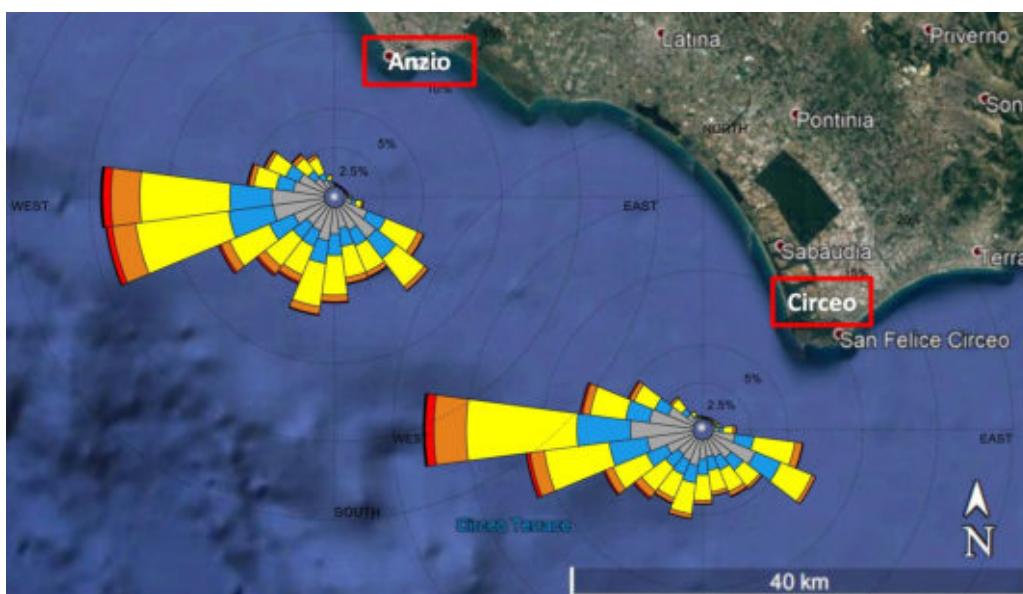


Figura 42 - Rose ondamentriche al largo di Anzio e Circeo

DIR (°N)	H _s (m)									H _s >0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 2.00	2.00 3.00	3.00 4.00	4.00 5.00	5.00 6.00	>6	
0 - 15	0.014	0.048	0.082	0.024	-	-	-	-	-	0.11
15 - 30	0.011	0.042	0.059	0.019	0.000	-	-	-	-	0.08
30 - 45	0.008	0.033	0.050	0.012	-	-	-	-	-	0.06
45 - 60	0.009	0.034	0.066	0.014	-	-	-	-	-	0.08
60 - 75	0.020	0.055	0.080	0.018	0.001	-	-	-	-	0.10
75 - 90	0.035	0.088	0.122	0.039	0.001	-	-	-	-	0.16
90 - 105	0.083	0.202	0.246	0.113	0.019	0.002	-	-	-	0.38
105 - 120	0.192	0.461	0.854	0.638	0.169	0.026	0.004	0.001	-	1.69
120 - 135	0.663	1.435	2.611	1.670	0.218	0.029	0.001	0.001	-	4.53
135 - 150	1.032	1.820	2.129	1.186	0.186	0.033	0.007	0.002	0.000	3.54
150 - 165	0.870	1.269	1.521	1.158	0.205	0.039	0.009	0.002	0.001	2.94
165 - 180	0.719	1.057	1.656	1.347	0.241	0.042	0.006	0.002	0.000	3.29
180 - 195	0.970	1.327	2.153	1.832	0.302	0.048	0.010	0.002	0.001	4.35
195 - 210	1.312	1.635	1.990	1.332	0.268	0.044	0.015	0.002	0.000	3.65
210 - 225	1.421	1.447	1.598	1.273	0.344	0.100	0.023	0.004	0.002	3.34
225 - 240	1.503	1.560	1.919	1.461	0.340	0.071	0.020	0.002	-	3.81
240 - 255	1.499	1.950	3.018	2.338	0.528	0.131	0.019	0.005	-	6.04
255 - 270	1.608	2.598	4.371	4.638	1.408	0.352	0.082	0.008	0.003	10.86
270 - 285	1.478	2.294	2.430	1.671	0.459	0.137	0.038	0.008	0.003	4.75
285 - 300	1.305	2.123	1.961	0.833	0.137	0.041	0.014	0.002	0.001	2.99
300 - 315	0.532	0.835	1.193	0.648	0.139	0.044	0.010	-	-	2.03
315 - 330	0.118	0.356	0.749	0.661	0.198	0.026	0.001	-	-	1.64
330 - 345	0.050	0.157	0.460	0.455	0.052	0.004	-	-	-	0.97
345 - 360	0.018	0.063	0.186	0.057	0.004	-	-	-	-	0.25
Tot. %	15.47	22.89	31.51	23.44	5.22	1.17	0.26	0.04	0.01	
Tot. Cumulato %		38.36	69.87	93.30	98.52	99.69	99.95	99.99	100.00	

Figura 43- Tabella climatica ottenuta dai dati in rianalisi punto DICCA_P001 al largo di Capo d'Anzio (dal 1979 al 2019).



DIR (°N)	H _s (m)									H _s >0.5
	0.00 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 2.00	2.00 3.00	3.00 4.00	4.00 5.00	5.00 6.00	>6	
0 - 15	0.020	0.051	0.098	0.037	0.003	-	-	-	-	0.14
15 - 30	0.017	0.042	0.094	0.039	0.004	-	-	-	-	0.14
30 - 45	0.020	0.048	0.117	0.049	0.004	0.000	-	-	-	0.17
45 - 60	0.025	0.056	0.130	0.063	0.006	-	-	-	-	0.20
60 - 75	0.029	0.081	0.156	0.082	0.006	-	-	-	-	0.24
75 - 90	0.052	0.122	0.269	0.165	0.042	0.005	0.001	-	-	0.48
90 - 105	0.176	0.348	0.796	0.958	0.212	0.035	0.003	0.001	-	2.00
105 - 120	0.643	1.487	2.823	1.841	0.269	0.030	0.004	0.001	-	4.97
120 - 135	0.812	1.924	2.342	0.962	0.099	0.010	-	-	-	3.41
135 - 150	0.858	1.266	1.438	0.900	0.171	0.045	0.007	0.002	0.001	2.56
150 - 165	0.658	0.843	1.294	0.926	0.187	0.025	0.005	0.001	-	2.44
165 - 180	0.509	0.846	1.347	0.927	0.133	0.020	0.001	0.001	-	2.43
180 - 195	0.618	0.974	1.592	1.217	0.165	0.027	0.003	0.001	-	3.01
195 - 210	0.984	1.298	1.776	1.136	0.176	0.025	0.004	0.001	-	3.12
210 - 225	1.132	1.314	1.489	1.080	0.255	0.059	0.014	0.003	0.001	2.90
225 - 240	1.284	1.411	1.733	1.349	0.356	0.075	0.020	0.003	0.001	3.54
240 - 255	1.444	1.808	2.689	1.786	0.398	0.094	0.019	0.004	-	4.99
255 - 270	1.699	2.681	4.354	4.102	1.038	0.244	0.051	0.006	0.001	9.80
270 - 285	1.804	3.164	3.848	3.000	0.840	0.240	0.062	0.010	0.005	8.01
285 - 300	1.415	2.403	2.301	1.051	0.213	0.053	0.016	0.003	0.001	3.64
300 - 315	0.550	0.917	1.164	0.738	0.162	0.042	0.004	-	-	2.11
315 - 330	0.166	0.267	0.401	0.317	0.041	0.000	-	-	-	0.76
330 - 345	0.055	0.120	0.169	0.072	0.004	-	-	-	-	0.25
345 - 360	0.029	0.076	0.118	0.040	0.004	-	-	-	-	0.16
Tot. %	15.00	23.55	32.54	22.84	4.79	1.03	0.21	0.04	0.01	
Tot. Cumulato %		38.55	71.08	93.92	98.71	99.74	99.95	99.99	100.00	

Figura 44 - Tabella climatica ottenuta dai dati in rianalisi punto DICCA_P002 al largo di capo Circeo (dal 1979 al 2019).



Infine, la distribuzione congiunta di accadimento altezza d'onda – direzione di provenienza è stata calcolata anche su base stagionale trimestrale, secondo la convenzione internazionale:

- Inverno: gennaio, febbraio, marzo;
- Primavera: aprile, maggio, giugno;
- Estate: luglio, agosto, settembre;
- Autunno: ottobre, novembre, dicembre.

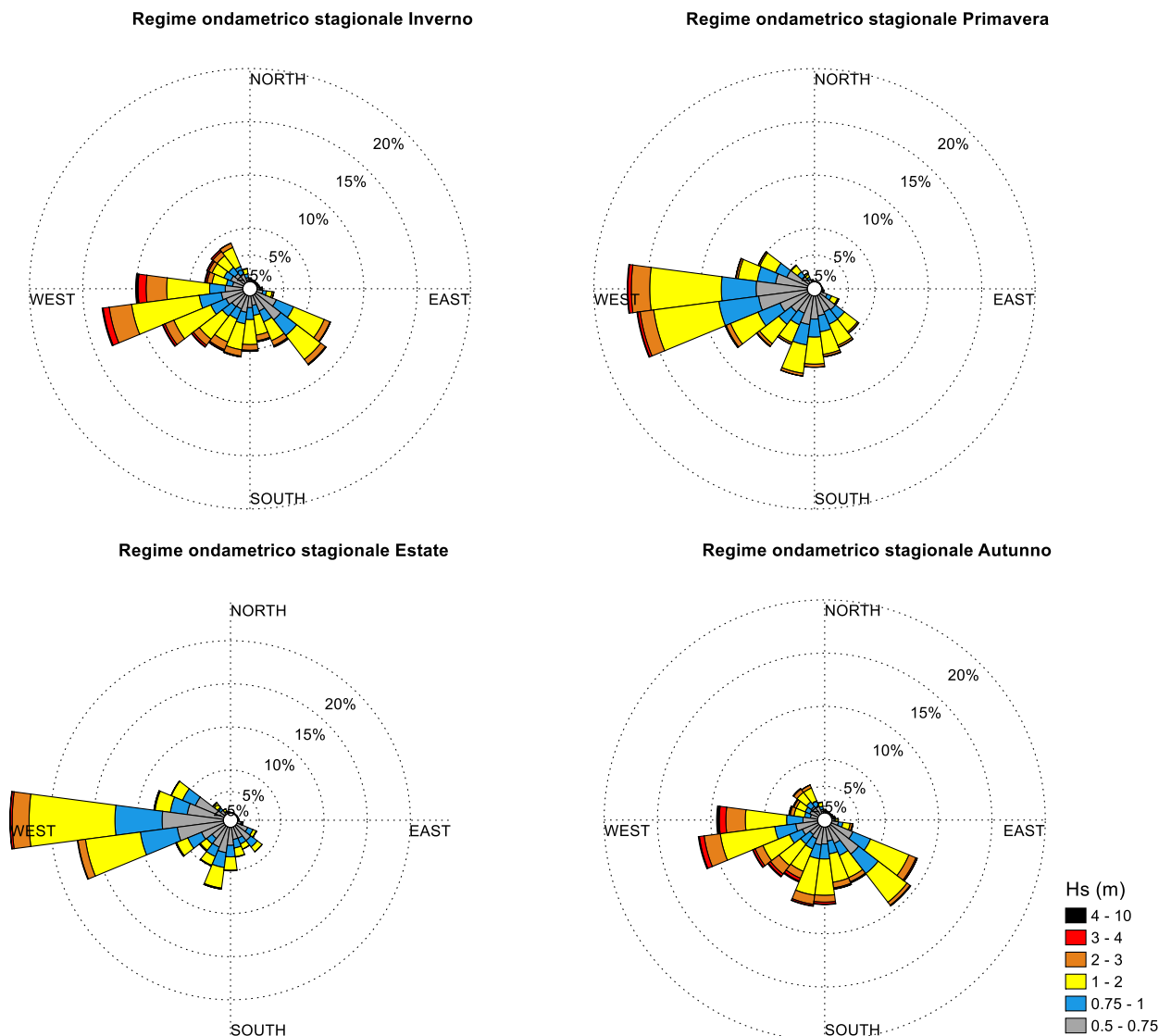


Figura 45- Rose ondametriche stagionali per il punto DICCA_P001 al largo di Anzio.

Il clima ondoso (riportato a titolo semplificativo per il solo punto DICCA_P001 al largo di Anzio in Figura 45) presenta sensibili variazioni stagionali per quanto riguarda le direzioni prevalenti del moto ondoso. Infatti, in inverno e autunno i settori direzionali prevalenti sono scirocco e ponente, mentre in primavera ed estate sono ostro e ponente. La stessa variabilità stagionale



si osserva per la distribuzione degli stati di mare "significativi" (altezze d'onda maggiori di 0.5 m).

11.3.1 Correlazione altezza d'onda – periodo d'onda

Al fine di determinare i periodi da utilizzare nella propagazione del moto ondoso nella zona di interesse, è stata individuata la correlazione tra i valori dell'altezza d'onda e dei periodi di picco, facendo riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994):

$$T_p = \alpha H_s^\beta$$

Dove i parametri α e β sono stati ottenuti mediante regressione non lineare basata sul metodo dei minimi quadrati. In Figura 46 sono riportati a titolo esemplificativo gli eventi della serie storica, diagrammati in funzione del periodo di picco T_p e dell'altezza d'onda significativa H_s , e la legge di dipendenza ottenuta (in rosso) per il punto P001 al largo di Anzio.

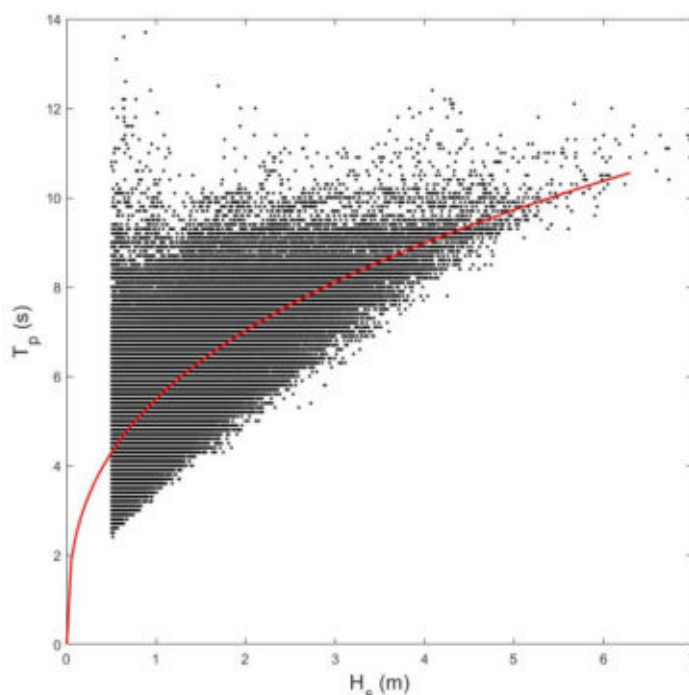


Figura 46 - Correlazione tra altezza d'onda significativa e periodo di picco.

	α	β
Anzio	5.66	0.35
Circeo	5.65	0.36

Tabella 2- Parametri α e β stimati per tutti e tre i punti di hincasting



11.3.2 Analisi statistica dei valori estremi di moto ondoso al largo

Per determinare l'onda di progetto al largo è stata eseguita un'analisi statistica dei valori estremi utilizzando come campione di dati la serie dei colmi delle mareggiate appartenenti alla serie storica di dati di moto ondoso per tutti e due i punti di hindicasting.

