

PAR-FAS 2007-2013 - LINEA DI AZIONE IV.2.1.A - RIDUZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI ALLUVIONALI, FRANOSI ED EROSIVI DELLE DIVERSE FASCE DEL TERRITORIO REGIONALE (MONTAGNA INTERNA, PEDEMONTANA E COSTIERA)", RIDUZIONE RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI EROSIVI DELLA COSTA, EX PAIN.

Le osservazioni dell'Associazione Albatour, del Consorzio Costa dei Parchi e dell'Associazione culturale Spiaggia d'argento sono identiche e pertanto verranno trattate insieme.

Le osservazioni prendono spunto dalla relazione del geologo G. Marrone.

Dal punto di vista dei principi operativi, le osservazioni, rifacendosi sempre alla relazione del geologo, riguardano la gestione delle zone costiere così come richiamate nelle raccomandazioni del Parlamento Europeo e del Consiglio relativamente all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere:

- Interdipendenza e diversità dei sistemi naturali
- Principio di precauzione
- Ricorso a sistemi naturali

Le osservazioni fanno inoltre riferimento al protocollo ICAM ed in particolare:

- Nella capacità naturale della costa di adattarsi ai cambiamenti inclusi quelli riconducibili alla risalita del livello del mare
- Nel riequilibrio dei sistemi fiume-costa favorendo i meccanismi di rialimentazione naturale attraverso la gestione dei depositi di sedimento intrappolati dalle opere di sbarramento lungo i corsi d'acqua (dighe, traverse, briglie).

Nelle osservazioni si dà atto che nella Verifica Ambientale Preliminare il quadro di riferimento è ben rappresentato anche se la Regione nella documentazione del Progetto ha rinunciato al perseguimento degli anzidetti principi, rilevandosi significative divergenze al quadro di riferimento.

Successivamente le osservazioni riportano le cause dei fenomeni erosivi della costa di origine naturale ed antropiche tratte dalla relazione del geologo Marrone ed in particolare viene evidenziato che "la realizzazione di strutture rigide, ha determinato, in un primo momento, in corrispondenza di tali aree l'arresto della fase erosiva e l'avanzamento della spiaggia ma, a causa dell'interruzione completa, del seppur debole transito sedimentario verso sud, ha anche innescato processi erosivi nelle spiagge stabili sottovento (Alba Adriatica), cioè nella direzione del trasporto solido dei sedimenti".

Le osservazioni continuano nell'esame dell'evoluzione nel tempo della linea di costa del litorale di Alba Adriatica partendo dall'anno 1940 fino al 2015 –

Gli arretramenti della linea di costa, sono da attribuire a:

- 1) Minor apporto solido da parte dei corsi d'acqua
- 2) Progressivo esaurimento dei fenomeni di erosione del litorale di Martinsicuro
- 3) L'insieme delle opere realizzate lungo il litorale di Martinsicuro ha prodotto la perdita dei sedimenti verso il largo a discapito del flusso litoraneo altrimenti destinato ad alimentare la spiaggia di Alba Adriatica posta sottoflutto (Mondini & Venturini 2001) –

Altra successiva osservazione è che il rinfoltimento delle barriere emerse eseguito dalla Regione nel 2014 hanno spostato il gradino di erosione più a Sud verso Alba Adriatica, pertanto è ragionevole affermare che, continuando nella esecuzione di simili opere, nel giro di qualche anno la spiaggia di Alba Adriatica subirà ulteriori, fortissimi effetti erosivi e anche il Comune di Tortoreto ne risentirà in maniera importante.

Pertanto si ritiene il progetto presentato carente e/o in contrasto con le misure di salvaguardia in quanto:

1. Si privilegiano le soluzioni rigide ai semplici ripascimenti
2. Non si incentivano opere a basso impatto
3. Non si tiene in debita considerazione il rapporto tra costi e benefici nel proporre l'intervento considerando i primi di gran lunga prevalenti rispetto ai secondi
4. Non si individuano opere ed interventi di protezione della costa per Tortoreto.

Ancora si evidenzia il collegamento eziologico tra l'accentuarsi del fenomeno erosivo del litorale di Martinsicuro di Villarosa e la costruzione del porto turistico avvenuto negli anni 2000: il porto cattura i sedimenti provenienti dal Tronto pertanto conclude il Comune che "qualsiasi intervento da realizzare non può fare astrazione, dal punto di vista progettuale, dalla realizzazione di lavori all'imboccatura del porto di Martinsicuro, appunto allo scopo di ristabilire il ripascimento naturale garantito dall'apporto del sedimento da parte del fiume Tronto".

L'Associazione Albatour, il Consorzio Costa dei Parchi e l'Associazione culturale Spiaggia d'argento sottolineano che per i modelli numerici utilizzati per lo studio degli scenari non risultano riportati i parametri utilizzati in input sottraendo la possibilità di qualsivoglia controllo, come non sono riportati gli errori e il grado di confidenza dei modelli stessi.

In ultimo nelle osservazioni viene detto che l'intervento proposto dalla Regione di realizzare dei pennelli non è condivisibile, in quanto quest'ultimi alterano profondamente i meccanismi del trasporto litoraneo, mediante l'intercettazione delle sabbie e causano una generale espansione della spiaggia sopraflutto e fenomeni erosivi anche importanti nei settori sottoflutto. Continuano le osservazioni che oltre alle variazioni in termini di forma e dimensioni della spiaggia c'è anche un effetto di perdita del sedimento verso il largo a seguito dell'avanzamento della linea di riva in corrispondenza del versante sopraflutto del pennello. Infine si lamenta che è del tutto mancante negli elaborati di progetto la valutazione dell'entità, innegabile ed oggettiva, del trasporto solido dei corsi d'acqua afferenti alla costa, per cui risulta preoccupante la prospettiva che a seguito degli interventi si continuerà a perdere sedimenti verso l'offshore per l'inefficacia dei pennelli nei confronti dell'erosione del mare ortogonale alla linea di costa di costa e al contempo si rinuncerà al seppure ridotto ma rilevante apporto solido dei corsi d'acqua afferenti alla costa per via dell'erosione "disperdente" a largo i sedimenti determinata dai pennelli.

In conclusione si evidenzia che tutte le relazioni di progetto risultano oltremodo carenti in tema di valutazione del possibile impatto ambientale della realizzazione dei pennelli. Ciò con riferimento ai possibili riflessi dei pennelli sul dinamismo delle acque.

In particolare le interferenze dei pennelli con il dinamismo delle acque, specie nei periodi più caldi e calmi, comportano il rischio della proliferazione algale anche di natura tossica, intensificate da un possibile riduzione del ricambio idrico all'interno delle celle che determinerebbe anche lo sviluppo o l'accumulo, di popolamenti fitoplanctonici determinando torbidità dell'acqua e in casi estremi eventi di ipossia/anossia dei fondali.

Altro profilo rilevante lamentato e ignorato dagli studi e dai documenti allegati al progetto preliminare è il possibile impatto dei pennelli sulla balneabilità delle acque.

Si evidenzia che la classificazione come qualità scarsa delle acque hanno determinato l'emissione da parte del Sindaco di Martinsicuro di 6 ordinanze di divieto temporaneo di balneazione nel corso dell'ultima stagione balneare. Concludono le osservazioni che l'intervento proposto ha trattato con estrema superficialità i rischi di natura ambientale e in tema di salute pubblica derivanti dalla realizzazione dei pennelli che come sopra specificato determinano una diminuzione del ricambio idrico e l'innalzamento della temperatura dell'acqua facilitando il ristagno e la conseguente proliferazione dei batteri.

Dall'esame della documentazione progettuale si ravvisa una serie impressionante di criticità concernente aspetti sia sul piano generale della coerenza con il quadro di riferimento sovraordinato, sia nel merito dell'efficacia e gli impatti sull'ambiente, sul paesaggio, sulle dinamiche socioeconomiche dell'area interessata.

Sempre secondo l'Associazione Albatour, il Consorzio Costa dei Parchi e l'Associazione culturale Spiaggia d'argento tali problematiche vanno attribuite alla mancata visione d'insieme del progetto in esame anzi ritengono, che l'"aggiustamento" dei dati per giustificare gli interventi sia dettata dall'esigenza di concretizzare l'opportunità di accesso ai benefici economici dei fondi ex Pain a discapito di scelte più efficaci, efficienti e sostenibili in termini ambientali, sociali ed economici.

Si ritiene che il progetto in esame è frutto di un probabile ed inadeguato, obsoleto, studio degli anni '90 (RICAMA) che alla data odierna non è più coerente con lo status geomorfologico della costa in questione.

Ultima considerazione riguarda l'impatto paesaggistico sul profilo della costa ritenuto rilevante, in relazione alla consistenza delle opere richiamando le dimensioni dei tre pennelli in termini di lunghezza (60, 80 e 100 m.) di larghezza (3 m.) e di affioramento rispetto al livello medio del mare (1 m.).

CONTRODEDUZIONI

Lo scopo di realizzare l'intervento di difesa costiera a Martinsicuro è quello di proteggere il litorale, consentendo una transizione graduale tra la zona posta a Nord, difesa da pennelli e da sistemi a celle, e quella posta a Sud che risulta priva di opere di difesa costiera.

Per quanto riguarda gli aspetti metodologici per cui si è arrivati a proporre l'intervento dei tre pennelli in Villa Rosa di Martinsicuro si fa riferimento allo "studio di fattibilità dell'intervento sul litorale di Martinsicuro. Fattibilità tecnico-territoriale" R.14.b (Allegato A) del progetto "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale" del marzo 2002 finanziato dal CIPE n.106/1999.

In detto studio di fattibilità era prevista la realizzazione dei tre pennelli che ad oggi risulta come completamento dell'intervento, nell'area sottoflutto, al sistema a celle realizzato nel 2008.

Si rammenta che l'anzidetto progetto di "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale" è il prodotto finale di analisi e valutazioni di carattere morfologico, ambientale e socio-economico iniziate nel 1998 con il progetto R.I.C.A.M.A. (Rationale for Integrated Coastal Area Management) che ha previsto la collaborazione di partner europei tra cui la Delft University of Technology leader nella gestione integrata della costa e conclusesi nel 2006 con il progetto S.I.C.O.R.A.

La Regione Abruzzo è stata tra le prime regioni italiane a riconoscere l'importanza della gestione integrata e sostenibile della fascia costiera, evidenziando la necessità di promuovere e sostenere lo sviluppo di processi

integrati di governo. Nel 1997 la Regione Abruzzo ha ottenuto dalla Comunità Europea il cofinanziamento del progetto RICAMA nell'ambito del Programma LIFE, sulla base di un progetto sviluppato di concerto con il DISAT (Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno) della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi dell'Aquila. Il Progetto R.I.C.A.M.A. aveva l'intento di rispondere all'esigenza di impostare ed impiegare nuovi strumenti metodologici ed organizzativi per far fronte, in primo luogo, alla diffusa erosione della costa abruzzese, spesso aggravata da infrastrutture antropiche inadeguate, e quindi allo sviluppo urbanistico ed infrastrutturale della zona costiera.

Quasi contestualmente al Progetto RICAMA la Regione Abruzzo ha approvato la legge n.108/1997 con la quale promuoveva "attività di ricerca applicata di supporto alla programmazione di pianificazione regionale in materia di difesa della costa dai fenomeni erosivi". A questo progetto veniva attribuito il nome SICORA (Supporto Informativo per la gestione della zona COSTiera della Regione Abruzzo). Data la stretta interconnessione e consequenzialità esistente tra RICAMA e SICORA, la Regione ha avviato in primo luogo il progetto RICAMA che, partito nel mese di novembre del 1998, si è concluso nel 2001; quindi, all'inizio del 2002, conclusosi il progetto RICAMA, ha dato inizio al progetto SICORA.

Il progetto SICORA si è orientato ad avviare processi di governo dell'area costiera della Regione Abruzzo. L'obiettivo prioritario era quello di costituire un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) costantemente operativo. Il DSS ha consentito l'avviamento e lo sviluppo dei processi di governo dell'area costiera, in modo che la Pubblica Amministrazione potesse fornire risposte efficaci e sostenibili alle problematiche relative alla gestione della fascia costiera. Il progetto prevedeva inoltre il sostanziale potenziamento del Sistema Informativo Territoriale (SIT) e studi scientifici e socio-territoriali specialistici, tra i quali lo studio della ricostruzione dei sistemi dunali mediante vegetazione autoctona. I risultati di tutte le indagini scientifiche e socio-economico-territoriali, in forma di rapporti tecnici e/o software, sono stati trasferiti alla Pubblica Amministrazione, inseriti nel SIT della Regione Abruzzo e inglobati nelle linee guida contenute nel DSS e nel rapporto zero sullo stato delle coste abruzzesi.

Per quanto il lamentato contrasto del progetto con le misure di salvaguardia suggerite dalle normative di seguito viene riportato l'inquadramento normativo della materia sulla gestione della dinamica litoranea e dei sedimenti richiamando normative, protocolli, regolamenti, raccomandazioni ecc., nazionali e internazionali ed europei riguardanti il fenomeno erosivo.

Nel 1987 la Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo, nel Rapporto Brundtland, elabora il concetto di sviluppo sostenibile come sviluppo che risponda alle necessità del presente senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni. Lo sviluppo sostenibile diviene condizione necessaria affinché non sia irrimediabilmente intaccato il patrimonio di risorse naturali, tentando così, per la prima volta, in nome del principio di equità intergenerazionale, di coniugare sviluppo economico e tutela ambientale.

La Dichiarazione di Rio, stilata nel 1992 in occasione della Conferenza delle Nazioni Unite su "Ambiente e Sviluppo", riprende ed amplia il nuovo approccio, aggiungendo altri corollari, quali l'esigenza di partnership mondiale per la salvaguardia dell'ambiente con responsabilità comuni ma differenziate, l'obbligo di informazione e partecipazione del pubblico ai processi decisionali, l'obbligo della preventiva valutazione di impatto ambientale delle principali attività nazionali aventi effetti sull'ambiente e la promozione di strumenti economici per individuare i costi per la tutela dell'ambiente.

A livello comunitario esistono tuttavia convenzioni che esaminano temi di carattere generale come, ad esempio, la tutela del mare, nell'ambito delle quali il problema dell'erosione costiera riveste un ruolo senza dubbio marginale.

Prima tra tutte la Convenzione di Barcellona per la protezione dell'ambiente marino e del litorale del Mediterraneo, adottata a Barcellona il 16 febbraio 1976 e modificata il 10 giugno 1995. La Convenzione

mantiene la sua natura di quadro programmatico di riferimento, la cui attuazione deve essere realizzata mediante l'adozione di specifici protocolli che concretizzano i principi in essa enunciati con riguardo alle varie forme di inquinamento.

Esistono poi convenzioni che trattano aspetti specifici relativi alle attività di scavo e quindi solo marginalmente coinvolgono il tema in questione nella sua globalità; è il caso soprattutto del Protocollo del 1996 alla Convenzione di Londra del 1972 sulla prevenzione dell'inquinamento dei mari causato dall'immersione dei rifiuti, oppure Direttive europee che riguardano la individuazione degli ambienti marino costieri ai fini di conservazione come La Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, che nell'Allegato I – “Tipi di habitat naturali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di aree speciali di conservazione”, individua fra gli altri: 1.1 Acque marine e ambienti a marea; 1.2 Scogliere marittime e spiagge ghiaiose; 2.2 Dune marittime delle coste mediterranee.

In maniera più focalizzata, alla citata Convenzione di Barcellona si affianca il Protocollo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere del Mediterraneo (firmato a Madrid il 21 gennaio 2008). Il Protocollo GIZC ha l'obiettivo di promuovere un quadro comune per la gestione integrata delle zone costiere del Mediterraneo.

Secondo quanto indicato nel Protocollo GIZC, per gestione integrata delle zone costiere s'intende “un processo dinamico per la gestione e l'uso sostenibile delle zone costiere, che tiene conto nello stesso tempo della fragilità degli ecosistemi e dei paesaggi costieri, della diversità delle attività e degli utilizzi, delle loro interazioni, della vocazione marittima di alcuni di essi e del loro impatto sulle componenti marine e terrestri”.

Nell'ordinamento comunitario il tema dell'erosione costiera emerge a proposito dei numerosi profili di tutela ambientale che esso coinvolge, come ad esempio la Direttiva 85/337/CE (modificata dalla Direttiva 97/11/CE e dalle successive Direttive 2011/92/UE e 2014/52/UE) sulla “Valutazione dell'Impatto Ambientale di determinati progetti pubblici e privati”. In particolare l'Allegato II include tra le opere soggette a VIA il “recupero di terre dal mare”, “l'estrazione di minerali mediante dragaggio marino” e le “opere costiere destinate a combattere l'erosione e lavori marittimi volti a modificare la costa mediante la costruzione, per esempio, di dighe, moli, gettate e altri lavori di difesa dal mare, esclusa la manutenzione e la ricostruzione di tali opere”.

Ma la base della politica comunitaria in materia di zone costiere si concretizza in modo organico nel Quinto Programma d'Azione per l'Ambiente che prosegue poi con il Sesto programma d'Azione per l'Ambiente (che copre il periodo compreso tra il 2002 e il 2012), in risposta ad una richiesta del Consiglio Europeo di definire una strategia globale per la Gestione Integrata delle Zone Costiere.

A tal proposito nel 1996 è stato avviato dalla Commissione Europea un “Programma dimostrativo” sulla GIZC, comprendente 35 progetti di dimostrazione e 6 studi tematici, finalizzato a fornire informazioni tecniche sulla gestione sostenibile della costa e a stimolare il dibattito tra i vari stakeholders coinvolti.

Sulla base delle esperienze e dei risultati del programma dimostrativo, l'Unione Europea ha poi adottato due documenti che costituiscono oggi i principali riferimenti dell'azione comunitaria in materia:

- la Comunicazione COM/2000/547 della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo sulla gestione integrata delle zone costiere: una strategia per l'Europa del 27 settembre 2000;
- la Raccomandazione 2002/413/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa all'attuazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa del 30 maggio 2002.

La Comunicazione della Commissione Europea COM/2000/547, illustra il programma di lavoro comunitario per promuovere la gestione integrata delle zone costiere tramite l'uso di strumenti e programmi comunitari, proponendo agli Stati membri un approccio collaborativo per la pianificazione e la gestione delle zone costiere.

La Raccomandazione 2002/413/CE contiene un invito agli Stati membri ad adottare un approccio strategico per la gestione delle loro coste basato su una serie di azioni di tutela degli ecosistemi litoranei, di sviluppo dell'occupazione e di sviluppo economico-sociale rispettoso dei valori ambientali operato da parte delle comunità locali.

A seguito della Raccomandazione, la Commissione ha adottato altri atti per la tutela dell'ambiente marino, a partire dalla Comunicazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo del 24 ottobre 2005 "Strategia tematica per la protezione e la conservazione dell'ambiente marino " (COM/2005/504) e dalla proposta di Direttiva sulla strategia per l'ambiente marino.

Infine, nel 2007 la Commissione Europea ha predisposto la "Relazione al Parlamento europeo e al Consiglio: Valutazione della gestione integrata delle zone costiere in Europa" (COM/2007/308). La valutazione prende avvio dalle singole relazioni e contributi sulle strategie nazionali per promuovere la gestione integrata delle zone costiere inviate dagli Stati membri costieri entro febbraio 2006.

Vi sono altri documenti che completano il quadro vigente, in particolare disciplinano il problema della prevenzione dei rischi di erosione in area costiera:

- la proposta di Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per la protezione del suolo (COM/2006/232 del 22 settembre 2006) e modifica la Direttiva 2004/35/CE (Direttiva sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale). Tale proposta, dopo aver premesso che l'erosione costituisce uno degli otto principali problemi che affliggono i suoli in Europa, prevede l'obbligo da parte degli Stati membri di individuare le aree di rischio di erosione causata dall'acqua e dal vento (art. 6, paragrafo 1).

- la Direttiva 2007/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla "Valutazione e gestione dei rischi da alluvione" (Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L 288/27 del 6 novembre 2007). Si prevede per le aree costiere una preliminare valutazione del rischio di alluvione attraverso l'adozione di specifici piani di gestione del rischio basati sul diverso livello dello stesso (bassa, media o alta probabilità). La direttiva contiene previsioni che riguardano il tema dell'erosione costiera sotto l'aspetto "precauzionale" nel senso che hanno lo scopo di anticipare il possibile danno alla fascia costiera attraverso un'analisi scientifica del rischio. Il processo di formulazione, attuato a livello nazionale attraverso il D.lgs 42/2010, ha portato a dicembre 2015 all'adozione dei primi Piani di Gestione del Rischio Alluvioni, comprendenti anche le zone a rischio costiere.

Altre direttive che interessano l'ambiente marino-costiero, come la Direttiva 2008/56/CE (17 giugno 2008) del Parlamento Europeo e del Consiglio che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino), danno indicazioni sulla necessità di integrazione e complementarietà dei diversi strumenti e di visione unitaria dell'ambiente marino-costiero.

Per quanto sopra riportato è evidente che a livello internazionale e comunitario non troviamo una normativa specifica che riguarda l'erosione marina e la difesa della costa ma solo delle enunciazioni di principio a cui la Regione si è strettamente attenuta con un percorso iniziato dal 1998 con il progetto RICAMA, proseguito con il progetto SICORA, che hanno consentito di fare approvare alla Giunta Regionale e al Consiglio Regionale (rispettivamente con deliberazione della GR n.964 del 13.11.2002 e con Verbale del

Consiglio Regionale n.63/3 del 13.06.2006) lo studio di fattibilità intitolato "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili" con il quale sono stati individuati per l'intera costa abruzzese la vulnerabilità della stessa ed i livelli di rischio associati ai singoli tratti costieri, suddivisi in aree fisiografiche omogenee, nonché sette studi di fattibilità nelle aree a maggiore vulnerabilità, necessari per contenere i fenomeni erosivi di cui il progetto dei tre pennelli rientra in quello citato come "Studio di fattibilità dell'intervento sul litorale di Martinsicuro".

Pertanto dal punto di vista metodologico il progetto di che trattasi è supportato da analisi e valutazioni frutto di un percorso perfettamente conforme al quadro di riferimento programmatico della Regione Abruzzo per la difesa della costa. A latere si osserva che gran parte dello studio del geologo Marrone a cui fa riferimento il Comune è tratto dagli studi prodotti da parte della Regione Abruzzo nell'ambito dei progetti RICAMA e SICORA e del progetto "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale" così come dovutamente riportato nella bibliografia riportata nello studio del dott. Marrone.

Per quanto riguarda gli aspetti più squisitamente tecnici della relazione del geologo Marrone si rimanda all'elaborato "Risposte alla relazione del geol. Giovanni Marrone" del 2.02.2016 redatto dal prof. Ing. Paolo De Girolamo a cui si farà riferimento nelle puntuali controdeduzioni alle osservazioni del Comune. L'elaborato allegato e fatto proprio costituisce parte integrale e sostanziale del presente scritto (All. B) .

Alle osservazioni dell'Associazione Albatour, del Consorzio Costa dei Parchi e dell'Associazione culturale Spiaggia d'argento che per i modelli numerici utilizzati per lo studio degli scenari non risultano riportati i parametri utilizzati in input sottraendo la possibilità di qualsivoglia controllo, come non sono riportati gli errori e il grado di confidenza dei modelli stessi si fa presente che lo studio morfodinamico è stato condotto mediante l'applicazione del modello numerico del tipo ad una linea GENESIS ed in particolare che per la calibrazione del modello numerico, si è fatto riferimento al precedente studio redatto dal LIAM dall'Università dell'Aquila per conto della Regione Abruzzo dal titolo:

"Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale compreso tra la foce del Vibrata e il Porto di Giulianova ad integrazione del Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002 - Rapporto Conclusivo – LIAM CT-16, Maggio 2011".

Inoltre si è utilizzato un rilievo della linea di riva eseguito dalla Regione Abruzzo nel 2015, appositamente per la redazione dello studio morfodinamico.

Alle osservazioni riguardo il fatto che:

1) i pennelli alterano profondamente i meccanismi del trasporto litoraneo, mediante l'intercettazione delle sabbie e causano una generale espansione della spiaggia sopraflutto e fenomeni erosivi anche importanti nei settori sottoflutto

2) oltre alle variazioni in termini di forma e dimensioni della spiaggia c'è anche un effetto di perdita del sedimento verso il largo a seguito dell'avanzamento della linea di riva in corrispondenza del versante sopraflutto del pennello

Il prof. De Girolamo riporta: *Nella relazione si fa anche riferimento a studi eseguiti dalla Regione Abruzzo sulla tematica della gestione dell'area costiera, come ad esempio il progetto Sicora, lo Studio Ricama e il progetto CIPE.*

Non vi è alcun riferimento al più recente studio effettuato dalla Regione Abruzzo sul litorale in questione dal titolo:

“Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale compreso tra la foce del Vibrata e il Porto di Giulianova ad integrazione del Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002 - Rapporto Conclusivo – LIAM CT-16, Maggio 2011”.

L’obiettivo del suddetto studio è stato proprio quello di esaminare quantitativamente le possibili soluzioni alternative per questo delicato tratto di litorale.

Peraltro, di tale studio ci si è serviti per la redazione del progetto di tre pennelli corti, di lunghezza variabile, per la difesa di un tratto di costa appartenente al comune di Martinsicuro, nell’ambito del finanziamento PAR-FAS 2007-2013 - LINEA DI AZIONE IV.2.1.A - RIDUZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI ALLUVIONALI, FRANOSI ED EROSVI DELLE DIVERSE FASCE DEL TERRITORIO REGIONALE (MONTAGNA INTERNA, PEDEMONTANA E COSTIERA)”, RIDUZIONE RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI EROSVI DELLA COSTA, EX PAIN.

Continua il prof. De Girolamo “A riguardo è necessario osservare che gli interventi realizzati nel passato a Martinsicuro dalla Regione Abruzzo non hanno modificato l’assetto verso il largo delle opere di difesa e quindi non possono aver ridotto l’alimentazione solida del litorale di Alba Adriatica.

Sempre su questo aspetto preme osservare che nel paragonare i pennelli alle barriere distaccate ai fini della capacità di intercettare il trasporto solido longitudinale, il parametro di riferimento è costituito dal loro assetto verso il largo, ovvero dalle profondità raggiunte da queste opere, che devono essere rapportate alla profondità di chiusura del litorale, la quale a sua volta è un invariante per uno stesso litorale. Pertanto a parità di profondità raggiunte, mediamente la capacità di intercettazione risulta simile. Ovviamente la capacità di intercettazione solida tende ad aumentare ad aumentare della profondità raggiunta dalle opere e risulta massima quando si raggiunge la profondità di chiusura.

Il problema sostanziale del quale l’Autore non fa menzione è che tutto il litorale compreso tra la foce del Tronto e Giulianova, avendo subito una sensibile riduzione degli apporti solidi dello stesso fiume dal quale veniva alimentato, si trova in condizioni di instabilità. Le uniche soluzioni percorribili a lungo termine in assenza del ripristino del trasporto solido fluviale, oggi totalmente impedito dalla normativa vigente, sono:

- 1. alimentare il litorale in modo artificiale mediante ripascimenti, sopperendo in tal modo al "deficit" sedimentario del trasporto solido fluviale;*
- 2. oppure, difendere l’intero litorale fino al porto di Giulianova con opere rigide rendendo stabile una forma planimetrica del litorale che non è stabile a causa del deficit di alimentazione solida.*

Di questi aspetti si è occupato lo studio della Regione Abruzzo del 2011 sopra citato al quale si rimanda per approfondimenti.”

Termina il prof. De Girolamo : *“In conclusione, si ribadisce come già sostenuto nel progetto, che i pennelli “corti” che si intende realizzare a Martinsicuro, non causeranno alcun danno al litorale di Alba Adriatica. Ciò è stato provato mediante lo studio condotto mediante simulazioni numeriche e allegato al progetto stesso”.*

Lo studio a cui fa riferimento il prof. De Girolamo è quello commissionato dalla Regione Abruzzo nell’ambito degli studi specialistici del progetto definitivo-esecutivo in esame, intitolato “Studio Morfodinamico” del 18 dicembre 2015 che di seguito allegato costituisce parte integrale e sostanziale del presente elaborato (All.C).

L’obiettivo dello studio è stato quello di valutare l’influenza che i pennelli in progetto possono esercitare a Sud dell’intervento , ovvero sia lungo il litorale di Martinsicuro posto a Nord della foce del torrente Vibrata, sia lungo il litorale di Alba Adriatica posto a Sud della stessa foce.

Raccogliendo quindi l'invito ad applicare il principio di c.d. precauzione tale che la valutazione deve tendere a dimostrare in maniera oggettiva e comprovata che non si produrranno effetti negativi sull'integrità del sito si riporta in allegato la relazione "sull'analisi del trasporto solido" nell'ambito dei "Lavori di consolidamento scogliere esistenti e chiusura dei varchi nel Comune di Martinsicuro" di Feb.2014 (All.D) redatto dal prof. Piero Ruol in cui si afferma che "In conclusione, sulla base degli studi condotti, si può affermare che nell'area di intervento quasi il 90% del trasporto solido in direzione parallela alla riva avvenga al largo delle barriere frangiflutti" e conclude il prof. Ruol " il litorale sottoflutto all'area di intervento, più precisamente la spiaggia di Alba Adriatica a Sud della foce del Vibrata, viene alimentato dal trasporto solido proveniente da Nord, che avviene quasi esclusivamente al largo delle barriere e non è quindi influenzato da quanto viene realizzato tra queste e la riva".

Per quanto riguarda la grave affermazione sul "frequente ricorso a modalità di aggiustamento dei dati caratterizzanti le argomentazioni addotte in favore delle scelte progettuali inequivocabilmente divergenti rispetto a quelle più obiettivamente rilevabili entrando nel merito di specifici argomenti, che lascia presumere la prevaricante esigenza di concretizzare l'opportunità di accesso ai benefici economici dei fondi ex pain a discapito della auspicata, e indispensabile individuazione delle scelte più efficaci, efficienti e sostenibili in termini ambientali, sociali ed economici" si ritiene la stessa gratuita ed offensiva in quanto l'aggiustamento dei dati deve essere dimostrato e la paventata necessità di accesso ai benefici economici rileva una non conoscenza delle modalità di attribuzione degli stessi.

Infine per quanto riguarda l'affermazione che: "il progetto in esame è frutto di un probabile ed inadeguato, obsoleto, studio degli anni '90 (RICAMA) che alla data odierna non è più coerente con lo status geomorfologico della costa in questione", si evidenzia che il progetto è supportato dai rilievi batimetrici e dallo studio morfodinamico risalenti al 2015.

Per quanto esposto si ritiene oltre ogni ragionevole dubbio, che la realizzazione dei tre pennelli di cui al progetto in questione, per la loro collocazione (sottoflutto al sistema di protezione a celle) e per la loro estensione (all'interno della linea delle barriere soffolte) non influenzeranno l'attuale stato della costa di Alba Adriatica e Tortoreto. Tale conclusione è supportata a differenza delle valutazioni riportate nelle osservazioni che sono di tipo quantitativo e non giustificate da calcoli o da analisi specifiche, da tre relazioni tecniche (allegati B, C e D) redatte dai prof. Paolo De Girolamo e il prof. Piero Ruol specialisti nel campo della morfodinamica costiera.

Controdeduzioni ai rilievi ambientali

Le osservazioni evidenziano che nelle relazioni di progetto risultano oltremodo carenti in tema di valutazione del possibile impatto ambientale della realizzazione dei pennelli. Ciò con riferimento ai possibili riflessi dei pennelli sul dinamismo delle acque. In particolare le interferenze dei pennelli con il dinamismo delle acque, specie nei periodi più caldi e calmi, comportano il rischio della proliferazione algale anche di natura tossica, intensificate da un possibile riduzione del ricambio idrico all'interno delle celle che determinerebbe anche lo sviluppo o l'accumulo, di popolamenti fitoplanctonici determinando torbidità dell'acqua e in casi estremi eventi di ipossia/anossia dei fondali.

I rilievi risultano non pertinenti in quanto come evidenziato dalla relazione ambientale allegata alla Verifica di Assoggettabilità tra le opere di difesa costiera (barriere emerse, barriere soffolte, ecc.) i pennelli ortogonali alla costa " dal punto di vista ambientale " sono caratterizzati da un impatto visivo meno rilevante rispetto alle barriere in quanto non creano zone di stagnazione dell'acqua marina. Presentano come impatto più marcato quello della creazione di discontinuità della linea di costa e del frazionamento della battigia per gli usi turistico balneari." I pennelli, pertanto, non determinano celle al cui interno potrebbero aversi fenomeni di scarso ricambio idrico e problemi sulla qualità delle acque di balneazione.

Tra l'altro nei vari chilometri di opere di contenimento dell'erosione realizzate in Abruzzo con il sistema delle "celle" (Pescara, Casalbordino, Martinsicuro, Montesilvano) non si sono osservati nei vari anni fenomeni né di bloom algali fitoplanctonici né di anossia dei fondali o di specifici fenomeni di aumento di inquinamento batteriologico tipici del ristagno delle acque marine o di mancato ricambio delle stesse. I fenomeni che si sono verificati fino ad ora in Abruzzo e che hanno riguardano la presenza di fenomeni eutrofici o di esplosioni algali si sono verificati a prescindere dalle opere di difesa costiera e anzi spesso ancora maggiormente in acque aperte. In particolare alcune intense ma sporadiche fioriture dell'alga *Fibricapsa japonica* (alga non tossica per l'uomo ma ittiotossica) che hanno interessato i comuni di Giulianova ,Tortoreto, Fossacesia ed altri si sono sviluppate in acque del tutto libere e con intensa attività di ricambio. Quanto al richiamo ad alghe "tossiche" si evidenzia che la Regione Abruzzo tramite l'Arta monitora nel periodo estivo e direttamente ai fini della balneazione la presenza o meno di tali tipologie di alghe. In particolare viene effettuato uno specifico monitoraggio per la ricerca e l'individuazione dell'alga bentica "*Ostreopsis ovata*" sia nelle acque di balneazione che nei substrati duri ai fini della sua individuazione. Ad oggi la stessa è stata rilevata e controllata nella stagione 2014 nelle aree con tipologia di fondali con fondi duri o con presenza di rocce naturali nei Comuni di Rocca San Giovanni, Fossacesia e San Vito Chietino. Non risulta rinvenuta nei comuni costieri teramani .

Anche fenomeni di aumento dell'eutrofia provocate dalla realizzazione dei tre pennelli ortogonali alla costa appare del tutto inverosimile. L'eutrofizzazione è infatti una delle principali minacce per gli ecosistemi costieri di tutto il mondo. Fenomeni eutrofici si verificano quando l'arricchimento delle acque in nutrienti, soprattutto di composti dell'azoto e/o del fosforo, determina un aumento della produzione primaria e della biomassa algale con conseguenze negative sugli organismi marini e, più in generale, sulla qualità dell'acqua stessa. L'immissione nell'ambiente marino e costiero di apporti di azoto e fosforo deriva da fonti puntuali (ad esempio scarichi di trattamento delle acque reflue, di processi industriali e di impianti di acquacoltura e maricoltura), e da fonti diffuse (ad esempio il dilavamento delle superfici agricole e le emissioni dei trasporti). Nel caso specifico pericoli di aumento della trofia per acque costiere sono legati per la quasi totalità agli apporti del fiume Vibrata che veicola nel tratto marino interessato anche reflui di depurazione in cui non avvengono abbattimenti dei nutrienti richiamati.

La valutazione dell'eutrofizzazione nelle acque marine deve essere in linea con quanto previsto dalla Direttiva 2000/60/CE, in modo da garantire la comparabilità di approcci e traguardi. La Direttiva 2008/56/CE (marine strategy) e la successiva Legge di recepimento italiana D.Lgs. 190/2010 hanno aggiunto ai livelli di definizione inseriti nella Direttiva 2000/60/CE specifiche proposte di definizioni dei livelli di valutazione degli indicatori di qualità (ai fini del raggiungimento entro il 2020 dello stato di "buono" di tutte le acque marine europee). In considerazione comunque della notevole riduzione dell'apporto della frazione fosforica(fattore limitante) la trofia presente sia nella zona di Martinsicuro che in quella di Alba Adriatica rientra nei parametri di "buono/eccellente".