A tal fine è stato applicato il metodo POT, il metodo di selezione più utilizzato nell'analisi degli eventi estremi di moto ondoso, in quanto assicura l'indipendenza statistica e un'ampia numerosità di dati. Per quanto riguarda l'indipendenza, l'individuazione di ciascuna mareggiata nell'ambito della serie storica viene effettuata introducendo una soglia di altezza d'onda e considerando che il singolo evento (mareggiata) abbia inizio quando l'altezza d'onda significativa superi per la prima volta il valore della soglia prestabilito. Conseguentemente, si ipotizza che l'evento termini quando l'altezza d'onda significativa assume per la prima volta un valore inferiore a quello di soglia oppure quando si verifica un forte scarto della direzione del moto ondoso.

L'omogeneità dei dati si garantisce di solito, assumendo che gli stati di mare oggetto di analisi siano caratterizzati da una stessa genesi meteorologica. Per tale motivo si preferisce eseguire l'analisi statistica di serie tronche, ovvero condurre un'analisi statistica a lungo termine separatamente per ciascuno dei due settori direzionali individuati attraverso l'analisi del clima ondoso medio.

La scelta del valore di soglia, utilizzato nel processo di individuazione degli eventi di mareggiata, rappresenta uno degli aspetti di maggiore impatto sull'attendibilità dello studio probabilistico, poiché essa condiziona notevolmente le stime dell'altezza d'onda con assegnato tempo di ritorno. Una soglia troppo bassa, infatti, conduce ad avere molti elementi nel campione, la maggior parte dei quali non è rappresentativa di condizioni estreme. Tali circostanze determinano previsioni stabili che tendono a sovrastimare l'altezza d'onda con tempi di ritorno elevati. Al contrario, una soglia troppo alta conduce ad avere pochi elementi campionari, anche se tutti rappresentativi di condizioni estreme. Tali circostanze determinano previsioni dell'altezza d'onda fortemente variabili con la numerosità campionaria.

Nei diagrammi polari riportati in Figura 47 sono rappresentati i colmi delle mareggiate (superiori a 2.5 m di altezza significativa) per i due punti di ricostruzione.

Sulla base della distribuzione direzionale dei colmi di mareggiata sono stati individuati due settori di traversia che caratterizzano il paraggio in esame:

- Settore di traversia principale compreso tra 220°N e 320°N;
- Settore di traversia secondario compreso tra 110°N e 220°N.

Individuati i settori di traversia principali di provenienza del moto ondoso, si è proceduto applicando il metodo POT alla selezione del set di dati per l'analisi statistica.

Gli stati di mare caratterizzati da un'altezza d'onda significativa superiore alla soglia individuata sono stati, quindi, oggetto di elaborazione statistica al fine di ricavare, mediante una regolarizzazione degli eventi estremi secondo le funzioni probabilistiche indicate, le



caratteristiche del moto ondoso da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di accadimento).

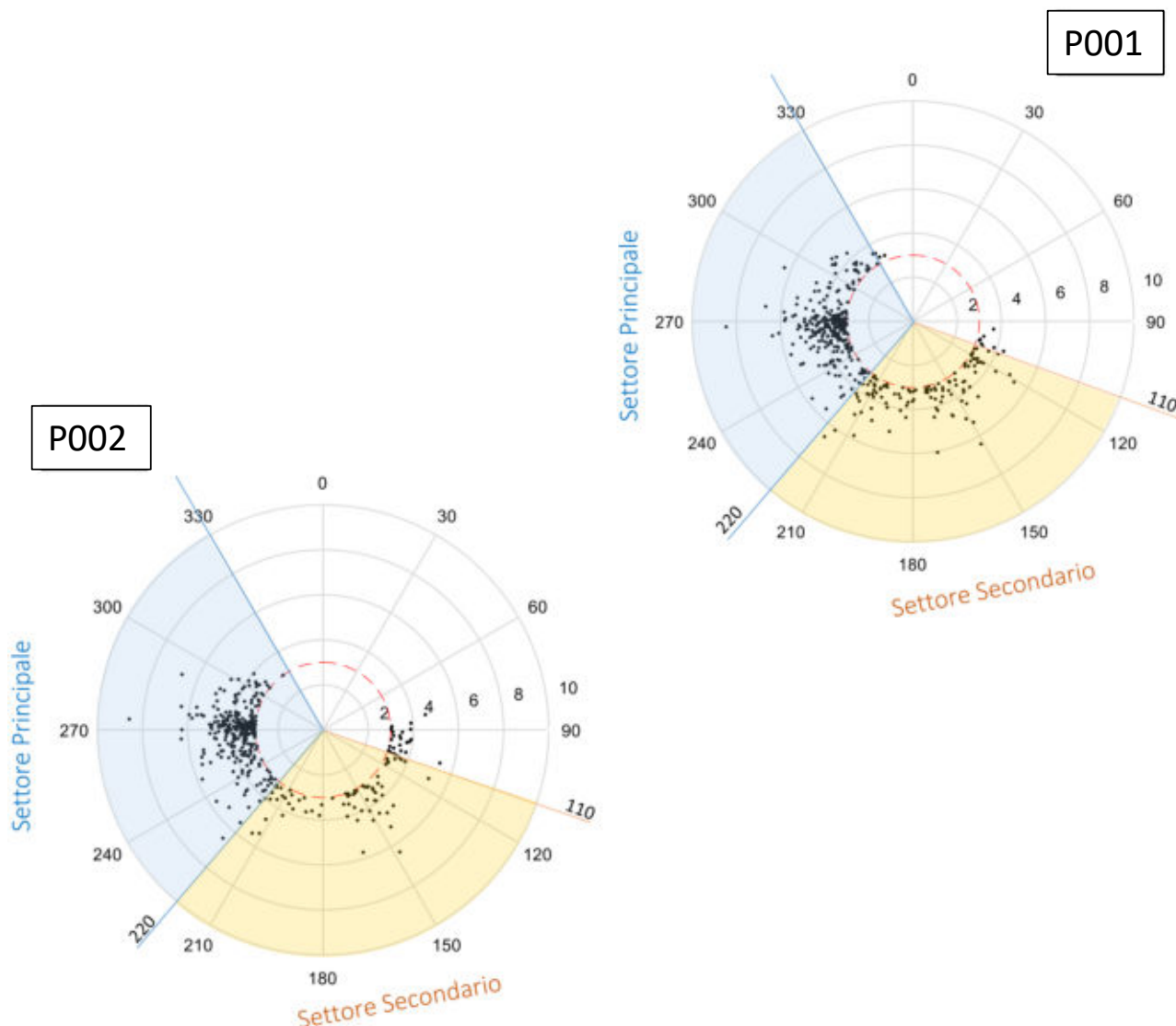


Figura 47- Valori al colmo delle mareggiate.

11.3.3 Settore di traversia principale

I risultati delle analisi statiche svolti sui campioni di valori di Hs al colmo delle mareggiate, rappresentativi del settore di traversia principale per i due punti DICCA_P001, DICCA_P002 (posti rispettivamente al largo di Capo d'Anzio e del promontorio del Circeo) sono presentati nei seguenti grafici e tabelle.

La Tabella 3 e la Tabella 4 riportano i valori estremi di altezza d'onda ottenuti in funzione del tempo di ritorno TR, utilizzando diverse distribuzioni del valore estremo (Gumbel, Weibull).



La Figura 48 e la Figura 49 mostrano l'adattamento delle altezze d'onda al colmo di mareggiata alla distribuzione di tipo Weibull con $k = 1$, che è risultata quella che meglio si adatta al campione.

T_R	H_{S_GUMBEL}	$H_{S_WEIBULL(k = 0.75)}$	$H_{S_WEIBULL(k = 1.0)}$	$H_{S_WEIBULL(k = 1.4)}$	$H_{S_WEIBULL(k = 2.0)}$
(anni)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2	5.01	5.57	5.25	5.12	4.94
5	5.75	6.10	5.90	5.81	5.61
10	6.17	6.54	6.42	6.23	6.04
20	6.55	7.22	6.92	6.59	6.29
50	7.04	8.17	7.70	7.03	6.60
100	7.41	8.94	8.09	7.35	6.81

Tabella 3 - Valori estremi di altezza d'onda al largo di Capo d'Anzio ottenuti in funzione del tempo di ritorno applicando diverse distribuzioni del valore estremo

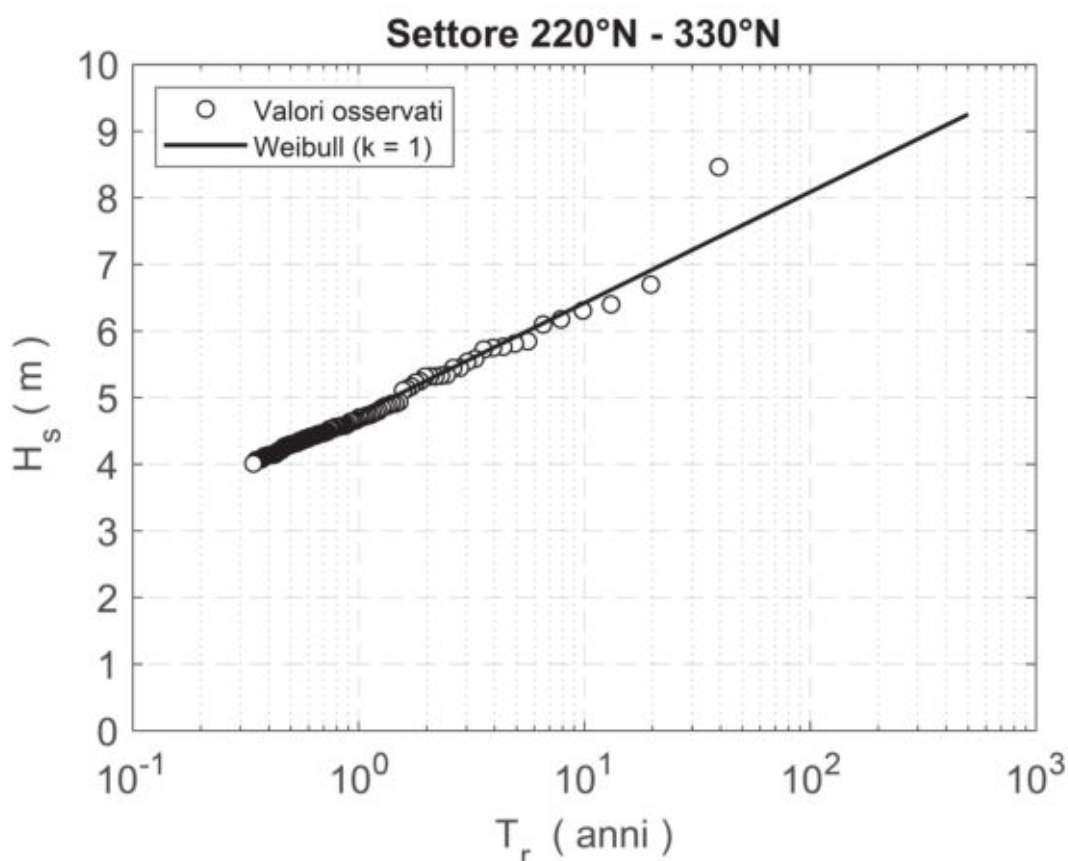


Figura 48 - Settore di traversia 220 – 330 °N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull ($k = 1.0$) dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica DICCA al largo di Capo d'Anzio



T_R	H_{S_GUMBEL}	$H_{S_WEIBULL}(k = 0.75)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.0)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.4)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 2.0)$
(anni)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2	5.01	4.19	5.12	5.03	4.93
5	5.20	5.55	5.31	5.27	5.16
10	6.29	6.64	6.53	6.34	6.14
20	6.69	7.36	7.06	6.72	6.42
50	7.22	8.38	7.77	7.20	6.75
100	7.63	9.19	8.31	7.55	6.98

Tabella 4 - Valori estremi di altezza d'onda al largo di Capo Circeo ottenuti in funzione del tempo di ritorno applicando diverse distribuzioni del valore estremo

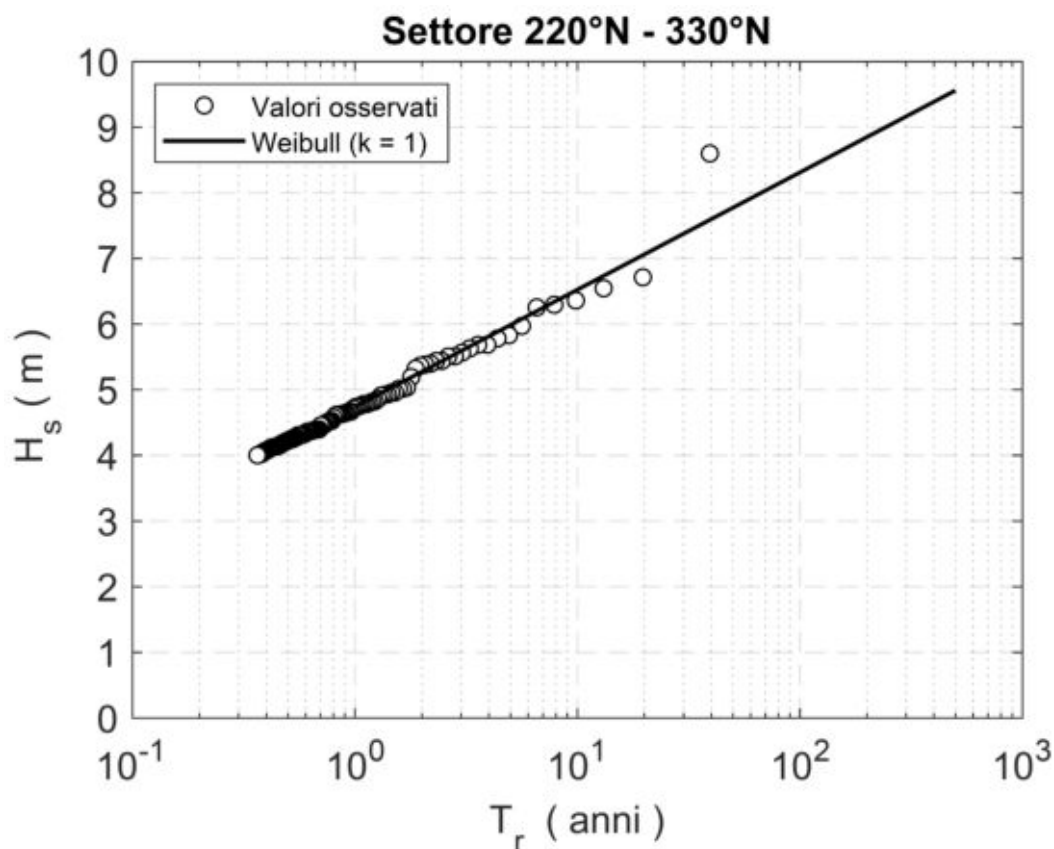


Figura 49 - Settore di traversia 220 – 330 °N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull ($k = 1.0$) dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica DICCA al largo di Capo Circeo

**11.3.4 Settore di traversia secondario**

I risultati delle analisi statiche svolti sui campioni di valori di H_s al colmo delle mareggiate, rappresentativi del settore di traversia secondario per i tre punti DICCA_P001 e DICCA_P002 (posti rispettivamente al largo di Fiumicino, di Capo d'Anzio e del promontorio del Circeo) sono presentati nei seguenti grafici e tabelle. In Tabella 5 e Tabella 6 sono riportati i valori estremi di altezza d'onda ottenuti in funzione del tempo di ritorno T_R , utilizzando diverse distribuzioni del valore estremo (Gumbel, Weibull). La Figura 50 e la Figura 51 mostrano l'adattamento delle altezze d'onda al colmo di mareggiata alla distribuzione di tipo Weibull con $k = 1$, che è risultata quella che meglio si adatta al campione.

T_R	H_{S_GUMBEL}	$H_{S_WEIBULL}(k = 0.75)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.0)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.4)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 2.0)$
(anni)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2	4.25	4.67	4.50	4.36	4.11
5	5.03	5.42	5.21	5.12	4.92
10	5.50	5.85	5.76	5.60	5.41
20	5.90	6.57	6.31	5.99	5.70
50	6.43	7.59	7.04	6.48	6.04
100	6.83	8.41	7.58	6.84	6.28

Tabella 5 - Valori estremi di altezza d'onda al largo di Capo d'Anzio ottenuti in funzione del tempo di ritorno applicando diverse distribuzioni del valore estremo

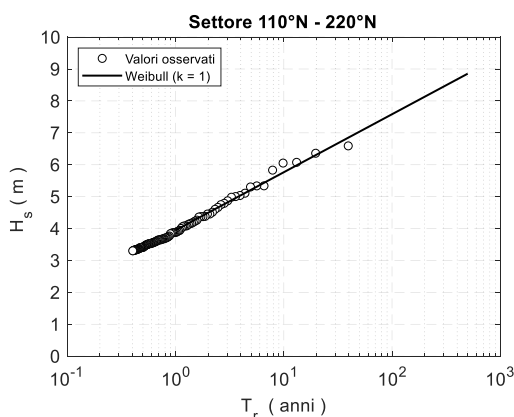


Figura 50 - Settore di traversia 110 – 220 °N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull ($k = 1.0$) dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica DICCA al largo di Capo d'Anzio

T_R	H_{S_GUMBEL}	$H_{S_WEIBULL}(k = 0.75)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.0)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 1.4)$	$H_{S_WEIBULL}(k = 2.0)$
(anni)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2	3.84	4.21	4.12	3.91	3.82
5	4.80	5.18	5.01	4.85	4.72



10	5.20	5.56	5.47	5.30	5.12
20	5.60	6.28	6.02	5.70	5.40
50	6.13	7.30	6.74	6.19	5.74
100	6.53	8.12	7.29	6.54	5.98

Tabella 6- Valori estremi di altezza d'onda al largo di Capo Circeo ottenuti in funzione del tempo di ritorno applicando diverse distribuzioni del valore estremo

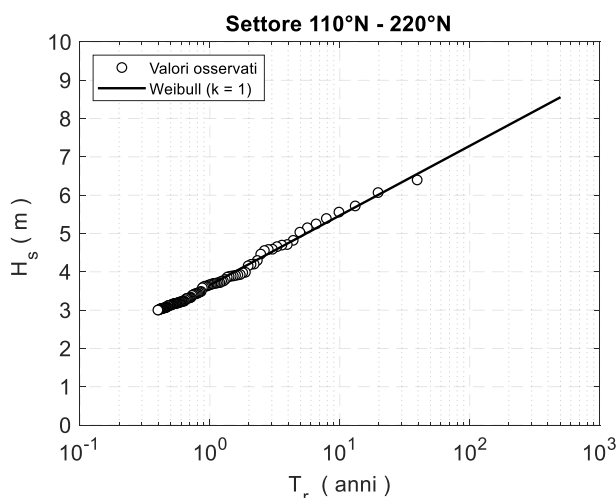


Figura 51 - Settore di traversia 110 – 220 °N. Adattamento alla legge di distribuzione tipo Weibull ($k = 1.0$) dei valori al colmo delle mareggiate estratte dalla serie storica DICCA al largo di Capo Circeo

11.4 Analisi delle variazioni del livello del mare

Le variazioni del livello del mare lungo la costa sono dovute principalmente a due fenomeni, il primo di carattere deterministico e il secondo di carattere stocastico, ovvero:

- la marea astronomica, indotta dall'azione di attrazione newtoniana esercitata dai corpi celesti, in particolare il Sole e la Luna, sulla Terra;
- la marea meteorologica, indotta dall'azione del vento sulle masse d'acqua ("wind set-up") e dell'effetto barico inverso.

Altre cause sono l'aumento del livello del mare indotto dal moto ondoso frangente ("wave set-up") e la risalita del moto ondoso sulle spiagge ("wave run-up").

La conoscenza di queste variazioni del livello marino è fondamentale per la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere di difesa della costa.

In questa sezione viene affrontato il calcolo di queste variazioni. Con riferimento ai paragrafi seguenti lo studio dei livelli è stato diviso in tre sottosezioni:

- Analisi armonica delle misure di livello per l'identificazione dei coefficienti di marea (componente armonica) e il calcolo dei parametri di riferimento mareali;
- Analisi del residuo (componente meteorologica).



11.4.1 Analisi dei dati mareografici

Si è deciso di utilizzare per tale analisi i dati forniti dalla stazione mareografica di Ponza, poiché le serie storiche di livelli di marea di Anzio e Gaeta presentano un numero elevato di spike.

La stazione di Ponza è ubicata sulla banchina prospiciente la Capitaneria di Porto di Ponza. La stazione mareografica è dotata di caposaldi altimetrici. Non essendo presente sull'isola di Ponza la rete altimetrica IGM, la quota altimetrica di ogni caposaldo è ottenuta mediante sessioni di misura DGPS allacciandosi ai caposaldi GPS IGM 95. I valori riportati sulla scheda monografica sono dati di posizione e quota in coordinate WGS 84 e inoltre viene riportata la quota corretta con il modello geoidico derivante dal grigliato pertinente ad ogni punto GPS IGM. Il valore che compare con la denominazione "livello" viene misurato con un sensore radar denominato SIAP+MICROS TLR con precisione millimetrica.

11.4.2 Analisi armonica

In primo luogo, allo scopo di rendere omogenea la serie storica complessiva, si sono ridotte le serie campionate con frequenza 10 minuti a serie con frequenza di 1 ora.

Si è proceduto a effettuare una analisi armonica delle misure di livello in modo da calcolare le costanti armoniche che caratterizzano l'oscillazione nel paraggio in esame e scomporre le misure in componente astronomica e componente residua.

È stata utilizzata l'applicazione T_TIDE, sviluppata da Pawlowicz, Beardsley e Lentz (2002), che consente di effettuare un'analisi di tipo armonico del livello idrico registrato, che viene modellato come una somma finita di sinusoidi con frequenze legate ai parametri astronomici che governano l'oscillazione del livello marino.

Il segnale armonico, sottratto alle misure di livello registrate dal mareografo, ha reso possibile sia il calcolo dei livelli di marea (HAT, MHWS, MHWN, MSL, MLWN, MLWS, LAT), comunemente impiegati per la progettazione di opere marittime, che l'identificazione della componente meteorologica (residuo). I valori dei livelli di marea sono riportati nella Tabella 7

HAT (m)	0.21
MHWS (m)	0.17
MHWN (m)	0.12
MSL (m)	0.00
MLWN (m)	-0.11
MLWS (m)	-0.18
LAT (m)	-0.22

Tabella 7 - Livelli caratteristici di marea rispetto al MSL

11.4.3 Analisi del residuo

Una volta identificata la sola serie storica della sola componente meteorologica (residuo) è stata effettuata l'analisi dei valori estremi di tale forzante. L'analisi degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando il metodo dei picchi sopra soglia (POT) con valore di soglia del sovrizzo meteorologico pari a +0.1 m sul l.m.m. Anche in questo caso la distribuzione che meglio approssima i dati è risultata quella di Weibull ($k=1$).



In Figura 52 e In Figura 53 viene riportato l'andamento del sovrалzo meteorologico in funzione del tempo di ritorno.

Tr (anni)	Sovralzo (m)
2	0.27
5	0.32
10	0.37
20	0.41
50	0.47
100	0.51

Figura 52 - Andamento dei massimi valori residui di marea

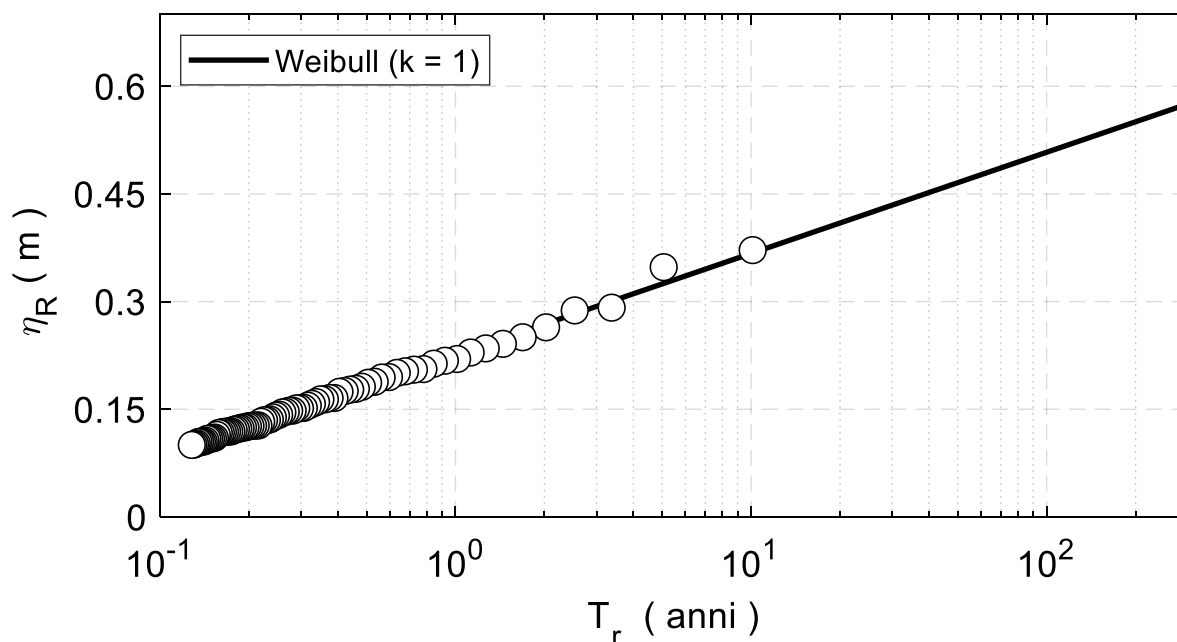


Figura 53 .- Andamento dei massimi valori residui di marea al variare del tempo di ritorno

11.4.4 Variazioni a lungo termine dei livelli del mare dovute ai cambiamenti climatici

Come visto le variazioni del livello marino dovute alla marea astronomica sono molto modeste.

Per quanto riguarda le previsioni al futuro il tasso di incremento è sicuramente più elevato in relazione ai nuovi cambiamenti climatici.

È noto che tali stime sono periodicamente aggiornate dalla commissione internazionale di scienziati "International Panel on Climate Change - IPCC" afferente alle Nazioni Unite (ONU), in relazione a



possibili scenari sulle emissioni di anidride carbonica: lo scenario più ottimista è denominato RCP 2.61, mentre quello più pessimista RCP8.5.

La Figura 54 mostra la previsione di innalzamento del livello del mare per il nostro secolo fornita da IPCC nel 2014. Le linee colorate presenti nella figura mostrano gli scenari in termini di innalzamento di livello forniti da diversi modelli climatologici in relazione ad emissioni variabili.

La previsione di variazione del livello che potrebbe registrarsi entro la fine di questo secolo (2100) è molto ampia essendo compresa tra un minimo di circa 25 cm in un secolo (2,5 mm/anno) ad un massimo di circa 98 cm (9.8 mm/anno).

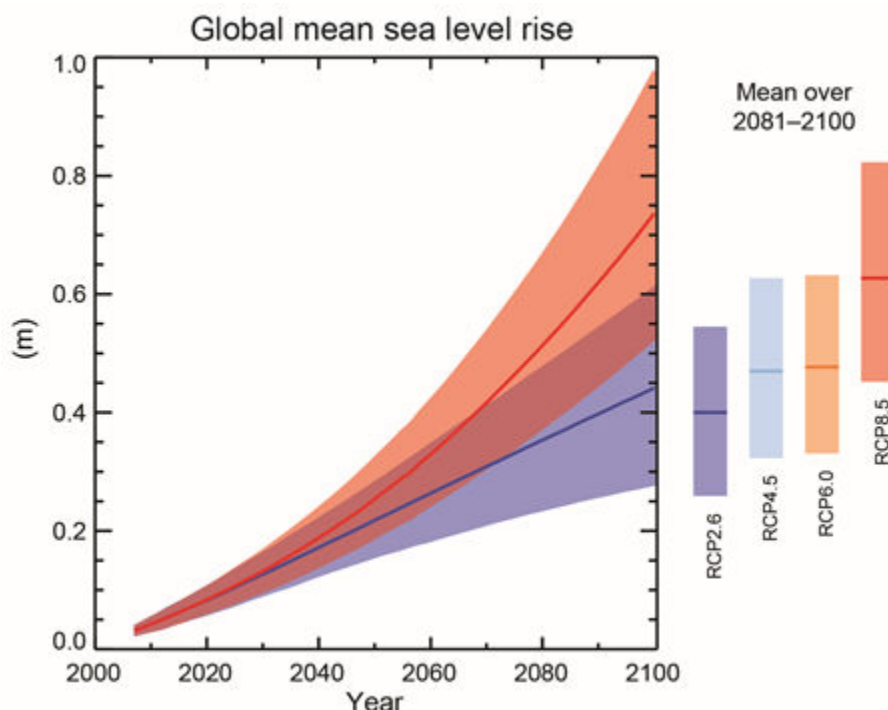


Figura 54 - Previsione per il global sea level rise fornita dall'IPCC.

12 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO DELLA COSTA

Nonostante la sua importanza ambientale, questo litorale risulta privo di una alimentazione solida diretta (ad eccezione del Torrente Astura che sfocia ad Est di Torre Astura) e nel passato è stato alimentato prevalentemente dal materiale proveniente dallo smantellamento del delta del Tevere che tende a superare Capo d'Anzio a causa delle correnti longitudinali litoranee indotte dal moto ondoso frangente. Oggi si può affermare che il litorale posto a Sud-Est di Capo d'Anzio ed in particolare quello posto ad EST di Foce Verde non è più alimentato di materiale solido per una serie di concause:

- Riduzione degli apporti solidi litoranei provenienti dallo smantellamento del delta del Tevere a causa degli interventi di difesa costiera realizzati tra la Foce del Tevere e il promontorio di Anzio;
- Gestione delle sabbie di dragaggio del Porto di Anzio che vengono utilizzate prevalentemente per il ripascimento dei litorali posti a Nord-Ovest e a Est di Anzio;
- Presenza delle opere foranee del Porto di Nettuno e delle opere di difesa costiera poste tra Anzio e Torre Astura;
- Riduzione quasi totale degli apporti solidi del Torrente Astura;
- Presenza dell'opera di presa per l'impianto di raffreddamento della ex Centrale Nucleare di Latina.

Questa mancanza di alimentazione solida sta causando un lento ma progressivo smantellamento della linea di costa.

Le indagini condotte nell'ambito del progetto MorfRestore hanno evidenziato che l'opera di presa della centrale nucleare ha causato una alterazione morfologica dei fondali. Con riferimento alla Figura 3-8, dove è riportata la restituzione del rilievo batimetrico eseguito nella zona in cui ricade l'opera di presa insieme a tre sezioni trasversali della stessa opera, si osserva quanto segue:

- nella zona posta ad Est dell'opera di presa si osserva, rispetto alla zona posta ad Ovest, un rilevante accumulo di materiale solido costituito da sabbie;
- lungo il piede Est dell'opera di presa si è venuto a formare un "canyon sottomarino" indotto dalle correnti trasversali alla costa, dette di "rip", forzate dal moto ondoso che frange sull'opera sommersa;
- il torrino dell'opera di presa è stato posizionato su un affioramento roccioso dove sorge la prateria di Posidonia.