Altro elemento richiamato dai ricorrenti viene riferito alla balneazione delle aree limitrofe al fiume Vibrata situate sia nel Comune di Martinsicuro che in quello di Alba Adriatica. Viene allegata dai ricorrenti la delibera della Giunta Regionale d'Abruzzo in cui le aree adiacenti al fiume in entrambi i Comuni sono state classificate "scarse". Anche le analisi batteriologiche prodotte dall'Arta nella stagione balneare 2015 evidenziano alcuni superamenti dei valori limiti in maniera maggiore nel comune di Martinsicuro che in quello di Alba Adriatica dove comunque si sono verificate . Tale situazione appare collegato alla dinamica delle correnti marine e dei venti dominanti che alternativamente o simultaneamente spostano le acque della foce del fiume Vibrata a nord o a sud della costa. In questo caso i pennelli in costruzione non hanno nessun ruolo e al contrario occorre risolvere tale problematica riuscendo a risanare le acque del fiume Vibrata che spesso veicola inquinanti batteriologici .

Infine , anche applicando il principio di precauzione per gli interventi progettati , si sottolinea che gli effetti negativi che si potranno avere dalla costruzione dei pennelli nell'area di Martinsicuro certamente non produrranno gli elementi richiamati (scarso dinamismo delle acque, aumento delle alghe tossiche, aumento delle eutrofia, balneabilità) . Unica problematica ambientalmente di rilievo sarà sicuramente un aumento della frazione delle macroalghe (Ulva lattuga) legate alle scogliere che in occasione di mareggiate si potranno riversare nelle aree limitrofe alle stesse e spiaggiare. Sarà una problematica che riguarderà le strutture balneari del comune di Martinsicuro e dello stesso comune ma che rimarranno confinate nella stessa area. E' una problematica che però presenta anche elementi di vantaggio ambientale in quanto la eventuale maggiore produzione di macroalghe (legata agli apporti dei nutrienti) riduce e abbate le frazioni azotate e fosforiche favorendo una maggiore trasparenza delle stesse acque di balneazione.

Controdeduzione ai rilievi paesaggistici

Relativamente all'impatto paesaggistico, richiamato nelle parte finale dell'osservazione, si fa presente che ai sensi dell'art. 146 del D. Lgs. 42/2004 (Codice dei Beni Culturali) la Regione Abruzzo – Servizio Tutela, Valorizzazione del Paesaggio e Valutazione Ambientale – si pronuncerà in merito all'istanza prodotta dal Servizio Opere Marittime e Acque Marine, dopo aver acquisito il parere vincolante della Soprintendenza per i Beni Ambientali in merito agli interventi da eseguirsi sulle aree sottoposte a tutela dalla legge nel Comune di Martinsicuro – località Villa Rosa.

Allegato A "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Studio di fattibilità dell'intervento sul litorale di Martinsicuro. Fattibilità tecnico-territoriale" R.14.b- ingg. F. Mondini e G. Venturini- Marzo 2002

Allegato B "Risposte alla relazione del geol. Giovanni Marrone" prof. Ing. Paolo De Girolamo -2.02.2016

Allegato C "Studio Morfodinamico" prof. Ing. Paolo De Girolamo - dicembre 2015

Allegato D "Lavori di consolidamento scogliere esistenti e chiusura dei varchi nel Comune di Martinsicuro- Relazione sull'analisi del trasporto solido" -prof. Ing. Piero Ruol- Feb.2014



24 FEB. 2016

IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO
Ing. Carlo Viscaix
Carlo Viscaix

ALLEGATO A

REGIONE

ABRUZZO



Servizio Opere Marittime e Qualità delle Acque Marine

Pescara – Via Catullo, 2 – 65100

GESTIONE INTEGRATA DELL'AREA COSTIERA.

PIANO ORGANICO PER IL RISCHIO DELLE AREE VULNERABILI.

FATTIBILITÀ DI INTERVENTI DI DIFESA E DI GESTIONE DELLA FASCIA LITORANEA SU SCALA REGIONALE

Delibera CIPE n.106/99

*PROGETTI DI FATTIBILITÀ DI OPERE DI DIFESA, RIQUALIFICAZIONE E
MANUTENZIONE DEL LITORALE ABRUZZESE*

R.14.b

STUDIO DI FATTIBILITÀ DELL'INTERVENTO SUL LITORALE DI MARTINSICURO

FATTIBILITÀ TECNICO-TERRITORIALE

A.T.I.:

MODIMAR - SIPIM

Gruppo di lavoro			Approvazioni del committente	
Redatto	Verificato	Approvato	Dir. Lavori	Dirig. Serv. OO.MM.
Ing. F. Mondini Ing. G. Venturini	Ing. P. Contini	Prof. Ing. A. Noli	Ing. D. Raggi	Ing. C. Visca
data				
firma				



INDICE

1	Premessa	1
2	Introduzione.....	2
3	Analisi dello stato attuale	4
3.1	OPERE DI DIFESA PRESENTI SUL LITORALE	4
3.2	TRATTI DI COSTA CRITICI E TENDENZE EVOLUTIVE IN ATTO	6
4	Fattibilità tecnico-territoriale	9
4.1	OBIETTIVI DELL'INTERVENTO	9
4.2	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	10
4.3	PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE PRELIMINARE E/O ESECUTIVA	14
4.4	RILIEVI PER L'ESECUZIONE DELLE OPERE E DI MONITORAGGIO	17
4.4.1	Rilievi per l'esecuzione delle opere	17
4.4.2	Rilievi di monitoraggio	17
5	Analisi dei costi	19
5.1	COSTI DI COSTRUZIONE	19
5.2	COSTI DI PROGETTAZIONE E DI DIREZIONE LAVORI.....	19
5.3	COSTI DI MANUTENZIONE.....	20
5.4	COSTI DI MONITORAGGIO	20
5.5	COSTI TOTALI.....	21



1 Premessa

Il presente documento fa parte della seconda fase dello studio di fattibilità denominato "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale". La seconda fase dello studio riguarda la redazione di "Progetti di fattibilità di opere di difesa, riqualificazione e manutenzione del litorale abruzzese".

Il lavoro è stato svolto dall'Associazione Temporanea d'Imprese MODIMAR S.r.l.-SIPIM S.r.l.. Nell'ambito del documento viene analizzata la fattibilità tecnico-territoriale dell'intervento relativo al tratto di costa di Martinsicuro.

La presente relazione è stata curata dall'ing. Fabio Mondini e dall'ing. Giuseppe Venturini con il coordinamento dell'ing. Paolo Contini.



2 Introduzione

Nella prima fase del lavoro sono stati individuati i livelli di rischio attesi a scala regionale (vedi in particolare il documento dal titolo "R.11 - Selezione dei tratti di costa più critici). Nella figura 1 è riportato uno stralcio dei risultati ottenuti per il litorale di Martinsicuro e Alba Adriatica. Il litorali di Martinsicuro e Alba Adriatica sono stati suddivisi rispettivamente in cinque e due sub-tratti per i quali è stato determinato il livello di rischio riportato nella tabella 1. Dalla tabella si evince che i tratti di costa denominati "Martinsicuro D" e "Martinsicuro E" si trovano in condizioni di rischio elevato, i tratti di costa denominati "Martinsicuro A", "Martinsicuro C" e "Alba Adriatica A" si trovano in condizioni di rischio moderato, e i tratti "Martinsicuro B" e "Alba Adriatica B" sono caratterizzati da un basso livello di rischio. Per completezza nella tabella 1 sono riportati i risultati relativi al litorale di Alba Adriatica in quanto gli interventi che verranno presi in esame non possono prescindere dal considerare anche il litorale sottoflutto come evidenziato nei successivi capitoli.

Tabella 1 - Livello di rischio lungo i litorali di Martinsicuro e Alba Adriatica

TRATTO DI COSTA	LIVELLO DI RISCHIO
Martinsicuro A	73
Martinsicuro B	38
Martinsicuro C	54
Martinsicuro D	82
Martinsicuro E	85
Alba Adriatica A	70
Alba Adriatica B	42

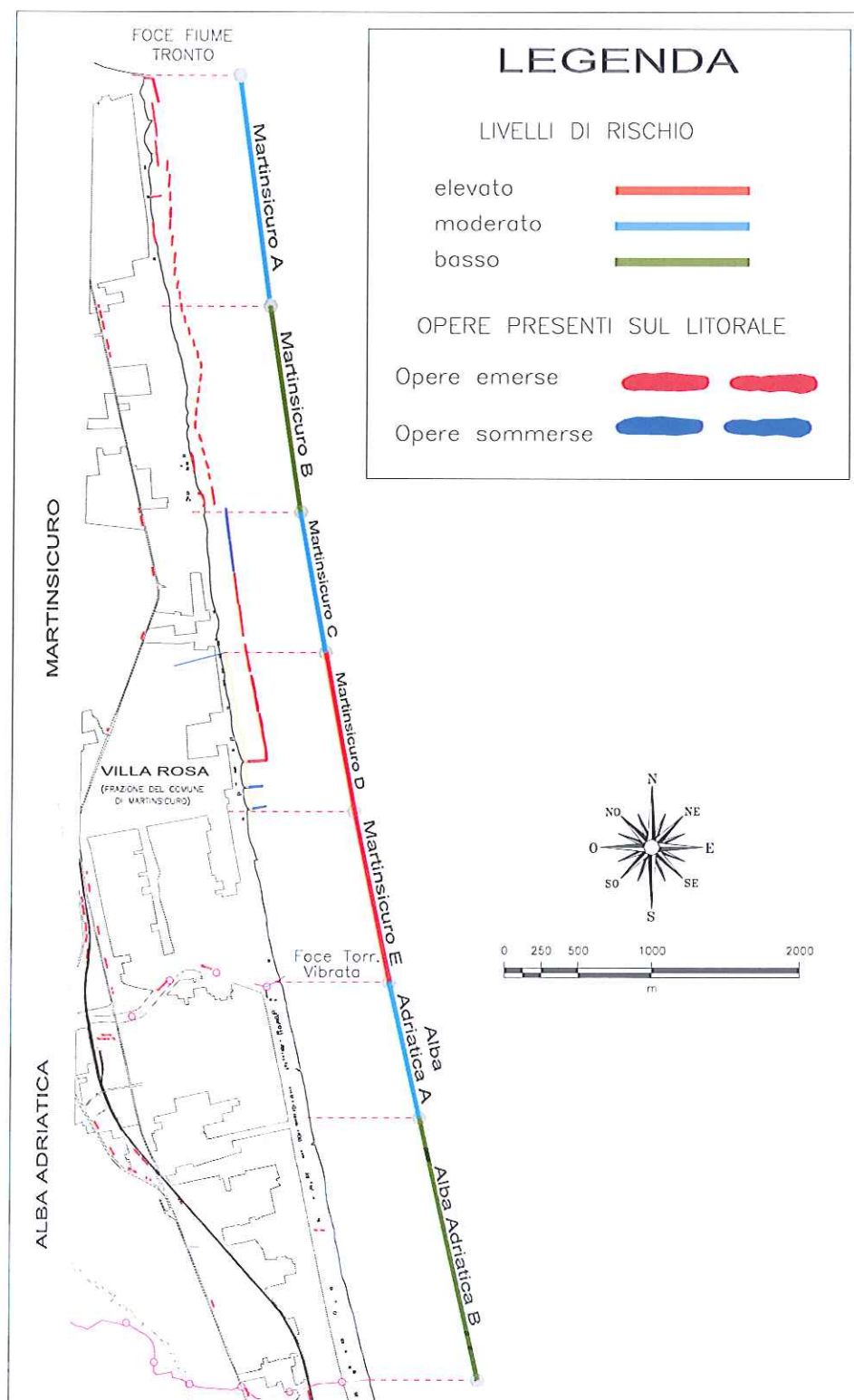


Figura 1 - Livello di rischio lungo il tratto di costa di Martinsicuro e Alba Adriatica



3 Analisi dello stato attuale

3.1 Opere di difesa presenti sul litorale

Il litorale di Martinsicuro è allo stato attuale quasi interamente protetto da barriere distaccate emergenti. Tali barriere sono state realizzate prevalentemente tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli anni '80.

Le opere più recenti sono state realizzate a protezione dell'abitato di Villarosa. In particolare sono state realizzate nella metà degli anni '80 una serie di barriere di cui due sono sommerse e alla fine degli anni '90 i tre pennelli posti nel parte terminale del tratto di costa protetto.

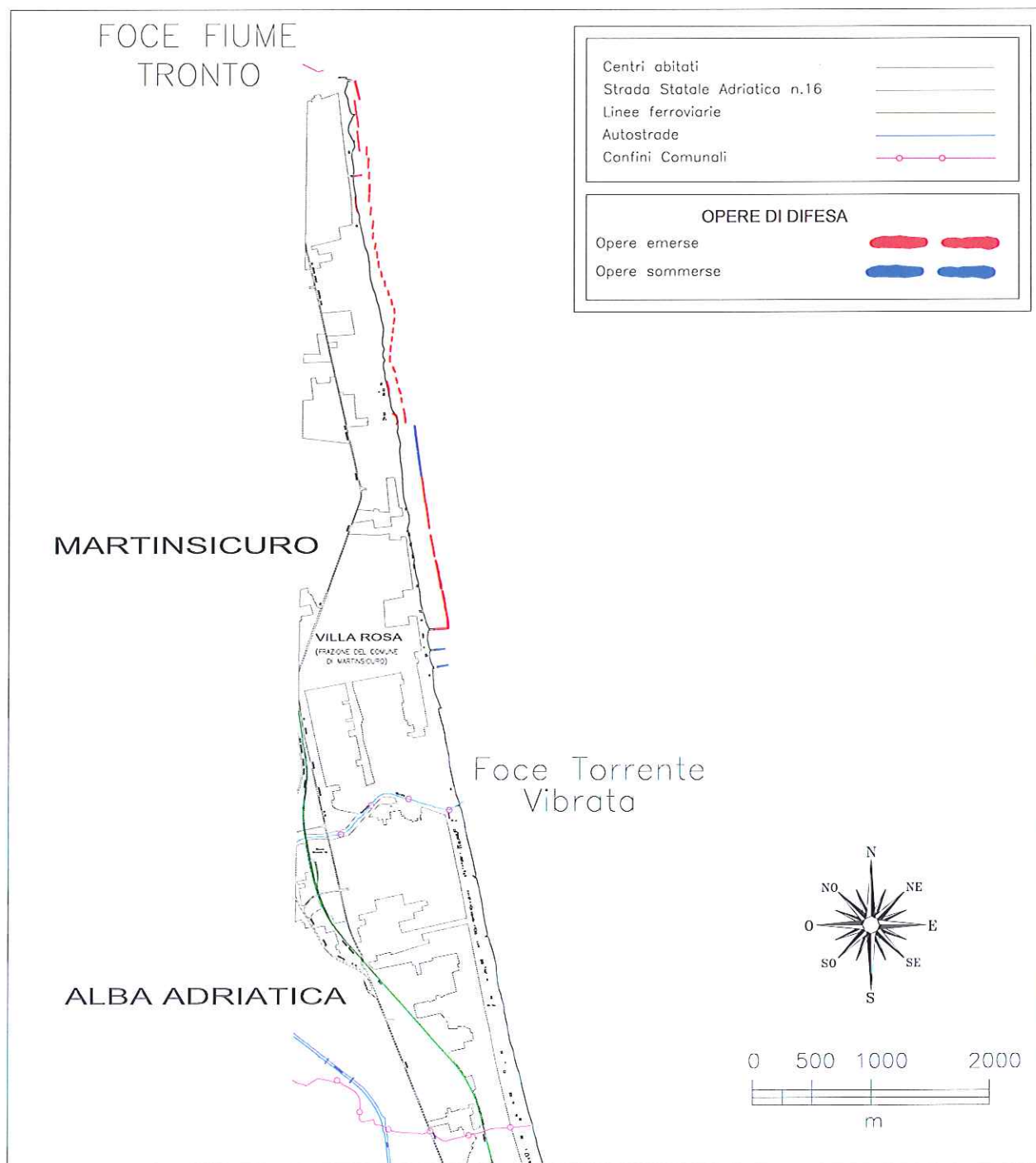


Figura 2 - Corografia



3.2 Tratti di costa critici e tendenze evolutive in atto

Il lavoro svolto nella prima fase del presente Studio di Fattibilità ha permesso di evidenziare i tratti di costa critici che caratterizzano il litorale in esame. Tali tratti di costa, evidenziati sia dalle analisi morfologiche (v. ad es. figura 3) sia nell'ambito degli incontri con le Amministrazioni locali, vengono qui di seguito riportati sinteticamente:

- a) la zona critica per quanto riguarda l'erosione è quella di fronte all'abitato di Villa Rosa in corrispondenza del tratto di costa compreso tra via Filzi e via Amalfi. Nel 1985 sono state create barriere sommerse che non hanno prodotto i benefici previsti in fase di progetto;
- b) tendenza all'erosione nel tratto di costa che si estende dalle barriere sommerse ubicate in corrispondenza di Villa Rosa fino a circa 600 m a sud della foce del torrente Vibrata. In tale tratto di costa si è verificato nel periodo 1994-2000 un arretramento medio della linea di riva pari a circa 20 m con punte di oltre 50 m.

Nelle attività di analisi si è tenuto conto anche dei dati geomorfologici prodotti per conto del Comune di Alba Adriatica dal Dr. Leo Adiamoli nell'ambito di uno studio sulle tendenze evolutive in atto lungo il tratto di litorale di pertinenza del comune di Alba Adriatica. I dati esaminati sono pienamente congruenti con quelli acquisiti dal Servizio OO. MM. e gestiti su scala regionale per il presente studio. E' innegabile che la tendenza evolutiva di accrescimento della porzione settentrionale del litorale di Alba Adriatica dal dopoguerra sino al 1994 è strettamente correlata ai fenomeni di erosione della spiaggia ricadente nel Comune di Martinsicuro. Il sistema di barriere distaccate, realizzate nel corso degli anni a partire dalla foce del Tronto, pur salvaguardando le porzioni di litorale poste a tergo ha innescato processi erosivi per i tratti di costa immediatamente sottoflutto generando una deriva litoranea dei sedimenti provenienti dallo smantellamento delle zone in erosione verso sud che ha alimentato in misura copiosa il litorale di Alba Adriatica almeno sino alla fine degli anni '80. L'analisi delle tendenze evolutive dell'ultimo decennio evidenzia che il fenomeno erosivo si è ormai propagato anche a sud della foce del Vibrata interessando un tratto di circa 900 m; nonostante i marcati arretramenti della linea di riva



rispetto alla posizione conquistata nel 1994 l'attuale posizione (2000) della linea di riva è comunque sopravanzata rispetto a quella del 1974. In termini di tendenze evolutive dal 1984 ad oggi è innegabile che anche lungo il litorale di Alba Adriatica si iniziano a registrare fenomeni di arretramento della linea di riva. L'analisi condotta su scala regionale consente di affermare che le cause primarie dei fenomeni di erosione che iniziano a coinvolgere anche il territorio di Alba Adriatica sono:

- minori apporti solidi da parte dei corsi d'acqua con conseguente deficit negativo del bilancio solido d'insieme;
- progressivo esaurimento dei fenomeni di erosione del litorale di Martinsicuro (posto sopraflutto) che si è tradotta in una riduzione di quella fonte positiva di apporti solidi al litorale di Alba Adriatica rappresentata dallo smantellamento delle spiagge di Martinsicuro;
- l'insieme delle opere realizzate nel corso degli anni lungo il litorale di Martinsicuro ha introdotto elementi di fuga irreversibile dei sedimenti verso il largo e quindi a discapito del flusso litoraneo altrimenti destinato ad alimentare le spiagge di Alba Adriatica poste sottoflutto.

Si evidenzia che le criticità elencate e la generale tendenza evolutiva del litorale in esame fanno ritenere inadeguato l'attuale sistema di difesa; inoltre eventuali interventi mirati alla sola manutenzione delle opere presenti consentirebbero di migliorare la protezione del litorale ma non ne determinerebbero una riqualificazione.

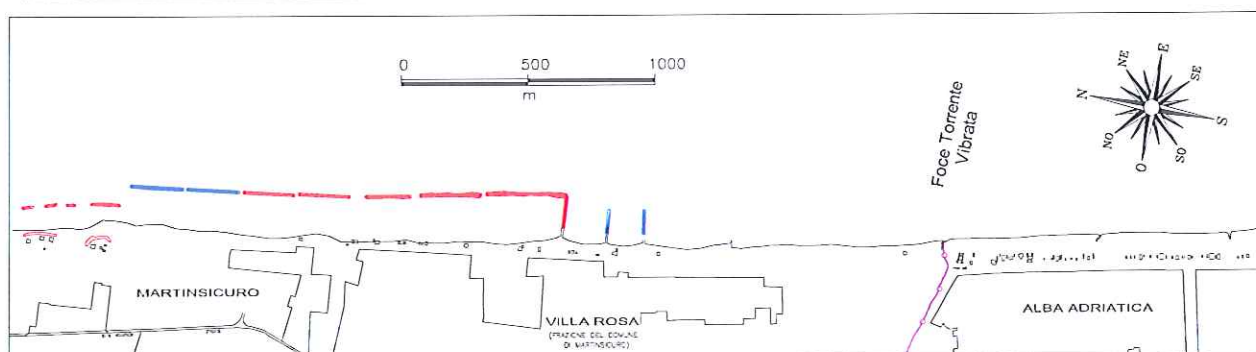
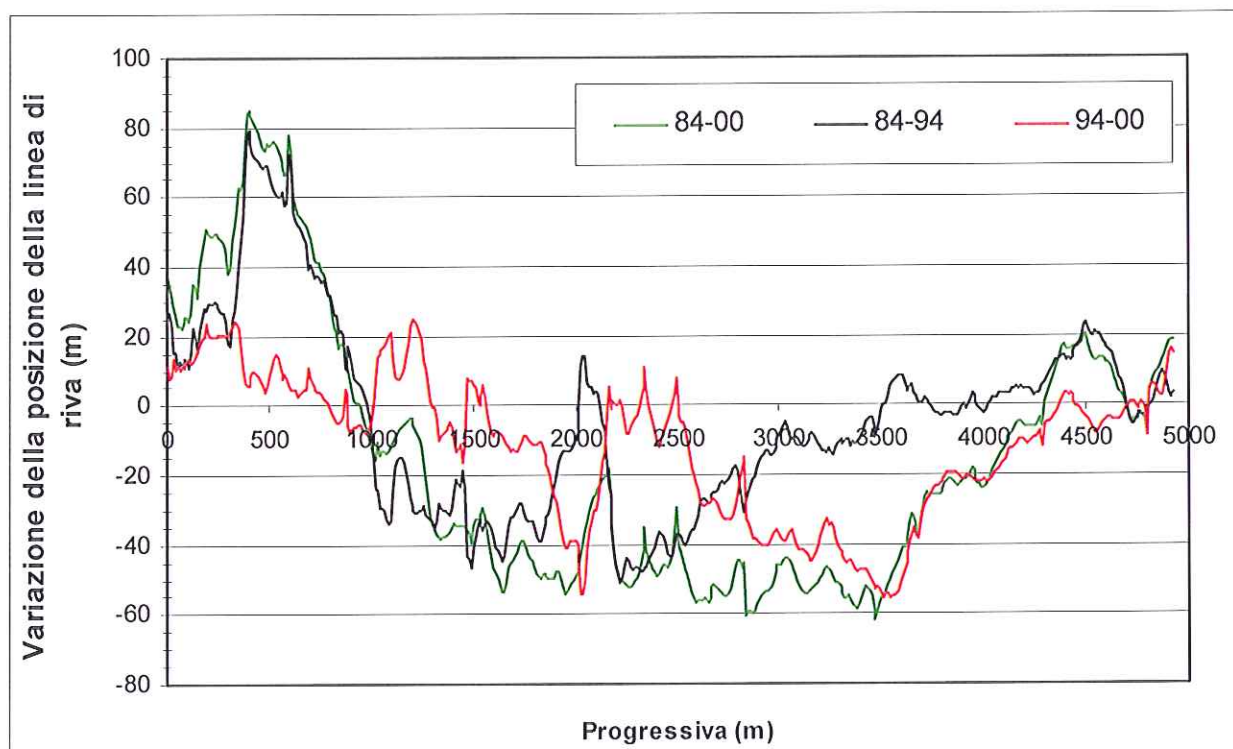


Figura 3 - Variazioni della posizione della linea di riva



4 Fattibilità tecnico-territoriale

4.1 Obiettivi dell'intervento

Sulla base delle analisi eseguite si è pervenuti a delineare i seguenti obiettivi per il tratto di litorale in esame:

- ricostituzione di una adeguata larghezza della spiaggia con particolare riferimento al tratto di costa antistante alla frazione di Villa Rosa;
- ricostruzione e mantenimento del tratto di spiaggia ricadente nel comune di Alba Adriatica;
- realizzazione di un efficace sistema di difesa per i tratti più vulnerabili del litorale in esame;
- miglioramento della qualità delle acque costiere;
- riqualificazione del sistema di difesa attuale al fine di eliminare effetti negativi sul naturale flusso litoraneo dei sedimenti;
- valorizzazione della capacità di trasporto dei sedimenti dei corsi d'acqua (anche se decisamente limitata) a beneficio del bilancio solido costiero.



4.2 Descrizione dell'intervento

Gli interventi proposti per la difesa e la riqualificazione del litorale in esame (soluzione C della figura 5) derivano non solo dalla necessità di conseguire gli obiettivi indicati al capitolo 4.1 ma anche dalle considerazioni di seguito esposte.

Come osservato al cap. 3.2, le criticità evidenziate e la generale tendenza evolutiva del litorale in esame fanno ritenere inadeguato l'attuale sistema di difesa e portano ad escludere interventi mirati alla sola manutenzione delle opere presenti. Infatti tale approccio consentirebbe un parziale miglioramento della protezione del litorale ma non il conseguimento di tutti gli obiettivi elencati al cap. 4.1.

Dall'analisi morfologica è emerso che il litorale di Martinsicuro non riceve apporti significativi di materiale né dal Tronto né dal Vibrata. Di conseguenza il bilancio solido complessivo del litorale è negativo.

Per il tratto di costa in esame sono state prese in considerazione numerose soluzioni e ne sono stati analizzati i relativi vantaggi e svantaggi. In questa sede se ne presentano solo alcune al fine di poter mettere in evidenza alcuni importanti elementi emersi nel processo decisionale.

La prima ipotesi (v. soluzione A di figura 4) prevede la realizzazione di un nuovo fronte di barriere distaccate sommerse mediante il salpamento e la riqualificazione delle barriere esistenti. Si ritiene che questa soluzione, pur essendo caratterizzata da un impatto visivo nullo, vada scartata poiché la difesa di un tratto di costa così esteso con le barriere sommerse comporta l'ingenerarsi di forti correnti in occasione delle mareggiate più intense. Tali correnti sono in grado di determinare la rapida perdita verso il largo di sedimenti attraverso i varchi e la progressiva regressione della linea di riva.

Per evitare l'innescarsi delle correnti, un valido sistema è costituito dalla realizzazione di pennelli sommersi collegati alle barriere sommerse. Questo tipo di sistema di difesa, denominato "a celle", è stato riportato nella soluzione C della figura 4.

La soluzione B contempla la realizzazione di pennelli a "T", in parte emergenti ed in parte sommersi. Tale soluzione, seppure efficace nel contenere la deriva longitudinale dei



sedimenti, in questo caso è stata ritenuta poco cautelativa nei confronti delle ingressioni di moto ondoso. Pertanto si è preferito adottare una soluzione che contemplasse la realizzazione di una barriera sommersa a difesa del litorale come indicato nella soluzione C.

La soluzione C prevede la realizzazione di una serie di celle di contenimento (costituite da pennelli in parte emergenti ed in parte sommersi collegati alla barriera sommersa) e la realizzazione di pennelli pedonabili. I pennelli pedonabili sono stati previsti nel tratto di litorale dove nel retrospiaggia non sono presenti abitazioni da difendere.

Inoltre l'avanzamento previsto della linea di riva a regime, cioè al netto delle perdite di sabbia iniziali dovute al fenomeno dell'*overfill* e alla risagomatura naturale del profilo trasversale di ripascimento, è tale da consentire di ottenere una larghezza della spiaggia emersa compresa tra 60 e 150 m in tutto il litorale. Il ripascimento delle spiagge in esame è stato dimensionato in modo tale da ricollocare a regime la linea di riva sulle posizioni occupate nel 1984 (anno in cui le spiagge oggetto dell'intervento sono state caratterizzate dal massimo avanzamento della linea di riva). A tal riguardo si osserva che nel periodo 1984-2000 circa 700.000 m³ di sabbia ubicati nel tratto di costa in esame sono stati erosi sia verso il largo a causa del trasporto trasversale sia a favore dei litorali sottoflutto a causa del trasporto longitudinale.

Si evidenzia che in questa sede non è stato affrontato il problema dei fossi per il drenaggio delle acque di superficie che nel periodo estivo vengono per la maggior parte chiusi per consentire una migliore gestione delle spiagge ai fini turistico-balneari. Questo argomento dovrà essere oggetto di studio in fase di redazione dei progetti preliminari o definitivi degli interventi.

Infine è necessario porre l'attenzione sull'influenza degli interventi proposti relativamente ai litorali adiacenti. Tenendo conto che il litorale in esame è soggetto ad un trasporto solido longitudinale netto mediamente diretto da nord a sud, parte dei volumi di sabbia di ripascimento saranno destinati a migrare a vantaggio del litorale di Alba Adriatica. Ciò consentirà un progressivo e continuo ripascimento di questo litorale.

In conclusione l'intervento individuato (v. soluzione C di figura 4) prevede le seguenti attività:



- a) ricostituzione di una adeguata larghezza della spiaggia tramite il versamento di circa 820.000 m³ di sabbia di ripascimento nel tratto di costa che si estende da Villa Rosa fino a circa 600 m a sud della foce del Vibrata. Il ripascimento prevede un avanzamento medio della linea di riva pari a 40 m nel tratto protetto dalla barriera sommersa e pari a circa 35 m nel restante litorale;
- b) realizzazione di un sistema di difesa a celle di contenimento nel tratto di costa prospiciente Villa Rosa costituito da:
 - 1) barriera sommersa;
 - 2) nove pennelli di contenimento in parte emergenti e in parte sommersi.
- c) salpamento delle opere di difesa esistenti e recupero dei massi salpati per la realizzazione delle nuove opere di difesa e di contenimento della sabbia di ripascimento;
- d) realizzazione di 3 pennelli pedonabili di lunghezza decrescente;
- e) protezione della sponda sinistra della foce del Vibrata tramite la realizzazione di un breve pennello; realizzazione di un pennello "corto" anche in destra idrografica del Vibrata avente la funzione di contenere le sabbie poste a ripascimento del litorale d Alba Adriatica con un avanzamento della linea di riva (e quindi della sezione di foce) di circa 35 m.

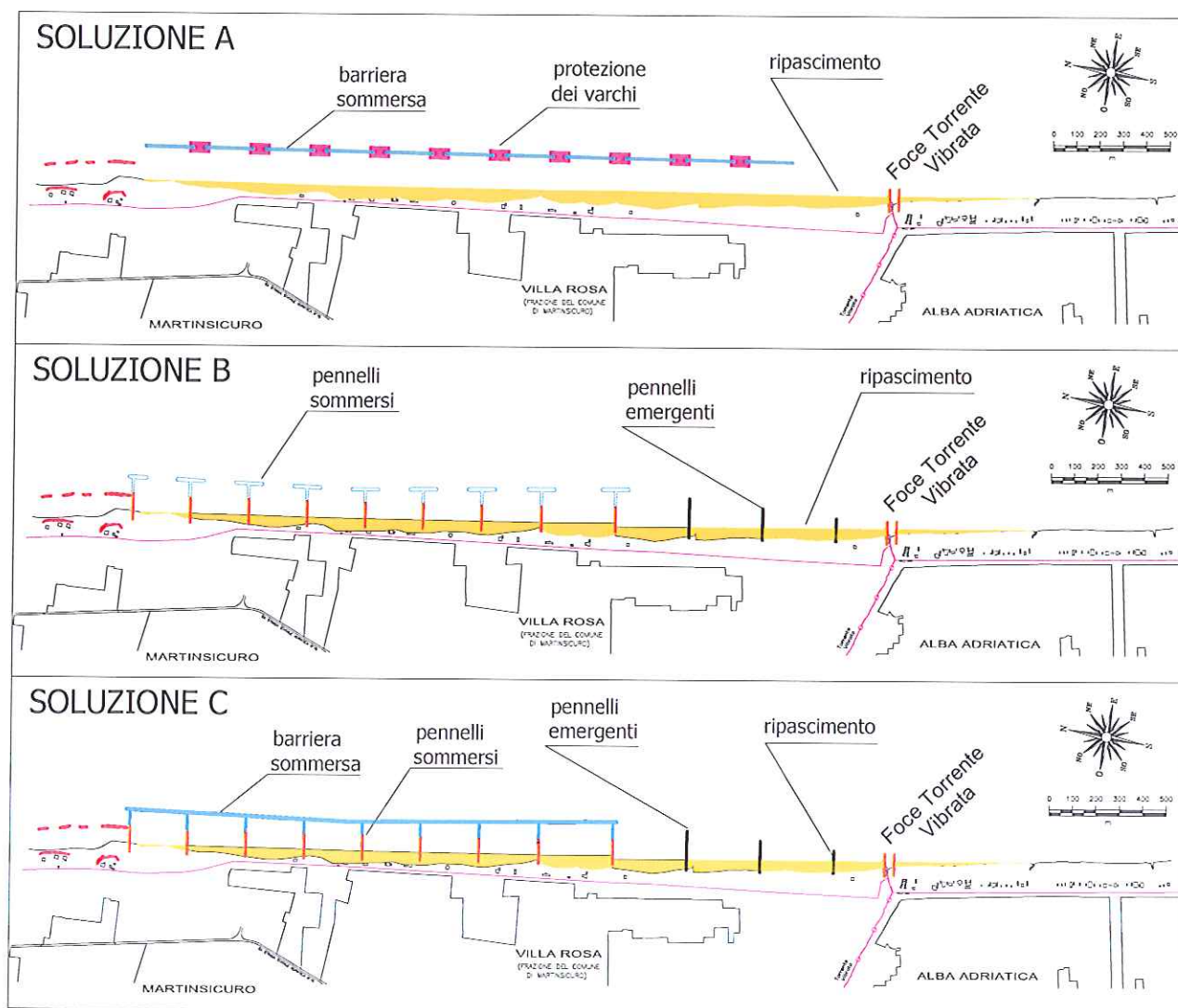


Figura 4 - Soluzioni alternative



4.3 Prescrizioni per la progettazione preliminare e/o esecutiva

La progettazione preliminare e/o esecutiva non potrà prescindere dal far riferimento alle attività di monitoraggio che il Comune di Alba Adriatica sta eseguendo. Tali attività costituiscono una importante fonte di informazioni che saranno fondamentali per le analisi di dettaglio e gli studi che verranno condotti nei livelli superiori di progettazione.

Inoltre, i livelli superiori di progettazione dovranno essere condotti nel rispetto della normativa vigente ed in particolare:

- deliberazione del C.S.LL.PP. n. 151 del 26/6/91 (Istruzioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione di opere di protezione costiera);
- legge 11 febbraio 1994 n. 109 e successive modificazioni;
- DPR 21/12/1999 n. 554 (Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici ai sensi dell'art. 3 della legge 11 febbraio 1994 n. 109 e successive modificazioni).

In sede di progettazione dovrà porsi particolare attenzione agli studi di dinamica costiera e meteomarinari.

Per quanto riguarda lo studio di dinamica costiera dovrà essere individuata la tipologia di intervento che offra la maggiore efficacia in termini di stabilità della linea di riva nella zona di intervento e al contempo non introduca incrementi dei fenomeni erosivi nelle zone limitrofe e, qualora risultasse necessario, occorrerà individuare eventuali interventi mitigatori del fenomeno erosivo da eseguire per i tratti limitrofi alla zona in esame. Inoltre dovrà essere ottimizzata la geometria degli interventi allo scopo di rendere minimi i costi di costruzione e di manutenzione delle opere. Le attività principali dello studio di dinamica costiera possono essere così sintetizzate:

- 1) Analisi dell'evoluzione storica del litorale; a tal riguardo l'attività di monitoraggio promossa dal Comune di Alba Adriatica costituirà una base informativa cui fare esplicito riferimento.
- 2) Budget dei sedimenti rispetto all'evoluzione passata del litorale;



- 3) Calibrazione di un modello numerico di dinamica costiera del tipo ad una linea sulla base delle linee di riva storiche;
- 4) Previsione dell'evoluzione futura della linea di riva mediante l'applicazione del modello calibrato al punto precedente per i seguenti scenari:
 - assenza di interventi;
 - diverse tipologie e configurazioni geometriche degli interventi.
- 5) Analisi di trasporto solido trasversale al fine di prevedere l'ammontare delle perdite di sedimenti verso il largo mediante l'impiego di idonea modellistica numerica.
- 6) Budget dei sedimenti per le diverse tipologie e configurazioni geometriche degli interventi tenendo conto delle perdite di materiale dovute al trasporto solido trasversale e all'*overflow* al fine di ottimizzare i costi di manutenzione del ripascimento.