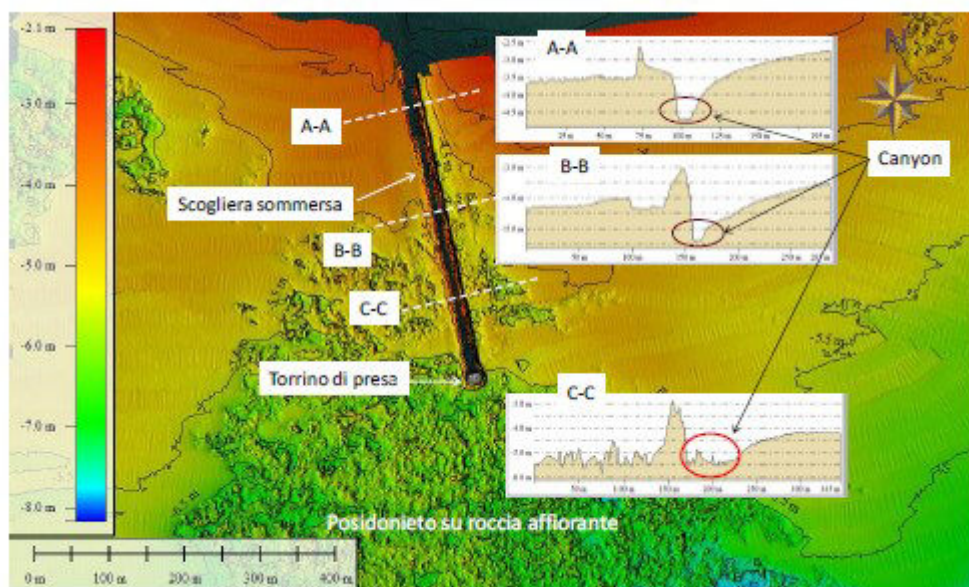


Figura 55 - Restituzione del rilievo batimetrico "multi-beam" dell'opera di presa sommersa della Ex Centrale Nucleare di Latina acquisito nell'ambito del progetto di ricerca MorfRestore.



L'analisi della situazione, ha rilevato che l'opera non ha intercettato i sedimenti, che a ragione del clima ondamentrico locale, in questa zona si dovrebbero spostare mediamente da Ovest verso Est. Ciò è dovuto al fatto che la zona è scarsamente alimentata da materiale solido per due ragioni:

- I sedimenti provenienti da Capo d'Anzio, a causa della presenza dei porti di Anzio e Nettuno e delle opere di difesa realizzate nelle ultime decadi, della gestione del materiale di dragaggio proveniente dal Porto di Anzio e infine della scogliera realizzata a Torre Astura, oggi sono da ritenersi nulli;
- Il fiume Astura ormai non porta più sedimenti a mare. Ciò è stato provato dal fatto che dal 1954 ad oggi il tratto di costa che ha subito i maggiori fenomeni erosivi (nell'ordine dei 2 Ml di m3) è proprio quello compreso tra Torre Astura e Foce Verde.

Per contro, la presenza del consistente accumulo di materiale solido nella zona posta ad Est del pennello sommerso, indica che l'opera sta svolgendo una funzione di sostegno del materiale trasportato dalle correnti longitudinali forzate dalle mareggiate provenienti localmente da Scirocco.

Inoltre, la presenza del canyon sul lato Est del pennello indica la possibilità di fuga di sedimenti verso il largo dovuta alle correnti di rip che si formano a causa della presenza del pennello stesso. Dal punto di vista quantitativo comunque la fuga di questi sedimenti risulta molto limitata poiché la prateria di posidonia non sembra che ne abbia risentito in modo sostanziale.

Si evidenzia che questa situazione morfologica risulta molto particolare in quanto i pennelli normalmente impiegati per la protezione delle coste non vengono mai realizzati completamente sommersi come quello in esame. I pennelli per la difesa costiera al più vengono realizzati semi-sommersi, con il tratto di radicamento a riva emergente dal livello del mare.

I risultati delle analisi condotte nell'ambito del Progetto MorFRestore, nel loro complesso hanno portato a ritenere che il pennello che copre le condotte della ex centrale nucleare di Latina non debba essere smantellato poiché ciò potrebbe causare una rilevante perdita di sedimenti nella zona del litorale di Latina.

Per quanto riguarda il litorale del Lido di Latina, il progetto MorFRESTORE avendo mostrato che il litorale compreso tra Foce Verde e Torre Paola non è più alimentato dal trasporto solido longitudinale proveniente da Nord-Ovest, ha indicato che il sistema di difesa attualmente in essere costituito da un ripascimento protetto da un sistema a "celle", possa essere esteso al fine di coprire l'intera zona critica che raggiunge Capo Portiere.

Le principali conclusioni e criticità emerse dal progetto MorFRESTORE sono di seguito sintetizzate:

- a) il litorale compreso tra Foce Verde e Torre Paola ormai è privo di alimentazione solida e quindi può essere considerato una unità fisiografica autonoma;
- b) il litorale compreso tra Foce Verde e Torre Paola è soggetto ad un trasporto solido longitudinale di tipo bimodale, che dà luogo complessivamente ad un trasporto solido longitudinale netto molto contenuto e a perdite trasversali modeste, le quali tuttavia, pur manifestandosi in modo rilevante solo in occasione delle mareggiate più intense, producono un lento ma progressivo smantellamento del litorale il quale sta progressivamente interessando anche la duna costiera;
- c) le zone caratterizzate dalla maggiore criticità morfologica sono costituite da:



- Il tratto di costa non difeso che ricade nel tratto di levante del litorale compreso tra Foce Verde e Capo Portiere;
- Il tratto costiero compreso tra la foce del canale di bonifica di Rio Martino e Idrovora Lavorazione, dove la duna costiera è stata quasi completamente smantellata;
- Il tratto costiero compreso tra Foce Caterattino e la zona posta a Sud-Est del Ponte di Sabaudia.

Poiché il progetto di ricerca MorfRESTORE ha mostrato che il litorale compreso tra Foce Verde e Torre Paola non è alimentato dal trasporto solido longitudinale proveniente da Nord-Ovest, risulta evidente che le opere di difesa costiera realizzate ad Est di Foce Verde lungo il litorale del Lido di Latina non possono aver prodotto alcuna rilevante variazione del trasporto solido longitudinale in grado di alimentare le spiagge poste ad Est di Capo Portiere. Pertanto, nel progetto si è concluso che il sistema di difesa attualmente in essere costituito da un ripascimento protetto, possa essere esteso al fine di coprire l'intera zona critica che raggiunge Capo Portiere.

Naturalmente, dal punto di vista progettuale risulta importante effettuare delle opportune verifiche numeriche applicando l'unico strumento attualmente utilizzabile in situazioni di questo tipo per prevedere l'evoluzione futura del litorale che è costituito da un modello numerico del tipo ad una linea.

Per quanto riguarda la manutenzione del litorale, le analisi eseguite hanno mostrato che il deficit sedimentario medio annuale del litorale in esame, risulta molto simile ai quantitativi di dragaggio periodicamente effettuati in corrispondenza del canale di accesso al Porto di Anzio i quali naturalmente alimenterebbero il litorale posto ad Est di Foce Verde. Attualmente ciò non accade a causa delle opere realizzate lungo il litorale di Anzio e di Nettuno. Pertanto, il progetto MorfRestore per ripristinare il naturale deflusso dei sedimenti ha suggerito di utilizzare il materiale di dragaggio del porto di Anzio per il ripascimento del litorale posto ad Est di Foce Verde.



13 ALTERNATIVE ANALIZZATE CON SIMULAZIONI CON MODELLO NUMERICO AD UNA LINEA

Di seguito si riportano le risultanze dello studio condotto dall'Università la Sapienza che per una più ampia trattazione si rimanda all'elaborato denominato LPDGENDR0104 Risultati delle simulazioni con il modello ad una linea.

E' stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva.

Sono state propagate le serie storiche del moto ondoso relative a Capo d'Anzio, in quanto non risente della schermatura causata dall'arcipelago delle Isole Pontine.

Il dominio di calcolo ricomprende l'unità fisiografica compresa tra Tor Caldara (a Nord di Anzio) e il promontorio del Circeo. All'interno della griglia sono stati selezionati dieci punti posti sulla batimetria -15.0 m sul l.m.m.; in corrispondenza di essi è stata propagata l'intera serie storica di moto ondoso a largo. In questo modo è stato possibile analizzare l'esposizione ondometrica dell'intero litorale.



Figura 56 – Dominio di calcolo e indicazione dei punti di inversa spettrale.

L'applicazione del modello MEROPE ha consentito di propagare nei punti di inversa spettrale tutti gli stati di mare della serie storica 1979-2019 ricostruita al largo e di valutare pertanto le caratteristiche di clima di moto ondoso in prossimità del litorale oggetto di studio.

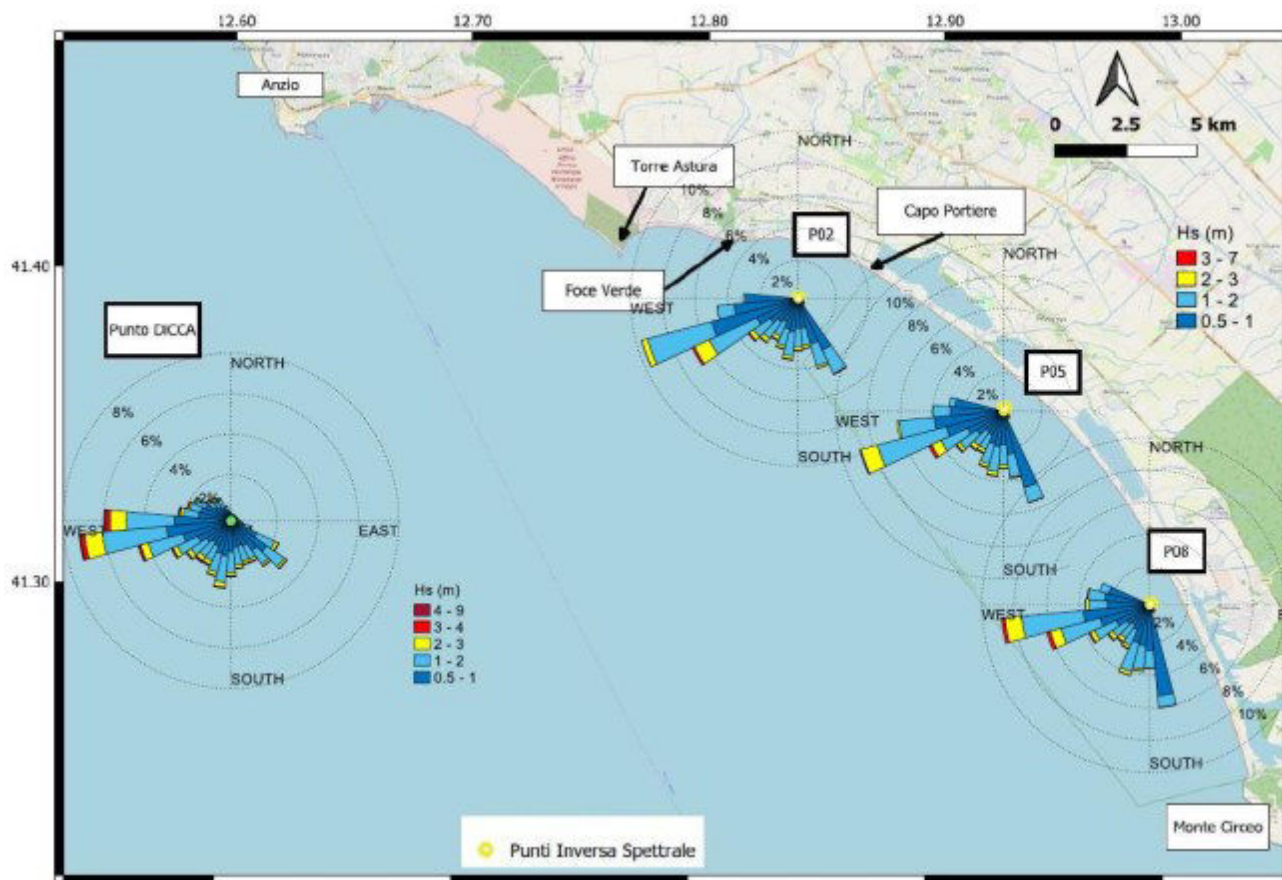


Figura 57 Confronto tra il clima ondometrico annuale al largo e nel punto di inversa spettrale

A partire dalla serie storica ricostruita sotto costa in corrispondenza dei punti posizionati su fondali di circa -15.0 m s.l.m.m., è possibile calcolare il flusso longitudinale di energia associato al moto ondoso, che risulta direttamente proporzionale al trasporto solido longitudinale forzante responsabile della evoluzione a lungo termine di un litorale. In particolare, oltre alla risultante del flusso netto longitudinale, si possono valutare separatamente le due componenti del flusso longitudinale, calcolate sulla base dell'orientamento medio locale della linea di riva.

Come è possibile osservare nella figura seguente, il litorale in esame è caratterizzato da regime ondometrico sottocosta fortemente bimodale, in quanto è in grado di determinare un trasporto solido longitudinale diretto lungo ambedue le direzioni parallele alla costa. In particolare, il flusso è diretto prevalentemente verso Sud-Est fino circa a Foce del Caterattino (Sabaudia), per poi cambiare direzione fino a Torre Paola. Un'analisi più precisa ha permesso di osservare che la direzione prevalente del flusso longitudinale di energia del moto ondoso lungo l'intero litorale varia da anno in anno. La conoscenza in prossimità della costa dei due flussi di energia componenti il flusso risultante risulta un supporto essenziale per la comprensione dell'evoluzione morfologica del litorale.

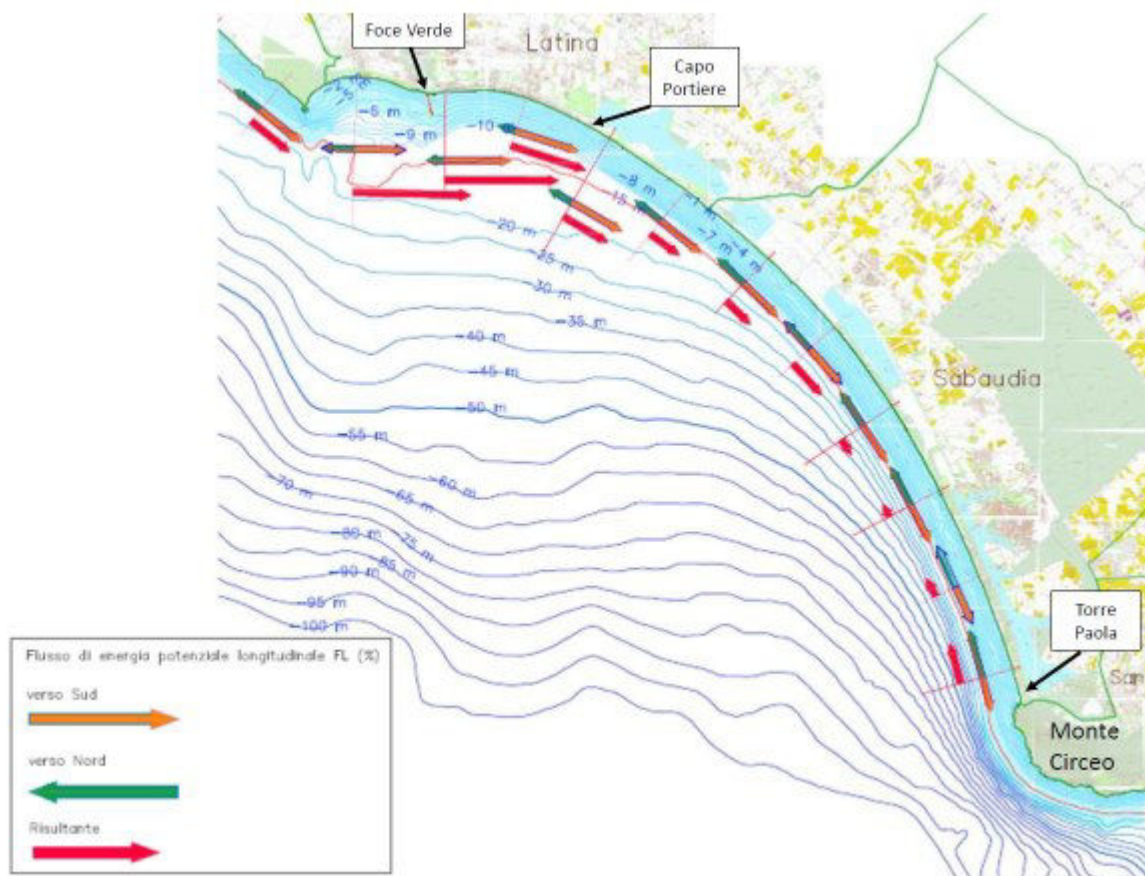


Figura 58 Andamento del flusso di energia medio lungo la fascia costiera in esame

Inoltre, dai risultati ottenuti si è scelta la serie storica di moto ondoso relativa all'anno 2017 come forzante delle future variazioni morfodinamiche a lungo termine da simulare attraverso il modello UNIBEST, in quanto rappresenta un flusso energetico medio.

Come desumibile dagli studi allegati al progetto la media dei bilanci solidi calcolati dal 1954 al 2019 espressi in m^3 /anno, a cui è stato oggetto il litorale per i seguenti 2 tratti:

Tratto 1: da fine delle opere in località lido Latina a Capo Portiere lunghezza circa 3 km

Tratto 2: da Capo Portiere a Torre Paola lunghezza circa 25 km.

Il bilancio medio è stato ottenuto calcolando la media dei bilanci definiti per i periodi 1954-1985, 1985-2003, 2003-2019, 2011-2019. Per ciascun intervallo sono state dapprima calcolate le aree in avanzamento e in arretramento, le quali sono poi moltiplicate per la profondità di chiusura per ottenere i volumi. Nella Tabella seguente sono riassunti i risultati



Intervallo	Bilancio medio (m ³ /anno)	
	Tratto 1	Tratto 2
1954-2019	-23'000	-20'000

Tabella 8 – Bilancio Solido Medio

Come è possibile desumere il litorale è in deficit medio annuo ed è soggetto ad un lento smantellamento.

La modellazione numerica ad una linea ha l'obiettivo di eseguir un confronto di tipo comparativo. Nella fattispecie, il confronto riguarda l'andamento planimetrico delle due linee di riva previste, rispetto ad una finestra temporale di 10 anni.

Le linee di riva oggetto della valutazione comparativa sono:

- Quella "naturale", ovvero quella che si verrebbe a determinare in assenza di qualsiasi tipo d'intervento di difesa costiera o più in generale di alterazione delle attuali condizioni al contorno del sistema. Per tale scenario la linea di riva che si ottiene in previsione, prende il nome di "opzione 0";
- Quella determinata dagli interventi di difesa esaminati (opzione 1,2 e 3).

Pertanto, le variazioni causate dal sistema di difesa (opzione 1, 2 e 3) siano esse di tipo migliorativo o di tipo peggiorativo (arretramento del litorale) vengono fornite rispetto all'opzione 0. E' stata utilizzata la linea di riva dell'anno 2019 e la serie storica ondamentrica alla profondità -15 dell'anno 2017. Si evidenzia che l'analisi effettuata è stata condotta senza tenere conto dell'incremento del livello medio del mare dovuto al riscaldamento globale.

13.1 Opzione 0

L'opzione zero non contempla alcun intervento sul litorale. Come atteso, la tendenza futura del litorale in assenza d'interventi rispecchia sostanzialmente quanto già osservato nell'ultimo periodo (2011-2019). In particolare, si osserva una tendenza all'arretramento nel tratto tra la fine delle opere di difesa a Lido di Latina fino a foce Rio Martino. Il tratto successivo tra foce Rio Martino e Torre Paola risulta generalmente stabile, data la presenza del trasporto solido longitudinale bimodale, con un modesto trend di arretramento dovuto alle perdite trasversali.

In particolare, si è osservato che:

- per il Tratto 1 (lunghezza circa 3 km), che comprende il litorale non difeso del Lido di Latina, una perdita complessiva di sedimenti di circa 17'000 m³/anno;
- per il Tratto 2 (lunghezza circa 25 km), che si sviluppa tra Capo Portiere e Torre Paola, una perdita complessiva di sedimenti di circa 25'000 m³/anno.

La Figura seguente mostra l'evoluzione nei prossimi dieci anni dell'intero litorale e dei relativi tratti in assenza d'interventi espressa in termini di ratei medi di variazione della linea di riva. L'avanzamento che si osserva nella zona centrale del Tratto 2 è dovuto a due condizioni: la bimodalità del trasporto

solido longitudinale e la condizione imposta ai contorni del dominio di calcolo $Q = 0.0 \text{ m}^3/\text{anno}$. Quest'ultima determina la conservazione della massa all'interno del litorale, quindi il materiale eroso dal Tratto 1, secondo la direzione del trasporto solido longitudinale, va ad alimentare il Tratto 2, il quale risulta poi soggetto a perdite trasversali. La Figura 60 mette in evidenza la tendenza all'arretramento del Tratto 1 non difeso. e della prima parte del tratto 2 per circa 3.0 km a Sud-Est di Capo Portiere.

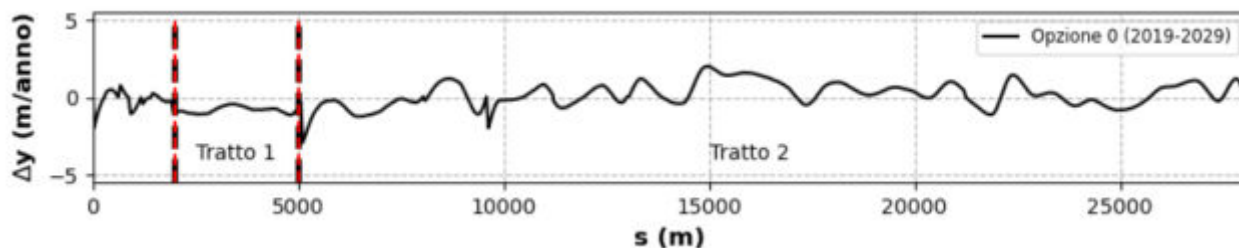


Figura 59 – Opzione zero. Rateo annuo di variazione della linea di riva

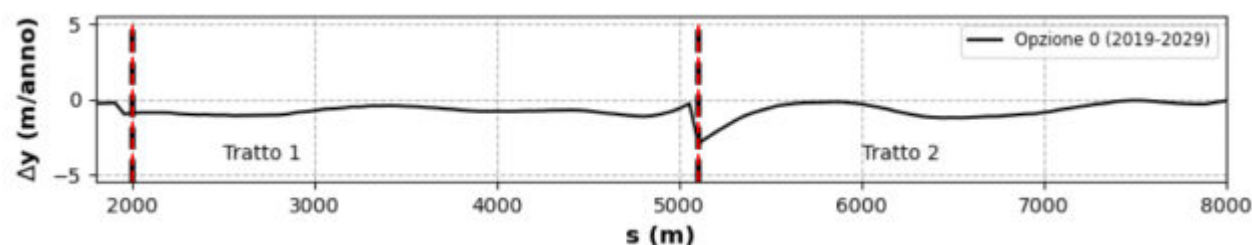


Figura 60 – Opzione zero. Rateo annuo di variazione della linea di riva particolare Tratto 1 e primo parte del Tratto 2

Un importante risultato ottenuto con la simulazione numerica eseguita è stato quello di evidenziare che il Tratto 1 e Tratto 2 complessivamente perdono circa $42.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ ma che il Tratto 1 lungo circa 3 km perde circa $17.000 \text{ m}^3/\text{anno}$ e quindi risulta necessario un intervento avente l'obiettivo di arrestare la tendenza all'arretramento del Tratto 1 per salvaguardare le opere a terra e le attività commerciali.

13.2 Opzione 1

L'opzione 1 coincide con il progetto definitivo generale che prevede:

- n°10 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso), ortogonali alla costa e di lunghezza variabile;
 - n°8 scogliere sommerse, congiunte alla testa degli 8 pennelli, in massi naturali da 3÷5 t di lunghezza pari a 140,00 m;
 - n°7 varchi in massi naturali da 2÷4 t di lunghezza variabile.
- ✓ Ripascimento, per un volume totale di circa 131.000 m^3 proveniente dalle attività di escavo per la realizzazione degli scanni di imbasamento, così distribuito circa $34.000,00 \text{ m}^3$ al di fuori del sistema a celle e la restante parte all'interno delle celle finalizzato ad avanzare alla linea di riva di circa 20 m rispetto allo stato attuale.

Nella figura seguente sono riportati gli istogrammi dei ratei di variazione della linea di riva rispetto all'evoluzione della linea di riva ottenuta in assenza di interventi (opzione 0). Pertanto, i grafici

consentono di valutare i miglioramenti (avanzamenti della linea di riva) o peggioramenti (arretramenti della linea di riva) prodotti dal sistema rispetto all'opzione 0.

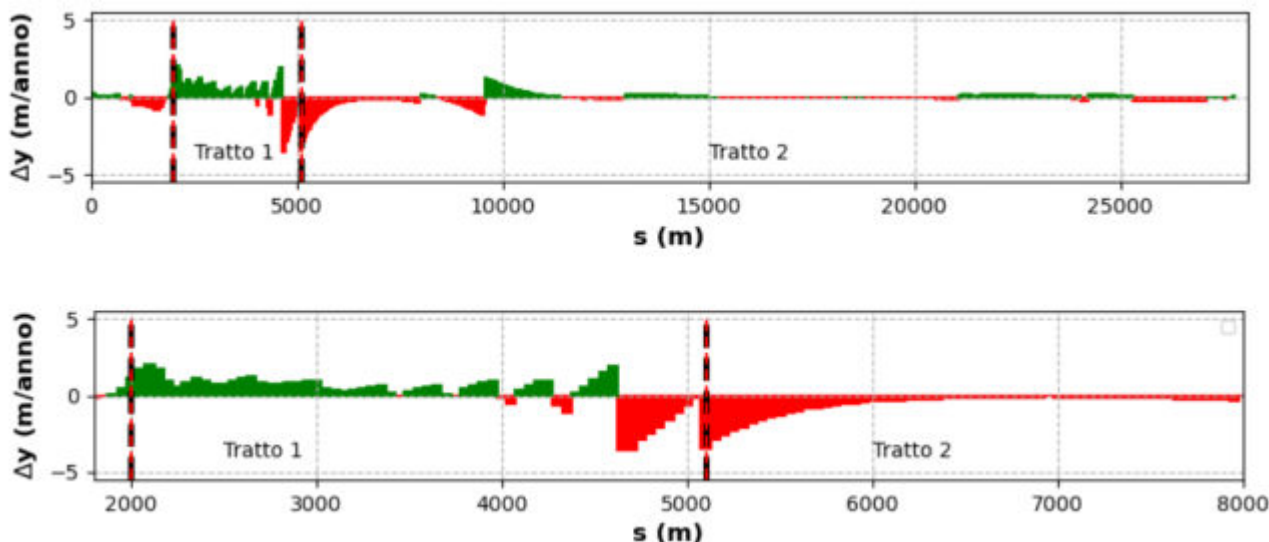


Figura 61 Confronto tra l'evoluzione morfodinamica conseguente all'intervento di difesa dell'opzione 1 e in assenza di intervento (opzione zero). In alto ratei di variazione della linea di riva valutati rispetto all'evoluzione morfodinamica dell'opzione zero lungo tutto il litorale. In basso i ratei di variazione della linea di riva valutati rispetto all'evoluzione morfodinamica dell'opzione zero nel tratto 1 e a 3 km a Sud-Est di questo.

L'analisi degli istogrammi mostra che:

- Per il Tratto 1 (litorale compreso tra la fine delle opere di difesa esistenti e Capo Portiere) il sistema garantisce un'adeguata protezione alla costa, annullando gran parte delle perdite che si ottengono con l'opzione zero ed al contempo mantenendo l'allargamento di circa 20 m del tratto di spiaggia salvaguardando quindi le attività commerciali.
- Per il Tratto 2 (litorale tra Capo Portiere e Torre Paola) si osserva un modesto aumento delle perdite di materiale rispetto all'opzione zero, che risulta essere pari a circa 10'000 m³/anno. Questo incremento di perdite è dovuto alla stabilizzazione del Tratto 1, dato che il trasporto solido longitudinale è localmente diretto prevalentemente verso Sud-Est, questo incremento di perdite nei primi 3 anni è compensato dal ripascimento previsto di circa 31.000 m³.

Gli arretramenti principali che si osservano sono localizzati alla fine del tratto 1 ma sono dell'ordine dei 3 m di arretramento della linea di costa rispetto all'opzione 0 a fronte di un allargamento previsto di circa 20 m.

Nell'Opzione 1 complessivamente si deve prevedere un ripascimento di circa 35.000 m³/anno a fronte dell'Opzione 0 che prevede una manutenzione con ripascimento morbido di circa 42.000 m³/anno, ma rispetto all'opzione 0 l'opzione 1 risolverebbe lo smantellamento del tratto 1 che al contempo avrebbe un allargamento della spiaggia di circa 20 m.

13.3 Opzione 2

L'opzione 2 prevede la realizzazione di un "ripascimento puro" nel Tratto 1 che prevede l'avanzamento della linea di costa di circa 25 m.



Per Mantenere le opere previste nell'Opzione 2 è necessario prevedere un piano di manutenzione che prevede un apporto medio di sedimenti annuo di circa 42.000 m³/anno per Tratto 1 e Tratto 2.

Inoltre, questa Opzione evidenzia una criticità nella realizzazione dell'intervento in quanto è necessario approvvigionare circa 300.000,00 m³ di sabbia.

13.4 Opzione 3

L'opzione 3 prevede opere di tipo rigido accoppiate ad un intervento e di tipo "morbido" (ripascimento). In particolare, tale intervento risulta essere una prima parte dell'opzione 1:

- dieci pennelli semisommersi, con interasse variabile tra 220 e 340 m, che si intestano tra le batimetriche -2.5 e -3.0 m s.l.m.m.. Anche in questo caso i pennelli sono localizzati a Sud-Est del sistema di difesa esistente e a Ovest di Capo Portiere;
- un ripascimento pari a circa 25'000 m³ di sabbia, posto tra il primo pennello partendo da Nord Ovest e il terzultimo. Tale volume corrisponde in questa zona a un avanzamento medio della linea di riva di circa 8.5 m.

La Figura seguente mostra gli istogrammi dei ratei di variazione della linea di riva rispetto all'evoluzione della linea di riva ottenuta in assenza di interventi (opzione zero).