Per quanto riguarda lo studio meteomarinario le attività principali possono essere così sintetizzate:

- 1) Esposizione geografica del paraggio (fetch geografici ed efficaci);
- 2) Analisi del clima del moto ondoso al largo;
- 3) Analisi degli eventi estremi al largo per distinti settori di traversia;
- 4) Definizione del moto ondoso in costa:
 - Trasposizione delle serie storiche al largo del sito;
 - Propagazione delle serie storiche fino alla batimetrica $-8,0/-10,0$ m s.l.m.;
 - Definizione del clima di moto ondoso in costa;
 - Definizione delle onde di modellazione in costa;
 - Definizione degli eventi estremi in costa.
- 5) Analisi dei livelli di marea e di sovrizzo di tempesta.

Preliminarmente alle attività di progettazione dovrà essere eseguito un rilievo topografico, batimetrico e sedimentologico dell'area in esame. In particolare il rilievo di progetto dovrà riguardare la linea di riva, la batimetria della spiaggia sommersa, la topografia della spiaggia emersa e le opere presenti. La zona presa in esame con il rilievo dovrà essere piuttosto ampia sia in direzione parallela alla costa che in direzione ad essa ortogonale. Ciò è dovuto al fatto che durante l'esecuzione di questo rilievo, preliminare agli studi che permetteranno di definire le opere da realizzare, generalmente non si è ancora



definita la soluzione progettuale sia in termini di tipologia delle opere che dal punto di vista della loro estensione. Per quanto riguarda le batimetrie, esse devono essere rilevate misurando le profondità lungo rotte orientate in direzione pressoché ortogonale alla riva abbinate a rotte di verifica orientate in direzione parallela od obliqua alla linea di riva. La spaziatura delle rotte seguite per il rilievo dei fondali risulta funzione della variabilità della morfologia locale.

Per quanto riguarda il litorale in esame il rilievo di progetto dovrà avere per oggetto il litorale dei comuni di Martinsicuro e Alba Adriatica. Inoltre, il rilievo dovrà essere esteso in senso ortogonale alla linea di riva dalla prima opera presente sulla spiaggia emersa (lungomare, abitati, ...) almeno fino alla batimetrica -8 m sul l.m.m..

Il rilievo sedimentologico dovrà consentire di caratterizzare la granulometria dei sedimenti dell'area in esame soprattutto al fine di poter individuare le caratteristiche ottimali della sabbia di ripascimento e le perdite di sabbia in fase di esercizio.

Inoltre, come già evidenziato al capitolo 4.2, nella fase di progettazione preliminare o definitiva dovrà essere affrontato il problema dei fossi per il drenaggio delle acque di superficie che nel periodo estivo vengono per la maggior parte chiusi.

Infine si osserva che nella fase di progettazione definitiva dovranno essere determinati i costi inerenti la sicurezza. Tali costi non sono stati stimati nell'ambito del presente studio di fattibilità in quanto solo una fase di progettazione più avanzata consente di stimarli.



4.4 Rilievi per l'esecuzione delle opere e di monitoraggio

4.4.1 Rilievi per l'esecuzione delle opere

I rilievi per l'esecuzione delle opere, indicati comunemente come rilievi di prima e seconda pianta, hanno la funzione di determinare i volumi e la geometria delle opere realizzate pertanto essi riguardano strettamente le zone di intervento. Il rilievo di prima pianta deve essere eseguito entro 30 giorni prima dell'inizio dei lavori, mentre quello di seconda pianta non oltre 10/15 giorni dopo la conclusione dei lavori.

Nel caso in cui la realizzazione delle opere richieda tempi di esecuzione elevati (mesi) sarà necessario suddividere gli interventi in fasi distinte di durata inferiore ed effettuare questi rilievi prima e dopo la realizzazione di ciascuna fase. Particolari attenzioni nell'esecuzione dei rilievi devono essere poste per i ripascimenti artificiali poiché la sabbia versata può essere velocemente movimentata dal moto ondoso incidente.

4.4.2 Rilievi di monitoraggio

Lo scopo principale dei rilievi di monitoraggio è quello di controllare il comportamento delle opere e degli effetti da esse prodotte nel tempo. Essi andranno opportunamente progettati in funzione della tipologia dei lavori eseguiti. Per un ripascimento artificiale l'obiettivo è di valutare le perdite della sabbia versata che si verificano nel tempo e di verificare e/o rimodulare di conseguenza le strategie di manutenzione. Durante il primo anno dopo l'esecuzione dei lavori, generalmente si devono prevedere quattro rilievi da eseguire indicativamente nei mesi di marzo, giugno, settembre e dicembre. Due dei rilievi sopra menzionati possono essere di tipo "speditivo" e riguardare la sola linea di riva ed eventualmente alcune sezioni trasversali poste ad una adeguata distanza l'una dall'altra e alcune quote di controllo delle opere di difesa. A partire



dal secondo anno il numero dei rilievi può essere ridotto a due da realizzare alla fine della stagione invernale e di quella estiva. Generalmente dopo tre anni dalla realizzazione del ripascimento, se si ritiene che il comportamento stagionale del ripascimento sia sufficientemente documentato, il rilievo alla fine della stagione invernale può essere eliminato.

Nell'ambito dei rilievi di monitoraggio è necessario considerare anche il prelievo e l'analisi dei sedimenti. Inoltre è buona norma eseguire i prelievi di sedimenti in concomitanza dei rilievi batimetrici ed in corrispondenza delle sezioni trasversali di monitoraggio. Nell'esecuzione dei rilievi particolare attenzione va posta ai campionamenti eseguiti in corrispondenza di elementi che influenzano in modo significativo la dinamica dei sedimenti come le opere di difesa (pennelli, barriere distaccate, etc.), opere portuali, foci fluviali per poter apprezzare a pieno eventuali fenomeni di migrazione e fuga della matrice detritica.



5 Analisi dei costi

5.1 Costi di costruzione

Nella tabella 2 sono riportati i costi per l'esecuzione delle opere descritte nel capitolo 4.2. La valutazione dei costi è stata eseguita facendo riferimento al documento dal titolo "R.13 - Analisi dei prezzi per l'esecuzione delle opere di difesa".

Tabella 2 - Costi di costruzione in Euro

ripascimento	6.355.620
opere di difesa	4.365.189
totale parziale	10.720.809

5.2 Costi di progettazione e di direzione lavori

Per quanto riguarda i costi relativi alla progettazione ed alla direzione lavori si è fatto riferimento al recente Decreto del Ministero della Giustizia del 4 aprile 2001 relativo all'aggiornamento degli onorari spettanti agli ingegneri e agli architetti.

Inoltre, come evidenziato al capitolo 4.3, è stato stimato anche il costo relativo all'esecuzione del rilievo topografico, batimetrico e sedimentologico dell'area in esame che dovrà supportare le attività di progettazione.

Tabella 3 - Costi per la progettazione e la direzione lavori in Euro

Rilievo topografico e batimetrico, prelievo ed analisi dei sedimenti	41.625
Progettazione preliminare, definitiva, esecutiva e direzione lavori	789.946
totale	831.571



5.3 Costi di manutenzione

I costi di manutenzione (v. tabella 4) sono stati stimati considerando un versamento complessivo di sabbia pari al 25% del volume totale di ripascimento e la rifioritura del 50% delle mantellate delle opere a gettata previste da eseguirsi nell'arco di 15 anni.

Tabella 4 - Costi di manutenzione in Euro

ricariche sabbia	1.588.905
opere di difesa	1.311.528
totale	2.900.433

5.4 Costi di monitoraggio

Al fine di determinare il costo del monitoraggio sono stati previsti una campagna di prelievi ed analisi dei sedimenti e i seguenti rilievi topo-batimetrici:

1) primo anno di esercizio:

- due rilievi speditivi della linea di riva e di alcune sezioni significative,
- un rilievo topografico e batimetrico.

2) secondo e terzo anno di esercizio:

- un rilievo speditivi della linea di riva e di alcune sezioni significative,
- un rilievo topografico e batimetrico.

Oltre alle attività di campo menzionate sono stati previsti degli studi morfologici, da aggiornare nel tempo, che analizzino il comportamento morfodinamico del litorale.

Il costo complessivo delle attività sopra citate è stato stimato pari a circa € 190.000.



5.5 Costi totali

Qui di seguito si riporta la tabella riassuntiva di tutti i costi relativi all'intervento di difesa, riqualificazione e manutenzione del litorale di Martinsicuro.

Tabella 5 - Tabella riassuntiva dei costi

	COSTO (€)
Realizzazione delle opere previste	10.720.809
Oneri di progettazione e direzione lavori	831.571
Manutenzione	2.900.433
Monitoraggio	188.625
TOTALE	14.641.438

**Risposte alla Relazione Geologica
del Geol. Giovanni Marrone**

Prof. Ing. Paolo De Girolamo

Roma, 02 febbraio 2016

Indice

1. ASPETTI GENERALI	3
2. ASPETTI SPECIFICI	5
3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL LITORALE DI ALBA ADRIATICA, TORTORETO E GIULIANOVA DAL 2010 AL 2015.	8

1. ASPETTI GENERALI

La relazione geologica presentata dall'Amministrazione Comunale di Alba Adriatica, a firma del Geologo Giovanni Marrone, tratta della dinamica evolutiva della linea di costa del litorale compreso tra Martinsicuro e Alba Adriatica.

La relazione si sofferma sulle principali problematiche connesse allo studio della dinamica dei litorali e delle cause dell'erosione costiera facendo riferimento sia a condizioni generali che a condizioni specifiche relative al litorale in questione.

Parte delle valutazioni conclusive riportate nella relazione, di tipo quantitativo e relative alla dinamica costiera, non sono suffragate o giustificate da calcoli o da analisi specifiche.

Nella relazione si fa anche riferimento a studi eseguiti dalla Regione Abruzzo sulla tematica della gestione dell'area costiera, come ad esempio il progetto Sicora, lo Studio Ricama e il progetto CIPE.

Non vi è alcun riferimento al più recente studio effettuato dalla Regione Abruzzo sul litorale in questione dal titolo:

“Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale compreso tra la foce del Vibrata e il Porto di Giulianova ad integrazione del Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002 - Rapporto Conclusivo – LIAM CT-16, Maggio 2011”.

L'obiettivo del suddetto studio è stato proprio quello di esaminare quantitativamente le possibili soluzioni alternative per questo delicato tratto di litorale.

Pertanto, di tale studio ci si è serviti per la redazione del progetto di tre pennelli corti, di lunghezza variabile, per la difesa di un tratto di costa appartenente al comune di Martinsicuro, nell'ambito del finanziamento PAR-FAS 2007-2013 - **LINEA DI AZIONE IV.2.1.A - RIDUZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI ALLUVIONALI, FRANOSI ED EROSIVI DELLE DIVERSE FASCE DEL TERRITORIO REGIONALE (MONTAGNA INTERNA, PEDEMONTANA E COSTIERA)”, RIDUZIONE RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI EROSIVI DELLA COSTA, EX PAIN.**

Inoltre, la relazione geologica contiene alcune affermazioni perentorie e totalmente ingiustificate quale ad esempio quella relativa alle misure ondametriche e ai modelli

di trasposizione geografica di moto ondoso che l'autore della stessa relazione suggerisce di non usare per trasferire le caratteristiche ondametriche misurate a distanze di oltre 100 km.

Non si comprende come l'Autore arrivi a suggerire questo parametro senza aver fatto alcuna considerazione fisica, ne tantomeno quantitativa.

In generale, il valore di 100 km non ha alcun significato pratico per la distanza di trasposizione in quanto in alcuni casi potrebbe risultare effettivamente eccessivo, mentre in altri casi insignificante. Peraltro questa generica critica è del tutto fuori luogo nei confronti dell'operato della Regione Abruzzo per le seguenti ragioni:

1. la distanza tra l'ondametro RON di Ortona e la foce del Tronto risulta essere di circa 60 km e quindi molto inferiore ai 100 km indicati genericamente dall'Autore;
2. la Regione Abruzzo ha eseguito a largo di Giulianova misure ondametriche direzionali per la durata di circa 3 anni. I risultati di questo lavoro, pubblicati e inseriti nella Relazione sullo Stato della costa redatta dalla Regione Abruzzo, hanno mostrato che il metodo di trasposizione è più che attendibile per le coste abruzzesi e che comunque i risultati in termine di direzione del trasporto solido longitudinale costiero non cambiano.

2. ASPETTI SPECIFICI

L'Autore, pur elencando i bacini idrografici di corsi d'acqua di interesse per il litorale in questione, tralascia di parlare di un aspetto sostanziale se si vuole comprendere la ragione dei fenomeni erosivi di questo litorale, ovvero delle opere di sbarramento dei corsi d'acqua le quali sono le principali responsabili della riduzione del trasporto solido fluviale e quindi dell'erosione delle coste.

In particolare, per quanto riguarda il fiume Tronto, che con i suoi circa 1200 km² di bacino imbrifero sotteso è sicuramente il fiume di maggiori dimensioni che interessa il tratto di litorale in questione, tanto da essere soggetto ad una specifica Autorità di Bacino, è interessato da numerosi sbarramenti per lo più a scopo idroelettrico. Gli sbarramenti del Tronto sottendono complessivamente un bacino imbrifero pari a circa il 65% del bacino imbrifero complessivo dello stesso fiume. Tenendo conto che gli sbarramenti interessano le zone montane del bacino dove è maggiore la capacità di trasporto solido delle acque fluviali, si comprende facilmente la ragione della elevata riduzione del trasporto solido fluviale che si è verificata nel secolo scorso quando sono stati realizzati gli sbarramenti. Tale riduzione è da considerarsi la principale causa dell'erosione del litorale compreso tra Martinsicuro e Giulianova poiché la foce del Tronto è localizzata a Nord di Martinsicuro (segna il confine tra le Marche e l'Abruzzo) e il regime delle correnti longitudinali causate dalle onde frangenti in corrispondenza della Foce del Tronto è prevalentemente diretto da Nord verso Sud, come peraltro accettato dallo stesso Autore. Pertanto il trasporto solido che giungeva alla sua foce costituiva la principale sorgente di alimentazione solida del litorale in questione e oggi la sua riduzione è la principale causa dei fenomeni erosivi lamentati lungo il litorale.

Sulla base di questa osservazione, peraltro contenuta negli studi Ricama e Sicora, si ritiene che la posizione dell'Autore (vedi pag. 40 della sua relazione), che attribuisce prevalentemente agli interventi eseguiti lungo il litorale di Martinsicuro l'origine dei problemi di stabilità della costa di Alba Adriatica, sia del tutto strumentale e non fornisca alcun contributo sostanziale alla comprensione delle problematiche e, quindi, ad una loro soluzione nell'interesse complessivo del litorale in questione che coinvolge quattro comuni, ovvero quello di Martinsicuro, Alba Adriatica, Tortoreto e Giulianova.

A riguardo è necessario osservare che gli interventi realizzati nel passato a Martinsicuro dalla Regione Abruzzo non hanno modificato l'aggetto verso il largo delle opere di difesa e quindi non possono aver ridotto l'alimentazione solida del litorale di Alba Adriatica.

Sempre su questo aspetto preme osservare che nel paragonare i pennelli alle barriere distaccate ai fini della capacità di intercettare il trasporto solido longitudinale, il parametro di riferimento è costituito dal loro aggetto verso il largo, ovvero dalle profondità raggiunte da queste opere, che devono essere rapportate alla profondità di chiusura del litorale, la quale a sua volta è un invariante per uno stesso litorale. Pertanto a parità di profondità raggiunte, mediamente la capacità di intercettazione risulta simile. Ovviamente la capacità di intercettazione solida tende ad aumentare ad aumentare della profondità raggiunta dalle opere e risulta massima quando si raggiunge la profondità di chiusura.

Il problema sostanziale del quale l'Autore non fa menzione è che tutto il litorale compreso tra la foce del Tronto e Giulianova, avendo subito una sensibile riduzione degli apporti solidi dello stesso fiume dal quale veniva alimentato, si trova in condizioni di instabilità. Le uniche soluzioni percorribili a lungo termine in assenza del ripristino del trasporto solido fluviale, oggi totalmente impedito dalla normativa vigente, sono:

1. alimentare il litorale in modo artificiale mediante ripascimenti, sopperendo in tal modo al "deficit" sedimentario del trasporto solido fluviale;
2. oppure, difendere l'intero litorale fino al porto di Giulianova con opere rigide rendendo stabile una forma planimetrica del litorale che non è stabile a causa del deficit di alimentazione solida.

Di questi aspetti si è occupato lo studio della Regione Abruzzo del 2011 sopra citato al quale si rimanda per approfondimenti.

Purtroppo non esistono soluzioni alternative ed è inutile inseguire interventi fantasiosi non basati su alcuna valutazione quantitativa e strumentalmente definiti "innovativi", come quello riportato dall'Autore e suggerito, a suo dire, dal CURSA.

Qualora si realizzasse la barriera sommersa proposta dall'Autore, localizzata a largo della foce del Tronto in prossimità della profondità di chiusura del litorale, non si farebbe altro che bloccare localmente i pochi sedimenti portati ancora dallo stesso

fiume. Ciò causerebbe un aumento dei fenomeni erosivi a Sud, ovvero a danno in primo luogo di Alba Adriatica.

L'unico aspetto evidenziato dall'Autore che si ritiene corretto riguarda il Porto di Martinsicuro, la cui imboccatura portuale risulta ovviamente sbagliata in quanto favorisce l'intercettazione del trasporto solido costiero localmente diretto verso Sud. Ciò costituisce in primo luogo un danno per il porticciolo stesso perché risulta costantemente insabbiato e quindi non utilizzabile. Tuttavia si evidenzia che la quantità di materiale intercettato dal porto risulta di gran lunga inferiore rispetto a quello che verrebbe intercettato dalla barriera proposta a largo della foce del Tronto perché posta su fondali notevolmente maggiori rispetto a quelli su cui ricade l'opera foranea del porto di Martinsicuro che intercetta i sedimenti. Pertanto non si comprende come l'Autore possa utilizzare la stessa tesi per sostenere due aspetti antitetici, ovvero per sostenere che il porto blocca i sedimenti causando danno al litorale Sud; e che un'opera come il porto che bloccherebbe localmente i sedimenti, dovrebbe arrecare benefici al litorale posto a Sud.

In conclusione, si ribadisce come già sostenuto nel progetto, che i pennelli "corti" che si intende realizzare a Martinsicuro, non causeranno alcun danno al litorale di Alba Adriatica. Ciò è stato provato mediante lo studio condotto mediante simulazioni numeriche e allegato al progetto stesso.

Inoltre si mette in evidenza che la Regione Abruzzo, sulla base dello studio del 2011, ha inoltrato una richiesta di finanziamenti per realizzare opere rivolte a stabilizzare l'intero litorale compreso tra Martinsicuro e Giulianova.

Infine, si rende noto che la Regione Abruzzo prosegue nella sua attività di monitoraggio di questo litorale eseguendo periodici rilievi della linea di riva.

A tal riguardo si allegano i risultati di una recente analisi basata sui due ultimi rilievi eseguiti, ovvero quello del 2010 e quello del 2015, i quali, seppur in maniera modesta, continuano a evidenziare la persistenza dei fenomeni erosivi lungo gran parte del litorale.

3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL LITORALE DI ALBA ADRIATICA, TORTORETO E GIULIANOVA DAL 2010 AL 2015.

Il confronto tra la linea di riva rilevata nel 2010 e quella rilevata nel 2015, è stato effettuato, limitatamente al tratto di litorale schematizzato in Figura 1 e cioè al tratto di costa che si estende dalla foce del Vibrata sino al Porto di Giulianova.



Figura 1: dominio di analisi delle linee di riva misurate.

La Figura 2 mostra l'evoluzione della posizione della linea di riva del 2015 rispetto al 2010, mentre la Figura 3, mostra il rateo medio annuo della variazione della linea di riva tra il 2010 e 2015. I valori negativi indicano che la linea di riva attuale (2015) è in

posizione arretrata rispetto a quella del 2010. In particolare dall'analisi è possibile stimare un valore medio di arretramento, limitatamente al litorale di Alba Adriatica, pari a circa 1.6 m/anno. Inoltre, l'arretramento massimo ad Alba Adriatica è pari a circa 4 m/anno. Dal grafico di Figura 3, è possibile, inoltre, osservare che in prossimità del litorale Nord di Tortoreto, si riscontra un arretramento, con valore massimo pari a circa 4 m/anno, mentre in prossimità del litorale Sud di Tortoreto, si riscontra un avanzamento con valore massimo di avanzamento pari a circa 5 m/anno. L'avanzamento si protrae lungo la costa di Giulianova per circa un chilometro, mentre il litorale più a Sud di Giulianova risulta mediamente in arretramento, con valore massimo di arretramento inferiore a 4 m/anno.

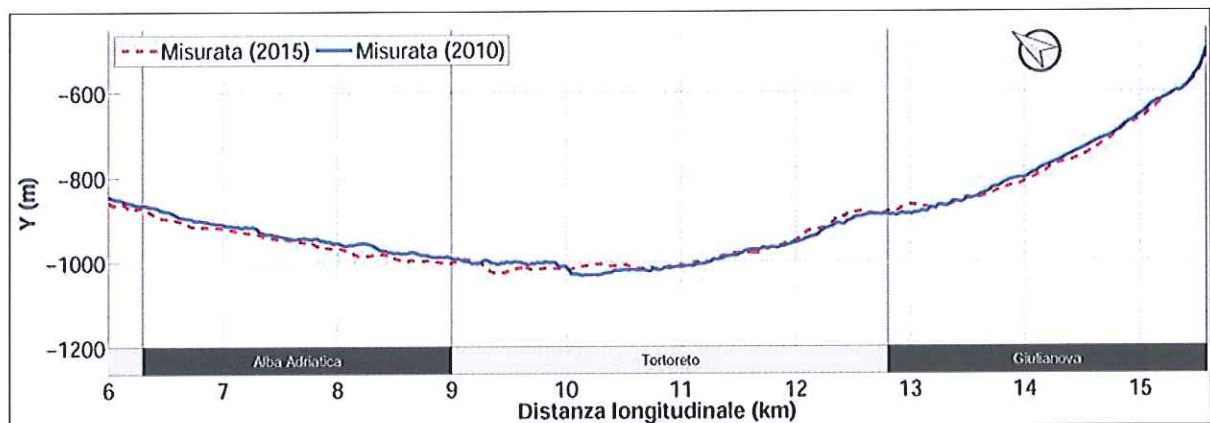


Figura2: evoluzione della posizione della linea di riva del 2015 rispetto al 2010.

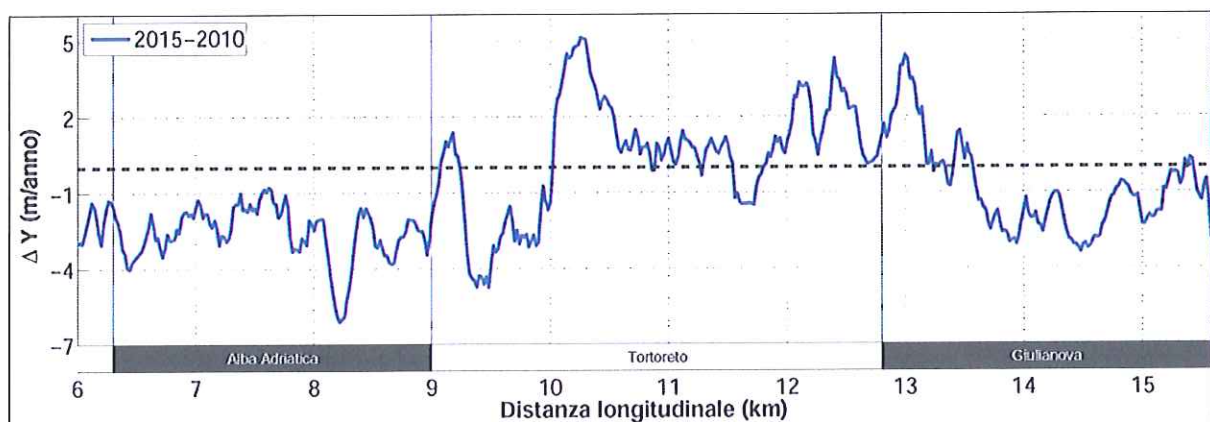


Figura 3: rateo medio annuo di variazione della linea di riva tra il 2010 e 2015.

ALLEGATO C

Comune di Martinsicuro (TE)

Studio Morfodinamico

Prof. Ing. Paolo De Girolamo

Roma, 18 dicembre 2015

Indice

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	4
3. METODOLOGIA DI LAVORO.....	6
4. STUDIO MORFODINAMICO	9
4.1 DOMINIO DI CALCOLO	9
4.2 ANALISI DEI RISULTATI	10

1. PREMESSA

Il presente studio morfodinamico è stato redatto dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo, incaricato dalla Regione Abruzzo, a corredo degli studi specialistici necessari per la progettazione degli interventi *"LINEA DI AZIONE IV.2.1.A - RIDUZIONE DEL RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI ALLUVIONALI, FRANOSI ED EROSIVI DELLE DIVERSE FASCE DEL TERRITORIO REGIONALE (MONTAGNA INTERNA, PEDEMONTANA E COSTIERA)"*, *RIDUZIONE RISCHIO DERIVANTE DA FENOMENI EROSIVI DELLA COSTA, EX PAIN*, nell'ambito del PAR-FAS 2007-2013.

L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare l'influenza che i pennelli in progetto possono esercitare a sud dell'intervento, ovvero sia lungo il litorale di Martinsicuro, posto a nord della foce del Torrente Vibrata, sia lungo il litorale di Alba Adriatica posto a sud della stessa foce. Si evidenzia che sulla base di precedenti studi condotti per conto della Regione Abruzzo, si può affermare che localmente il trasporto solido longitudinale medio annuale forzato dalle onde frangenti è diretto prevalentemente da nord verso sud e pertanto si escludono possibili ripercussioni negative degli interventi in progetto a nord dell'area di intervento anche a ragione delle opere di difesa costiera già presenti lungo questo litorale.

Lo studio è stato condotto mediante l'applicazione del modello numerico del tipo ad una linea GENESIS.

Per eseguire lo studio, e in particolare per la calibrazione del modello numerico, si è fatto riferimento al precedente studio redatto dal LIAM dall'Università dell'Aquila per conto della Regione Abruzzo dal titolo:

"Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale compreso tra la foce del Vibrata e il Porto di Giulianova ad integrazione del Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002 - Rapporto Conclusivo – LIAM CT-16, Maggio 2011".

Inoltre si è utilizzato un rilievo della linea di riva eseguito dalla Regione Abruzzo appositamente per la redazione del presente studio.

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Con riferimento alle tavole di progetto e alla Figura 2.1, gli interventi in oggetto sono costituiti da 3 pennelli di lunghezza variabile, la cui funzione è quella di proteggere il litorale, consentendo una transizione graduale tra la zona posta a nord, difesa da pennelli e da sistemi a celle, e quella posta a sud che risulta priva di opere di difesa costiera.

Il pennello più lungo, che presenta una lunghezza di circa 125,0 m, è quello posto più a nord la cui testata si spinge fino ad una profondità di poco superiore ai -2,0 m sul l.m.m. locale. Gli altri due pennelli presentano lunghezze complessive rispettivamente pari a 85,0 e a 55,0 m con profondità in testata naturalmente minori rispetto a quella a cui si spinge il pennello più lungo.

Tenuto conto che la profondità di chiusura della fascia attiva localmente può essere posta pari a circa - 7,0 m sul l.m.m. locale, dal punto di vista morfologico i pennelli possono essere classificati come “corti” e pertanto sono in grado di bloccare solo parzialmente il trasporto solido longitudinale ottenendo la parziale stabilizzazione del litorale, senza interrompere l’alimentazione del materiale sottoflutto.

I pennelli sono radicati a terra per una lunghezza di circa 15,0 m fino a raggiungere la quota naturale della spiaggia posta a circa +1,5 m sul l.m.m.

A sud di ciascun pennello, sono previsti tre versamenti di sabbia rispettivamente di entità, partendo da nord, di 2.500,0 m³, di 2.500,0 m³ e di 5.000,0 m³. La funzione di questi versamenti di sabbia è quella di attenuare gli inevitabili fenomeni di arretramento della linea di riva che si verificano sottoflutto a ciascun pennello dovuti alla rotazione della stessa linea di riva tra pennello e pennello (profilo a “dente di sega”), funzionale alla stabilizzazione complessiva del litorale.



Figura 2.1 - Interventi previsti.

3. METODOLOGIA DI LAVORO

Come accennato nella premessa, il tratto di costa in questione è stato studiato in modo molto approfondito nell'ambito dello studio citato redatto dal LIAM per conto della Regione Abruzzo e a tale studio si è fatto riferimento per la redazione del presente lavoro. Per completezza questo studio viene allegato alla presente relazione.

In particolare lo studio ha coperto l'intera unità fisiografica in cui ricade il litorale in questione (vedi Figura 3.1), ovvero il tratto di costa compreso tra la foce del Fiume Tronto e il Porto di Giulianova, per una estensione di litorale superiore a 14,0 km.

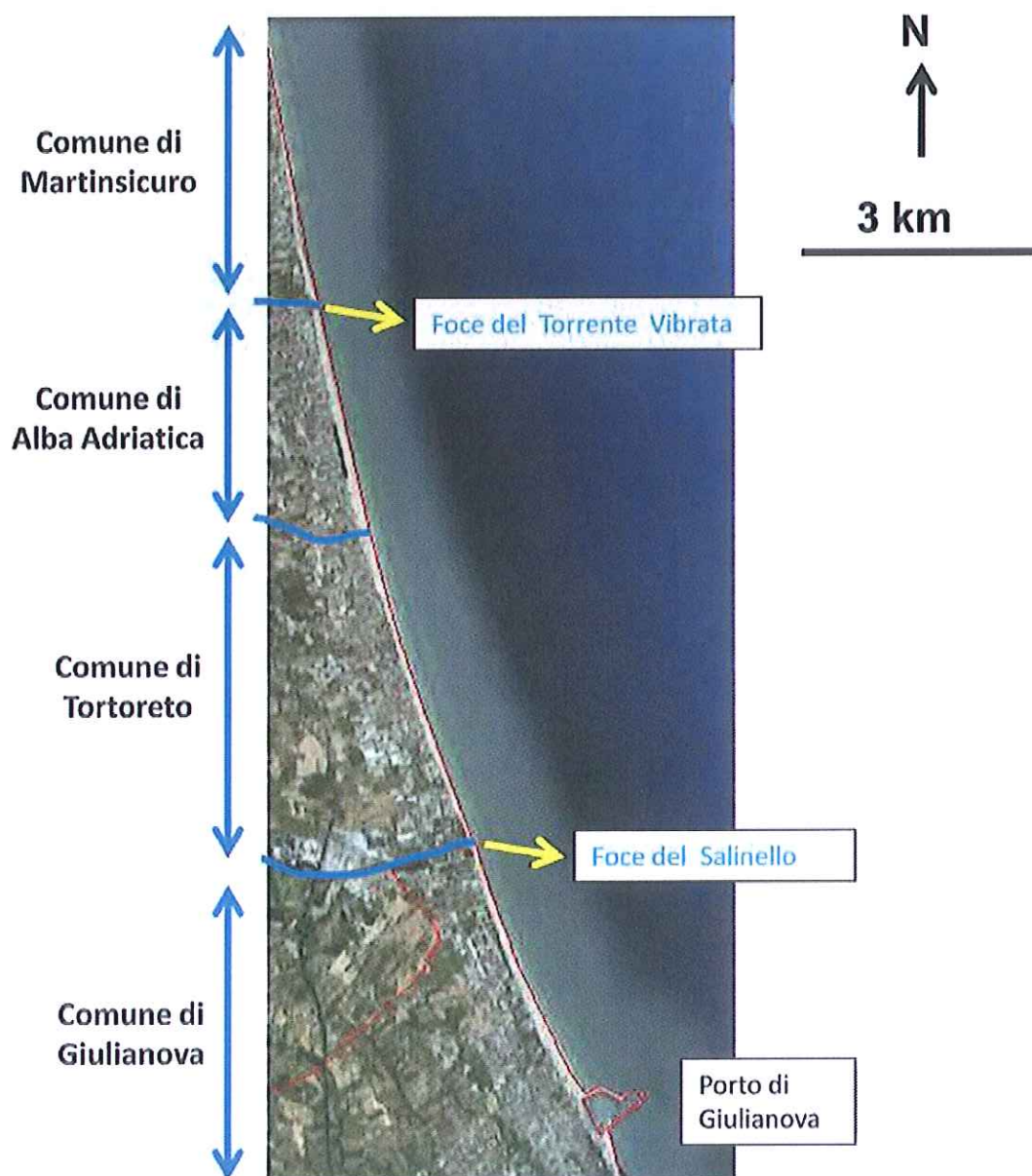


Figura 3.1 – Tratto di costa indagato dallo studio della Regione Abruzzo.

Nell'ambito dello studio venne in primo luogo definito il clima del moto ondoso locale utilizzando sia la storica fornita dalla boa ondometrica direzionale di Ortona, facente parte della Rete Ondometrica Nazionale (RON) gestita dall'ISPRA, avente una durata complessiva di circa 18 anni (1989-2007), sia la serie storica di moto ondoso registrata tra il 2006 e il 2009 dalla boa ondometrica direzionale di Giulianova, gestita dalla Regione Abruzzo. Nella Figura 3.2 viene riportato il clima medio annuale ottenuto per il litorale in esame utilizzando i dati sopra citati. Dalla figura si evince il carattere di bi modalit  del clima ondometrico e la prevalenza della componente di moto ondoso proveniente dal settore settentrionale.

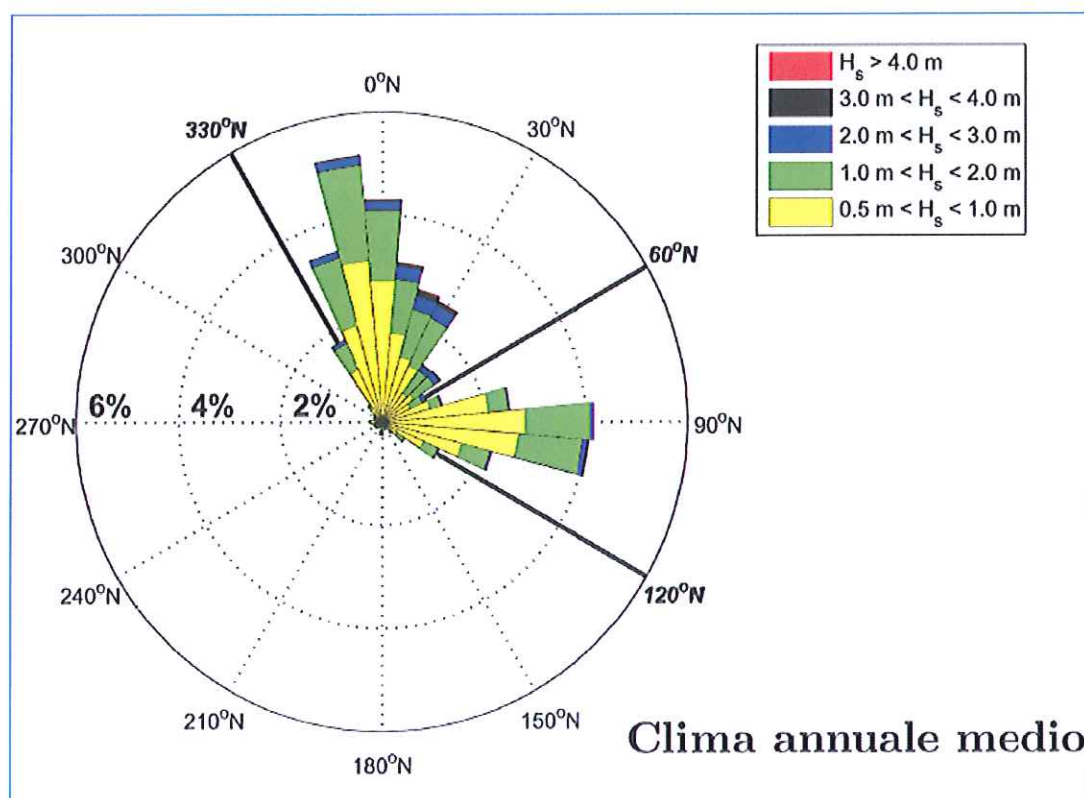


Figura 3.2 - Clima medio annuale a largo del sito in esame

Inoltre, mediante l'analisi delle linee di riva rilevate per l'intera unit  fisiografica negli anni 2001, 2006 e 2010, venne eseguito lo studio morfologico che ha consentito di calcolare il rateo medio annuo del trasporto solido locale longitudinale.

Sulla base dello studio meteomarinario e di quello morfologico, venne eseguito uno studio morfodinamico mediante il quale   stato calibrato il modello ad una linea

GENESIS per l'intera unità fisiografica. Il modello ad una linea venne poi utilizzato per valutare sia l'evoluzione del litorale in assenza di interventi sia per studiare un sistema di difesa in grado di stabilizzare l'intero litorale.

Per la redazione del presente studio morfodinamico si è utilizzato il modello GENESIS calibrato come sopra richiamato. Inoltre si è utilizzato un nuovo rilievo della linea di riva eseguito dalla Regione Abruzzo appositamente per la redazione del presente progetto nel 2015.

Come descritto nel prossimo paragrafo, la linea di riva del 2015 è stata assunta come linea di partenza per l'applicazione del modello GENESIS.

Il modello così applicato ha consentito di prevedere l'evoluzione futura della linea di riva sia in assenza, sia in presenza delle opere in progetto.

4. STUDIO MORFODINAMICO

4.1 Dominio di calcolo

Nella Figura 4.1 è schematizzato, in maniera qualitativa, il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni morfodinamiche. Il dominio, di estensione planimetrica pari a circa 14,0 km, compreso tra il Comune di Martinsicuro e il Porto di Giulianova, è stato discretizzato con una risoluzione spaziale pari a 20 m.

Si rimanda allo studio allegato per la descrizione della calibrazione eseguita del modello GENESIS. Si richiama in questa sede che il modello, del tipo ad una linea, risolve l'equazione di continuità nell'ipotesi che il trasporto solido longitudinale sia la causa dominante dell'evoluzione a lungo termine (anni) del litorale.



Figura 4.1 - Dominio di calcolo del modello ad una linea di evoluzione del litorale. Il rettangolo in rosso evidenzia qualitativamente l'area di intervento.

4.2 Analisi dei risultati

La Figura 4.2 mostra l'evoluzione del litorale su un orizzonte temporale di 10 anni, in assenza delle opere di progetto (Opzione 0) e nella configurazione di progetto. La Figura 4.3 mostra, invece, il rateo medio annuo di variazione della linea di riva della configurazione di intervento rispetto all'Opzione 0. Pertanto, i valori positivi indicano i miglioramenti della configurazione di progetto rispetto all'ipotesi di non intervento (Opzione 0). L'area tratteggiata nel grafico della Figura 4.2 mostra la zona di intervento. Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale in assenza di intervento (Opzione 0), dall'analisi dei risultati numerici (Figura 4.2, linea nera) si evidenzia l'effetto al contorno di sottoflutto delle opere di difesa attualmente presenti in località Villa Rosa che si esplicita con un arretramento della linea di riva.

Dall'analisi dell'evoluzione del litorale nella configurazione di progetto (Figura 4.2, linea blu), si evidenzia un miglioramento in prossimità dell'area di intervento rispetto all'Opzione 0. Tuttavia, risulta ancora presente l'effetto al contorno sottoflutto, che tende a migrare verso Sud, rimanendo comunque limitato al tratto immediatamente a Nord dalla sezione di foce del Torrente Vibrata, ovvero all'interno del Comune di Martinsicuro. Dall'analisi dei risultati riportati in Figura 4.3, si evidenzia che il miglioramento rispetto all'opzione zero raggiunge circa 6,6 m/anno. D'altro canto il peggioramento rispetto all'opzione zero, effetto di contorno che migra verso Sud, si verifica fino a circa 300 m a Nord della foce del Torrente Vibrata, rispetto ad un orizzonte temporale di 10 anni.

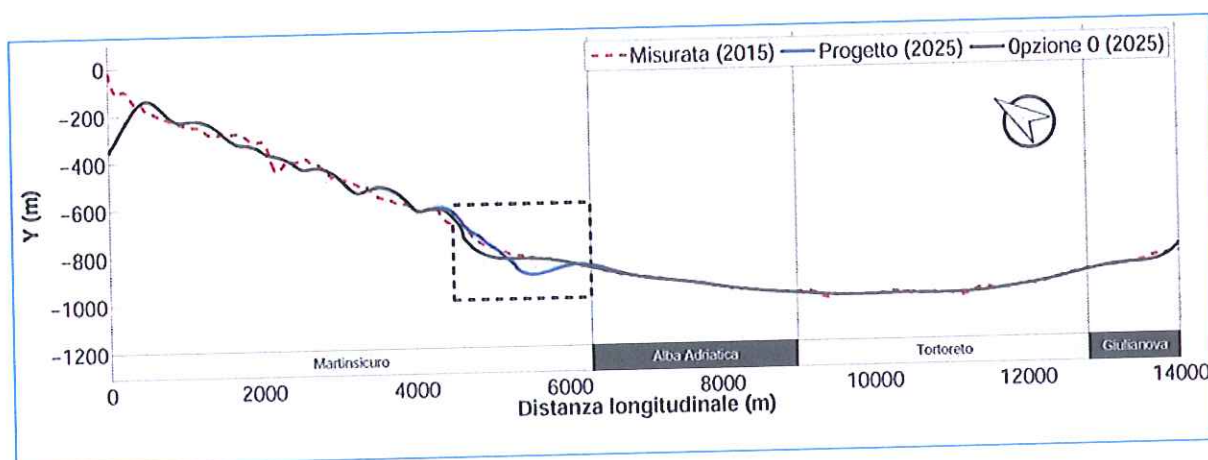


Figura 4.2 Evoluzione della posizione della linea di riva nella configurazione di intervento (linea blu) e nell'opzione 0 (linea nera). In rosso tratteggiata, la linea di riva misurata del 2015. Il rettangolo tratteggiato individua il sito di interesse.

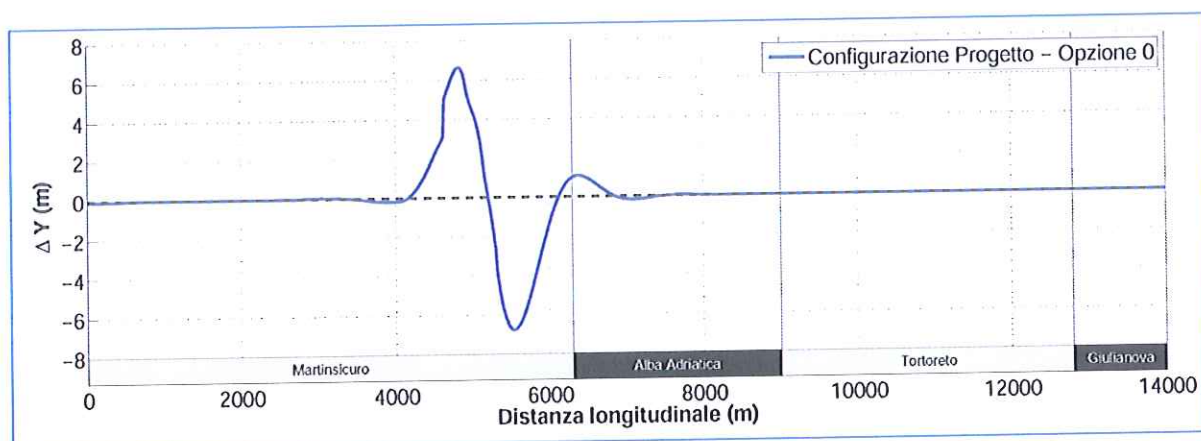


Figura 4.3 Rateo medio annuo di variazione della linea di riva valutato in presenza della configurazione di progetto rispetto all'Opzione 0. Il grafico in basso rappresenta il dettaglio dell'area di intervento.

Contratto di ricerca

**Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale
compreso tra la foce del Vibrata e il Porto di Giulianova
ad integrazione del Piano Organico degli interventi di
difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale
per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del**

13/11/2002

Rapporto conclusivo

LIAM CT-16

Gennaio 2011

Responsabile Scientifico:

Prof. Ing. Paolo De Girolamo



Responsabile Tecnico:

P.I. Mario Nardi



Collaboratori Scientifici:

Dott. Ing. Gian Mario Beltrami



Dott. Ing. Marcello Di Risio



Collaboratore Tecnico:

P.I. Lucio Matergia



Indice

1	Premessa	8
2	Inquadramento dello studio, motivazioni e metodologia	9
2.1	Contestualizzazione dello studio	9
2.2	Inquadramento morfologico e motivazioni	11
2.3	Metodologia	18
2.3.1	Fase 1 - Studio del clima ondamentrico (studio meteomarinò)	18
2.3.2	Fase 2. Studio morfologico	19
2.3.3	Fase 3. Studio morfodinamico	19
2.3.4	Fase 4. Studio delle ipotesi di intervento	19
2.3.5	Fase 5. Stima del costo delle opere relative alle ipotesi di intervento analizzate	21
2.3.6	Fase 6. Analisi comparativa tra le ipotesi di intervento e raccomandazioni sulle modalità realizzative degli interventi	21
2.4	Fonte dei dati	21
2.4.1	Dati ondamentrici	21
2.4.2	Linee di riva	22
3	Studio meteomarinò	23
3.1	Premesse	23
3.2	Inquadramento del paragò	24
3.2.1	Fetch geografici ed efficaci	24
3.2.2	Il paragò in esame	25
3.2.3	Deviazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso	25
3.2.4	Regime correntometrico	28
3.3	Definizione e analisi delle serie ondamentriche di riferimento	28

3.3.1	Le serie storiche di partenza	28
3.3.2	Definizione delle serie ondametriche a largo del paraggio di interesse . . .	30
3.3.3	Analisi della serie ondametrica largo del paraggio di interesse	31
3.3.4	Classificazione degli eventi di moto ondoso a largo in base all'altezza ed al periodo d'onda	43
3.3.5	Profondità di chiusura	46
4	Studio morfologico	47
4.1	Premesse	47
4.2	Evoluzione della linea di riva	47
4.3	Analisi diacronica	50
5	Studio morfodinamico	54
5.1	Il modello numerico e metodologia di utilizzo	54
5.2	Dominio di calcolo e forzanti meteomarine	58
5.3	Calibrazione e verifica del modello numerico	59
6	Ipotesi di intervento	62
6.1	Premesse	62
6.2	Ipotesi (0): Opzione zero, assenza di interventi	62
6.3	Ipotesi (1): Intervento "morbido" di solo ripascimento	63
6.4	Ipotesi (2): Intervento di tipo rigido "a celle" limitato alla zona attualmente critica	65
6.5	Ipotesi (3): Intervento di tipo rigido "a celle" diffuso a tutto il litorale	68
7	Sintesi dei risultati	73
7.1	Premesse	73
7.1.1	Ipotesi (0): opzione zero, assenza di interventi	73
7.1.2	Ipotesi (1): intervento morbido di solo ripascimento	76
7.1.3	Ipotesi (2): intervento di tipo rigido "a celle" limitato alla zona attualmente critica	78
7.1.4	Ipotesi (3): intervento di tipo rigido "a celle" esteso a tutto il litorale . . .	80
8	Stima dei costi e analisi comparative delle ipotesi di intervento	83
8.1	Stima approssimativa dei costi di intervento	83
8.2	Analisi comparativa tra le ipotesi di intervento	84
8.2.1	Fattibilità tecnica delle ipotesi di intervento	85
8.2.2	Confronto comparativo	88

9 Osservazioni conclusive e raccomandazioni	89
10 Riferimenti bibliografici	91

Elenco delle figure

1	Inquadramento geografico del sito di interesse (riquadro) e localizzazione dei punti di misura dei dati ondametrici.	12
2	Particolare dell'area di studio.	13
3	Particolare della configurazione morfologica della foce del fiume Tronto.	15
4	Fetch geografici a largo del litorale in esame.	26
5	Fetch efficaci al largo del litorale in esame.	27
6	Deviazione tra direzione del vento e quella delle onde per i paraggi di Ortona e quello di interesse (Alba Adriatica).	28
7	Caratteristiche correntometriche dell'Alto e Medio Adriatico (tratto da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR)	29
8	Andamento del rapporto H_{m0}^P/H_{m0}^O , tra l'altezza d'onda significativa a largo del paraggio di interesse e quella misurata a Ortona (grafico a sinistra) e del rapporto T_p^P/T_p^O , tra il periodo di picco a Giulianova e quello misurato a Ortona (grafico a sinistra) in funzione della direzione di provenienza delle onde.	32
9	Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.	35
10	Rappresentazione polare della distribuzione direzionale autunnale e invernale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.	36
11	Rappresentazione polare della distribuzione direzionale primaverile e estiva degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.	37
12	Rappresentazione cartesiana della distribuzione del periodo di picco rispetto all'altezza significativa a largo del paraggio di interesse.	44
13	Rilievi della linea di riva del litorale di Alba Adriatica nel tratto compreso tra Martinsicuro e il molo Nord del Porto di Giulianova. L'asse delle ordinate del sistema di riferimento in figura è inclinato di 73° in senso orario rispetto alla direzione del Nord.	48
14	Evoluzione della linea di riva nell'intervallo temporale 2001-2010 in termini di variazione totale della posizione della linea di riva (grafico in alto) e di variazione media annua (grafico in basso).	49
15	Differenze areali di spiaggia nel periodo 2001-2006 e 2001-2010 valutate sull'intero litorale.	49
16	Andamento delle variazioni integrali di volume di spiaggia.	51

17	Andamento del gradiente del trasporto solido longitudinale (grafico in alto) e del trasporto solido longitudinale a meno di una costante (grafico in basso) stimato sulla base dell'analisi diacronica delle linee di riva misurate nel periodo 2001-2010.	52
18	Andamento del trasporto solido longitudinale stimato sulla base dell'analisi diacronica delle linee di riva misurate nel periodo 2001-2010 considerando gli apporti solidi distribuiti sintetizzati in tabella 10.	53
19	Confronto tra i risultati numerici e misure della linea di riva ottenute in fase di calibrazione (intervallo di calibrazione 2001-2006).	59
20	Confronto tra i risultati numerici e misure della linea di riva ottenute in fase di verifica (intervallo di verifica 2006-2010).	59
21	Andamento della portata volumetrica di sedimento ottenuto in fase di calibrazione del modello numerico (intervallo di calibrazione 2001-2006).	60
22	Andamento della portata volumetrica di sedimento ottenuto in fase di verifica del modello numerico (intervallo di verifica 2006-2010).	60
23	Ipotesi (0): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010-2020.	64
24	Ipotesi (0): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010-2020.	64
25	Ipotesi (1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010-2020.	66
26	Ipotesi (1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010-2020.	66
27	Schema della configurazione "a celle". Le porzioni tratteggiate sono da intendersi sommerse. Le linee tratteggiate orizzontali rappresentano la linea di riva ad intervento ultimato.	67
28	Ipotesi (2-1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010-2020.	69
29	Ipotesi (2-1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010-2020.	69

30	Ipotesi (2-2): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y, grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.	70
31	Ipotesi (2-2): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord–Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.	70
32	Ipotesi (3-1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y, grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.	71
33	Ipotesi (3-1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord–Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.	71
34	Ipotesi (3-2): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y, grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.	72
35	Ipotesi (3-2): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord–Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.	72
36	Risultati della simulazione in assenza di interventi (Ipotesi 0).	74
37	Andamento dei fondali in prossimità del Porto di Giulianova che evidenziano la presenza di un “canyon” sottomarino causato dalla corrente di rip indotta dalla conformazione delle opere foranee del Porto.	76
38	Risultati della simulazione con intervento morbido di solo ripascimento limitato alla zona attualmente critica (Ipotesi 1).	77
39	Risultati della simulazione con intervento di tipo rigido a celle (con e senza ripascimento nelle celle) limitato alla zona attualmente critica (Ipotesi 2).	79
40	Risultati della simulazione con intervento di tipo rigido a celle (con e senza ripascimento nelle celle) diffuso a tutto il litorale (Ipotesi 3).	82

Elenco delle tabelle

1	Fetch geografici ed efficaci al largo del paraggio di interesse e deviazione tra la direzione del vento e quello delle onde.	27
2	Distribuzione annuale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.	38
3	Distribuzione autunnale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.	39
4	Distribuzione invernale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.	40
5	Distribuzione primaverile degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.	41
6	Distribuzione estiva degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza d'onda significativa e direzione.	42
7	Valori numerici dei coefficienti relativi alla relazione di dipendenza del periodo di picco dall'altezza significativa a largo del paraggio di interesse.	43
8	Distribuzione annuale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e periodo di picco.	45
9	Sintesi delle variazioni areali e volumetriche del litorale.	50
10	Apporti solidi distribuiti lungo il litorale.	52
11	Sintesi degli importi lavori e dei costi delle varie ipotesi di intervento simulate. . .	84

1 Premessa

Con riferimento alla convenzione di ricerca “Studio di fattibilità di interventi di difesa del litorale compreso tra la foce del Torrente Vibrata e il Porto di Giulianova ad integrazione del “Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002” stipulata tra il DISAT della Facoltà di Ingegneria dell’Università di L’Aquila (Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno) ed la Regione Abruzzo, il presente documento costituisce il Rapporto conclusivo del lavoro.

Il rapporto contiene tutti i documenti previsti dalla specifica tecnica allegata al contratto della convenzione di ricerca e in particolare:

1. lo studio meteomarinario;
2. lo studio morfologico;
3. lo studio morfodinamico;
4. lo studio delle ipotesi di intervento;
5. la stima del costo delle opere relative alle ipotesi di intervento;
6. l’analisi comparativa tra le ipotesi di intervento e raccomandazioni sulle modalità realizzative degli interventi.

Il lavoro è stato effettuato dal Dott. Ing. Marcello Di Risio e dal Dott. Ing. Gian Mario Beltrami, con la collaborazione dei P.I Mario Nardi e Lucio Matergia, sotto la supervisione e il coordinamento del Prof. Ing. Paolo De Girolamo.

2 Inquadramento dello studio, motivazioni e metodologia

2.1 Contestualizzazione dello studio

La Regione Abruzzo è stata una delle prime Regioni Italiane ad impostare in modo sistematico la gestione della sua fascia costiera nell'ambito di una logica integrata e multidisciplinare oggi nota a livello internazionale con l'acronimo I.C.Z.M (Integrated Coastal Area Management). Il Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima (LIAM) del Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del Terreno (DISAT) dell'Università degli studi di L'Aquila, collabora ormai da circa undici anni con la Regione Abruzzo nell'ambito dell'ICZM. In questo contesto la Regione Abruzzo, partendo dal principio che il bene ambientale è allo stesso tempo bene economico e sociale, ha sviluppato, in collaborazione con il LIAM, una serie di studi ed analisi che ha permesso di fornire all'intera comunità regionale, oltre ad una mappatura informatizzata della topologia tecnica, economica e sociale del territorio costiero, un piano di interventi con ordine di priorità e coerenza dai punti di vista tecnico, economico ed ambientale per la salvaguardia di una risorsa fondamentale quale la fascia litoranea. Tra i principali studi eseguiti si citano:

- il progetto R.I.C.A.M.A. (Rationale for Integrated Coastal Area Management), sviluppato tra la fine degli anni '90 e gli inizi degli anni 2000 con cofinanziamento della Comunità Europea;
- il progetto S.I.Co.R.A. (Sviluppo Informativo per la gestione della zona COstiera della Regione Abruzzo), sviluppato negli anni 2000;
- progetto CIPE. n. 106/99 "Gestione integrata dell'area costiera. Piano organico per il rischio delle aree vulnerabili. Fattibilità di interventi di difesa e di gestione della fascia litoranea su scala regionale".

I risultati di tali studi sono riportati in una serie di monografie e articoli tecnico scientifici presentati in sede nazionale e internazionale di seguito riportati:

- De Girolamo P., Noli A., Contini P., Mondini F., Beltrami G.M. e Franco L. *Risk-Analysis in Coastal System Planning and Management*, Excerpta of the Italian Contributions to the field of Hydraulic Engineering, 14:257-271, 2000.
- Beltrami G.M., Mondini F., Contini P., Cuzzi D., Caputi P. e De Girolamo, P., *Risk assessment and feasibility defence study within the framework of the Regione Abruzzo integrated coastal area management*, Atti della VI conferenza internazionale sull'ambiente costiero Mediterraneo, MEDCOAST 03, Ravenna, Ottobre 7-11, 1:211-222, 2003
- Beltrami G.M., *Una procedura cautelativa di inferenza dei livelli a riva: il caso della costa Abruzzese*, Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera. VII Edizione, Trieste, Luglio 2-4, 2003, pp. 85-96, 2003
- De Girolamo P., Caputi P., Visca C., Beltrami G.M., Venturini G. e Bobbio V., *L'esperienza di gestione integrata della costa dell'Abruzzo: Il progetto S.I.Co.R.A.*, Regioni e Ambiente, anno VI, n.7/8, luglio/agosto 2005, 2005
- De Girolamo P., Caputi P., Contini P., Beltrami G.M., Mondini F., Sammarco P., Cuzzi D., Polidoro M. e Bobbio, V., *Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera Abruzzese*, Ambiente Italia, anno IV, n.17, giugno/luglio 2005, 2005
- De Girolamo P., Venturini G., Fiduccia A., Beltrami G.M., Visca C., Caputi P. e Scarsella E. *La realizzazione di un sistema informativo geografico (GIS) nell'ambito della gestione integrata della costa abruzzese*, Consulting, anno III, n.4, luglio/agosto 2005
- Dominici D., Beltrami G.M. e De Girolamo P. *Ortorettifica di immagini satellitari ad alta risoluzione finalizzata al monitoraggio costiero a scala regionale*, Studi Costieri, 11:145-156, 2006
- Dominici D., Beltrami G.M., De Girolamo P., Visca C., Del Guzzo F. e Caputi, P. *Monitoraggio costiero a scala regionale mediante utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione*, Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Roma, Settembre 10-15, 2006
- AA. VV., *Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera abruzzese*, Abruzzo Cronache, Numero Speciale Settembre 2006, 2006
- Lisi I., Di Risio M., De Girolamo P., e Beltrami G.M., *Experimental modeling of sand beach nourishment cross-shore evolution*, Atti della conferenza internazionale CoastLab08, Bari, Luglio 2-5, 2008

- Di Risio M., Lisi I., Beltrami G.M., De Girolamo P., *Physical modeling of the cross-shore short-term evolution of protected and unprotected beach nourishments*, Ocean Engineering, 37:777-789, 2010
- AA.VV. *Relazione sullo stato della costa abruzzese* Abruzzo Cronache. In stampa

Dagli studi citati è scaturito il “Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo” approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002. Su impulso di questo Piano, la Regione Abruzzo ha ricevuto finanziamenti dallo Stato con i quali ha dato avvio ad una serie di interventi (realizzandone due primi stralci) rivolti alla riqualificazione morfologica della fascia costiera regionale dando priorità alle situazioni caratterizzate dalle maggiori criticità (rischio) dal punto di vista morfologico e socio-economico. Tali interventi sono stati realizzati in parte direttamente dalla Regione Abruzzo ed in parte demandando alle Amministrazioni locali il ruolo di soggetto attuatore. Gli interventi rispetto ai quali la Regione si è garantita il ruolo di “regista”, sono stati quelli più complessi dal punto di vista tecnico e che hanno coinvolto più comuni costieri contemporaneamente. Tali interventi hanno previsto, ad esempio, il ricorso in modo rilevante alla tecnica del ripascimento artificiale delle spiagge utilizzando materiale (sabbia) appositamente coltivato in cave sottomarine mediante mezzi marittimi (draghe) altamente sofisticati. Infatti, a causa delle elevate volumetrie in gioco (finora circa 1.700.000 m³ di sabbia), il prelievo della sabbia da cave sottomarine è risultato l'unica soluzione possibile in quanto tali volumi non sono tecnicamente ottenibili in tempi relativamente brevi da cave terrestri. Per contro la Regione ha riservato alle Amministrazioni locali la realizzazione degli interventi di manutenzione che per loro natura sono gestiti su scala locale. Naturalmente tutti gli interventi finora eseguiti sono dal punto di vista logico e metodologico inquadrabili nell'ambito di quanto previsto dal Piano Organico degli Interventi sopra citato.

In questo contesto oggi la Regione Abruzzo ha ritenuto opportuno dare mandato al LIAM di eseguire lo Studio di Fattibilità in oggetto al fine di aggiornare il Piano Organico approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002.

2.2 Inquadramento morfologico e motivazioni

Il litorale oggetto dello studio comprende gran parte del tratto di costa che si estende dal confine Nord regionale, segnato dal corso del Fiume Tronto, fino al Porto di Giulianova (figura 1). Partendo da Nord e procedendo verso Sud, i comuni costieri ricadenti in questo tratto di costa sono quelli di Martinsicuro, Alba Adriatica, Tortoreto e parte del Comune di Giulianova (figura 2).

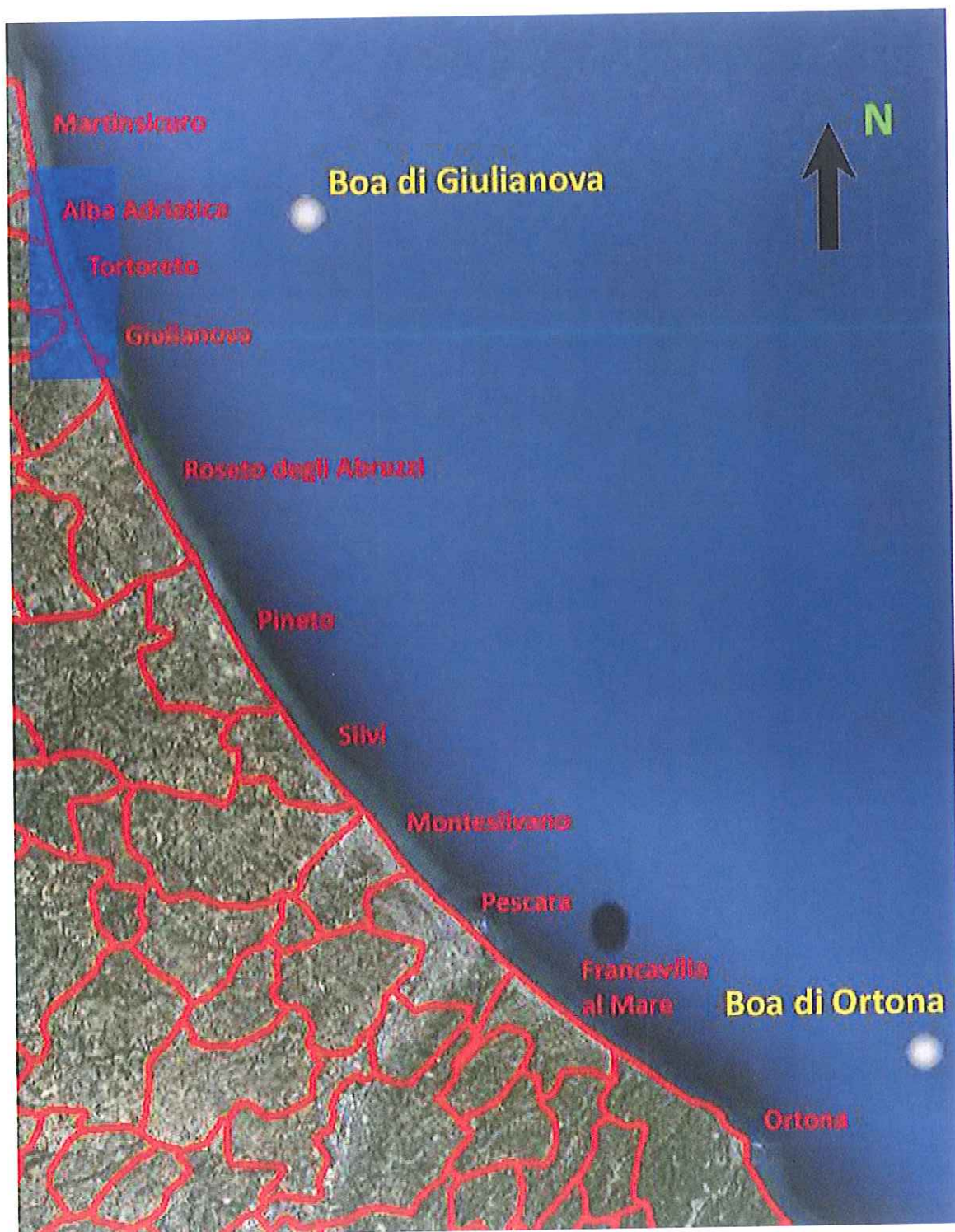


Figura 1: Inquadramento geografico del sito di interesse (riquadro) e localizzazione dei punti di misura dei dati ondametrici.

Tratto di costa oggetto dello studio

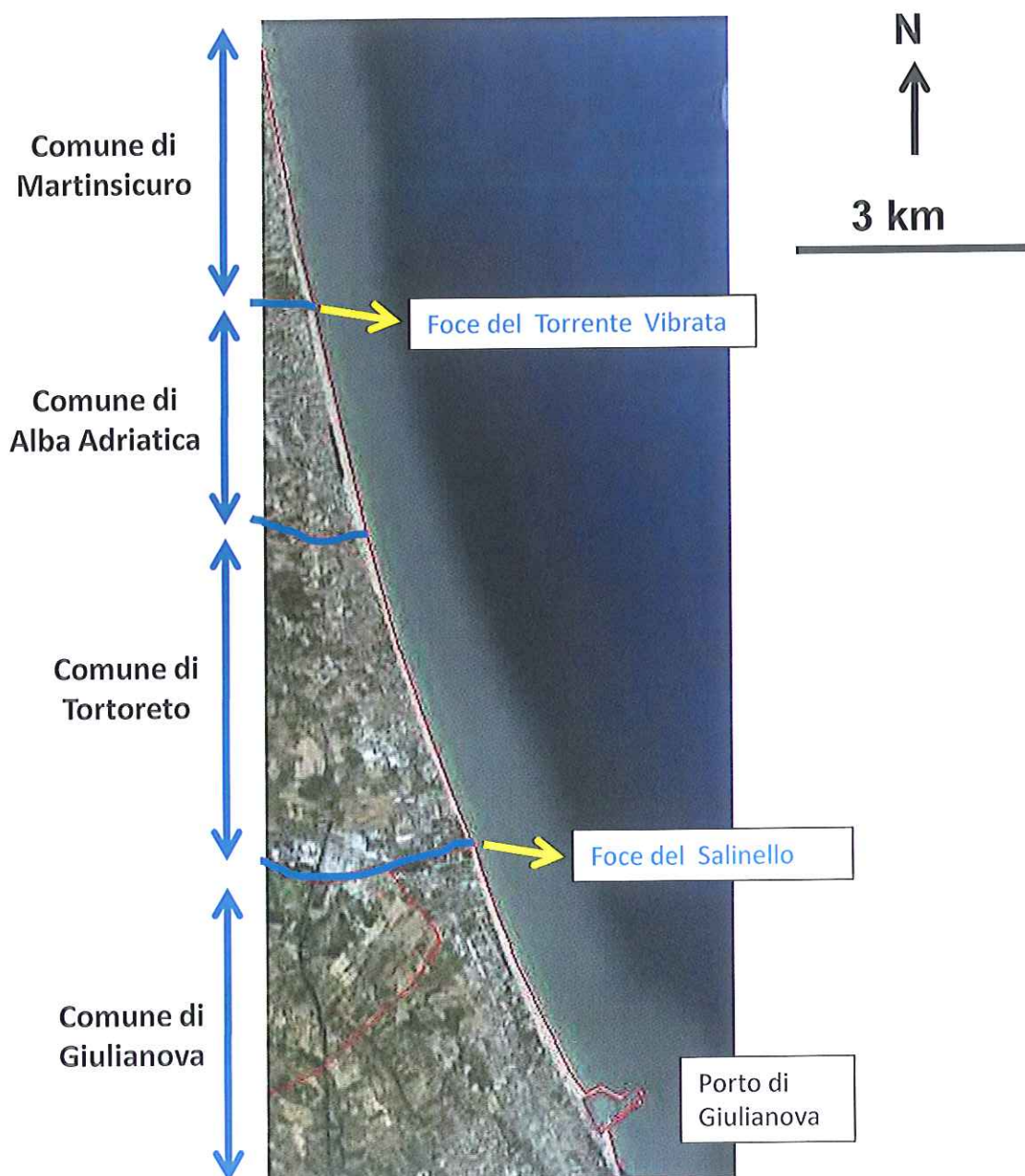


Figura 2: Particolare dell'area di studio.

Questo tratto di costa (foce del Tronto - Porto di Giulianova) risulta attualmente difeso con opere di tipo "rigido" solo nella sua parte settentrionale, ovvero dalla foce del fiume Tronto fino a circa alcune centinaia di metri a Nord della foce del Torrente Vibrata, il quale segna il confine tra i comuni di Martinsicuro e di Alba Adriatica. Il tratto difeso ricade interamente nel Comune di Martinsicuro. La restante parte di litorale, per una lunghezza complessiva di circa 10,0 km, è costituito da una delle poche falcate sabbiose abruzzesi ancora non protette da opere di tipo rigido e che quindi conserva elementi di pregio sia dal punto di vista ambientale sia per le finalità turistico-balneari.

Dal punto di vista socio-economico questo tratto di litorale è uno dei più "ricchi" della costa abruzzese avendo sviluppato una industria turistico-balneare particolarmente fiorente con "standard" di servizi paragonabili per qualità a quelli della costa romagnola, riuscendo in tal modo ad attirare flussi di turismo extra-regionale che per una parte rilevante comprende turismo proveniente dall'estero.

Dal punto di vista morfologico il tratto di costa compreso tra la foce del Tronto ed il Porto di Giulianova, è complessivamente assimilabile ad un'unica unità fisiografica in quanto si possono ragionevolmente assumere nulli o molto contenuti gli scambi di materiale solido che avvengono tra questo tratto di costa e quelli limitrofi.

Come meglio specificato nel seguito, la direzione media annuale del trasporto solido longitudinale complessivo, responsabile dell'evoluzione a "lungo termine" (anni) del litorale, è diretta da Nord verso Sud. Ciò è dovuto alla elevata frequenza media annuale delle onde provenienti dal I quadrante, che generano la corrente longitudinale che spinge verso Sud i sedimenti messi in sospensione nella "fascia attiva" (ricadente in questo paraggio su fondali inferiori ai 7,0 m) dalle onde frangenti.

Nel passato la principale sorgente di apporti solidi per questo litorale era costituita dal trasporto solido del Fiume Tronto che, a causa del regime ondametico locale, alimentava in prevalenza il litorale posto a Sud della sua foce e quindi il litorale abruzzese.

Questo schema interpretativo trova conferma nella morfologia della foce fluviale (figura 3) del fiume Tronto che presenta il litorale posto a Sud della stessa foce, quello abruzzese di Martinsicuro, disallineato e proteso verso il mare di circa 350 m rispetto al litorale marchigiano posto a Nord della foce. Tale protusione è stata casuata nel passato dal trasporto solido del Tronto che veniva deviato prevalentemente verso Sud dal moto ondoso incidente. Una ulteriore testimonianza di questa evoluzione storica della morfologia della foce fluviale è data dalla posizione attualmente occupata dalla torre medievale di Martinsicuro che nel '600 era utilizzata come torre di avvistamento costiero. Tale torre, una volta posta sulla costa, oggi si trova a circa cinquecento metri dalla linea di riva.



Figura 3: Particolare della configurazione morfologica della foce del fiume Tronto.

A causa delle opere di regimentazione delle acque eseguite nel bacino idrografico del Tronto e degli interventi realizzati lungo lo stesso alveo fluviale, nel secolo scorso il trasporto solido fluviale, si è progressivamente ridotto. Come sempre accade, i primi segni della riduzione del trasporto solido fluviale si sono manifestati in prossimità della foce. In questo caso lungo il litorale che veniva alimentato dallo stesso fiume, ovvero quello di Martinsicuro che ha iniziato per primo a risentire dei fenomeni erosivi. Gli interventi di difesa costiera (barriere distaccate emergenti) che sono stati realizzati tra gli anni '70 e gli anni '90 dal Genio Civile per le Opere Marittime di Ancona lungo il litorale di Martinsicuro, hanno parzialmente "tamponato" localmente i fenomeni erosivi. In quegli anni il materiale, proveniente dai fenomeni erosivi della costa di Martinsicuro, spinto verso Sud dalle correnti litoranee, ha continuato ad alimentare il litorale posto a Sud della foce del Torrente Vibrata, che in tal modo ha potuto continuare a beneficiare di una relativa stabilità dinamica. A Nord della foce del Tronto i fenomeni erosivi, comunque molto più contenuti rispetto a quelli della costa posta a Sud, ed in assenza di antropizzazione, non hanno richiesto di intervenire con opere di difesa.