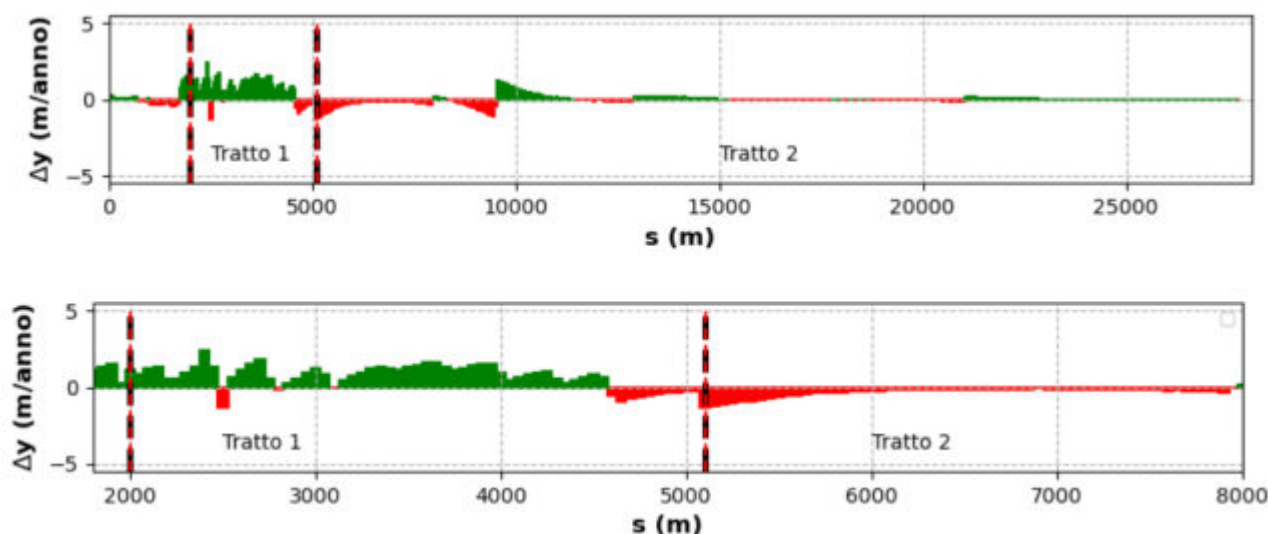


Figura 62 Confronto tra l'evoluzione morfodinamica conseguente all'intervento di difesa dell'opzione 3 e in assenza di intervento (opzione zero). In alto ratei di variazione della linea di riva valutati rispetto all'evoluzione morfodinamica dell'opzione zero lungo tutto il litorale. In basso i ratei di variazione della linea di riva valutati rispetto all'evoluzione morfodinamica dell'opzione zero nel tratto 1 e a 3 km a Sud-Est di questo.

L'analisi degli istogrammi mostra che l'intervento stabilizza il tratto 1, compreso tra la fine del sistema di difesa a celle esistente e Capo Portiere. Si osserva un miglioramento generalizzato rispetto all'opzione zero. E' ovvio che tale risultato risulta simile, anche se l'erosione risulta di entità inferiore, con i risultati ottenuti per la configurazione relativa alla opzione 1. Una differenza che è possibile osservare rispetto all'opzione 1 è che l'intervento in questione produce come effetto di bordo nella zona posta a Sud-Est di esso, un lieve arretramento, che risulta inferiore rispetto a quello prodotto dall'opzione 1.

Inoltre, come detto dai risultati si è ottenuto che il sistema di pennelli e il ripascimento producono una stabilizzazione del tratto di litorale oggetto di intervento, andando ad intercettare solo una quota parte del trasporto solido longitudinale diretto verso Sud-Est relativo all'opzione 0 e riducendo quindi le perdite dovute a tale trasporto longitudinale. Si è, infatti, stimata per questo scenario una perdita pari a soli circa 9'000 m³/anno rispetto ai 17'000 m³/anno stimati per l'opzione 0.

Gli arretramenti principali che si osservano sono localizzati alla fine del tratto 1 ma sono dell'ordine dei 3 m di arretramento della linea di costa rispetto all'opzione 0 a fronte di un allargamento previsto di circa 8,5 m.

Nell'Opzione 3 complessivamente si deve prevedere una manutenzione con ripascimento di circa 43.000 m³/anno (9000 m³ per il Tratto 1 e 34.000,00 m³ per il tratto 2) a fronte dell'Opzione 0 che prevede una manutenzione con ripascimento morbido di circa 42.000 m³/anno, ma rispetto all'opzione 0 l'opzione 3 risolverebbe lo smantellamento del tratto 1 che al contempo avrebbe un allargamento della spiaggia di circa 8.5 m.

In definitiva va sottolineato che anche l'ipotesi di non intervento deve essere accompagnato da un programma di manutenzione al fine di bloccare lo smantellamento dell'intero di costa in esame Tratto 1 e Tratto 2, circa 42.000 m³/anno.

L'Opzione 1 permette di raggiungere gli obiettivi prefissati in quanto risolve lo smantellamento del tratto 1, che è il tratto che ha l'erosione maggiore; infatti, in una lunghezza di 3 km perde mediamente all'anno circa 17.000 m³ e realizza una spiaggia più larga di 20 m che risulta stabile negli scenari futuri e non ha bisogno di una manutenzione (apporto di sedimenti), cosa che è necessaria nel Tratto 2

L'opzione 3 esaminata, rientra in un I Lotto del Progetto esaminato nell'Opzione 1, permette un avanzamento della linea di costa di circa 8,5 m ma sia il Tratto 1 che il Tratto 2 hanno necessità di una manutenzione che prevede apporto di sedimenti nella quantità di circa 42.000 m³/anno.

Nessun intervento può essere risolutivo ma deve essere accompagnato da un programma di manutenzione per mitigare il deficit sedimentario medio annuale del litorale in esame.

14 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DEFINITIVO GENERALE

Il Progetto Definitivo, rispetto alla Revisione 1 del PFTE, prevede i seguenti interventi:

- ✓ Realizzazione di opere di difesa rigida, dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente (I Stralcio Funzionale), costituite da:
 - n°10 pennelli in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso), ortogonali alla costa e di lunghezza variabile, previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;
 - n°8 scogliere sommerse, congiunte alla testa degli 8 pennelli, in massi naturali da 3÷5 t di lunghezza pari a 140,00 m, previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;
 - n°7 varchi in massi naturali da 2÷4 t di lunghezza variabile, previa realizzazione di escavo;

- ✓ Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende da Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema di difesa costiero già presente, per un volume totale di circa 131.000 m³ proveniente dalle attività di escavo per la realizzazione degli scanni di imbasamento.

Si precisa che rispetto al PFTE non è prevista alcuna attività di dragaggio presso il porto di Anzio perché il materiale proverrà interamente dai fondali dove verrà realizzata l'opera di difesa.

Nei capitoli seguenti vengono illustrati nel dettaglio gli interventi sopra elencati.

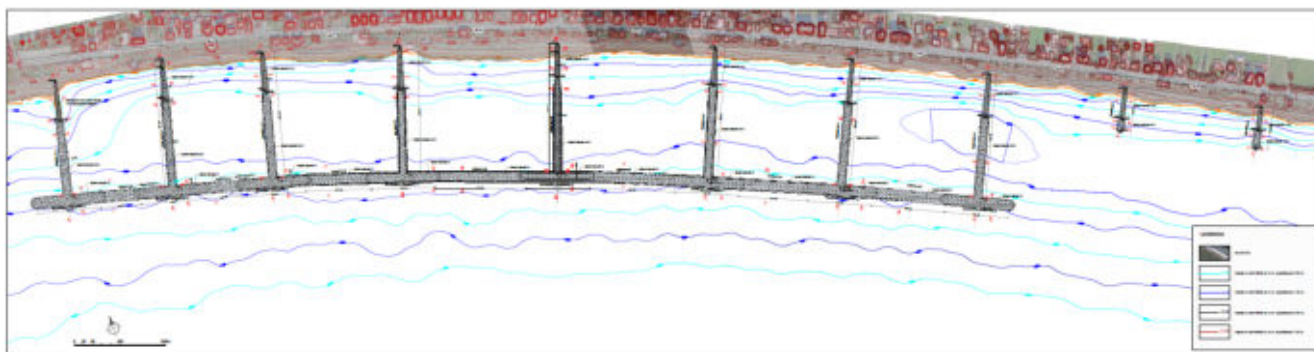


Figura 63 – Planimetria generale di progetto con le opere a gettata (elab. Grafico PD-OPG-I-D-0101)

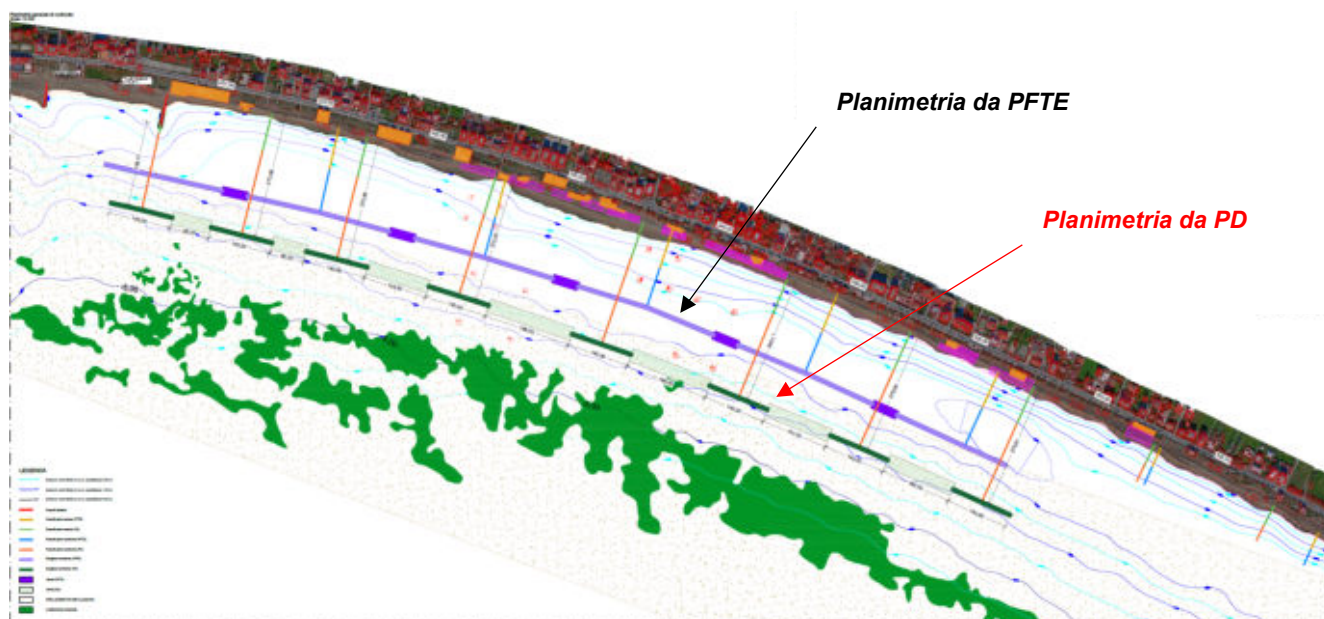


Figura 64 – Sovrapposizione delle planimetrie di progetto definitivo (PD) e di progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE)

15 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL LOTTO 1

Il Il Lotto 1, rispetto al Progetto Definitivo Generale, prevede i seguenti interventi:

- ✓ Realizzazione di opere di difesa rigida, dal Lido di Capo Portiere all'ultimo pennello del sistema già esistente (I Stralcio Funzionale), costituite da:
 - n°8 pennelli (da pennello A a pennello H) in massi naturali da 1÷3 t (tratto emerso di lunghezza variabile) e in massi naturali da 3÷5 t (tratto sommerso di lunghezza pari a



52,00 metri), ortogonali alla costa e di lunghezza variabile, previa realizzazione di escavo necessario alla realizzazione dello strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg;

- n° 2 pennelli di lunghezza pari a pari 97,40 m (Pennello I) e pari a 95,60 m (Pennello L).
- ✓ Ripascimento morbido di un tratto di litorale di circa 2 km che si estende dall'ultimo pennello del sistema di difesa costiero già presente, per un volume totale di circa 23.917 m³ proveniente dalle attività di escavo per la realizzazione degli scanni di imbasamento.

15.1 Opere di difesa a gettata

Nel Lotto 1 si prevede di realizzare opere di difesa rigida costituita da n°10 pennelli in massi naturali da 1±3 t (tratto emerso) e in massi naturali da 3±5 t (tratto sommerso), ortogonali alla linea di costa. I pennelli in progetto sono denominati dalla lettera A alla lettera L e variano per lunghezza e per tipologia costruttiva.

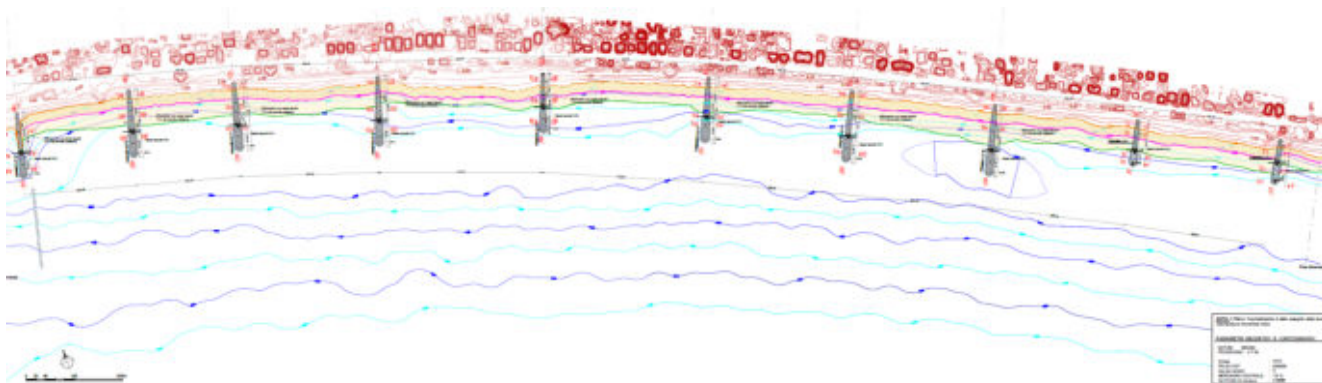


Figura 65 – Planimetria generale di progetto del Lotto 1.

La tipologia costruttiva dei primi 8 pennelli (lunghezza variabile tra 125,00 m e 152,00 m), è costituita da:

- un tratto emerso in massi naturali da 1÷3 t di lunghezza variabile (73,60 m ÷ 98,30 m), con quota altimetrica da +1,50 m s.l.m. a +0,80 m s.l.m., con pendenza da terra verso mare variabile tra 0,7% e 1,0%, larghezza della berma è pari a 5,70 m, pendenza delle scarpate 3/2;
- un tratto sommerso in massi naturali da 3÷5 t di lunghezza costante (52,00 m), con quota altimetrica da -0,10 m s.l.m. a quota variabile tra -0,35 m e -0,40 s.l.m, con pendenza da terra verso mare pari a circa 0,5%, larghezza della berma è pari a 6,00 m, pendenza delle scarpate 3/2.

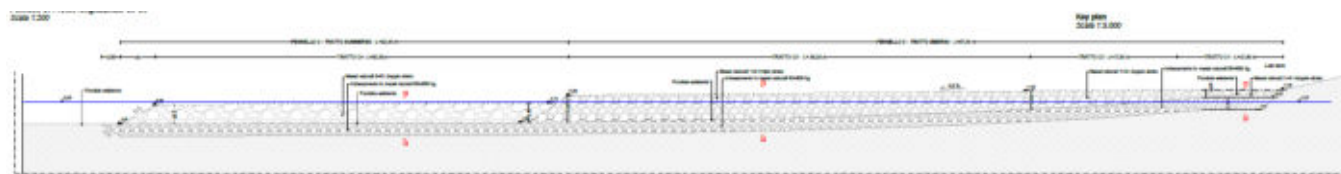


Figura 66 - Profilo longitudinale del pennello C.