Alla fine degli anni '90, quando la competenza sulla costa passò dal Genio Civile alla Regione Abruzzo, la Regione si rese conto che gli interventi eseguiti lungo il litorale di Martinsicuro dal Genio Civile, in modo disordinato ed irrazionale, non avevano risolto il problema dell'erosione dello stesso litorale, che presentava in alcune zone situazioni di elevata criticità per le infrastrutture presenti sulla costa minacciate dall'erosione costiera.

Pertanto la Regione decise, nell'ambito del citato Piano Organico degli Interventi di Difesa Costiera, di dare priorità agli interventi ormai non più procrastinabili rivolti alla risoluzione delle maggiori criticità ancora presenti lungo il litorale di Martinsicuro. Tali interventi, eseguiti in due fasi (la prima tra il 2006 ed il 2007 e la seconda tra il 2009 e la primavera del 2010) hanno previsto la riqualificazione delle opere di difesa esistenti, mediante la realizzazione di un sistema di difesa a "celle" costituito da pennelli parzialmente sommersi che si innestano su una barriera distaccata e sommersa, disposta parallelamente alla costa. Tale sistema di difesa è stato integrato con un ripascimento artificiale che complessivamente ha previsto il versamento (anch'esso effettuato nelle due fasi sopra indicate) di circa 250.000 m³ di sabbia proveniente da cave sottomarine. Tale materiale è stato versato sia con l'obiettivo di restituire al litorale di Martinsicuro una adeguata larghezza di spiaggia, sia con l'obiettivo di restituire al trasporto solido costiero parte del materiale solido che ormai non proviene più dal Tronto: quindi con la logica di continuare ad alimentare artificialmente con materiale solido (sabbia) il litorale posto a Sud delle opere di difesa di Martinsicuro.

Allo stesso tempo la Regione Abruzzo ha fornito al Comune di Alba Adriatica, posta subito a Sud della foce del Torrente Vibrata, le risorse necessarie per provvedere ad interventi di ripascimento puro. Tali interventi sono stati eseguiti nella primavera del 2007 e nella primavera del 2010 ed hanno comportato il versamento di un volume complessivo di circa 50.000 m³ di sabbia.

Finora la logica di gestione seguita dalla Regione per questo tratto di litorale è stata quella di risolvere i problemi erosivi che presentavano le maggiori criticità per le infrastrutture presenti lungo la costa utilizzando opere di difesa "rigide" con l'obiettivo di mantenere al contempo l'"integrità" del tratto di costa compreso tra la foce del Torrente Vibrata e Giulianova, che come detto allo stato attuale è uno dei pochi tratti di costa regionali non ancora difeso con opere di tipo "rigido" e che quindi presenta ancora elevate qualità ambientali naturali.

Tuttavia recentemente la Regione è stata sollecitata dai portatori di interesse, preoccupati dai fenomeni erosivi che comunque continuano ad interessare parte del Comune di Alba Adriatica ed in particolare la zona posta subito a Sud della foce del fiume Vibrata, a rivedere la metodologia di gestione perseguita negli ultimi dieci anni per questo tratto di costa.

In questo contesto la Regione Abruzzo ha dato incarico al LIAM di aggiornare il Piano

Organico di Interventi approvato con D.G.R. n. 964 del 13/11/2002, prendendo in esame la possibilità di intervenire sul tratto di litorale compreso tra la foce del fiume Vibrata e Giulianova sia con interventi di ripascimento puro, sia con interventi di tipo rigido eventualmente accoppiati con interventi di ripascimento.

A tal fine sono state elaborate le quattro ipotesi di intervento descritte nel prossimo paragrafo. Tali ipotesi includono:

- Ipotesi (1) il ricorso a soli interventi di tipo “morbido” (ripascimento con sabbia). Tale ipotesi segue la strategia di gestione finora perseguita per questa costa dalla Regione Abruzzo;
- Ipotesi (2) il ricorso ad un intervento con opere di tipo “rigido” rivolto a proteggere solo il tratto di costa attualmente soggetto ai fenomeni erosivi, che è localizzato a Sud della foce del Torrente Vibrata nel comune di Alba Adriatica. Poiché il trasporto solido dominante è diretto verso Sud, ci si aspetta che tale intervento, pur risolvendo i fenomeni erosivi localmente in atto, “esporti” nel tempo l’erosione verso Sud;
- Ipotesi (3) il ricorso ad un intervento con opere di tipo “rigido” rivolto a proteggere tutto il litorale in questione al fine di scongiurare la possibilità di esportare i fenomeni erosivi al litorale oggi stabile.

Nell’ambito delle Ipotesi (2) e (3) si è valutata anche la possibilità di accoppiare gli interventi di tipo rigido con versamenti di sabbia.

Alle tre ipotesi di intervento sopra delineate, si è aggiunta anche l’Ipotesi (0) che non prevede l’esecuzione di interventi. Sostanzialmente con tale ipotesi si è voluto dare risposta alla domanda: che cosa accadrà in futuro alla costa in termini di erosione e/o avanzamento della linea di riva se non si interviene? Tale ipotesi è stata assunta come riferimento per giudicare gli effetti prodotti dalle altre tre ipotesi di intervento.

La “finestra temporale” che è stata assunta come previsione futura è di circa dieci anni. Sostanzialmente lo studio eseguito fornisce per ciascuna delle quattro ipotesi analizzate, la previsione di che cosa accadrà in termini di posizione media della linea di costa, e quindi di erosione e/o avanzamento, tra circa dieci anni.

L’analisi comparata tra i risultati ottenuti in termini morfologici per ciascuna ipotesi di intervento, consente, tenendo conto dei relativi costi e dei problemi tecnico-realizzativi che possono condizionare le varie ipotesi di intervento, di avere un quadro oggettivo sul quale basare le scelte strategiche di gestione futura di questo tratto di litorale.

Propedeuticamente allo studio delle ipotesi sopra delineate, è risultato necessario eseguire una serie di analisi preliminari (studio meteomarinico, studio morfologico, ecc.) descritte nel

prossimo paragrafo. Tali analisi hanno avuto come obiettivo finale quello di mettere a punto (calibrare) un modello numerico che consente di prevedere l'evoluzione a lungo termine (anni) del litorale in presenza o in assenza di interventi. Il modello numerico impiegato, del tipo ad "una linea", è stato preventivamente calibrato sulla base dell'evoluzione della linea di riva avvenuta negli ultimi dieci anni. Di tale modello numerico ci si è serviti per valutare quantitativamente gli effetti morfologici degli interventi ipotizzati su tutto il litorale analizzato.

Nel prossimo paragrafo viene descritta la metodologia seguita per condurre il presente studio.

2.3 Metodologia

Il lavoro è stato diviso nelle sei fasi di seguito descritte:

1. studio del clima ondamentico relativo al tratto di costa in questione (studio meteomarinico);
2. studio morfologico basato sull'evoluzione planimetrica della linea di riva verificatasi negli ultimi anni;
3. studio morfodinamico rivolto a calibrare un modello numerico di evoluzione della linea di riva;
4. studio delle ipotesi di intervento;
5. stima del costo delle opere relative alle ipotesi di intervento;
6. analisi comparativa tra le ipotesi di intervento e raccomandazioni sulle modalità realizzative.

2.3.1 Fase 1 - Studio del clima ondamentico (studio meteomarinico)

Lo studio meteomarinico è finalizzato a caratterizzare il clima ondamentico direzionale al largo del tratto di litorale in analisi. Si nota che il "motore" del trasporto solido costiero è costituito dal moto ondoso frangente e pertanto la sua caratterizzazione risulta di cruciale importanza per qualsiasi studio volto all'analisi della morfodinamica costiera. Nell'ambito dello studio si sono presi in esame i dati ondamentici disponibili ed in particolare:

- la serie storica direzionale di moto ondoso registrata dalla boa ondamentica posta al largo di Ortona facente parte della Rete Ondamentica Nazionale (RON) gestita dall'Istituto Superiore per la Ricerca Applicata all'Ambiente (ISPRA, già Agenzia per la Protezione dell'Ambiente APAT). La serie storica disponibile copre il periodo di tempo compreso tra il 1989 e il 2007;

- la serie storica direzionale di moto ondoso registrata dalla boa ondometrica posta al largo di Giulianova gestita dalla Regione Abruzzo. La serie storica disponibile copre il periodo di tempo compreso tra il 2006 ed il 2009.

I risultati ottenuti nell'ambito di questa fase sono stati utilizzati nell'ambito degli studi di cui alle successive Fasi 3 e 4.

2.3.2 Fase 2. Studio morfologico

Lo studio morfologico è volto all'analisi dell'evoluzione del tratto di costa in questione facendo riferimento alle variazioni planimetriche della linea di riva avvenute negli ultimi dieci anni. In particolare si sono prese in esame le linee di riva relative agli anni 2001, 2006 e 2010, rilevate dalla Regione Abruzzo nell'ambito delle attività di monitoraggio della costa a scala regionale. L'analisi diacronica delle linee di riva ha consentito di stimare il trasporto solido longitudinale indotto dal moto ondoso frangente lungo il litorale oggetto dell'analisi, permettendo di individuare con criteri oggettivi le zone critiche, ovvero quelle che attualmente sono soggette a fenomeni erosivi. In particolare, è stato stimato il rateo volumetrico di erosione medio annuo utile per la stima del volume di sedimento necessario, in prima approssimazione, per azzerare, con un intervento di ripascimento, l'attuale deficit del bilancio solido litoraneo.

2.3.3 Fase 3. Studio morfodinamico

L'obiettivo dello studio è stato quello di calibrare un modello numerico di evoluzione a lungo termine della linea di riva del tipo ad “una linea” simulando l'evoluzione storica osservata a lungo termine, allo scopo di disporre di uno strumento adeguato per prevedere l'evoluzione futura dello stesso litorale. La calibrazione è stata effettuata utilizzando le misure della linee di riva rilevate nel passato, i risultati dello studio morfologico e il clima di moto ondoso definito nell'ambito della precedente Fase 1.

2.3.4 Fase 4. Studio delle ipotesi di intervento

Le ipotesi di intervento prese in esame sono di seguito descritte. Per gli interventi di tipo “rigido” si è analizzato un sistema di difesa “a celle”. La tipologia “a celle” è stata individuata come ottimale nell'ambito dello studio di fattibilità degli interventi di riqualificazione a scala regionale (si veda “Analisi di Rischio Morfologico e socio-economico della fascia costiera abruzzese: studio di fattibilità degli interventi di riqualificazione a scala regionale”, settembre 2006, numero speciale di Abruzzo Cronache) già applicato con successo in diversi tratti del litorale abruzzese, in particolare lungo il litorale di Martinsicuro. Pertanto, sulla base di esperienze di

campo passate, è stata considerata la soluzione costituita da una serie di pennelli parzialmente sommersi. La porzione sommersa si intesta su una barriera longitudinale, anch'essa sommersa. Per ogni ipotesi è stato applicato il modello numerico calibrato come descritto nella Fase 3, ed è stata prevista l'evoluzione futura del litorale rispetto ad una finestra temporale di circa dieci anni.

In particolare, sono state analizzate le seguenti ipotesi di intervento:

- **Ipotesi (0). Assenza di interventi (opzione zero)**
Nell'ambito di questa ipotesi si è previsto di non eseguire alcun intervento. I risultati di tale simulazione consentono di valutare le naturali tendenze evolutive future del litorale. I risultati ottenuti in termine di posizione media della linea di riva dopo dieci anni sono stati utilizzati come riferimento per valutare gli effetti degli interventi presi in esame con le ipotesi seguenti, nell'ambito di un'approfondita analisi comparativa.
- **Ipotesi (1). Intervento "morbido" di solo ripascimento**
L'ipotesi ha preso in esame la possibilità di intervenire solo mediante la tecnica del "ripascimento morbido" mediante apporto di sedimenti dall'esterno. Tenendo conto delle problematiche tecnico-amministrative, è necessario sottolineare che tali interventi richiedono necessariamente una manutenzione periodica (periodici apporti di sabbia) dovuti alla naturale migrazione dei sedimenti. L'intervento di ripascimento è caratterizzato dai seguenti parametri:
 - interventi di manutenzione ogni dieci anni;
 - volume sedimentario tale da garantire la larghezza minima di spiaggia tra un intervento di manutenzione e l'altro sufficiente a svolgere le attività turistico-balneari e comunque con una linea di riva prossima a quella del 2001. In tal senso sono stati utilizzati i risultati dello studio morfologico che hanno reso possibile stimare le perdite di sabbia medie annue sulla base dello studio delle variazioni morfologiche passate.
- **Ipotesi (2). Intervento di tipo rigido "a celle" limitato alla zona attualmente critica**
Così come anticipato, l'intervento di difesa è derivato dal tipo "a celle", costituito da pennelli parzialmente sommersi che si intestano su una barriera parallela, anch'essa sommersa. Al fine di garantire una larghezza minima di spiaggia all'interno delle celle sufficiente per le attività turistico-balneari. L'ipotesi è stata analizzata in assenza di versamenti di sabbia e con ripascimento. La zona di intervento è stata limitata al litorale considerato oggi critico, così come ottenuto nell'ambito dello studio morfologico. La valutazione degli effetti prodotti da questa ipotesi di intervento è stata effettuata mediante confronto con la linea di

riva ottenuta dopo dieci anni nel caso di assenza di interventi di cui all'ipotesi (0) (opzione zero).

Nel dettaglio, l'intervento analizzato è caratterizzato dai seguenti parametri indicativi:

- quota di imbasamento della testata dei pennelli circa pari a -3,50 m s.l.m.;
 - quota di sommergenza delle barriere sommerse pari a circa -1,50 m s.l.m.;
 - lunghezza totale dei pennelli pari a circa 100 m;
 - lunghezza di radicamento dei pennelli pari a circa 20 m;
 - interasse tra i pennelli pari a circa 250 m.
- Ipotesi (3). Intervento di tipo rigido “a celle” diffuso a tutto il litorale
- L'ultima ipotesi di intervento ha previsto l'estensione dell'intervento “a celle” descritto per l'ipotesi (2), alla quasi totalità del litorale che si estende da Alba Adriatica al Porto di Giulianova. In analogia con quanto previsto per l'ipotesi (2), sono stati analizzati i casi di assenza di versamento di sedimento e con ripascimento.

2.3.5 Fase 5. Stima del costo delle opere relative alle ipotesi di intervento analizzate

In questa fase si è proceduto alla stima degli importi lavori e dei costi complessivi degli interventi relativi a ciascuna ipotesi analizzata. I costi sono stati desunti parametricamente sulla base di interventi simili già realizzati dalla Regione Abruzzo e sono stati forniti dalla stessa Regione.

2.3.6 Fase 6. Analisi comparativa tra le ipotesi di intervento e raccomandazioni sulle modalità realizzative degli interventi

L'analisi comparativa delle ipotesi assunte e analizzate ha tenuto conto degli aspetti tecnici, economici ed ambientali, con l'obiettivo di mettere in evidenza i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna soluzione rapportata alle altre. Infine si è inteso fornire le raccomandazioni sulle modalità realizzative degli interventi rivolte a minimizzare l'esportazione dei fenomeni erosivi sottoflutto.

2.4 Fonte dei dati

2.4.1 Dati ondametrici

I dati di moto ondoso disponibili per il presente studio provengono dalla boa ondametrica posta al largo di Ortona (42°24'02"N-14°32'01"E) appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Ricerca applicata all'Ambiente (ISPRA, già Agenzia per

la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici, APAT) e dalla boa ondametrica dislocata al largo di Giulianova (42° 49'32N-14°07'08"E) gestita dalla Regione Abruzzo (Figura 1). La serie storica misurata dalla boa di Ortona si estende dal 1989 al 2007, mentre quella registrata dalla boa di Giulianova dal 2006 al 2009.

Allo scopo di definire le serie storiche di moto ondoso si è proceduto, oltre che alla validazione delle singole serie storiche registrate nei siti di Giulianova e Ortona, ad effettuare la trasposizione geografica (Contini e De Girolamo, 1998) a largo del sito di interesse. La serie ventennale così ottenuta è stata utilizzata per la definizione del clima medio e, conseguentemente, per la definizione delle forzanti idrodinamiche agenti sul litorale. Oltre che alla definizione del clima ondamentrico del sito di studio, la serie è stata utilizzata per la stima della profondità di chiusura (Hallermeier, 1981) necessaria alla valutazione della tendenza evolutiva morfodinamica a lungo termine.

2.4.2 Linee di riva

Le linee di riva di base utilizzate per il presente studio sono quelle relative agli anni 2001, 2006 e 2010 rese disponibili da parte della Regione Abruzzo. In particolare, le linee del 2001 e 2010 derivano dall'elaborazione di una campagna di rilievi condotta dal Servizio OO.MM. e Qualità delle Acque della Regione Abruzzo, mentre quella del 2006 è stata desunta a partire da foto satellitari, georeferenziate nel sistema WGS84 secondo una procedura messa a punto nell'ambito del progetto SICORA (condotto dal LIAM per conto della Regione Abruzzo). In questo ultimo caso, l'identificazione della linee di riva è stata condotta dal Servizio citato a partire dalle immagini georeferenziate utilizzando una metodologia di riconoscimento della colorazione dei pixels, in particolare la differenza esistente tra le colorazioni del litorale "bagnato" e di quello "asciutto".

3 Studio meteomarino

3.1 Premesse

Il “motore” del trasporto solido costiero è costituito dal moto ondoso frangente il quale determina la messa in sospensione dei sedimenti e allo stesso tempo genera il sistema di correnti comunemente denominato “circolazione costiera”. E’ ormai riconosciuto in letteratura che la corrente longitudinale (*longshore current*) è la principale responsabile dell’evoluzione a lungo termine di un litorale sabbioso.

Nel presente capitolo è descritto lo studio meteomarino al fine di definire, per il paraggio in esame, il clima ondoso medio annuale, al qual far riferimento per le analisi relative alla morfodinamica costiera.

Come già osservato, i dati di moto ondoso disponibili per il presente studio provengono dalla boa ondometrica posta al largo di Ortona (42°24’02N-14°32’01E) appartenente alla Rete Ondametrica Nazionale gestita dall’Istituto Superiore per la Ricerca applicata all’Ambiente (ISPRA, già Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici, APAT) e dalla boa ondometrica dislocata al largo di Giulianova (42°49’32N-14°07’08E) gestita dalla Regione Abruzzo. Le serie storiche misurate alla boa di Ortona si estende dal 1989 al 2007, mentre quella registrata alla boa di Giulianova dal 2006 al 2009.

Allo scopo di definire le serie storiche di moto ondoso si è proceduto, oltre che alla validazione delle singole serie storiche registrate nei siti di Giulianova e Ortona, ad effettuare la trasposizione geografica (Contini e De Girolamo, 1998) a largo del litorale in esame. La serie ventennale così ottenuta è stata utilizzata per la definizione del clima medio e, conseguentemente, per la definizione delle forzanti idrodinamiche agenti sul litorale. La stessa serie è stata utilizzata per la stima della profondità di chiusura (Hallermeier, 1981) necessaria alla valutazione della tendenza evolutiva morfodinamica a lungo termine.

Nel seguito, dopo aver inquadrato il paraggio di interesse, vengono descritte le serie storiche di partenza e le procedure applicate per definire la serie ondametria di riferimento. Vengono poi esposti i risultati delle analisi climatiche effettuate su tale serie storica in termini di analisi della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso. Successivamente viene illustrata la procedura per la stima della profondità di chiusura.

3.2 Inquadramento del paraggio

3.2.1 Fetch geografici ed efficaci

L'analisi dell'esposizione geografica di un paraggio costiero si basa sulla determinazione dei fetch geografici ed efficaci. Per fetch si intende la lunghezza della porzione di mare sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento, ovvero la lunghezza dell'area di generazione del moto ondoso. L'individuazione dei fetch può essere eseguita facendo ricorso al concetto di *fetch geografico*, che indica la distanza geografica tra il punto di interesse e la terra più vicina in relazione a una prefissata direzione. Come noto, il moto ondoso è generato non solo lungo la direzione media di azione del vento, ma anche lungo tutte le direzioni comprese all'interno di un settore pari a $\pm 90^\circ$ rispetto a essa. Allo scopo di tenere conto del contributo apportato allo sviluppo complessivo del moto ondoso da tali direzioni contigue a quella media è possibile ricorrere alla definizione di fetch efficace, ovvero alla definizione della lunghezza dell'area di generazione relativa a una determinata direzione media in funzione dei valori dei fetch geografici associati alle direzioni a essa contigue. Ovviamente, la lunghezza dei fetch efficaci risulterà diversa da quella dei fetch geografici.

Per il calcolo dei fetch efficaci si fa riferimento ad una relazione, derivata dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup, Munk e Bretschneider, 1947) e successivi aggiornamenti (Saville 1954, Seymour 1977, S.P.M. 1984, Smith 1991), di seguito riportata nella sua forma più generale

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \vartheta}^{\phi_w + \vartheta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \vartheta}^{\phi_w + \vartheta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (1)$$

nella quale risultano definiti i seguenti termini:

- $F_{e,w}$: lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w ;
- ϕ_w : direzione media (riferita al Nord geografico) di provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;

- F_i : lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i -esima ϕ_i ;
- ϑ : parametro dal quale dipende l'estensione settore angolare (di ampiezza pari a 2ϑ) attorno alla direzione ϕ_w sul quale si effettua il calcolo del fetch efficace;
- n : termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n=2$).

Si osserva che la (1) esprime il fetch efficace come media pesata calcolata su un settore angolare di ampiezza pari a 2ϑ (si pone $\vartheta = 45^\circ$, previsto dal metodo classico di Saville, oppure $\vartheta = 90^\circ$ secondo la metodologia di Seymour).

Per la descrizione dell'esposizione del paraggio in esame, si è fissata la lunghezza massima dei fetch geografici in 500 km, ordine di grandezza dell'estensione massima delle perturbazioni cicloniche che interessano il bacino del Mar Mediterraneo.

3.2.2 Il paraggio in esame

La figura 4 mostra i fetch geografici relativi al paraggio in esame, la figura 5 i relativi fetch efficaci. I valori dei fetch sono sintetizzati nella tabella 1 in cui trova posto anche la direzione del moto ondoso relativamente alla direzione media del vento (corrispondente alla direzione del fetch). Come è possibile osservare, il paraggio è caratterizzato da un settore di traversia geografico delimitato dal promontorio del Gargano a Sud-Est e da quello del Conero a Nord-Ovest. Il paraggio è esposto al mare aperto per un settore di traversia compreso tra i 330°N e i 150°N . I valori più elevati della lunghezza del fetch geografico si osservano lungo le direzioni che traggurano la costa veneta ($330\text{-}340^\circ\text{N}$) e la costa albanese ($100\text{-}120^\circ\text{N}$) per le quali la lunghezza del fetch geografico raggiunge, rispettivamente, valori di circa 300 km e 500 km. Il settore che si affaccia sulle coste croate ($10\text{-}90^\circ\text{N}$) è il più confinato ed è caratterizzato da lunghezze del fetch geografico di circa 150 km. Per quanto riguarda i fetch efficaci, si osserva che il fetch massimo risulta pari a circa 200 km ed è riferito al settore di levante.

3.2.3 Deviazione tra direzione del vento e quella del moto ondoso

Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si è fatto riferimento al criterio introdotto da Donelan (Smith, 1991). In base a tale criterio, la deviazione della direzione media del moto ondoso generato da un vento caratterizzato da una direzione media φ_w è pari al valore dell'angolo β cui corrisponde il massimo valore della seguente funzione:

$$f(\beta) = (F_{e,w})^{0.28} \cdot (\cos \beta)^{0.44}$$

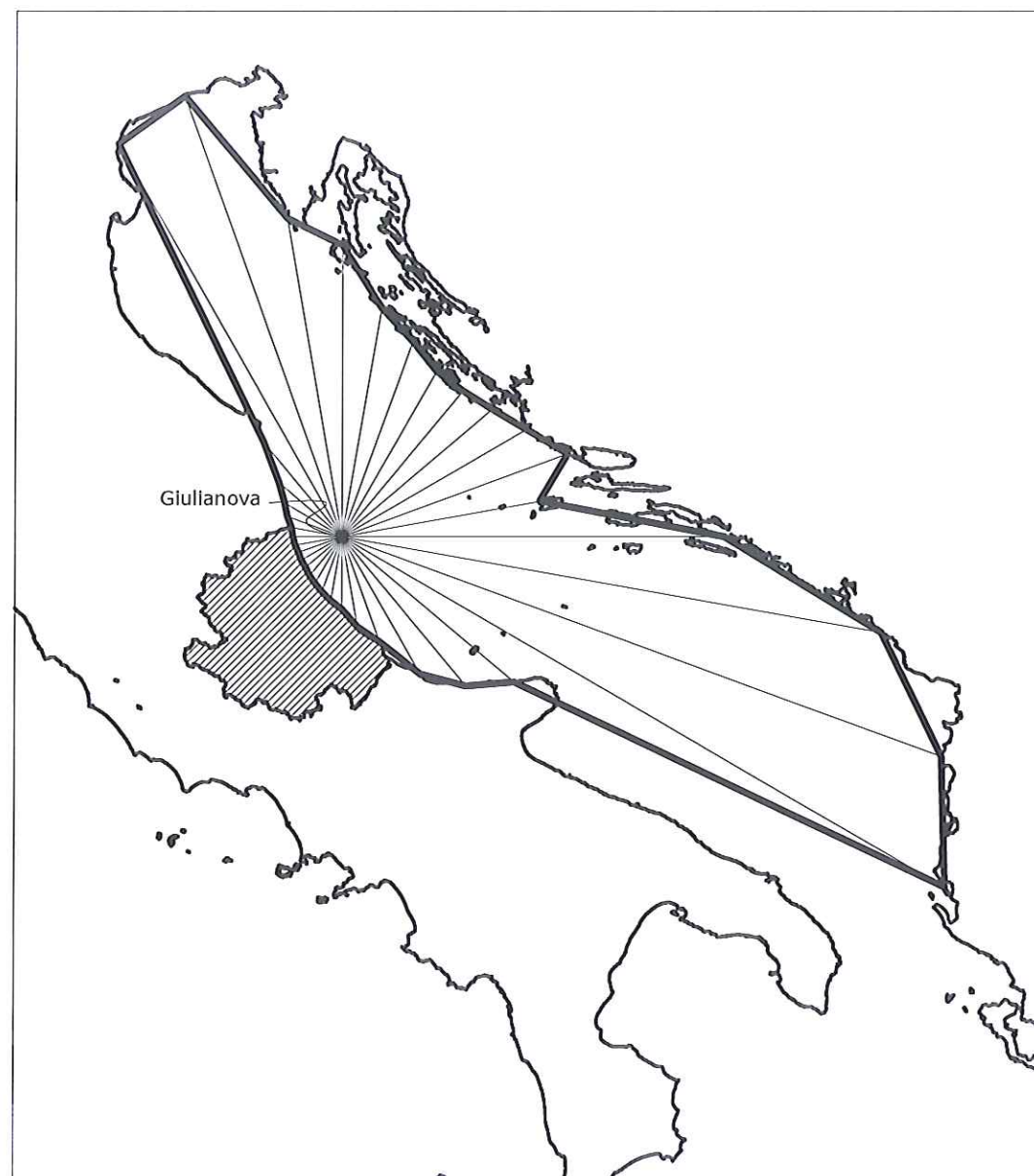


Figura 4: Fetch geografici a largo del litorale in esame.

nella quale $F_{e,w}$ è la lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione φ_w del vento. La legge di deviazione direzionale tra la direzione media del vento (spirante lungo il fetch efficace) e la direzione del moto ondoso generato è stata determinata utilizzando la suddetta relazione. La legge ottenuta è riportata in forma grafica nella figura 6 sia per il sito di interesse, sia per il paraggio di Ortona in corrispondenza del quale, come si vedrà nel seguito, sono state acquisite le misure ondametrichhe. Limitatamente al paraggio di interesse, i valori della deviazione tra direzione del vento e quella delle onde sono riportati in forma numerica nella tabella 1. Si osserva

che le deviazioni relative al largo del paraggio di interesse e Ortona non presentano differenze sostanziali: i maggiori valori della deviazione si verificano per gli stati di mare provenienti dal settore di provenienza direzionale 160-260°N con un valori superiori ai 45° nel settore 210-260°N, mentre per quelli provenienti dal primo quadrante la deviazione risulta molto limitata con un valore prossimo nullo per angoli vicini a 100°N.

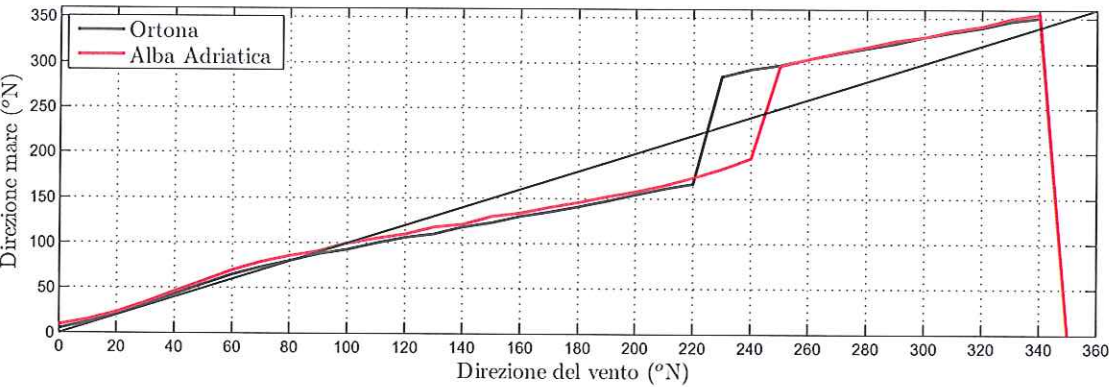


Figura 6: Deviazione tra direzione del vento e quella delle onde per i paraggi di Ortona e quello di interesse (Alba Adriatica).

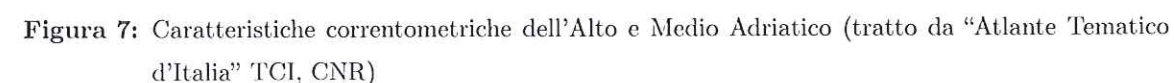
3.2.4 Regime correntometricrico

L’analisi d’insieme (Fig. 7) mostra che, a largo della costa meridionale abruzzese, i flussi delle correnti di gradiente (o di densità) sono condizionati dal fenomeno di riflusso della circolazione d’insieme antioraria del Mar Adriatico e pertanto sono diretti da Nord verso Sud. In generale, nell’Adriatico centrale la velocità media delle correnti in superficie è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s. La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marca. In definitiva, si può asserire che il regime delle correnti di gradiente in esame ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri per il paraggio costiero in esame.

3.3 Definizione e analisi delle serie ondametriche di riferimento

3.3.1 Le serie storiche di partenza

Come osservato, le serie ondametriche in base alle quali sono state effettuate le analisi descritte nel seguito di questo documento è costituita dalle registrazioni acquisite tramite la stazione di misura di Ortona e la boa ondametrica installata dalla Regione Abruzzo a largo di Giulianova



La stazione ondametricala di Ortona (RON)

La stazione ondametrica di Giulianova (Regione Abruzzo)

Pagina 29/95

Porto di Giulianova (coordinate geografiche 42°49'32" N, 14°7'08" E) nell'ambito dei "Lavori di riqualificazione ambientale e di difesa e gestione delle aree della fascia litoranea di Martinsicuro, Silvi-Pineto, Montesilvano, Pescara Sud-Francavilla, Fossacesia, Casalbordino e Vasto".

Le caratteristiche tecniche del sistema utilizzato permettono di avere tutti i dati relativi agli spostamenti della boa ondometrica con una frequenza di acquisizione pari a 1.28 Hz trasmessi in continuo tramite UHF alla stazione di controllo ubicata nei locali dell'Ente Porto di Giulianova. Inoltre la boa invia i dati sintetici del moto ondoso con cadenza semioraria (altezza d'onda, periodo, direzione).

La boa è rimasta in funzione sino al febbraio 2009 (per una durata totale di funzionamento di circa 3 anni).

Il rendimento dell'ondametro è superiore al 95%. L'ottima prestazione della boa rende auspicabile la prosecuzione delle attività di monitoraggio ondometrico da parte della Regione Abruzzo.

3.3.2 Definizione delle serie ondamiche a largo del paraggio di interesse

Per la definizione delle serie ondamiche a largo del paraggio di interesse è stato necessario applicare il metodo di trasposizione geografica delle misure di moto ondoso proposto da Contini e De Girolamo (1998). L'ipotesi di base della metodologia seguita consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso definite in un certo punto, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse. Il metodo consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relativi al punto di misura e a quello di interesse. Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_{m0} e il periodo di picco spettrale T_p in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Shore Protection Manual, 1984):

$$\frac{g H_{m0}}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{g F}{U_A} \right)^{1/2}$$

$$\frac{g T_p}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{g F}{U_A} \right)^{1/2}$$

dove U_A è il fattore di velocità del vento ("wind stress factor"), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica. Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura (o di ricostruzione, come nell'ambito di questo studio) ed al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il vento) alla quale risultano associati, rispettivamente, i fetch efficaci F_P e F_O , le precedenti relazioni permettono

di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{m0}^P}{H_{m0}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/2} \tag{2}$$

$$\frac{T_p^P}{T_p^O} = \left(\frac{F^P}{F^O}\right)^{1/3} \tag{3}$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Il metodo si completa utilizzando la legge che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato, già descritto precedentemente. Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall’ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell’onda e quella del vento si determina la direzione dell’onda nel punto di interesse.

La figura 8 mostra l’andamento del rapporto H_{m0}^P/H_{m0}^O , tra l’altezza d’onda significativa a largo del paraggio di interesse e quella misurata a Ortona (grafico a sinistra) e del rapporto T_p^P/T_p^O , tra il periodo di picco a largo del paraggio di interesse e quello misurato a Ortona (grafico a sinistra) in funzione della direzione.

Si osserva che l’altezza d’onda significativa a largo del sito di interesse è superiore (di circa il 40%) rispetto a quella misurata a Ortona per il settore di Scirocco (180-220°N), mentre è attenuata (di circa il 15%) per il settore di Maestrale.

Alla luce di quanto esposto, la serie storica al largo del paraggio di interesse è stata definita integrando la serie originale (trioraria) registrata dalla boa di Giulianova con quella registrata dalla boa a Ortona della Rete Ondametrica Nazionale, opportunamente ridotta a trioraria e trasposta secondo la procedura precedentemente illustrata.

3.3.3 Analisi della serie ondametrica largo del paraggio di interesse

Al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi, gli elementi della serie ondametrica definita a largo del paraggio di interesse sono stati suddivisi in base al valore dell’altezza d’onda significativa e alla direzione di provenienza. Tale suddivisione è stata eseguita sia per tutti gli eventi della serie, sia considerando separatamente gli eventi stagionali. Nelle figure 9, 10 e 11 sono riportate la rosa annuale e quelle stagionali del clima di moto ondoso. Le tabelle 2 - 5 riportano gli stessi risultati in forma numerica.