Al di sotto del pennello si prevede la realizzazione di uno strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg di spessore pari a 1,50 m, previa realizzazione, ove necessario, di escavo dei fondali.



Per il pennello A, primo pennello da realizzare a partire dalla Foce Verde, si prevede in un primo tratto il rifiorimento del pennello esistente, costruito nell'ambito degli interventi Ardis 2008-2009.

La tipologia costruttiva degli altri 2 pennelli, denominati pennello I e L, è costituita da:

- un tratto emerso in massi naturali da 1÷3 t di lunghezza variabile (50,40 m ÷ 65,60 m), con quota altimetrica da +1,50 m s.l.m. a +0,80 m s.l.m., con pendenza da terra verso mare variabile tra 0,7% e 1,0%, larghezza della berma è pari a 5,70 m, pendenza delle scarpate 3/2;
- un tratto sommerso in massi naturali da 3÷5 t di lunghezza variabile (27,00 m ÷ 40,00 m), con quota altimetrica da -0,10 m s.l.m. a -1,10 m, con pendenza da terra verso mare pari a circa 0,5%, larghezza della berma è pari a 6,00 m, pendenza delle scarpate 3/2.

Lo sviluppo complessivo dei 2 pennelli è pari 97,40 m (Pennello I) e pari a 95,60 m (Pennello L).

Al di sotto del pennello si prevede la realizzazione di uno strato di imbasamento in massi naturali 50÷500 kg di spessore pari a 1,50 m, previa realizzazione, ove necessario, di escavo dei fondali.

15.2 Ripascimento morbido

Come già esplicitato nel paragrafo precedente, il ripascimento morbido verrà effettuato con sabbie provenienti dalle attività di escavo degli scanni di imbasamento delle opere di difesa costiera.

Il progetto di ripascimento sarà diviso in n°7 celle, denominate da A ad G (Figura 67).

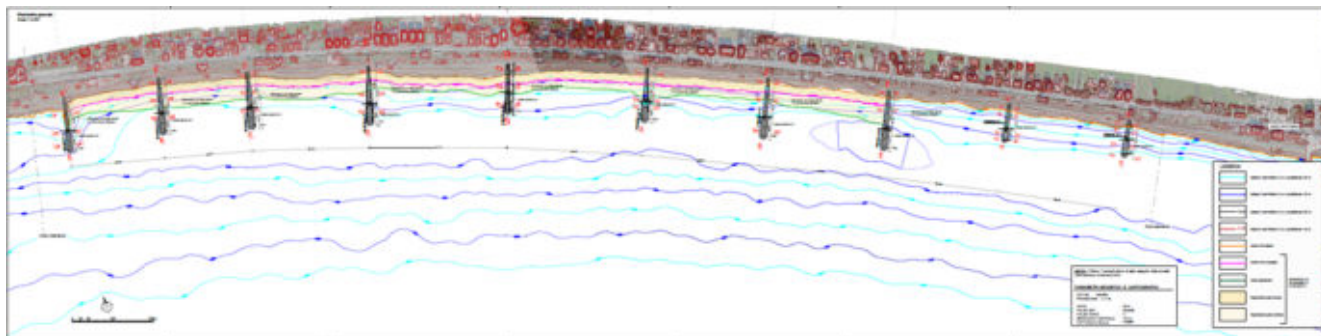


Figura 67 – Planimetria del ripascimento.

L'avanzamento della linea di costa sarà compreso tra 8,00 e 8,35 metri dalla cella A alla cella G a partire da quota +0,70 m, con una pendenza pari a 20/1 per la parte emersa; la parte sommersa avrà una pendenza pari a 15/1 e una lunghezza verso mare variabile (Figura 68, Figura 69 e Figura 70).

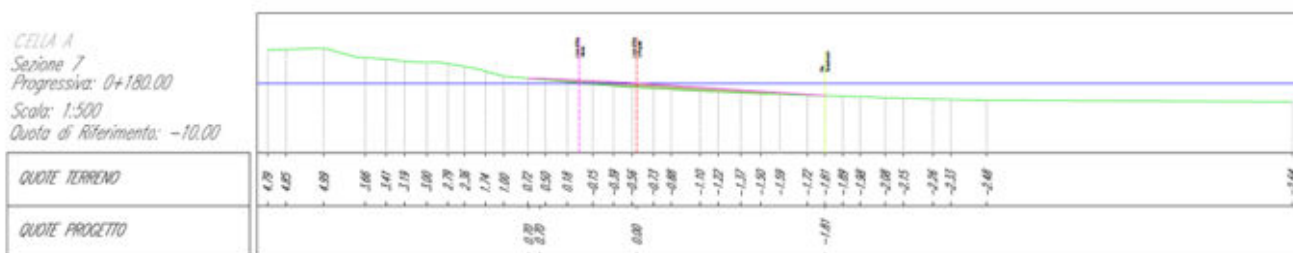


Figura 68 – Sezione di computo n°7 del ripascimento nella cella A.

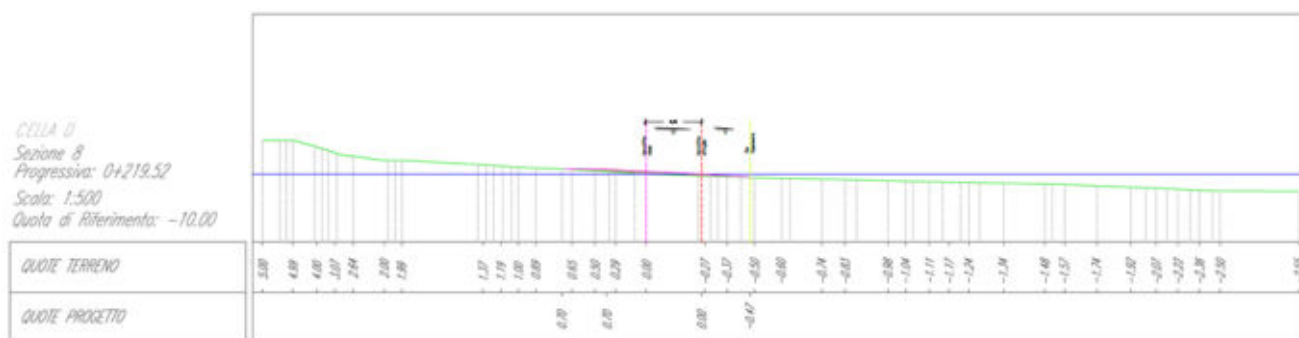


Figura 69 - Sezione di computo n°8 del ripascimento nella cella D.

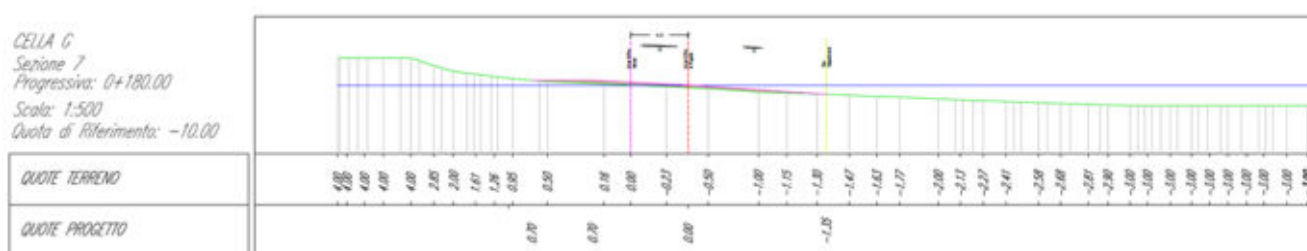


Figura 70 - Sezione di computo n°7 del ripascimento nella cella G.

15.3 Cantierizzazione

Per la realizzazione delle opere di difesa costiera rigida si prevede, come da PFTE, l'utilizzo di un'area di cantiere situata nella parte più interna della Foce Verde (Figura 71), al cui interno sarà previsto un punto di ormeggio per le attività di carico del materiale inerte proveniente da cava (via terra).

L'area di cantiere è accessibile tramite uno svincolo lungo la Strada Provinciale 39 del Comune di Latina.

Il materiale proveniente da cava verrà trasportato fino all'area di cantiere via terra, con mezzi terrestri, successivamente caricato e trasportato fino all'area di intervento con mezzi marittimi.

L'area di cantiere in progetto sarà pari a circa 1.400 m², sarà dotata di tutti i mezzi necessari al carico del materiale proveniente da cava nonché di tutte le disposizioni necessarie alla sicurezza dei lavoratori. L'area di cantiere sarà delimitata da barriere antipolvere su new jersey per prevenire la dispersione delle polveri nelle aree circostanti. L'area di cantiere, data la sua particolare ubicazione, sarà suddivisa in n°2 micro aree:

- n°1 microarea costituita da parcheggio auto, area baraccamenti (Ufficio DL, Ufficio Impresa, Infermeria, Spogliatoi, Mensa e n°2 WC chimici) e isola ecologica;
- n°1 microarea costituita da area stoccaggio materiali, deposito attrezzature, una pesa e un lavaruote.

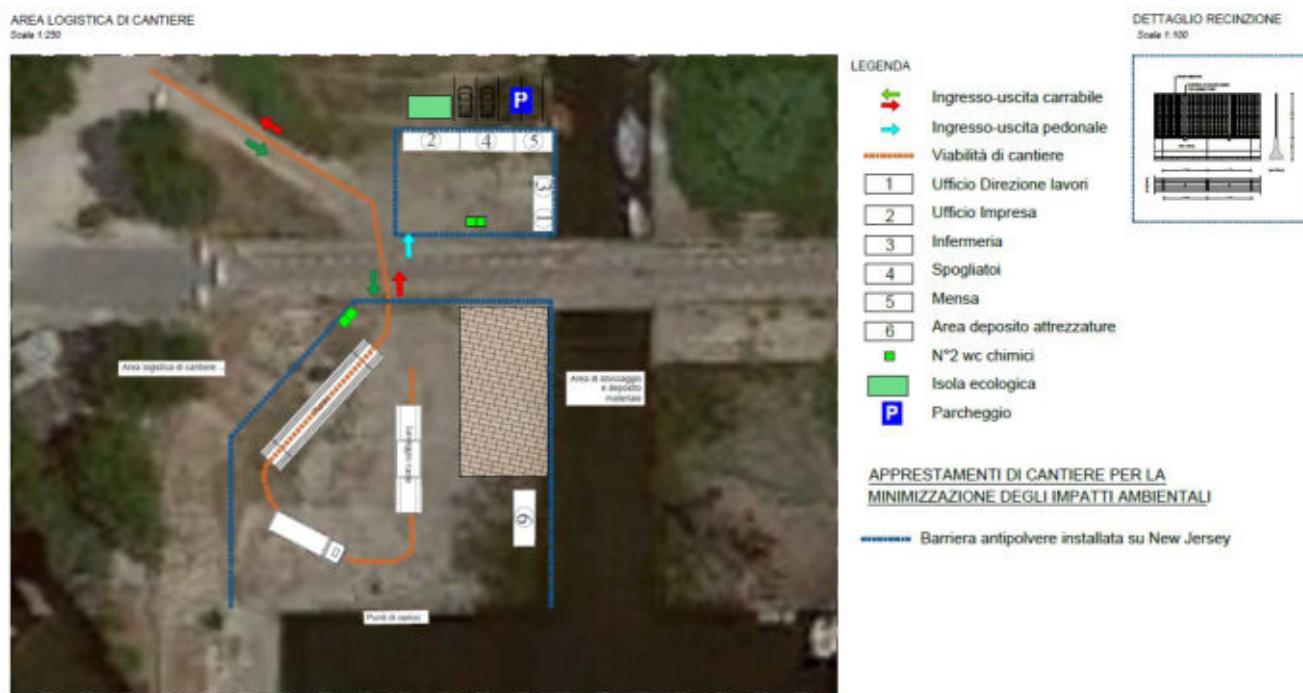


Figura 71 – Planimetria dell'area di cantiere localizzata presso la Foce del Verde.

15.4 Fasizzazione

La realizzazione degli interventi del Lotto 1 è così suddivisa in n°4 fasi operative:

- **Fase 1:** Completamento del Pennello A, realizzazione della parte emersa del Pennello B con realizzazione della pista temporanea alla sommità dello stesso ed escavo dello scanno di imbasamento del pennello C, con accumulo temporaneo delle sabbie in cumuli in corrispondenza della cella B. Al completamento del pennello B viene eseguito il ripascimento nella cella A ed al completamento del Pennello C nella cella B.

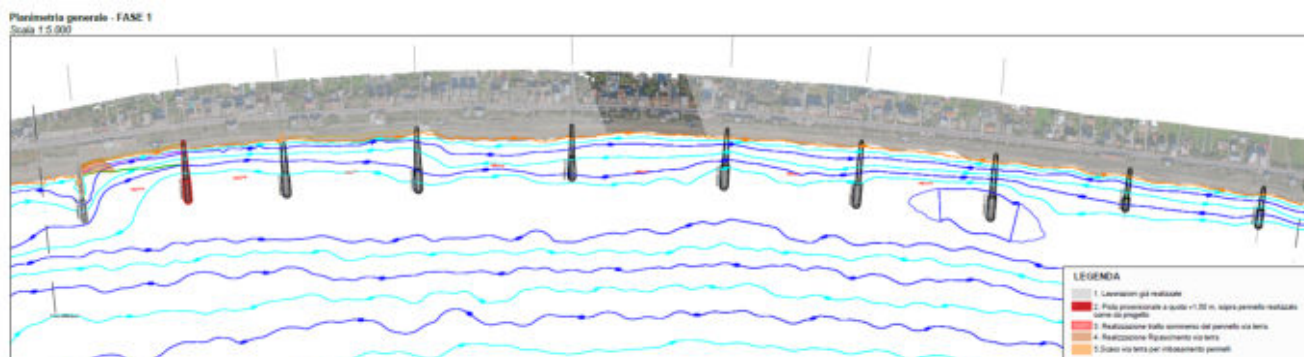


Figura 72 – Planimetria della fase 1



- **Fase 2:** Completamento dei pennelli C e D e realizzazione del Pennello E, con escavo dello scanno di imbasamento del pennello E ed accumulo delle sabbie da scavo in cumuli nella cella E; completamento del ripascimento nelle celle D ed E

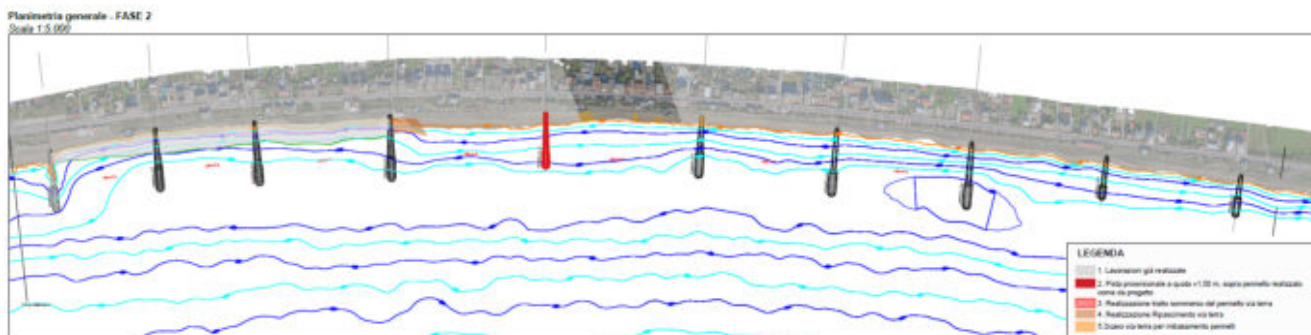


Figura 73 – Planimetria della fase 2

- **Fase 3:** Completamento di tutti i pennelli da A a I e del ripascimento nella cella F. Ripascimento in corso nella cella G e completamento della parte sommersa del pennello L.