Dall’analisi dei risultati si evince che, a largo del paraggio di interesse, gli stati di mare più frequenti e caratterizzati da altezze d’onda più elevate provengono dal settore di traversia compreso nel settore 330°N–60°N. Tale settore, quindi, può essere assunto quale settore di traversia

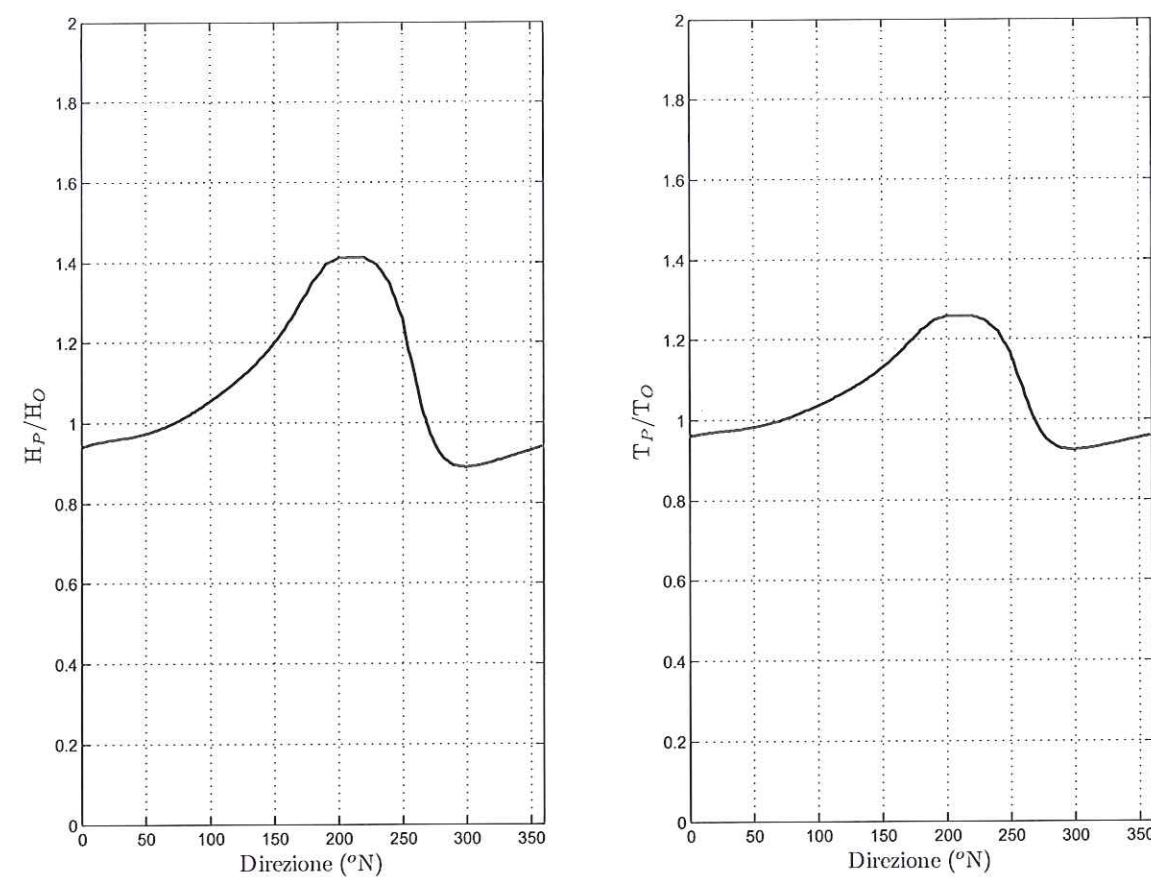


Figura 8: Andamento del rapporto H_{m0}^P/H_{m0}^O , tra l'altezza d'onda significativa a largo del paraggio di interesse e quella misurata a Ortona (grafico a sinistra) e del rapporto T_P^P/T_P^O , tra il periodo di picco a Giulianova e quello misurato a Ortona (grafico a sinistra) in funzione della direzione di provenienza delle onde.

principale. Peraltro, è identificabile un settore di traversia secondario che si estende nell'intervallo angolare 60°N-120°N, nel quale ricadono le direzioni di provenienza delle mareggiate meno intense. In particolare, per quanto riguarda il clima annuale medio, emergono le seguenti caratteristiche:

- la percentuale degli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 0,5 m è pari a circa il 54% degli stati di mare misurati;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per circa il 58,5% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 32,4% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 9,1% dalle altre direzioni;
- gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 2,0 m provengono per circa l'75,5% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 12,9% dal settore di traversia

secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 11,6% dalle altre direzioni;

- gli eventi particolarmente intensi (altezza d'onda superiore a 3,5 m) provengono per circa l'75,2% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa l'10,9% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il 13,9% dalle altre direzioni;

Per quanto riguarda la stagionalità climatica si osserva che:

- gli eventi caratterizzati da altezze d'onda minori di 0,5 m rappresentano circa il 41,9% in autunno, il 46,3% in inverno, il 63,7% in primavera ed il 66,1% durante l'estate;
- in autunno gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per circa il 53,3% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 36,5% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 10,2% dalle altre direzioni;
- in inverno gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per circa il 65,2% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 26,3% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 8,5% dalle altre direzioni;
- in primavera gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per circa il 50,5% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 41,5% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 8% dalle altre direzioni;
- in estate gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono per circa il 65,0% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 26,0% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 9,0% dalle altre direzioni;
- in autunno gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 2,0 m provengono per circa il 69,7% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per circa il 16,9% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 13,4% dalle altre direzioni;
- in inverno gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda superiore a 2,0 m provengono per circa il 80,5% dal settore di traversia principale (330°N-60°N), per il 9,3% dal settore di traversia secondario (60°N-120°N) e per il rimanente 10,2% dalle altre direzioni.

In conclusione si può affermare che:

- il moto ondoso più intenso ($H_s > 3,50$ m) proviene prevalentemente da un limitato settore di traversia (330°N-60°N) e gli eventi con $H_s > 2,0$ m sono caratterizzati da una frequenza di accadimento contenuta (pari a circa il 2,8%);
- tra gli stati di mare con altezza d'onda significativa superiore a 0,5 m quelli più frequenti sono caratterizzati da un'altezza d'onda inferiore a 2 m;

- gli stati di mare con altezze d'onda inferiori a 0,5 m sono più frequenti durante le stagioni estiva e primaverile ed hanno durata limitata durante le stagioni autunnale ed invernale;
- gli stati di mare con altezza d'onda superiore a 0,5 m provengono prevalentemente dal settore di traversia principale (330°N-60°N);
- durante la stagioni autunnale il settore di levante (60°N-120°N) risulta caratterizzato da una rilevante frequenza di accadimento di stati di mare con altezza d'onda significativa superiore a 0,5 m;
- gli stati di mare con altezza d'onda superiore a 2,0 provengono prevalentemente dal settore di traversia principale (330-60°N), in particolare durante il periodo invernale.

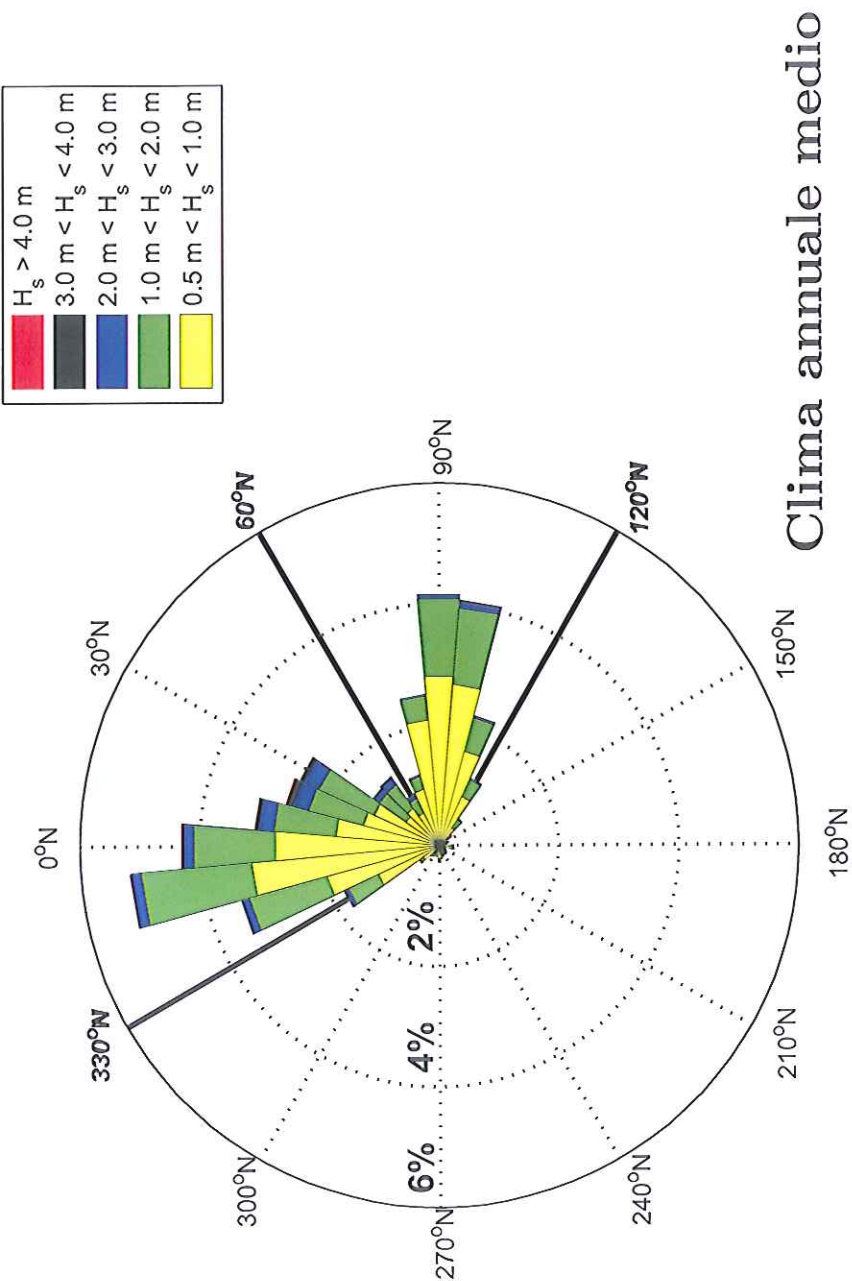


Figura 9: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale annuale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.

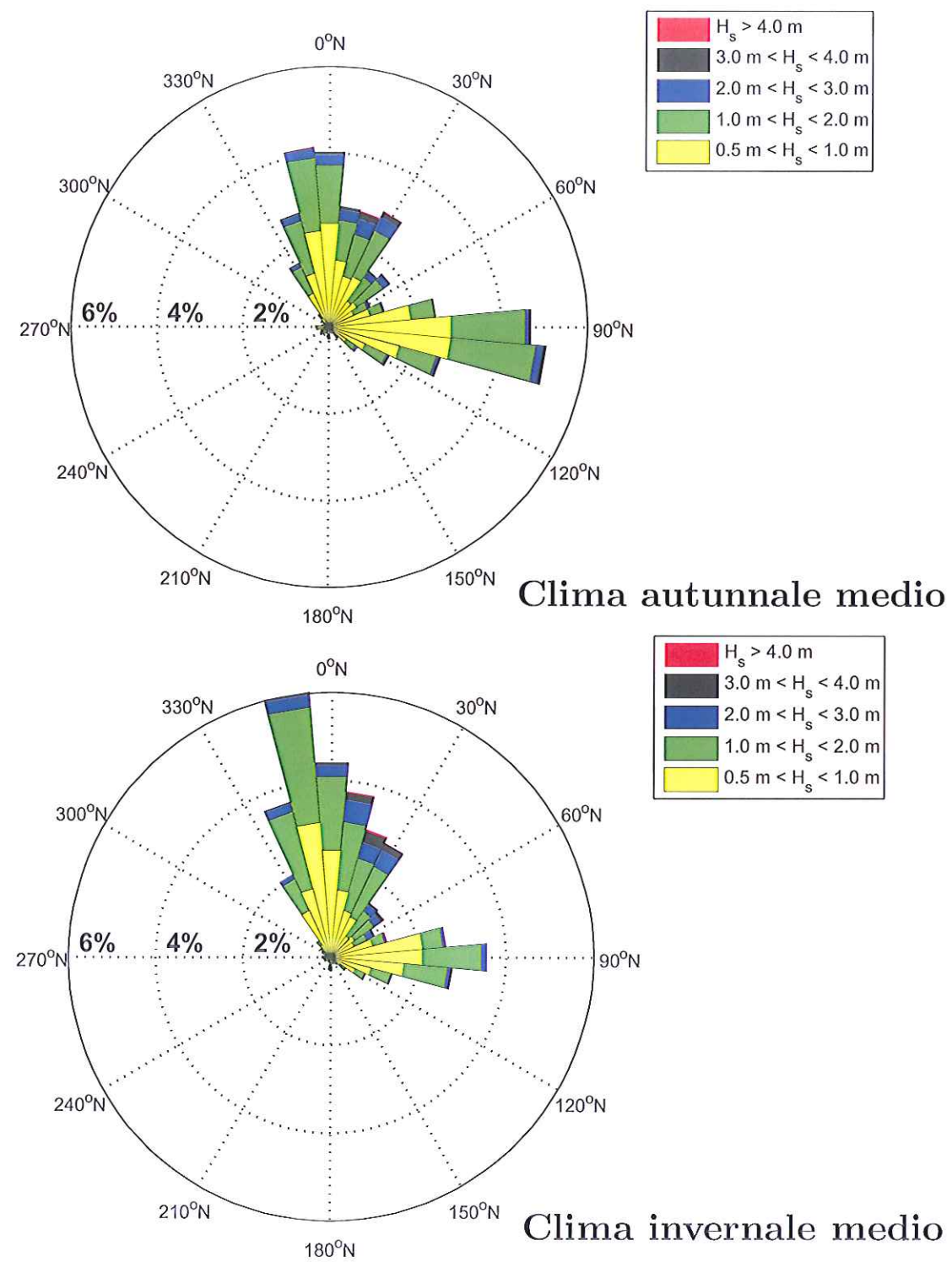


Figura 10: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale autunnale e invernale degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.

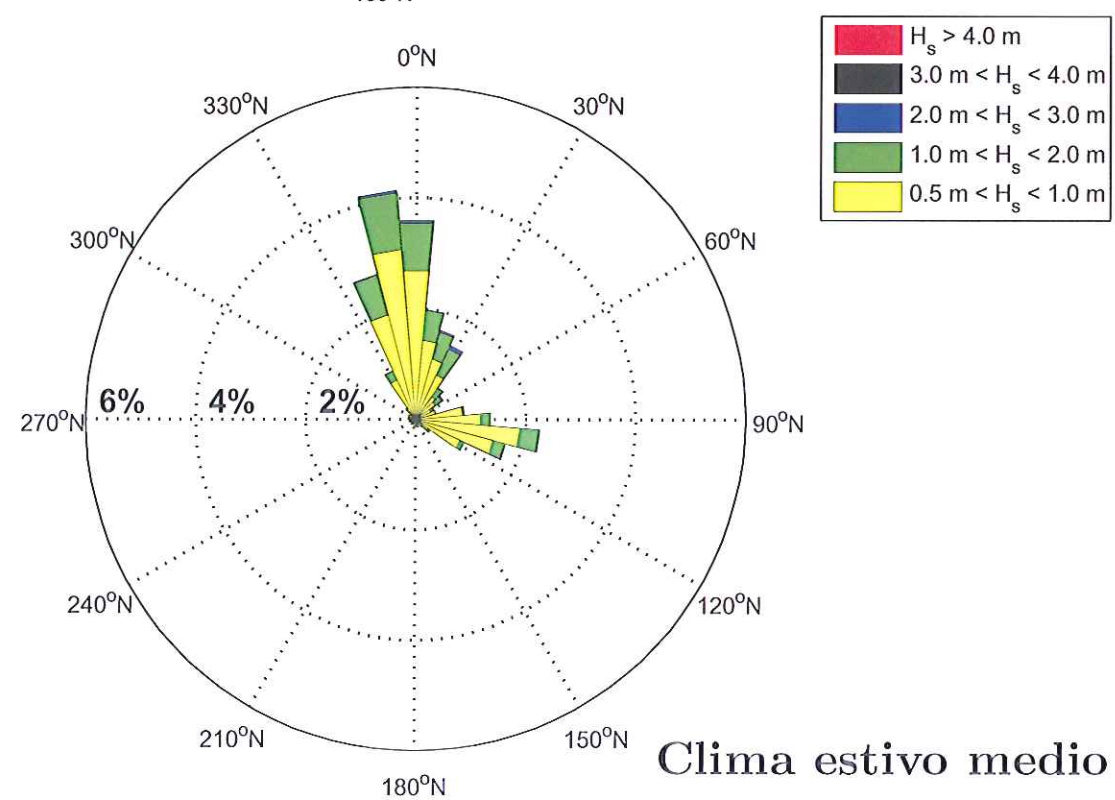
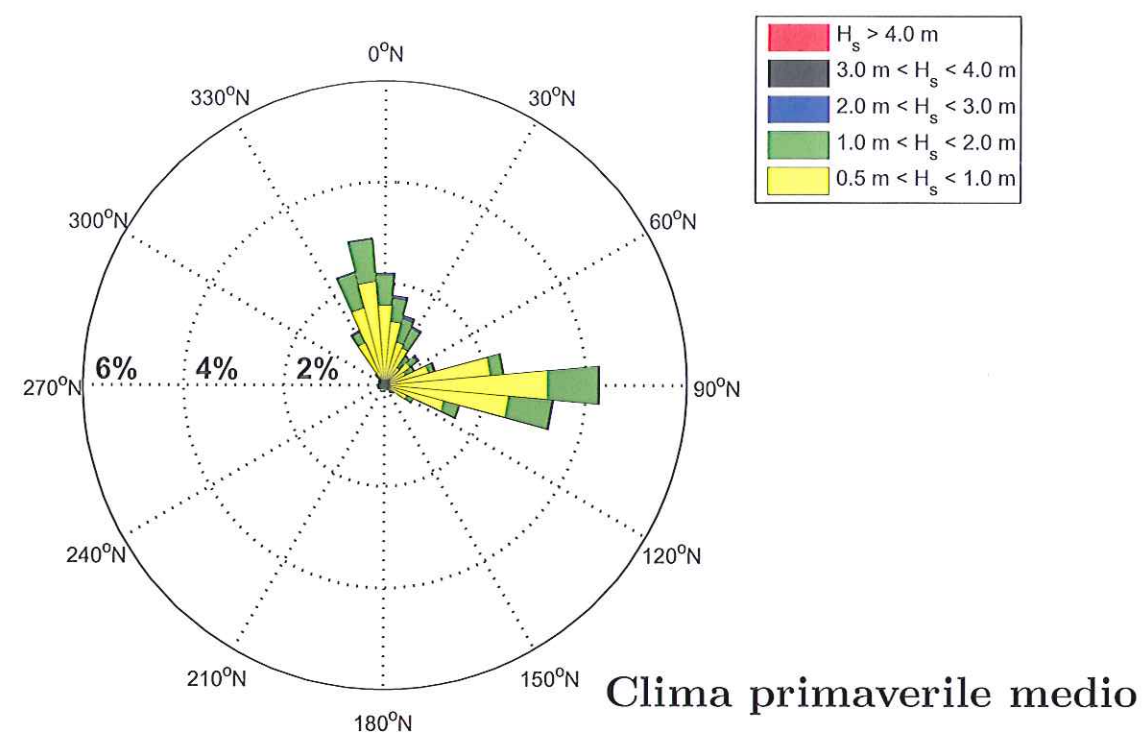


Figura 11: Rappresentazione polare della distribuzione direzionale primaverile e estiva degli eventi di moto ondoso a largo del paraggio di interesse.

CLIMA ANNUALE

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0,25	0,25 0,50	0,50 1,00	1,00 1,50	1,50 2,00	2,00 2,50	2,50 3,00	3,00 3,50	3,50 4,00	4,00 4,50	4,50 5,00	5,00 5,50	5,50 6,00	6,00 6,50	> 6,50	
10	703	870	754	300	144	67	35	16	10	4					1	2 904
20	677	722	673	354	150	94	47	40	23	7	4					2 791
30	539	504	564	305	175	97	36	25	12	6		1				2 264
40	339	350	315	173	86	44	11	5	4	1						1 328
50	430	436	325	145	71	48	13	5	5	1						1 479
60	496	558	303	113	30	30	11	2	5							1 548
70	575	748	335	75	27	9	7	3	1		1					1 831
80	770	1122	770	153	36	8	6	1								2 866
90	766	1164	1318	501	111	28	7	5	1							3 901
100	782	1133	1258	457	145	30	14	10	6							3 835
110	645	853	757	217	57	15	2	1	4							2 551
120	470	562	417	113	36	4	7	1	2							1 612
130	286	263	171	54	21	10	2	1	1							809
140	175	122	73	29	16	7		1		2						425
150	148	89	37	15	8		1	1	2							301
160	93	62	32	20	6	2	5	1								221
170	61	39	30	8	7	2	4		1							152
180	77	128	78	22	6	5	7	3	1	1						328
190	85	122	74	18	5	5	2	2	1	1						315
200	38	50	41	9	5	3	6	2								154
210	28	47	35	13	7	1	2	2	1	1						137
220	13	40	48	15	7	3	3	1								131
230	16	37	57	12	4	3	5	2				1				137
240	14	36	37	18	5	4	1	2	1							118
250	53	43	56	13	6	1	3			1						176
260	50	59	85	15	5	3	1									218
270	80	86	92	15	2	3			1							279
280	75	55	76	3	6	3	1									219
290	50	43	21	2												116
300	193	197	65	8	4	4	2									473
310	161	216	66	18	5	3			1							470
320	171	304	165	25	11	6	5		1							688
330	243	458	449	148	64	23	9	1								1 395
340	294	788	993	512	178	56	13	4	2	1						2 841
350	536	1193	1477	692	191	66	15	5	3	1	2					4 181
360	783	1377	1296	484	157	49	33	10	6	2	2					4 199
Tot.	10 915	14 876	13 393	5 074	1 794	736	316	152	96	29	9	2	0	0	1	47 393

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0,25	0,25 0,50	0,50 1,00	1,00 1,50	1,50 2,00	2,00 2,50	2,50 3,00	3,00 3,50	3,50 4,00	4,00 4,50	4,50 5,00	5,00 5,50	5,50 6,00	6,00 6,50	> 6,50	
10	1,23	1,52	1,32	0,53	0,25	0,12	0,06	0,03	0,02	0,01						5,09
20	1,19	1,26	1,18	0,62	0,26	0,16	0,03	0,07	0,04	0,01	0,01					4,89
30	0,94	0,88	0,99	0,53	0,31	0,17	0,06	0,04	0,02	0,01						3,97
40	0,59	0,61	0,55	0,30	0,15	0,08	0,02	0,01	0,01							2,33
50	0,75	0,76	0,57	0,25	0,12	0,08	0,02	0,01	0,01							2,59
60	0,87	0,93	0,53	0,20	0,05	0,05	0,02									2,71
70	1,01	1,31	0,67	0,13	0,05	0,02	0,01	0,01								3,21
80	1,35	1,97	1,35	0,27	0,06	0,01	0,01									5,02
90	1,34	2,04	2,31	0,88	0,19	0,05	0,01	0,01								6,83
100	1,37	1,99	2,20	0,80	0,25	0,05	0,02	0,02	0,01							6,72
110	1,13	1,49	1,33	0,38	0,10	0,03			0,01							4,47
120	0,82	0,98	0,73	0,20	0,06	0,01	0,01									2,82
130	0,50	0,46	0,30	0,09	0,04	0,02										1,42
140	0,31	0,21	0,13	0,05	0,03	0,01										0,74
150	0,26	0,16	0,06	0,03	0,01											0,53
160	0,16	0,11	0,06	0,04	0,01		0,01									0,39
170	0,11	0,07	0,05	0,01	0,01		0,01									0,27
180	0,13	0,22	0,14	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01								0,57
190	0,15	0,21	0,13	0,03	0,01	0,01										0,55
200	0,07	0,09	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01									0,27
210	0,05	0,03	0,06	0,02	0,01											0,24
220	0,02	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01									0,23
230	0,03	0,06	0,10	0,02	0,01	0,01	0,01									0,24
240	0,02	0,06	0,06	0,03	0,01	0,01										0,21
250	0,09	0,03	0,10	0,02	0,01		0,01									0,31
260	0,09	0,10	0,15	0,03	0,01	0,01										0,38
270	0,14	0,15	0,16	0,03		0,01										0,49
280	0,13	0,10	0,13	0,01	0,01											0,38
290	0,09	0,03	0,04													0,20
300	0,34	0,35	0,11	0,01	0,01	0,01										0,83
310	0,28	0,38	0,12	0,03	0,01	0,01										0,82
320	0,30	0,53	0,29	0,04	0,02	0,01	0,01									1,21
330	0,43	0,80	0,79	0,28	0,11	0,04	0,02									2,44
340	0,52	1,38	1,74	0,80	0,31	0,10	0,02	0,01								4,98
350	0,94	2,09	2,59	1,21	0,33	0,12	0,03	0,01	0,01							7,32
360	1,37	2,41	2,27	0,85	0,28	0,09	0,06	0,02	0,01							7,36
Tot.	19,12	26,06	23,46	8,89	3,14	1,29	0,55	0,27	0,17	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	83,03
Tot. Cumulato	45,18	68,65	77,54	80,68	81,97	82,52	82,79	82,96	83,01	83,02	83,03	83,03	83,03	83,03		

Tabella 2: Distribuzione annuale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.

Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)

	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)																
Dir (°N)	0 0,25	0,25 0,50	0,50 1,00	1,00 1,50	1,50 2,00	2,00 2,50	2,50 3,00	3,00 3,50	3,50 4,00	4,00 4,50	4,50 5,00	5,00 5,50	5,50 6,00	6,00 6,50	> 6,50	Tot.	
10	0,69	1,39	1,41	0,55	0,31	0,14	0,08	0,02	0,03						0,01	4,60	
20	0,80	1,16	1,32	0,72	0,35	0,30	0,12	0,12	0,04		0,01					4,96	
30	0,51	0,79	1,26	0,70	0,47	0,24	0,12	0,06	0,05	0,03						4,23	
40	0,40	0,49	0,72	0,44	0,22	0,11	0,05	0,01	0,01							2,47	
50	0,52	0,80	0,70	0,50	0,19	0,14	0,03	0,01	0,01							2,90	
60	0,46	0,79	0,70	0,28	0,12	0,05	0,01	0,01	0,01							2,43	
70	0,66	1,00	0,87	0,18	0,12	0,03	0,01	0,01	0,01							2,89	
80	0,99	1,58	1,57	0,41	0,15	0,01	0,01									4,72	
90	0,92	1,68	2,82	1,34	0,38	0,07	0,03	0,03	0,01							7,29	
100	1,02	1,80	2,79	1,46	0,53	0,12	0,05	0,04	0,03							7,85	
110	0,87	1,40	1,68	0,65	0,23	0,07	0,01	0,01	0,02							4,94	
120	0,62	1,09	0,92	0,37	0,18	0,03	0,03	0,01	0,01							3,26	
130	0,37	0,63	0,49	0,16	0,09	0,05	0,01									1,81	
140	0,31	0,26	0,17	0,06	0,06	0,02				0,01						0,89	
150	0,25	0,14	0,08	0,05	0,02		0,01		0,01							0,56	
160	0,12	0,16	0,03	0,05	0,02	0,01	0,01			0,01						0,39	
170	0,09	0,10	0,10	0,01	0,03	0,01	0,01									0,35	
180	0,10	0,11	0,17	0,04	0,02	0,02	0,02		0,01	0,01						0,50	
190	0,10	0,18	0,12	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01						0,51	
200	0,03	0,10	0,10	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01								0,31	
210	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01						0,26	
220	0,02	0,06	0,10	0,07	0,02	0,01	0,01									0,29	
230	0,01	0,04	0,16	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01				0,01				0,31	
240	0,01	0,06	0,10	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01							0,29	
250	0,04	0,05	0,12	0,03	0,03		0,01			0,01						0,29	
260	0,07	0,10	0,23	0,04	0,01	0,01	0,01									0,46	
270	0,08	0,20	0,23	0,04	0,01											0,57	
280	0,08	0,06	0,16	0,01												0,31	
290	0,09	0,11	0,02	0,01												0,23	
300	0,25	0,26	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01									0,66	
310	0,10	0,31	0,13	0,03	0,01	0,01										0,59	
320	0,14	0,48	0,30	0,06	0,02	0,02	0,01		0,01							1,04	
330	0,20	0,51	0,71	0,37	0,15	0,08	0,02	0,01								2,05	
340	0,23	0,82	1,41	0,88	0,42	0,15	0,03	0,01	0,01	0,01						4,05	
350	0,32	1,28	2,22	1,32	0,38	0,19	0,03			0,01	0,01					5,76	
360	0,71	1,99	2,38	0,98	0,37	0,14	0,10	0,03	0,02	0,01	0,01					6,74	
Tot.	12.18	22.06	26.50	12.15	5.00	2.09	0.92	0.42	0.29	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	81.75	
Tot. Cumulato	34.24	60.74	72.88	77.88	79.97	80.89	81.31	81.60	81.70	81.74	81.74	81.74	81.74	81.74	81.75		

Pagina 39/95

CLIMA INVERNALE

CEMA INVERNALE																
Classi di altezza d'onda significativa H _{m0} (m)																
Dir (°N)	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	Tot.
10	140	214	197	123	72	40	24	12	6	4						832
20	152	171	169	128	62	39	23	22	17	5	2					790
30	139	101	140	94	81	45	15	16	5	2		1				639
40	69	82	80	61	36	24	3	3	2	1						361
50	89	116	79	49	25	18	6	4	4	1						391
60	103	137	90	39	9	20	8	1	3							415
70	112	219	114	35	6	2	4	1			1					494
80	157	286	228	54	11	5	5	1								747
90	161	247	287	155	37	14	2									903
100	151	231	233	104	35	9	4	3	1							771
110	113	130	132	53	14	3			1							446
120	58	79	85	27	7		3									259
130	44	22	34	15	6	2		1	1							125
140	33	18	10	10	5	3		1								80
150	34	16	4	3	4			1	1							63
160	17	6	11	7		1	2									44
170	12	5	5	3	1	1	2		1							30
180	15	34	22	10	3	2	4	3								93
190	15	20	23	6	3	3		1	1							72
200	2	7	9	2	3	1	2	1								27
210	7	9	7	5	2											30
220	1	9	8	1	3		2	1	1							26
230	8	10	11	2		1	2									34
240	4	4	11	8	1	2		1								31
250	14	12	10	4	2		2									44
260	10	14	16	5	3	2										50
270	21	19	23	5		2			1							71
280	15	13	15		4	3	1									51
290	7	10	6	1												24
300	37	41	18	4	3	2	1									106
310	39	59	23	9	3	2			1							136
320	34	73	52	11	5	2	1									178
330	63	94	139	55	34	8	4									397
340	53	157	249	195	76	27	6	1	1							765
350	127	278	423	276	92	33	8	3	2							1 242
360	167	333	339	169	65	19	17	4	2	1	1					1 117
Tot.	2 228	3 276	3 302	1 728	713	335	151	81	51	14	4	1	0	0	0	11 884

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)																Tot.
	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50		
10	1.00	1.53	1.41	0.88	0.52	0.29	0.17	0.09	0.04	0.03						5.95	
20	1.09	1.22	1.21	0.92	0.44	0.28	0.16	0.16	0.12	0.04	0.01					5.65	
30	0.99	0.72	1.00	0.67	0.58	0.32	0.11	0.11	0.04	0.01		0.01				4.57	
40	0.49	0.59	0.57	0.44	0.26	0.17	0.02	0.02	0.01	0.01						2.58	
50	0.64	0.83	0.57	0.35	0.18	0.13	0.04	0.03	0.03	0.01						2.80	
60	0.77	0.93	0.64	0.28	0.06	0.14	0.06	0.01	0.02							2.97	
70	0.80	1.57	0.82	0.25	0.04	0.01	0.03	0.01			0.01					3.53	
80	1.12	2.05	1.63	0.39	0.03	0.04	0.04	0.01								5.34	
90	1.15	1.77	2.05	1.11	0.26	0.10	0.01									6.46	
100	1.03	1.65	1.67	0.74	0.25	0.06	0.03	0.02	0.01							5.52	
110	0.81	0.93	0.94	0.38	0.10	0.02			0.01							3.19	
120	0.41	0.57	0.61	0.19	0.05		0.02									1.85	
130	0.31	0.16	0.24	0.11	0.04	0.01		0.01	0.01							0.89	
140	0.24	0.13	0.07	0.07	0.04	0.02		0.01								0.57	
150	0.24	0.11	0.03	0.02	0.03			0.01	0.01							0.45	
160	0.12	0.04	0.03	0.05		0.01	0.01									0.31	
170	0.09	0.04	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01		0.01							0.21	
180	0.11	0.24	0.16	0.07	0.02	0.01	0.03	0.02								0.67	
190	0.11	0.14	0.16	0.04	0.02	0.02		0.01	0.01							0.52	
200	0.01	0.05	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01								0.19	
210	0.05	0.06	0.05	0.04	0.01											0.21	
220	0.01	0.06	0.06	0.01	0.02		0.01	0.01	0.01							0.19	
230	0.06	0.07	0.03	0.01		0.01	0.01			0.01						0.24	
240	0.03	0.03	0.03	0.06	0.01	0.01										0.22	
250	0.10	0.09	0.07	0.03	0.01		0.01									0.31	
260	0.07	0.10	0.11	0.04	0.02	0.01										0.36	
270	0.15	0.14	0.16	0.04	0.01				0.01							0.51	
280	0.11	0.09	0.11		0.03	0.02	0.01									0.36	
290	0.05	0.07	0.04	0.01												0.17	
300	0.26	0.29	0.13	0.03	0.02	0.01	0.01									0.76	
310	0.28	0.42	0.16	0.06	0.02	0.01			0.01							0.97	
320	0.24	0.52	0.37	0.03	0.04	0.01	0.01									1.27	
330	0.45	0.67	0.99	0.39	0.24	0.06	0.03									2.84	
340	0.38	1.12	1.78	1.40	0.54	0.19	0.04	0.01	0.01							5.47	
350	0.91	1.99	3.03	1.97	0.66	0.24	0.06	0.02	0.01							8.89	
360	1.19	2.33	2.43	1.21	0.47	0.14	0.12	0.03	0.01	0.01	0.01					7.99	
Tot.	15.94	23.44	23.63	12.36	5.10	2.40	1.08	0.58	0.36	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	85.03	
Tot. Cumulato	39.38	63.01	75.37	80.47	82.87	83.95	84.53	84.90	85.00	85.02	85.03	85.03	85.03	85.03	85.03	85.03	

Tabella 4: Distribuzione invernale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.

CLIMA PRIMAVERILE

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
10	189	156	164	48	9	6		1								573
20	153	145	128	55	17	6	4									509
30	148	129	111	48	11	6	2									453
40	93	88	53	23	13	3										283
50	140	96	84	12	10	5	1									348
60	174	147	61	25	3	1	2									413
70	199	229	101	11	4	3	1	1								549
80	268	385	222	33	3	1										912
90	275	426	446	125	16	2										1290
100	251	357	338	98	24	3	1									1070
110	197	248	167	38	7	1										658
120	161	145	67	20	1											394
130	86	60	24	7	2											179
140	48	27	16	7	1	1										100
150	36	21	9	1												67
160	28	15	5	1	1		1									51
170	23	10	5	2	2											42
180	20	39	15	3												77
190	20	30	13	3												66
200	21	17	11	2												51
210	13	12	9		2			1								37
220	4	13	10	1	1	1										30
230	2	11	12	1		1	1									28
240	5	13	4	1	1											24
250	21	17	16	3												57
260	14	20	18	2												54
270	23	20	20	2												65
280	24	20	16	1	1											62
290	14	10	5													29
300	53	50	13	1												117
310	32	47	14	2												95
320	32	67	32	4	2	1	2									140
330	52	130	103	17	4	3	2									311
340	86	199	239	83	24	5	2									638
350	147	310	282	98	18	1	1	2								859
360	236	306	217	69	14	4	1	1								848
Tot.	3293	4015	3055	843	191	54	21	7	0	0	0	0	0	0	0	11479

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
10	1.37	1.13	1.19	0.35	0.07	0.04		0.01								4.15
20	1.11	1.05	0.93	0.40	0.12	0.04	0.03	0.01								3.69
30	1.07	0.93	0.80	0.33	0.03	0.04										3.28
40	0.71	0.64	0.42	0.17	0.09	0.02										2.05
50	1.01	0.70	0.61	0.09	0.07	0.04	0.01									2.52
60	1.26	1.06	0.44	0.18	0.02	0.01	0.01									2.99
70	1.44	1.66	0.73	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01								3.98
80	1.94	2.79	1.81	0.24	0.02	0.01										6.60
90	1.99	3.09	3.23	0.91	0.12	0.01										9.34
100	1.82	2.59	2.45	0.70	0.17	0.02	0.01									7.75
110	1.43	1.80	1.21	0.28	0.05	0.01										4.77
120	1.17	1.05	0.49	0.14	0.01											2.85
130	0.62	0.43	0.17	0.05	0.01											1.30
140	0.35	0.20	0.12	0.05	0.01	0.01										0.72
150	0.26	0.15	0.07	0.01												0.49
160	0.20	0.11	0.04	0.01	0.01				0.01							0.37
170	0.17	0.07	0.04	0.01	0.01											0.30
180	0.14	0.28	0.11	0.02												0.56
190	0.14	0.22	0.09	0.02												0.48
200	0.15	0.12	0.03	0.01												0.37
210	0.09	0.09	0.07		0.01			0.01								0.27
220	0.03	0.09	0.07	0.01	0.01	0.01										0.22
230	0.01	0.03	0.09	0.01			0.01		0.01							0.20
240	0.04	0.09	0.03	0.01	0.01											0.17
250	0.15	0.12	0.12	0.02												0.41
260	0.10	0.14	0.13	0.01												0.39
270	0.17	0.14	0.14	0.01												0.47
280	0.17	0.14	0.12	0.01	0.01											0.45
290	0.10	0.07	0.04													0.21
300	0.38	0.36	0.09	0.01												0.85
310	0.23	0.34	0.10	0.01												0.69
320	0.23	0.49	0.23	0.03	0.01	0.01	0.01									1.01
330	0.38	0.94	0.75	0.12	0.03	0.02	0.01									2.25
340	0.62	1.44	1.73	0.60	0.17	0.04	0.01									4.62
350	1.06	2.25	2.04	0.71	0.13	0.01	0.01	0.01								6.22
360	1.71	2.22	1.57	0.50	0.10	0.03	0.01	0.01								6.14
Tot.	23.85	29.08	22.12	6.11	1.38	0.39	0.15	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	83.13
Tot. Cumulato	52.93	75.05	81.16	82.54	82.93	83.08	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	83.13	

Tabella 5: Distribuzione primaverile degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e direzione.

CLIMA ESTIVO

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
10	273	297	187	49	18	1										825
20	255	236	182	66	19	5	2									765
30	178	158	128	62	14	11	1									552
40	113	103	71	24	5	1										322
50	125	107	59	11	8	4	1									315
60	147	158	49	8	1	1										364
70	168	153	42	2												365
80	200	219	90	6												515
90	195	245	172	24	2	2										640
100	230	282	278	43	9		1	1								844
110	207	270	212	31	3	1										724
120	160	178	130	12	1											481
130	102	89	41	8												240
140	49	39	22	3	1											114
150	42	31	12	3	1											89
160	31	17	12	5	2		1	1								69
170	13	10	5	1												29
180	27	39	16	3												85
190	36	46	20	1												103
200	10	12	7	2												31
210	7	15	7	3												32
220	5	9	15	3												32
230	5	10	10	4												29
240	3	10	7													20
250	12	6	12	2		1										33
260	16	10	18	2	1											47
270	24	17	16	2		1										60
280	25	13	21		1											60
290	16	7	7													30
300	66	68	19	1												154
310	75	65	10	2												152
320	84	94	37	1	1		1									218
330	98	159	103	22	4	1										387
340	122	312	299	91	17	2	1	1								845
350	215	418	447	125	26	4	1		1							1 237
360	276	447	391	102	24	6			1							1 247
Tot.	3 610	4 354	3 154	724	158	41	9	3	2	0	0	0	0	0	0	12 055

Dir (°N)	Classi di altezza d'onda significativa H_{m0} (m)															Tot.
	0 0.25	0.25 0.50	0.50 1.00	1.00 1.50	1.50 2.00	2.00 2.50	2.50 3.00	3.00 3.50	3.50 4.00	4.00 4.50	4.50 5.00	5.00 5.50	5.50 6.00	6.00 6.50	> 6.50	
10	1.86	2.03	1.28	0.33	0.12	0.01										5.63
20	1.74	1.61	1.24	0.45	0.13	0.03	0.01									5.22
30	1.22	1.08	0.87	0.42	0.10	0.03	0.01									3.77
40	0.77	0.74	0.48	0.16	0.03	0.01										2.20
50	0.85	0.73	0.40	0.08	0.05	0.03	0.01									2.15
60	1.00	1.08	0.33	0.05	0.01	0.01										2.48
70	1.15	1.04	0.29	0.01												2.49
80	1.37	1.50	0.61	0.04												3.52
90	1.33	1.67	1.17	0.16	0.01	0.01										4.37
100	1.57	1.93	1.90	0.29	0.06		0.01	0.01								5.76
110	1.41	1.84	1.45	0.21	0.02	0.01										4.94
120	1.09	1.22	0.89	0.08	0.01											3.28
130	0.70	0.61	0.28	0.05												1.64
140	0.33	0.27	0.15	0.02	0.01											0.78
150	0.29	0.21	0.08	0.02	0.01											0.61
160	0.21	0.12	0.08	0.03	0.01		0.01	0.01								0.47
170	0.09	0.07	0.03	0.01												0.20
180	0.18	0.27	0.11	0.02												0.58
190	0.25	0.31	0.14	0.01												0.70
200	0.07	0.08	0.05	0.01												0.21
210	0.05	0.10	0.05	0.02												0.22
220	0.03	0.06	0.10	0.02												0.22
230	0.03	0.07	0.07	0.03												0.20
240	0.02	0.07	0.05													0.14
250	0.08	0.04	0.08	0.01		0.01										0.23
260	0.11	0.07	0.12	0.01	0.01											0.32
270	0.16	0.12	0.11	0.01		0.01										0.41
280	0.17	0.09	0.14		0.01											0.41
290	0.11	0.05	0.05													0.20
300	0.45	0.46	0.13	0.01												1.05
310	0.51	0.44	0.07	0.01												1.04
320	0.57	0.64	0.25	0.01	0.01		0.01									1.49
330	0.67	1.09	0.70	0.15	0.03	0.01										2.64
340	0.83	2.13	2.04	0.62	0.12	0.01	0.01	0.01								5.77
350	1.47	2.85	3.05	0.85	0.18	0.03	0.01		0.01							8.44
360	1.68	3.05	2.67	0.70	0.16	0.04										8.51
Tot.	24.65	29.72	21.53	4.94	1.08	0.28	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.30
Tot. Cumulato	54.37	75.90	80.84	81.92	82.20	82.26	82.28	82.30	82.30	82.30	82.30	82.30	82.30	82.30	82.30	

Tabella 6: Distribuzione estiva degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza d'onda significativa e direzione.

3.3.4 Classificazione degli eventi di moto ondoso a largo in base all'altezza ed al periodo d'onda

Nella figura 12 sono riportati tutti gli eventi della serie ondametrica diagrammati in funzione del periodo e dell'altezza d'onda. Gli eventi di moto ondoso sono stati suddivisi in base al valore dell'altezza d'onda significativa e del periodo al fine di individuare la frequenza di accadimento di ogni singola classe di eventi. Nella tabella 8 è riportata la classificazione degli eventi in base al periodo di picco ed all'altezza d'onda significativa. Al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo di picco delle onde T_p e l'altezza d'onda significativa H_{m0} si è fatto riferimento alla relazione:

$$T_p = a (H_s)^b$$

ove i parametri a e b sono stati ricavati mediante il metodo dei minimi quadrati sulla base delle coppie di valori osservati dell'altezza d'onda e del periodo.

Nella tabella 7 sono riportati i valori dei coefficienti a e b , il valore del coefficiente di correlazione e l'ampiezza di confidenza dei parametri. Data la spiccata, peraltro tipica, dispersione dei dati di periodo rispetto all'altezza significativa l'estremo superiore della fascia di confidenza dei coefficienti può essere utile per stimare il periodo di picco per le onde di mare morto, laddove le onde sono meno ripide (periodi maggiori a parità di altezza). Viceversa, il limite inferiore può essere utilizzato per la stima del periodo di onde di mare vivo, laddove la ripidità delle onde risulta maggiore se confrontata con quella di onde di mare morto.

	Inverno	Primavera	Estate	Autunno	Annuale
a	5.47 ± 1.46	5.10 ± 1.68	4.81 ± 1.50	5.65 ± 1.60	5.35 ± 1.62
b	0.24 ± 0.00	0.19 ± 0.00	0.18 ± 0.00	0.25 ± 0.00	0.23 ± 0.00
R²	0.428	0.172	0.151	0.378	0.325

Tabella 7: Valori numerici dei coefficienti relativi alla relazione di dipendenza del periodo di picco dall'altezza significativa a largo del paraggio di interesse.

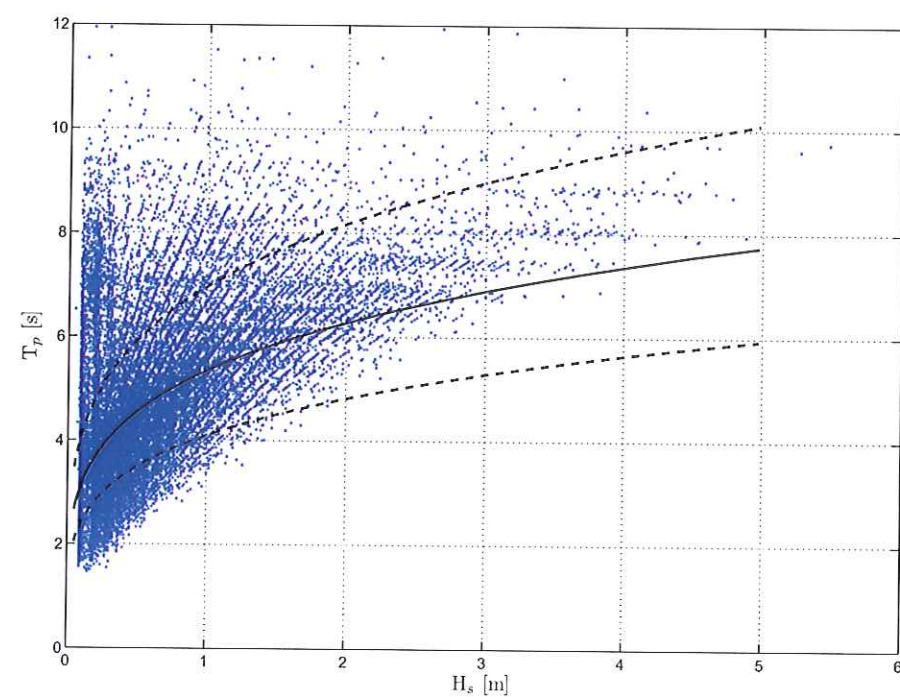


Figura 12: Rappresentazione cartesiana della distribuzione del periodo di picco rispetto all'altezza significativa a largo del paraggio di interesse.

H _s (m)	0 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 6	6 ÷ 8	8 ÷ 10	10 ÷ 12	12 ÷ 14	> 14	Tot.
0-0.25	0.68	11.79	3.70	2.27	0.33	0.01		0.13	<i>18.92</i>
0.25-0.50	0.08	12.83	10.78	1.55	0.24	0.02		0.37	<i>25.86</i>
0.50-0.75		3.18	9.77	1.68	0.16	0.01		0.12	<i>14.92</i>
0.75-1.00		0.58	5.99	1.63	0.19	0.02		0.02	<i>8.44</i>
1.00-1.50		0.08	5.20	3.17	0.40	0.02		0.01	<i>8.88</i>
1.50-2.00			0.89	2.07	0.18	0.01			<i>3.14</i>
2.00-2.50			0.10	1.07	0.11	0.01		0.00	<i>1.29</i>
2.50-3.00				0.41	0.13	0.01			<i>0.55</i>
3.00-3.50				0.10	0.16	0.01			<i>0.27</i>
3.50-4.00				0.04	0.13	0.00			<i>0.17</i>
4.00-4.50				0.01	0.04	0.00			<i>0.05</i>
4.50-5.00				0.01	0.01				<i>0.02</i>
5.00-5.50					0.00				<i>0.00</i>
5.50-6.00									<i>0.00</i>
6.00-6.50									<i>0.00</i>
>6.50								0.00	<i>0.00</i>
	<i>0.76</i>	<i>28.47</i>	<i>36.43</i>	<i>14.01</i>	<i>2.07</i>	<i>0.12</i>	<i>0.00</i>	<i>0.65</i>	<i>82.51</i>

Tabella 8: Distribuzione annuale degli eventi di moto ondoso (tabella in alto) e relativa distribuzione percentuale (tabella in basso) a largo del paraggio di interesse classificati per altezza e periodo di picco.

3.3.5 Profondità di chiusura

La profondità di chiusura D_s rappresenta il limite di largo della cosiddetta fascia attiva, oltre la quale l'azione del moto ondoso non ha capacità di indurre variazioni di profondità. Tale profondità può essere identificata con l'ausilio di informazioni morfologiche o idrodinamiche. In quest'ultimo caso è possibile utilizzare la formula di Hallermeier (1981):

$$D_s = 2,28H_s - 68,5 \left(\frac{H_s^2}{gT_p^2} \right)$$

nella quale l'altezza d'onda H_s ed il correlato periodo di picco T_p sono relativi alla mareggiata con frequenza di superamento pari a 12 ore/anno (0.14%) misurata a largo. Dalla serie ondametricala relativa al largo del paraggio di interesse è possibile stimare l'altezza d'onda con frequenza di superamento di 12 ore/anno pari a 3,67 m (periodo corrispondente 8,25 s) alla quale corrisponde una profondità di chiusura pari a:

$$D_s \simeq 7,00 \text{ m}$$

4 Studio morfologico

4.1 Premesse

Il presente capitolo descrive l'evoluzione recente della linea di riva del litorale di Alba Adriatica, come risultato di vari fenomeni naturali e antropici, così come diffusamente descritto nel precedente capitolo 2.

Allo scopo di analizzare la morfologia del litorale in esame, le misure di campo a cui ci si riferisce sono state fornite dalla Regione Abruzzo in data 26 marzo 2010 e riguardano i rilievi della sola linea di riva del 2001, del 2006 e del 2010. Si osserva che il rilievo più recente (2010) è stato effettuato precedentemente all'ultimo versamento di sabbia a Alba Adriatica.

Nel seguito sono mostrati i risultati delle analisi in termini di variazione della linea di riva ed in termini di trasporto solido longitudinale valutato sulla base dell'analisi diacronica delle misure.

4.2 Evoluzione della linea di riva

La figura 13 mostra l'andamento della linea di riva desunto dai rilievi effettuati nel 2001, 2006 e 2010. L'asse delle ordinate è inclinato in senso orario di 73° rispetto alla direzione del Nord e mostra le sezioni in corrispondenza delle quali sono localizzati la foce del Torrente Vibrata, il centro di Tortoreto Lido, la foce del Salinello e il molo Nord del Porto di Giulianova. L'origine delle ascisse è posta a circa 250 m a Nord della foce del Torrente Vibrata, definita in funzione dell'estensione delle misure disponibili. La figura 14 mostra le variazioni assolute della ΔY della linea di riva (grafico in alto) e il relativo tasso di variazione annuo (m/anno, grafico in basso). Valori negativi indicano arretramento della linea di riva, valori positivi avanzamento. Si osserva un arretramento diffuso immediatamente a Sud della foce del Vibrata, in particolare per il periodo 2001-2006. Tuttavia, nella zona ancora più a Sud (ascisse superiori a 2000 m nelle figure 13 e 14) si osserva che la linea di riva risulta essere in avanzamento sino a Tortoreto Lido, con tassi

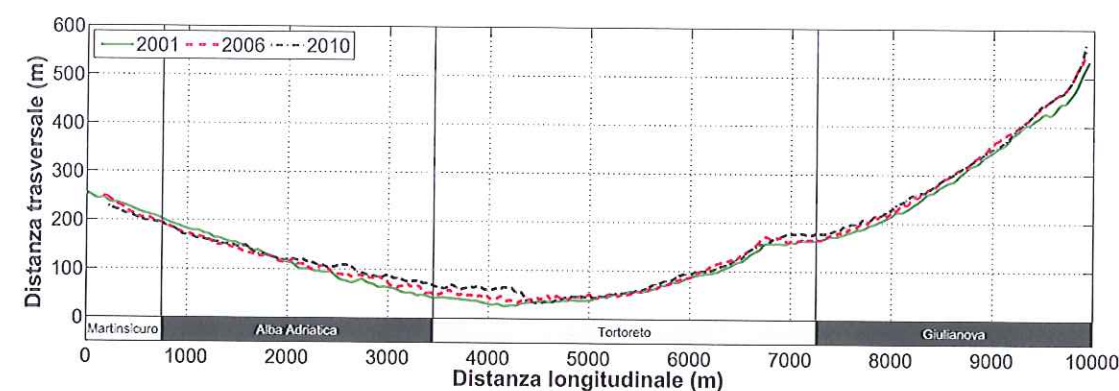


Figura 13: Rilievi della linea di riva del litorale di Alba Adriatica nel tratto compreso tra Martinsicuro e il molo Nord del Porto di Giulianova. L’asse delle ordinate del sistema di riferimento in figura è inclinato di 73° in senso orario rispetto alla direzione del Nord.

che raggiungono valori massimi nell’arco del periodo 2001-2010 pari a circa 4 m/anno. Nel tratto compreso tra Tortoreto Lido e la foce del Salinello, la linea di riva si è mostrata sostanzialmente stabile, con l’avanzamento osservato nel periodo 2001-2006 compensato dall’arretramento nel periodo 2006-2010. Per il tratto meridionale, dalla foce del Salinello sino al molo Nord del Porto di Giulianova, il litorale si mostra pressochè stabile con una lieve tendenza all’arretramento nel periodo 2006-2010 nei pressi del Porto. La figura 15 mostra che la superficie areale di spiaggia ha subito un incremento di circa $85 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ nel periodo 2001-2010. Tale incremento sembra mostrare che il litorale ha un bilancio dei sedimenti lievemente positivo. Nell’ambito dell’evoluzione a lungo termine è lecito ipotizzare che la forma del profilo trasversale di spiaggia conservi la sua forma. In tal modo gli incrementi areali, valutati sull’intero litorale, mostrati in figura 15 possono essere interpretati come un incremento del volume di sedimento contenuto nella fascia attiva del sistema costiero. In particolare, utilizzando il valore della profondità di chiusura (circa pari a 7,00 m) ottenuto nell’ambito dello studio metecomarino presentato al capitolo precedente, si ottiene un incremento annuo, nel periodo 2001-2010, pari a circa $66.000 \text{ m}^3/\text{anno}$.

La tabella 9 sintetizza i risultati ottenuti per ognuno dei periodi considerati in termini di variazioni areali e volumetriche del litorale. Si osserva che il guadagno sedimentario del litorale è diminuito di circa il 25% nel periodo 2006-2010 rispetto al periodo 2001-2006, comunque rimanendo positivo.

In relazione alle evidenze di arretramento della linea di riva nella porzione settentrionale del litorale in studio, è utile valutare il deficit volumetrico di sedimenti. In tale ambito è possibile

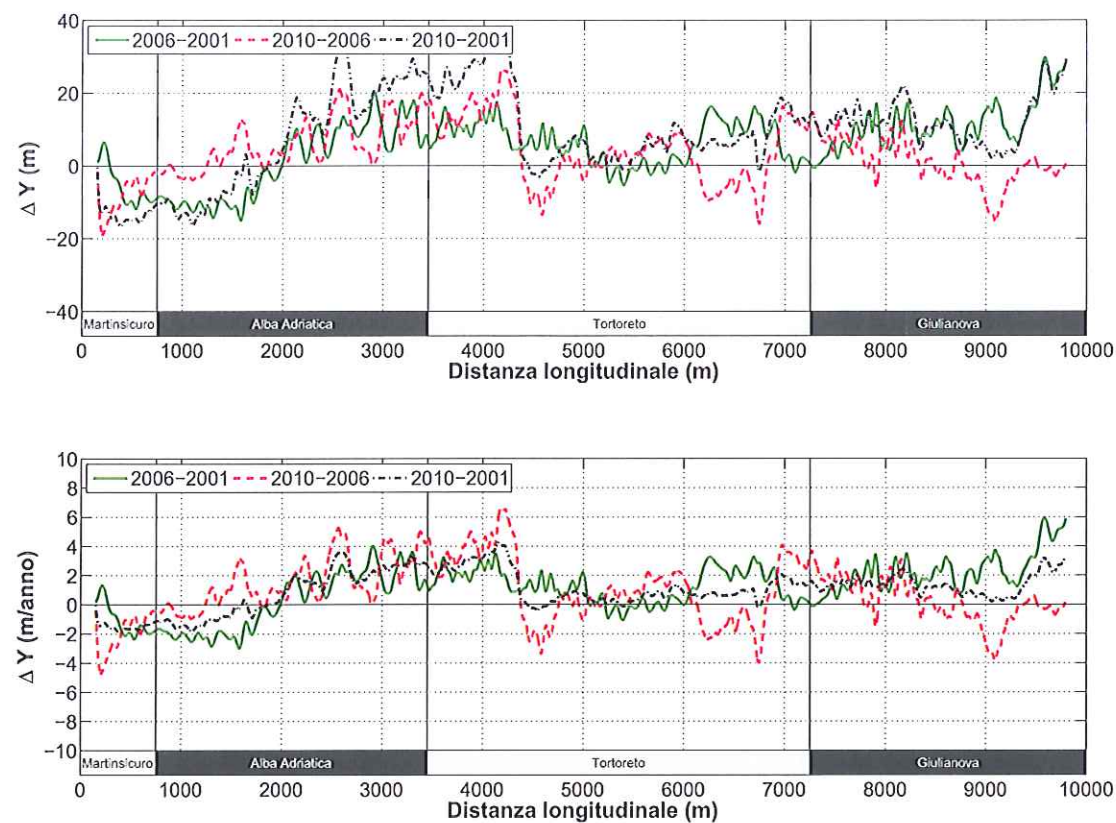


Figura 14: Evoluzione della linea di riva nell'intervallo temporale 2001-2010 in termini di variazione totale della posizione della linea di riva (grafico in alto) e di variazione media annua (grafico in basso).

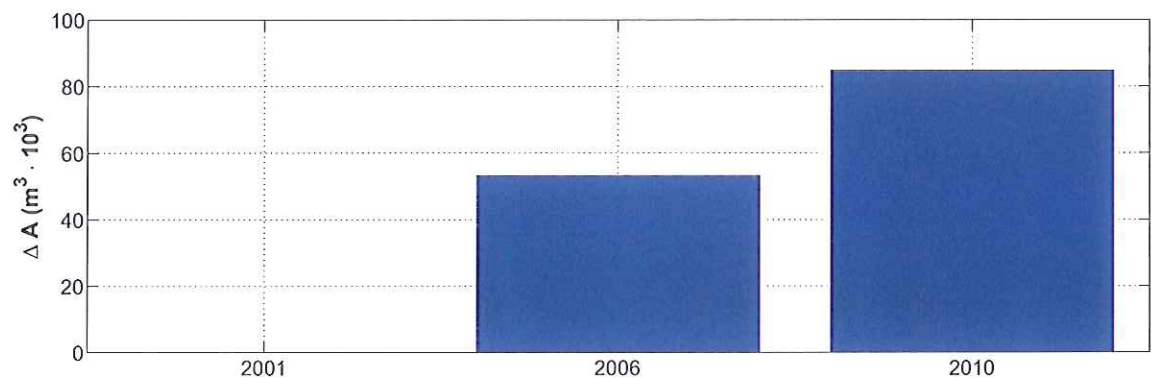


Figura 15: Differenze areali di spiaggia nel periodo 2001-2006 e 2001-2010 valutate sull'intero litorale.

valutare le variazioni volumetriche ΔV medie annue in termini integrali:

$$\Delta V(x, \Delta t) = \int_0^x D_c \frac{\Delta Y(\Delta t)}{\Delta t} dx \tag{4}$$

Periodo	Variazione areale assoluta	Variazione areale media	Variazione volumetrica
	$m^2 \cdot 10^3$	$m^2 \cdot 10^3/\text{anno}$	$m^3 \cdot 10^3/\text{anno}$
2001-2006	+53,2	+10,6	+74,4
2006-2010	+31,5	+7,9	+55,0
2001-2010	+84,7	+9,4	+65,8

Tabella 9: Sintesi delle variazioni areali e volumetriche del litorale.

La relazione (4) esprime la variazione volumetrica cumulata come una funzione dell'ascissa x (distanza longitudinale) e dell'intervallo temporale di misura tra le linee di riva considerate. Laddove il gradiente di ΔV è negativo si è in presenza di tratti in erosione, viceversa i tratti caratterizzati da gradienti positivi di ΔV sono in avanzamento. I punti di minimo (massimo) relativo rappresentano i punti in cui si ha il passaggio tra condizioni di erosione e avanzamento (o viceversa), di seguito indicati come punti di inversione. La figura 16 mostra i risultati ottenuti per il litorale in studio. Si conferma, come ovvio, che la porzione settentrionale del litorale in esame risulta in arretramento, così come mostrato nelle analisi mostrate precedentemente. I simboli tondi mostrano la posizione dell'inversione di tendenza evolutiva. Per il periodo 2001–2006, il punto di inversione si localizza a circa 1300 m a Sud della foce del Torrente Vibrata ($x \simeq 2.000$ m) e si avvicina a circa 600 m dalla stessa foce per il periodo 2006–2010 ($x \simeq 1.250$ m). Mediamente, il punto di inversione si localizza, per il periodo 2001–2010 a circa 1100 m dalla foce del Torrente Vibrata. Il tratto in arretramento è caratterizzato da un deficit sedimentario pari a circa 20.000 m³/anno per il periodo compreso tra il 2001 e il 2006. Tale deficit tende a diminuire nel periodo 2006-2010 (circa 11.300 m³/anno) con un valore medio annuo nel periodo 2001–2010 pari a circa 13.400 m³/anno. La diminuzione della tendenza erosiva nell'ultimo periodo è da imputarsi, almeno parzialmente, ai lavori di ripascimento effettuati a Martinsicuro e Alba Adriatica.

4.3 Analisi diacronica

Nell'ipotesi che il profilo trasversale di spiaggia possa essere considerato di forma costante, così come comunemente accettato nell'ambito dell'analisi a lungo termine di un litorale, la posizione della linea di riva (Y) può essere determinata risolvendo la seguente relazione differenziale che esprime la conservazione della quantità del sedimento:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q_i + q_o \right) = 0$$

(5)

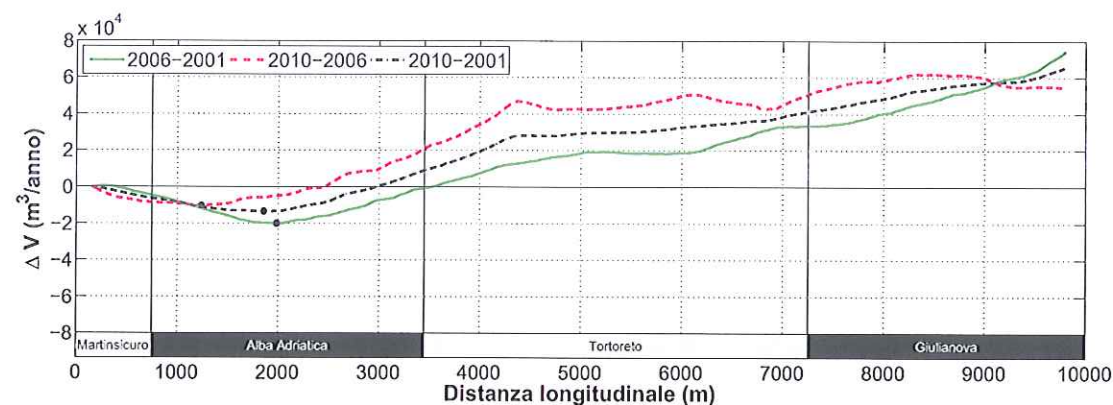


Figura 16: Andamento delle variazioni integrali di volume di spiaggia.

nella quale t è il tempo (s), D è l'estensione verticale della spiaggia, pari alla somma della profondità di chiusura D_s e della quota della berma D_B (posta pari a 1,00 m), Q è la portata solita longitudinale (m^3/s), x è l'ascissa longitudinale, q_i rappresentano gli apporti solidi per unità di larghezza di spiaggia ($m^3/s/m$), q_o rappresentano le perdite trasversali per unità di larghezza di spiaggia ($m^3/s/m$).

Nell'ambito dell'analisi diacronica delle linea di riva è nota la posizione della linea di riva in due diversi istanti temporali ($Y_{t1}(x)$ e $Y_{t2}(x)$) e l'intervallo temporale di misura ($\Delta t = t_2 - t_1$). L'equazione di conservazione si può pertanto scrivere alle differenze finite:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\Delta Q}{\Delta x} - q_i + q_o \right) = 0$$

nella quale ΔY è la differenza della posizione della linea di riva ($= y_{t2} - y_{t1}$), ΔQ è lo squilibrio di portata solida tra due celle di calcolo adiacenti, Δx è il passo di discretizzazione spaziale della linea di riva.

Ipotizzando che le perdite e gli apporti trasversali siano nulli ($q_i = q_o = 0$), è possibile calcolare il valore di ΔQ in ogni cella di calcolo:

$$\Delta Q(x_i) = - \frac{\Delta Y(x_i) \Delta x}{\Delta t} D \quad (6)$$

Pertanto tale relazione permette di valutare qual è la variazione di trasporto solido longitudinale lungo il litorale. Il calcolo del trasporto solido Q viene effettuato partendo da un estremo ed ipotizzando in questo punto una portata in ingresso Q_0 indeterminata. Il calcolo procede sino all'altro estremo ($Q_i = Q_{i-1} + \Delta Q_i$) ottenendo un valore in corrispondenza dell'estremo opposto Q_N . Si osserva, pertanto, che i valori di trasporto solido sono definiti a meno della costante Q_0 .

La figura 17 mostra i risultati ottenuti per il litorale in studio, sia in termini di gradiente del trasporto solido longitudinale (grafico in alto), sia in termini di trasporto solido longitudinale (grafico in basso) che, si ribadisce, è definito a meno della portata in ingresso/uscita dai contorni.

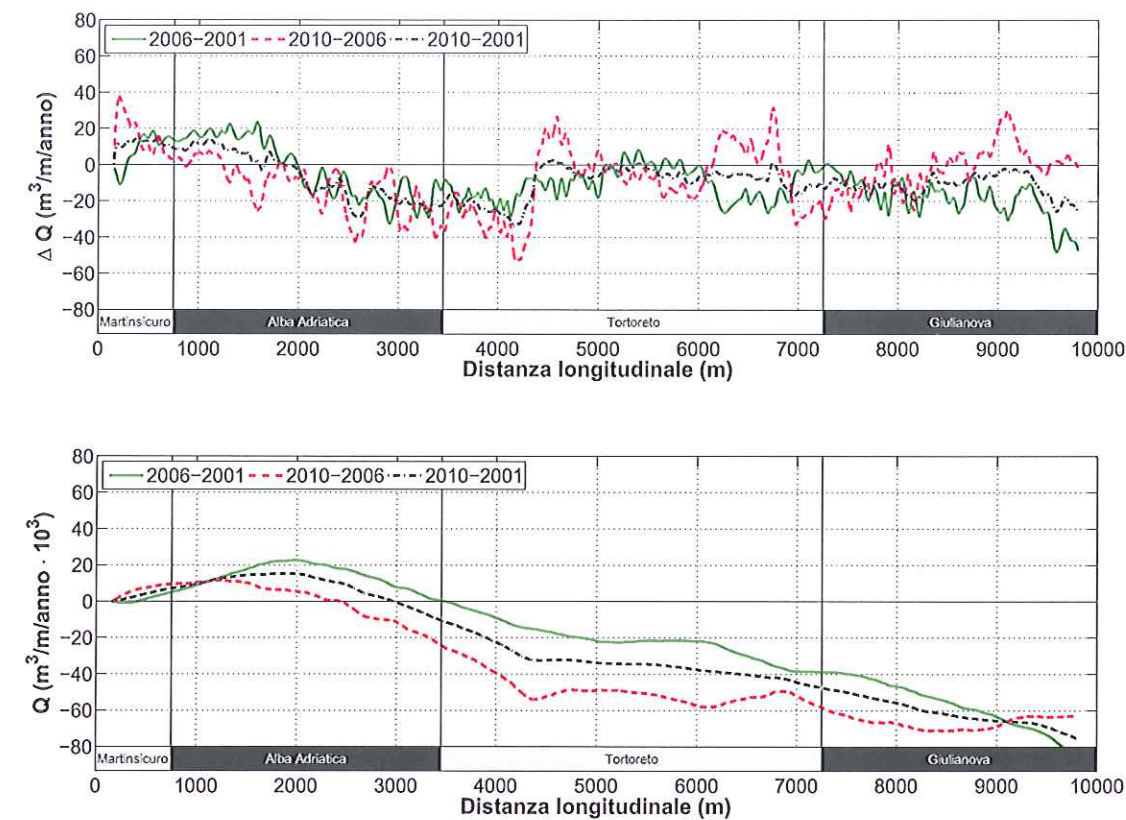


Figura 17: Andamento del gradiente del trasporto solido longitudinale (grafico in alto) e del trasporto solido longitudinale a meno di una costante (grafico in basso) stimato sulla base dell’analisi diacronica delle linee di riva misurate nel periodo 2001-2010.

Si osserva che i risultati mostrati in figura 17 possono essere corretti in virtù delle analisi sull’evoluzione areale e volumetrica riportate nel paragrafo precedente. In particolare, poichè si è osservato un bilancio sedimentario positivo, è possibile inserire un termine di apporto solido (q_i) nella (7):

$$\Delta Q(x_i) = - \left(\frac{\Delta Y(x_i) D}{\Delta t} - q_i \right) \Delta x \tag{7}$$

nella quale il termine q_i ($\text{m}^3/\text{s}/\text{anno}$) può essere calcolato sulla base dei valori sintetizzati nella tabella 9, così come riportato nella tabella 10.

	2001-2006	2006-2010	2001-2010
q_i ($\text{m}^3/\text{m}/\text{anno}$)	7,71	5,70	6,82

Tabella 10: Apporti solidi distribuiti lungo il litorale.

La figura 18 mostra l’andamento del trasporto solido longitudinale, stimato sulla base del-

L'analisi diacronica delle linee di riva e con l'inclusione degli apporti distribuiti sintetizzati in tabella 10. Si osserva che, come ovvio, la portata solida nell'ultima cella di calcolo è nulla, poichè la differenza mostrata nella figura 17 è stata compensata dall'inclusione del termine q_i . Si nota che, sempre ricordando che la portata solida è definita a meno della portata in ingresso/uscita nella sezione iniziale, la direzione del trasporto solido longitudinale è positiva per il periodo 2001-2006, cioè diretta da Nord a Sud lungo tutto il litorale da Martinsicuro al Porto di Giulianova. Tuttavia, nel successivo periodo 2006-2010, l'andamento del trasporto solido longitudinale mostra un'inversione, da Sud verso Nord, nel tratto che si estende da Alba Adriatica (tra la foce del Vibrata e Tortoreto Lido) e il Porto di Giulianova. Pertanto appare un punto di inversione proprio in corrispondenza del litorale di Alba Adriatica, laddove si è evidenziato, nel paragrafo precedente, una tendenza all'avanzamento della linea di riva. Si ricorda ancora una volta che tali argomentazioni sono valide a meno della portata in ingresso/uscita nella sezione iniziale del litorale, per la cui stima si rimanda al successivo capitolo.

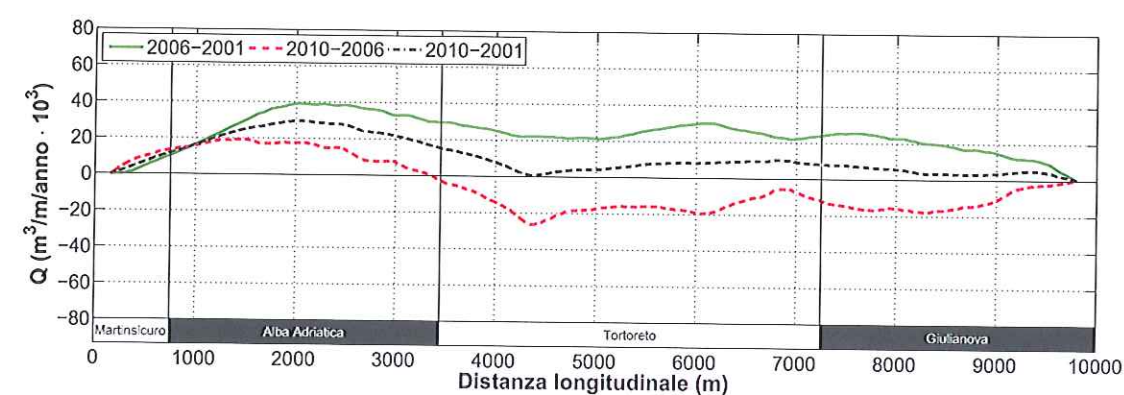


Figura 18: Andamento del trasporto solido longitudinale stimato sulla base dell'analisi diacronica delle linee di riva misurate nel periodo 2001-2010 considerando gli apporti solidi distribuiti sintetizzati in tabella 10.

5 Studio morfodinamico

Il presente capitolo descrive la fase di calibrazione e verifica del modello numerico GENESIS, standard de facto in questo tipo di applicazioni, al litorale di Alba Adriatica.

Nel seguito si descrive il modello numerico, la metodologia di applicazione e i dati utilizzati per la sua implementazione al litorale di interesse. Viene quindi illustrata la procedura di calibrazione sulla base dei rilievi della linea di riva effettuati nel 2001 e 2006. Il modello così calibrato è stato verificato per il periodo 2006-2010, sulla base del recente rilievo fornito dalla Regione Abruzzo.