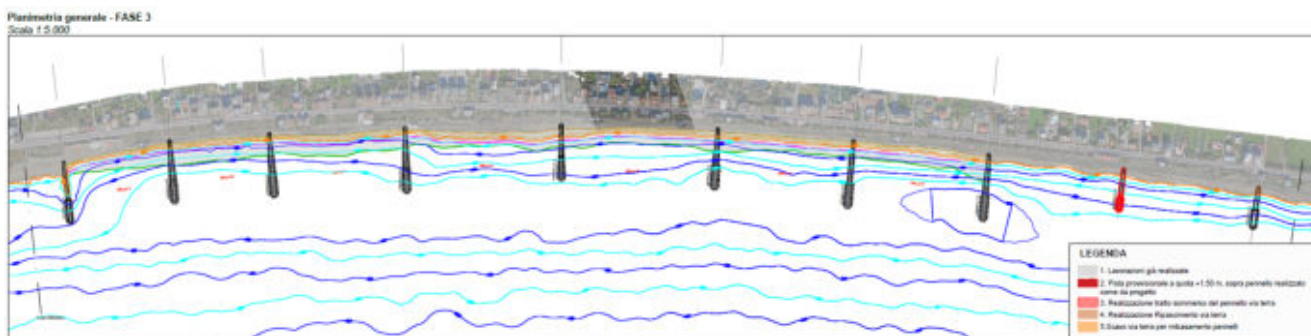


Figura 74 – Planimetria della fase 3

- **Fase 4:** Completamento di tutte le lavorazioni, rimozione della pista provvisoria al pennello L e smobilitazione del cantiere alla Foce del Verde.

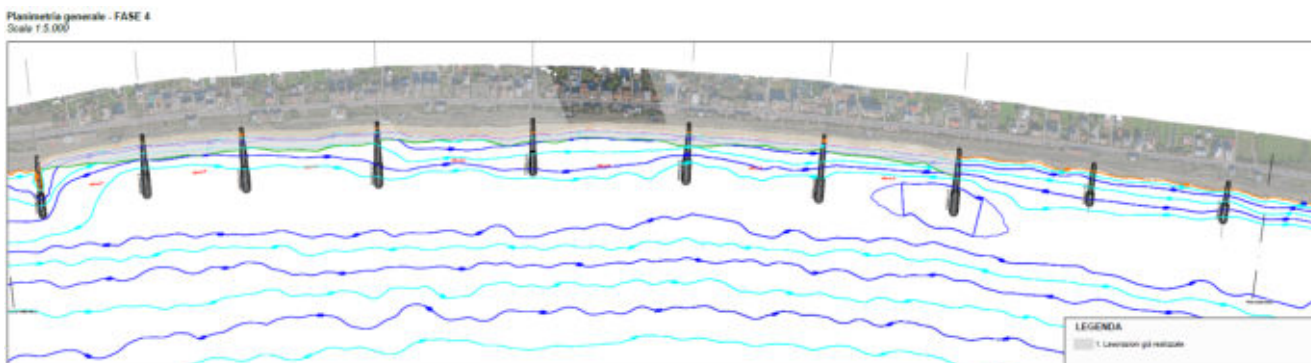


Figura 75 – Planimetria della fase 4

Le lavorazioni previste in progetto verranno eseguite via terra, compreso il trasporto del materiale lapideo dall'area di cantiere alla foce del Verde fino all'area d'intervento.

La realizzazione del singolo pennello avverrà in avanzamento da terra verso mare, costruendo il pennello secondo la sagoma di progetto e realizzando al di sopra di esso, per ogni singolo tratto, una pista provvisoria per il transito dei mezzi operativi di cantiere in massi naturali 50-500 kg, di spessore variabile (da quota progetto a quota +1,50 m s.l.m.m.), vedi Figura 76 e Figura 77. Una volta realizzato il pennello fino al riccio di testata, il mezzo operativo di cantiere eseguirà il salpamento dei massi naturali impiegati nella pista provvisoria di cantiere e li poserà in opera nel pennello successivo.

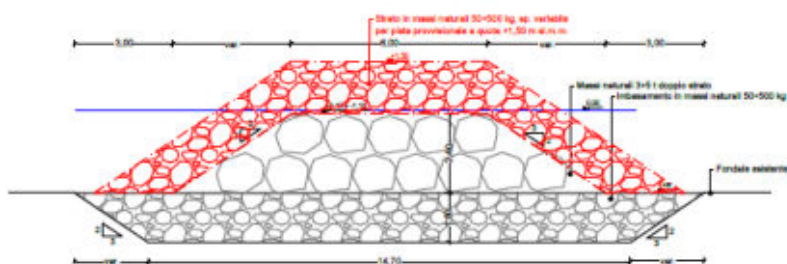


Figura 76 – Sezione tipologica trasversale (a sinistra) del pennello C con lo strato in massi naturali 50÷500 kg. sp. Variabile per pista provvisoria a quota +1.50 m sl.m.m.

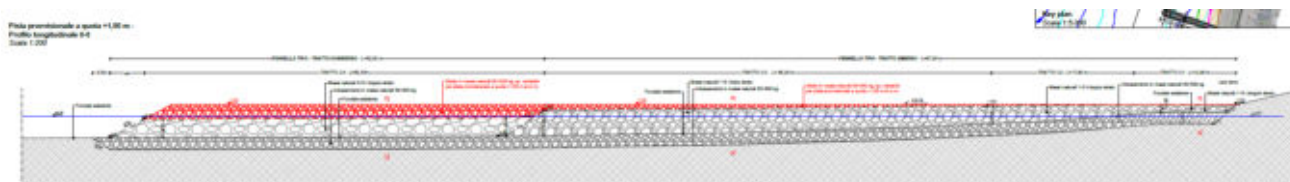


Figura 77 – Sezione longitudinale (in basso) del pennello C con lo strato in massi naturali 50÷500 kg, sp. Variabile per pista provvisoria a quota +1,50 m sl.m.m.

15.5 Gestione delle Materie

Il Progetto prevede lo scavo degli scanni di imbasamento delle opere di difesa costiera. Il materiale scavato sarà totalmente riutilizzato per il ripascimento del litorale. I soli materiali movimentati su strada saranno quelli necessari per la costruzione dei pennelli, per un tragitto di 130 km dalle cave all'area di cantiere alla foce del Verde.

Si ricorda infatti come il progetto prevede che tutte le lavorazioni vengano realizzate via terra. I massi verranno tutti trasportati via terra all'area d'intervento dall'area di cantiere ubicata alla foce del Verde.



PENNELLO	SCAVO	PENNELLO	SCAVO
	[m ³]		[m ³]
A		F	
Pennello	1.110,06	Pennello	3.031,39
B		G	
Pennello	2.903,00	Pennello	2.993,81
C		H	
Pennello	2.931,32	Pennello	3.178,87
D		I	
Pennello	2.752,02	Pennello	1.563,21
E		L	
Pennello	2.130,50	Pennello	1.648,08
		TOTALE [m³]	23.917,95

Tabella 9 – Volumi totali degli scavi.

PENNELLO	TIPOLOGIA MASSI		
	<u>Massi naturali 50÷500 kg</u>	<u>Massi naturali 1÷3 t</u>	<u>Massi naturali 3÷5 t</u>
	[m ³]	[m ³]	[m ³]
A			
Pennello tratto emerso	1.110,06	559,45	-
Pennello tratto sommerso		-	358,17
B			
Pennello tratto emerso	2.814,20	2.173,22	-
Pennello tratto sommerso		-	1.000,77
C			
Pennello tratto emerso	2.815,62	2.068,42	-
Pennello tratto sommerso		-	1.023,38
D			
Pennello tratto emerso	2.705,76	1.939,60	-
Pennello tratto sommerso		-	1.073,48
E			
Pennello tratto emerso	2.130,50	892,01	-
Pennello tratto sommerso		-	682,89



F			
Pennello tratto emerso	2.545,61	2.192,71	-
Pennello tratto sommerso		-	864,31
G			
Pennello tratto emerso	2.860,43	2.058,25	-
Pennello tratto sommerso		-	1.187,72
H			
Pennello tratto emerso	3.178,87	2.399,07	-
Pennello tratto sommerso		-	1.331,26
I			
Pennello tratto emerso	1.563,21	1.095,11	-
Pennello tratto sommerso		-	281,32
L			
Pennello tratto emerso	1.648,08	762,07	-
Pennello tratto sommerso		-	530,34
PISTE PROVVISORIE	1.834,65	-	-
TOTALE [m³]	25.207,01	16.139,91	8.333,64

Tabella 10 - Volume totale dei massi destinate alla costruzione delle opere di difesa costiera.

Per l'approvvigionamento dei massi destinati alla costruzione dei pennelli sono state individuate le seguenti cave:

- Cava Fiorotta, Località Fiorotta (S.P. Braccianese-Claudia, comune di Civitavecchia (RM)), litotipo calcare marnoso;
- Cava Sassicare, Località Sassicare (S.P. Braccianese-Claudia, comune di Civitavecchia (RM)) litotipo calcare marnoso;
- Tarquinia Cave S.r.l., Località Monte Cimbalò (via Aurelia km 96+000, Tarquinia (RM)) calcarenite cementata;
- Cave Royal S.r.l., Località Piagnano 1 (03040 Coreno Ausonio (FR)) litotipo calcare.

Il ripascimento verrà effettuato con le sabbie ricavate dall'escavo degli scanni di imbasamento delle opere di difesa costiera, i cui volumi sono riportati in Tabella 11.

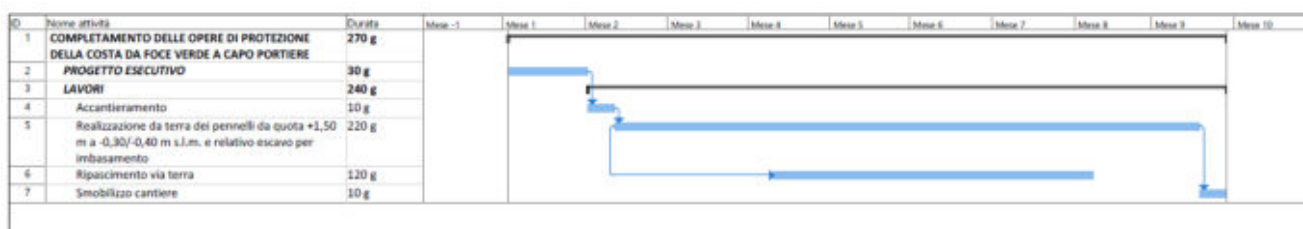


RIPASCIMENTO CELLE	
Descrizione	Volume [m³]
CELLA A	2.890,24
CELLA B	4.088,14
CELLA C	5.160,64
CELLA D	2.623,99
CELLA E	3.156,94
CELLA F	2.923,69
CELLA G	3.074,29
TOTALE	23.917,95

Tabella 11 – Volumi delle sabbie da destinare al ripascimento nelle singole celle.

15.6 Cronoprogramma

Le lavorazioni del Lotto 1 hanno una durata di nove mesi comprensivi di progettazione esecutiva (Figura 78). Lo scavo degli scanni di imbasamento e la realizzazione dei pennelli da terra ha una durata di 220 giorni, mentre il ripascimento avrà una durata di 120 giorni ed avverrà in contemporanea alla lavorazione di cui sopra.

*Figura 78 - Cronoprogramma delle lavorazioni del Lotto 1*

15.7 Espropri ed occupazioni temporanee

L'area occupata dagli interventi ricade in area demaniale marittima, non sono previsti espropri.

16 ASPETTI ECONOMICI E CONTRATTUALI

I prezzi applicati nel computo metrico sono stati desunti dal vigente Prezzario della Regione Lazio anno 2023. Di seguito si riporta il Quadro Economico del Lotto 1.



QUADRO ECONOMICO (conforme all'Art. 42 del D.P.R. 236/12 e all'art. 16 D.P.R. 207/10)		
"COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI PROTEZIONE DELLA COSTA DA FOCE VERDE A CAPO PORTIERE" - CIG: 86605564E6 - CUP: F26B19003970006		
A	SOMME A BASE D'APPALTO	Imponibile
A.1	IMPORTO ESECUZIONE DELLE LAVORAZIONI	
A.1.1	A misura	€ 0,00
A.1.2	A corpo	€ 4.580.677,76
A.1.3	In economia	€ 0,00
	Totale (A.1.1+A.1.2+A.1.3):	€ 4.580.677,76
A.2	IMPORTO PER L'ATTUAZIONE DEI PIANI DI SICUREZZA E COORDINAMENTO	
A.2.1	A misura	€ 0,00
A.2.2	A corpo	€ 69.322,73
A.2.3	In economia	€ 0,00
	Totale oneri per la sicurezza (A.2.1+A.2.2+A.2.3):	€ 69.322,73
	Somma Importi A.1+A.2	€ 4.650.000,49
	Arrotondamento	-€ 0,49
	TOTALE SOMME A BASE D'APPALTO (A.1+A.2):	€ 4.650.000,00
B	SOMME A DISPOSIZIONE DELLA STAZIONE APPALTANTE:	
B.1	Lavori in economia esclusi dall'appalto	€ 10.000,00
B.2.1	Rilevi, accertamenti, indagini, studi (morfologici e morfodinamici, geologici-geotecnici, batimetrici, sedimentologici e caratterizzazioni, archeologici e connessi), sul tratto di intervento	€ 50.000,00
B.2.2	Studi Specialistici meteomarinari tratto Torre Astura-Torre Paola	€ 35.000,00
B.3	Campagna monitoraggi*	€ 75.000,00
B.4	Allacciamenti ai pubblici servizi*	€ 4.000,00
B.5	Imprevisti* (3% di A)	€ 139.500,00
B.6	Acquisizione e occupazioni aree*	€ 5.000,00
B.7	Accantonamento per revisione prezzi artt. 60 e 120 Dlgs 36/2023* (1,5% di A)	€ 69.750,00
B.8	Compenso incentivante Art. 113 D.Lgs. 50/2016 (2% di A)	€ 93.000,00
B.9	IRAP	€ 5.108,24
B.10.1	Spese tecniche geologo, progettazione PFTE, Palef, VIA e altre aut., DL, sicurezza	€ 146.790,31
B.10.2	Spese tecniche relazione archeologica preliminare	€ 2.981,61
B.10.3	Spese tecniche progettazione esecutiva	€ 57.644,23
B.10.4	Attività di verifica e validazione*	€ 33.950,65
B.11	Spese per attività di consulenza o di supporto*	€ 0,00
B.12	Spese per attività strumentali*	€ 870,29
B.13	Spese di gara, pubblicità, contributo ANAC	€ 1.300,00
B.14	Spese per analisi e collaudi*	€ 26.250,46
B.15	IVA di legge sui lavori (A) - aliquota 22%	€ 1.023.000,00
B.16	IVA di legge su indagini e sp tecniche (B2+B10) - aliquota 22%	€ 64.331,55
	Totale somme a DISPOSIZIONE dell'AMMINISTRAZIONE	€ 1.843.477,34
	* Comprensivo di IVA	
	TOTALE IMPORTO PROGETTO (A+B)	€ 6.493.477,34
	TOTALE SOMME STANZIATE (A+B):	€ 6.493.477,34