5.1 Il modello numerico e metodologia di utilizzo

In natura, l'evoluzione di un litorale indotta dal moto ondoso incidente è un processo spazio-temporale poichè imputabile alla complessa interazione delle forzanti meteomarine che variano nel tempo e nello spazio. Per la descrizione quantitativa di tali fenomeni è necessaria la risoluzione di un problema dalle spiccate caratteristiche di non stazionarietà e tridimensionalità. Tuttavia, ad oggi, non esiste uno strumento tecnicamente valido in grado di modellare tutti i fenomeni che concorrono all'evoluzione a lungo termine di un litorale per cui, sovente, si ricorre a metodi semplificati con lo scopo di descrivere la tendenza evolutiva a grande scala. Sono stati sviluppati modelli i quali, basandosi sulle valutazioni del trasporto totale mediante formulazioni del tipo CERC (U.S. Army Corps of Engineers, 2002), pur non fornendo alcun dettaglio sulla dinamica trasversale, consentono di valutare in modo ragionevole l'evoluzione longitudinale di lungo periodo di un litorale. Tali modelli, sono usualmente denominati "a una linea" (one-line models) poichè forniscono la variazione temporale di un'isobata che, tipicamente, coincide con la linea di riva. I modelli di questo tipo si fondano sull'ipotesi dell'invariabilità della forma del profilo trasversale della spiaggia. Tale ipotesi si traduce nel fatto che il movimento della linea di

riva comporta la traslazione rigida di tutto il profilo trasversale sommerso, per il quale si assume una forma media, denominata profilo di equilibrio.

Tra i modelli ad una linea disponibili in letteratura, uno tra i più ampiamente utilizzati è il modello GENESIS (GENeralized model for SImulating Shoreline change, Hanson, 1987; Hanson e Kraus, 1989; Gravens et al., 1991).

Il modello trae la sua origine dai principi teorici degli studi di dinamica costiera condotti da Pelnard-Considere (1956) e può essere applicato ad aree costiere ove le fenomenologie di morfodinamica evolvono sotto le seguenti ipotesi:

- il litorale presenta, in termini di evoluzione a medio e lungo termine, un profilo di equilibrio, rispetto al piano trasversale alla linea di riva, che mantiene costante la sua forma, muovendosi parallelamente a se stesso al manifestarsi sia di fenomeni di erosione sia di accrescimento della fascia costiera;
- il trasporto solido litoraneo è indotto essenzialmente dall'azione delle correnti connesse alle onde di superficie mentre può ritenersi trascurabile l'effetto delle correnti di marea o correnti collegate all'azione diretta del vento;
- il flusso solido litoraneo, responsabile dei fenomeni evolutivi, si realizza essenzialmente in senso longitudinale alla linea di riva e rimane confinato entro una fascia costiera (fascia attiva) alle cui estremità di riva (foreshore) e largo (offshore) il flusso solido può ritenersi trascurabile;
- il regime del flusso solido longitudinale è funzione del contenuto energetico e dell'angolo di incidenza delle onde frangenti lungo il litorale;
- i possibili scambi di materiale solido tra la fascia attiva e l'esterno sono di tipo puntuale (foci fluviali; canyons sottomarini) e comunque quantificabili in termini di portata solida entrante od uscente.

Sulla base di queste ipotesi, ben verificate per il caso in esame, è possibile descrivere la complessa dinamica di un litorale sabbioso imponendo e risolvendo, alle differenze finite, l'equazione di conservazione del volume di sabbia associata al flusso del sedimento relativo alla sola componente longitudinale e calcolato in funzione delle caratteristiche del moto ondoso al frangimento.

Pertanto, in sintesi, per ogni istante di calcolo, è necessario conoscere la distribuzione dell'altezza d'onda in condizioni di frangimento lungo il litorale in esame (propagazione del moto ondoso) in funzione di eventuali strutture costiere presenti nel dominio di calcolo. Successivamente è necessario valutare la portata solida longitudinale e, in particolare, la sua variazione

lungo il litorale. Infine, l'utilizzo dell'equazione di conservazione del volume di sedimento permette il calcolo della nuova posizione della linea di riva. La procedura viene iterata nel tempo sino al calcolo della posizione della linea di riva nell'istante finale di interesse.

Come anticipato, l'approccio teorico del modello numerico GENESIS è essenzialmente di tipo monodimensionale e pertanto simula i complessi fenomeni della dinamica costiera considerando la sola componente longitudinale nell'ipotesi che questa sia preponderante rispetto alle altre componenti del reale sistema fisico (verticale e trasversale) la cui influenza è stimata in termini di valori medi spaziali.

In base alle ipotesi illustrate l'equazione di continuità adottata risulta espressa dalla seguente relazione, già richiamata nel precedente capitolo:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} + \frac{1}{D_B + D_s} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - q \right) = 0$$

nella quale:

- Q (m^3/s) è la portata di flusso solido longitudinale;
- t (s) è il tempo di simulazione dell'evoluzione costiera;
- D_B (m) è altezza di risalita (indotto dai fenomeni legati all'azione del moto ondoso), limite della fascia attiva a riva;
- D_s (m) è la profondità di chiusura, limite della fascia attiva a largo;
- $q = q_i - q_o$ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) è l'eventuale flusso (per unità di lunghezza di spiaggia) di materiale solido, ove si è indicato con q_o il flusso di sedimento che viene perso dal litorale e q_i quello acquisito;
- x (m) è la coordinata spaziale parallela alla giacitura media del litorale;
- Y (m) è la coordinata spaziale, ortogonale alla x , rispetto alla quale si misura la posizione occupata dalla linea di riva nel tempo.

L'equazione è risolta alle differenze finite previo il calcolo dell'entità del trasporto solido longitudinale Q e la definizione degli eventuali flussi trasversali (q_i , q_o) e dei limiti della fascia attiva (D_B e D_s).

La componente longitudinale del trasporto solido è esplicitata riferendosi a una relazione di derivazione empirico-concettuale ormai divenuta uno standard nella tecnica di settore e che contiene parametri che descrivono sia il sedimento che costituisce il litorale, sia le caratteristiche del moto ondoso incidente. Causa la presenza di manufatti costieri (ad es. pennelli, barriere

distaccate), che possono introdurre delle sensibili discontinuità nel campo d'onda limitrofo, è necessario considerare il conseguente gradiente longitudinale di altezza d'onda (in condizioni di frangimento).

In definitiva, la relazione cui fa riferimento il modello è quella introdotta da Brampton e Ozasa (1980) e convalidata successivamente da Hanson e Kraus (1989) sulla base di risultati su modelli fisici (Mimura et al., 1983):

$$Q = H_{sb}^2 C_{gb} \left(a_1 \sin 2\theta_{bs} - a_2 \cos 2\theta_{bs} \frac{\partial H_b}{\partial x} \right)$$

nella quale risultano definiti i seguenti parametri:

- H_{sb} (m) è l'altezza d'onda in condizioni di frangimento;
- C_{gb} (m/s) è la celerità di gruppo in condizioni di frangimento;
- θ_{bs} (°) è l'angolo che la direzione dell'onda frangente forma con la linea di riva locale e, poichè il profilo trasversale non cambia forma nello spazio, alla generica linea batimetrica;

I due coefficienti a_1 e a_2 contengono informazioni legate alle caratteristiche del sedimento e del fluido:

$$a_1 = \frac{K_1}{16 (1,416)^{5/2} (\rho_s/\rho - 1) (1 - p)}$$

$$a_2 = \frac{K_2}{8 \tan \beta (1,416)^{5/2} (\rho_s/\rho - 1) (1 - p)}$$

nelle quali

- K_1, K_2 (-) rappresentano i parametri adimensionali di calibrazione del modello;
- ρ_s e ρ (kg/m³) sono la densità del sedimento e dell'acqua;
- p (-) è la porosità della spiaggia;
- $\tan \beta$ (°) è la pendenza media del profilo di spiaggia all'interno della fascia attiva.

Per la definizione dei valori assunti dai parametri adimensionali K_1 e K_2 , fondamentali per la corretta calibrazione del modello, si è soliti fare riferimento a campi di valori, fondati su misure di campo e modelli fisici e validati da applicazioni pratiche. Tuttavia i coefficienti K_1 e K_2 devono essere interpretati come parametri di calibrazione e quindi vanno valutati di volta in volta al fine di operare una corretta previsione dell'evoluzione a lungo termine del litorale. In prima approssimazione si può fare riferimento ai valori riportati dalla letteratura specializzata

definiti in funzione delle caratteristiche del sedimento movimentato dalla corrente longitudinale (granulometria, porosità, peso specifico), della morfologia trasversale del fondale, nonché della tipologia del frangente:

$$K_1 = 0,1 \div 1 \quad ; \quad K_2 = (0,5 \div 1,5) \cdot K_1$$

Pertanto la fase della previsione a lungo termine del litorale in studio deve essere preceduta da una fase di taratura e, auspicabilmente, da una fase di verifica. Come anticipato, la fase di calibrazione riguarda l'identificazione dei valori da attribuire ai coefficienti K_1 e K_2 . La posizione della linea di riva iniziale da assegnare per la simulazione numerica deve coincidere con quella ottenuta tramite un rilievo di campo. Per il processo di calibrazione è necessario avere a disposizione un secondo rilievo della linea di riva, successivo al primo, rispetto al quale si effettua l'operazione di confronto con la linea di riva calcolata. Si osserva come la calibrazione del modello numerico sia un processo iterativo per cui, a tentativi, si giunge a definire i valori da attribuire ai coefficienti K_1 e K_2 . Il modello numerico così calibrato va poi verificato, in funzione della disponibilità di ulteriori rilievi della linea di riva.

Nei paragrafi successivi si descrive la procedura di calibrazione e verifica del modello numerico GENESIS al litorale di Alba Adriatica.

5.2 Dominio di calcolo e forzanti meteomarine

Il litorale in esame non è protetto da nessuna opera di difesa costiera. La simulazione numerica ha riguardato il tratto di litorale di estensione pari a circa 10 km compreso tra la foce del torrente Vibrata e il molo Nord del Porto di Giulianova. Il litorale è stato discretizzato in 995 celle di calcolo (discretizzazione spaziale pari a 10 m) e l'equazione di bilancio sedimentario è stata integrata nel tempo con un passo pari a 0,5 ore. Sulla base delle informazioni desunte dai rilievi della costa, in corrispondenza dei contorni si sono imposte condizioni al contorno sul valore della portata solida longitudinale.

Per quanto riguarda le forzanti meteomarine, si sono considerati i risultati dell'analisi del clima ondoso. In particolare si è considerato l'anno climatico medio, sintetizzato nelle tabelle stagionali 3-4-5-6 del capitolo 3. Sulla base delle frequenze di accadimento di ogni classe di altezza d'onda e direzione si è costruita una serie ondometrica trioraria con altezza d'onda significativa e direzione definita in maniera casuale all'interno di ogni classe. Il relativo periodo di picco è stato definito in maniera casuale tra le funzioni di correlazione tra altezza d'onda e periodo definite dalla tabella 7 del capitolo 3.

5.3 Calibrazione e verifica del modello numerico

Come ampiamente discusso nei paragrafi precedenti, la calibrazione del modello numerico consiste nell'individuazione dei parametri K_1 e K_2 che permettono di riprodurre l'evoluzione del litorale durante un intervallo temporale, agli estremi del quale sono disponibili rilievi della linea di riva. Per le simulazioni che seguono si è considerando un diametro caratteristico D_{50} pari a 0,20 mm, desunto dalle analisi granulometriche effettuate nell'ambito dei lavori che hanno interessato il litorale in esame. In figura 19 è riportato graficamente il risultato della fase di calibrazione. Si osserva un generale buon comportamento del modello numerico. Inoltre, la figura 20 mostra i risultati ottenuti in fase di verifica per l'intervallo temporale 2006-2010. Anche in questo caso si nota che il modello numerico calibrato coglie la tendenza evolutiva del litorale osservata in campo.

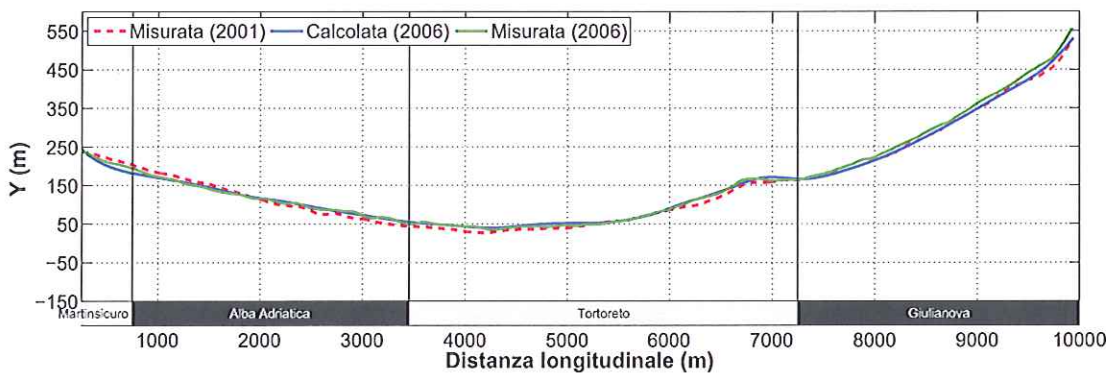


Figura 19: Confronto tra i risultati numerici e misure della linea di riva ottenute in fase di calibrazione (intervallo di calibrazione 2001-2006).

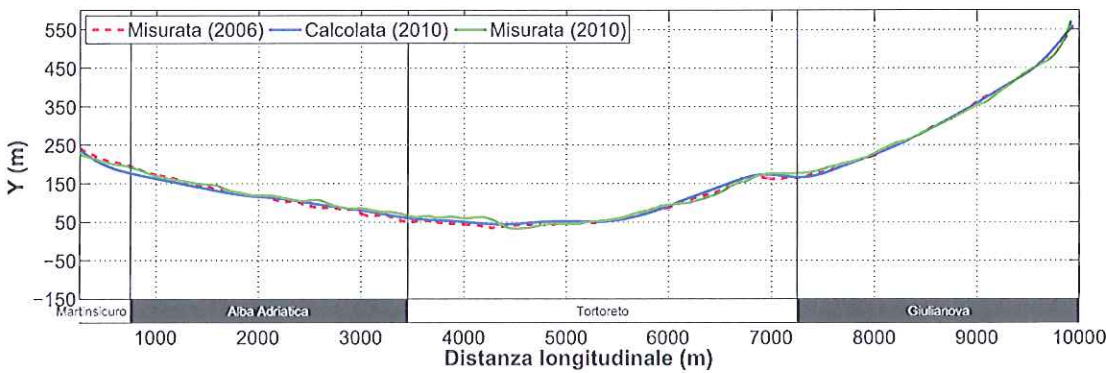


Figura 20: Confronto tra i risultati numerici e misure della linea di riva ottenute in fase di verifica (intervallo di verifica 2006-2010).

In particolare, con riferimento alla figura 19, si osserva che il modello numerico calibrato

coglie con adeguata precisione, il punto di inversione ($x \simeq 2000$ m) in corrispondenza del quale il tratto in erosione a Sud della foce del Torrente Vibrata diventa in condizioni di avanzamento procedendo verso Sud. Nella fase di verifica (figura 20) si osserva che il modello numerico tende a sovrastimare l'arretramento del tratto settentrionale del litorale. Ciò deriva dalla maggiore erosione osservata per l'intervallo temporale 2001-2006, utilizzato per la calibrazione del modello, rispetto a quello osservato per l'intervallo temporale 2006-2010, utilizzato per la verifica. Si ritiene che tale scelta sia cautelativa nella stima dell'evoluzione futura del litorale, poichè tende a sovrastimare la recente (2006-2010) erosione nel tratto settentrionale del litorale, riproducendo quella osservata nel periodo 2001-2006. Inoltre si osserva che la minore erosione nel periodo 2006-2010 sia da imputarsi, almeno parzialmente, ai lavori di ripascimento effettuati a Martinsicuro e Alba Adriatica che hanno alimentato il litorale in studio.

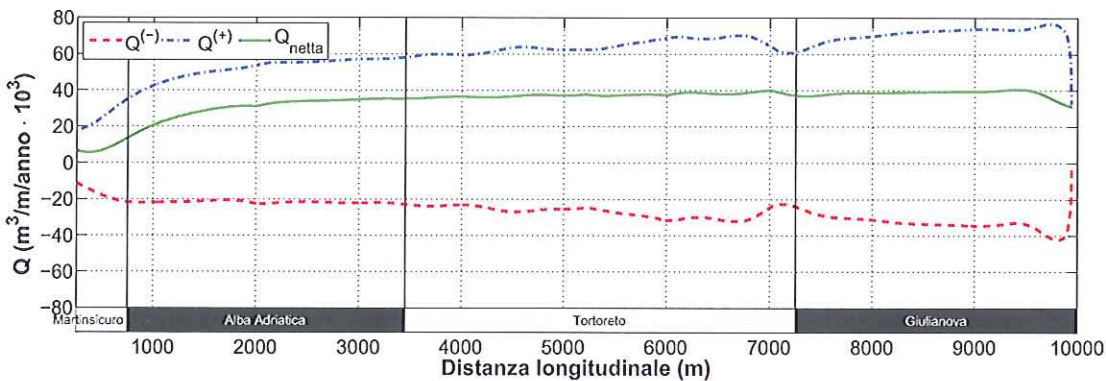


Figura 21: Andamento della portata volumetrica di sedimento ottenuto in fase di calibrazione del modello numerico (intervallo di calibrazione 2001-2006).

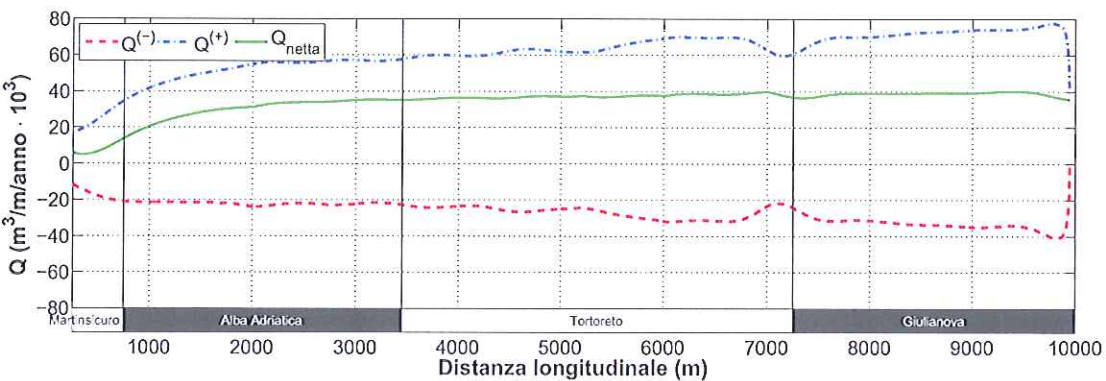


Figura 22: Andamento della portata volumetrica di sedimento ottenuto in fase di verifica del modello numerico (intervallo di verifica 2006-2010).

Le figure 21 e 22 riportano l'andamento della componente longitudinale della portata solida valutata numericamente nell'ambito della calibrazione e della verifica del modello numerico. Con riferimento alla figure 17 e 18 del precedente capitolo 4, si osserva che il modello numerico calibrato coglie l'ordine di grandezza del trasporto solido longitudinale (circa pari a 40.000 m³/m/anno) e del suo andamento lungo il litorale. Inoltre l'utilizzo del modello numerico permette di discriminare la componente netta del trasporto solido longitudinale (Q_{netta} nelle figure 21 e 22, ottenuta anche sulla base delle misure di linea di riva) dalla componente diretta verso la direzione Sud-Est ($Q^{(+)}$ nelle figure 21 e 22) e quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$ nelle figure 21 e 22). In tal modo è possibile notare come al clima ondamentrico bi-modale caratteristico della costa Abruzzese corrisponda una simile bi-modalità del trasporto solido longitudinale, con la componente diretta verso Sud-Est preponderante rispetto alla componente non trascurabile diretta verso Nord-Ovest.

6 Ipotesi di intervento

6.1 Premesse

Il presente capitolo descrive la tipologia e gli effetti degli interventi ipotizzati (vedi par. 2.3.4). Per quanto riguarda gli effetti, questi sono stati valutati sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate utilizzando il modello numerico calibrato secondo quanto descritto nel capitolo precedente (par. 5.3).

Si osserva che, allo scopo di analizzare le tendenze evolutive nell'arco di un decennio, le simulazioni sono state estese a 10 anni a partire dalla linea di riva relativa al rilievo del 2010. Pertanto i risultati si riferiscono alla tendenza evolutiva del litorale al 2020.

Le ipotesi contemplate verranno analizzate nel prossimo capitolo da un punto di vista economico e nella fattibilità tecnica.

6.2 Ipotesi (0): Opzione zero, assenza di interventi

Nell'ambito di questa ipotesi si è supposto di non eseguire alcun intervento in modo da poter valutare (nell'orizzonte temporale di dieci anni considerato) le naturali tendenze evolutive del litorale, in particolare delle zone ad oggi in erosione, nonché disporre di un riferimento per l'analisi comparativa degli effetti degli interventi di difesa analizzati nell'ambito delle successive ipotesi.

Le figure 23 e 24 mostrano i risultati ottenuti in termini di posizione della linea di riva (Y), di rateo annuo della variazione di posizione della linea di riva (ΔY) e di componente longitudinale del trasporto solido ($Q^{(+)}$, diretta verso Sud-Est, $Q^{(-)}$, diretta verso Nord-Ovest e $Q_{netta} = Q^{(+)} - |Q^{(-)}|$). Si osserva che la tendenza all'erosione del litorale prospiciente il comune di Alba Adriatica, come ovvio, si mantiene invariata nell'intervallo di simulazione con un arretramento ulteriore della linea di riva nella zona posta nei pressi della foce del Torrente Vibrata, che raggiunge valori massimi dell'ordine di 4 m/anno. Il punto di inversione, nel quale

il litorale diventa in accrescimento, si localizza circa a 1.300 m a Sud della foce del Torrente Vibrata ($x \simeq 2.000$ m), così come osservato nel passato. A Sud di tale punto di inversione, il litorale è sostanzialmente in equilibrio, con ratei di variazione (in avanzamento) annua della posizione della linea di riva inferiori ai 2 m/anno. In conclusione, come risulta evidente dalle simulazioni eseguite, allo smantellamento della spiaggia posta a cavallo della foce del Torrente Vibrata corrisponde un avanzamento del litorale posto a circa 1,3 km a Sud dalla stessa foce. Tale avanzamento è dovuto all'accumulo del materiale proveniente dalla zona in erosione. Questo risultato mostra chiaramente l'utilità dei versamenti di sabbia a mare anche non protetti. Essi infatti contribuiscono ad alimentare la stabilità dei litorali posti a valle delle zone di versamento, ovvero a valle della direzione del trasporto solido longitudinale che nel caso in questione è diretta da Nord verso Sud. Come mostrato nel prossimo paragrafo, nel caso in cui si versasse materiale (sabbia) nel tratto soggetto ad erosione, il punto di inversione tra la zona in erosione e quella in accrescimento si sposterebbe verso Nord.

6.3 Ipotesi (1): Intervento “morbido” di solo ripascimento

Come osservato (par. 2.3.4), l'ipotesi prende in esame la possibilità di intervenire solo mediante la tecnica del “ripascimento artificiale”, ovvero mediante apporto di sedimenti da versare limitatamente alla zona, identificata critica, a ridosso della foce del Torrente Vibrata, per un estensione di circa 2.000 m. Il volume di sabbia da apportare al litorale per effettuare l'intervento è stato stimato sulla base dei risultati della precedente ipotesi (ipotesi zero). Più in dettaglio i risultati ottenuti nell'ambito dell'Ipotesi (0), ovvero ipotizzando di non effettuare interventi per i prossimi dieci anni, hanno mostrato che il “deficit” sedimentario del litorale soggetto ad erosione è di circa $50.000 \text{ m}^3/\text{anno}$. Tale stima è stata effettuata ponendosi l'obiettivo di garantire una larghezza minima della spiaggia pari a quella che si aveva nel 2001. Di conseguenza, poiché nelle ipotesi di intervento esaminate si presuppone di non fare interventi di manutenzione per una finestra temporale di 10 anni, il volume complessivo di sabbia che occorre versare con il ripascimento risulta di circa 500.000 m^3 . Tale versamento deve interessare il tratto di litorale lungo circa 2,0 km posto a cavallo del Torrente Vibrata che risulta attualmente in condizioni critiche (vedi par. 6.2). In particolare tale tratto va da circa 700 m a Nord della foce a circa 1300 m a Sud della stessa foce. Il ripascimento analizzato, pertanto, si riferisce a un versamento specifico, per unità di sviluppo longitudinale di spiaggia, pari a $250 \text{ m}^3/\text{m}$.

Le figure 25 e 26 mostrano i risultati ottenuti in termini di posizione della linea di riva (Y), di rateo annuo della variazione di posizione della linea di riva (ΔY) e di componente longitudinale del trasporto solido ($Q^{(+)}$, diretta verso Sud-Est, $Q^{(-)}$, diretta verso Nord-Ovest e $Q_{netta} = Q^{(+)} - |Q^{(-)}|$). Si osserva che l'erosione nel tratto oggetto dell'intervento è molto più

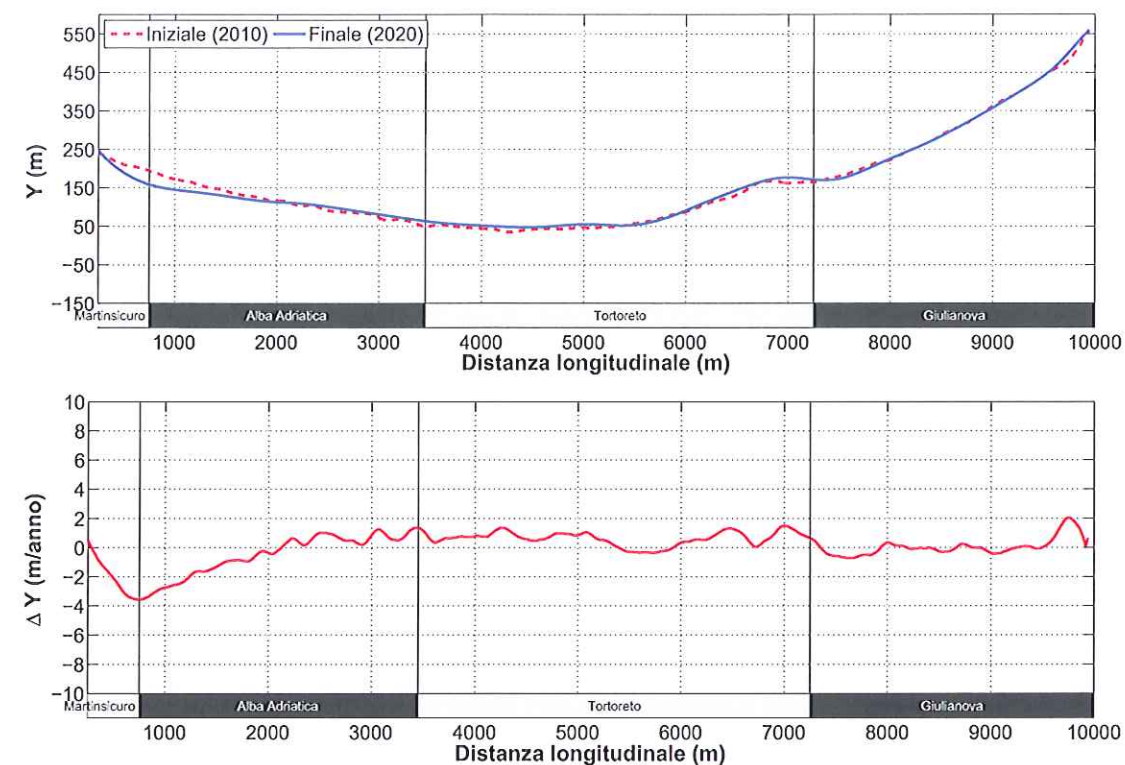


Figura 23: Ipotesi (0): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020).

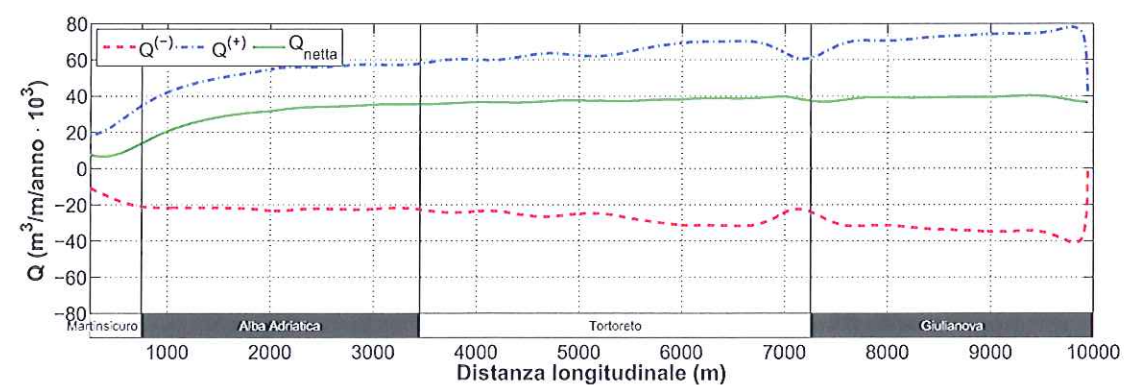


Figura 24: Ipotesi (0): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

limitata, così come evidente dal confronto con l’opzione zero (ipotesi 0), e persegue l’obiettivo, dopo 10 anni, di ottenere una linea di riva in posizione prossima a quella osservata nel 2001.

Il tratto precedentemente identificato come critico risulta di estensione molto più limitata, con il punto di inversione alla tendenza erosiva che si colloca a circa 400 m dalla foce del Torrente Vibrata. Il breve tratto che rimane in erosione presenta ratei annui di arretramento della linea di riva pari a circa 1 m/anno, inferiori a quelli osservati nel caso dell’opzione zero, in assenza di qualsiasi tipo di intervento.

6.4 Ipotesi (2): Intervento di tipo rigido “a celle” limitato alla zona attualmente critica

L’intervento ipotizzato è del tipo “a celle”, costituito da una serie di pennelli parzialmente sommersi che si intestano su una barriera parallela sommersa. La zona di intervento è stata limitata al tratto di litorale considerato oggi critico, cioè fino a circa 1.300 m a Sud della foce del Torrente Vibrata, laddove nell’ambito dell’analisi dell’opzione zero è stato localizzato il punto di inversione da tendenza all’erosione a quella all’avanzamento. Come già anticipato nel capitolo 1, l’ipotesi di cui al presente paragrafo è stata analizzata in assenza di versamento di sabbia e con ripascimento di sabbia. Con riferimento alla figura 27, che riporta lo schema della configurazione delle celle, la lunghezza totale dei pennelli è posta pari a circa 100 m), la lunghezza di radicamento a circa 20 m, la lunghezza del tratto sommerso a 30 m. Inoltre la della quota di imbasamento della barriera sommersa considerata è pari a -3,5 m s.l.m. L’interasse tra i pennelli è pari a 250 m.

Per la modellazione della quota di sommergenza, è stato stimato il coefficiente di trasmissione K_t della struttura sommersa tramite la formulazione empirica proposta da D’Angremond et al. (1996):

$$K_t = -0,40 \left(\frac{R_c}{H}\right) + 0,64 \left(\frac{B}{H}\right)^{-0,31} [1 - exp(-0,50\xi)] \quad \text{se } B/H < 10 \tag{8}$$

$$K_t = -0,35 \left(\frac{R_c}{H}\right) + 0,51 \left(\frac{B}{H}\right)^{-0,65} [1 - exp(-0,41\xi)] \quad \text{se } B/H \geq 10 \tag{9}$$

nella quale H rappresenta l’altezza d’onda significativa incidente, B la larghezza di cresta della barriera, ξ il parametro di Irribarren. Considerando l’anno climatico medio utilizzato per la definizione della serie ondametrica che incide il litorale, una larghezza in cresta pari a 10 m, una pendenza media del fondo pari a 1 : 80 si è definito un coefficiente (“morfodinamicamente” rappresentativo) di trasmissione pari a 0,7.

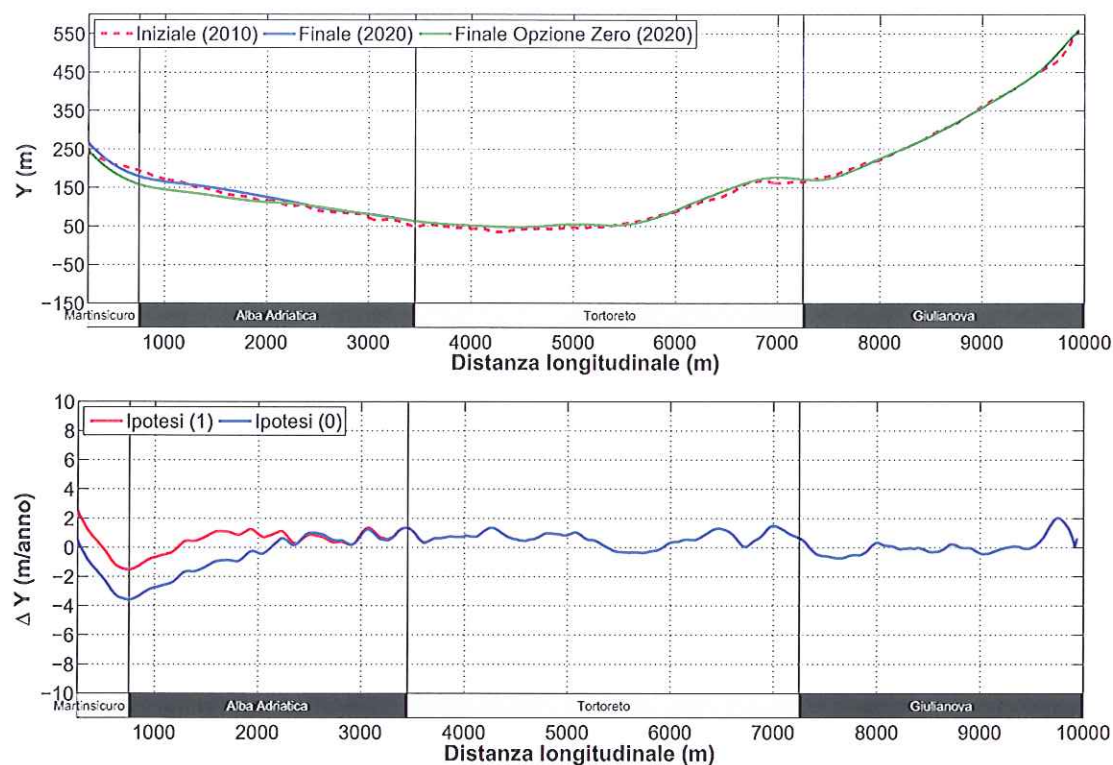


Figura 25: Ipotesi (1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y, grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY, grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.

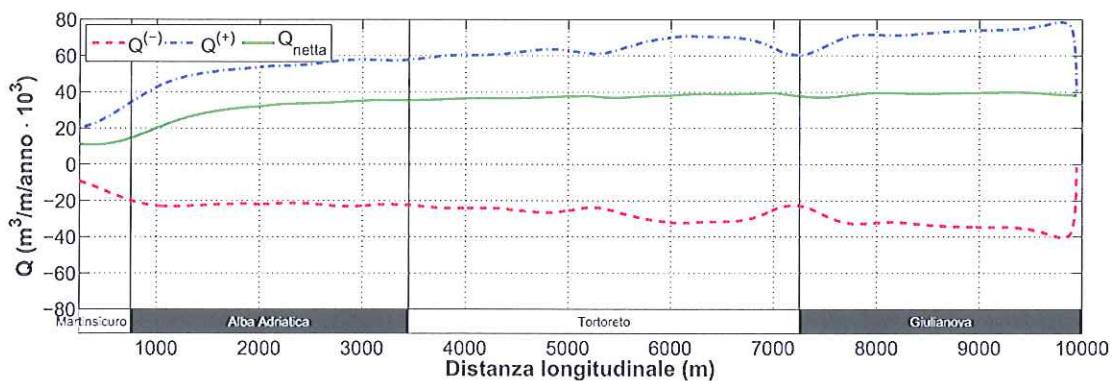


Figura 26: Ipotesi (1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido (Q⁽⁺⁾), di quella diretta verso Nord–Ovest (Q⁽⁻⁾) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

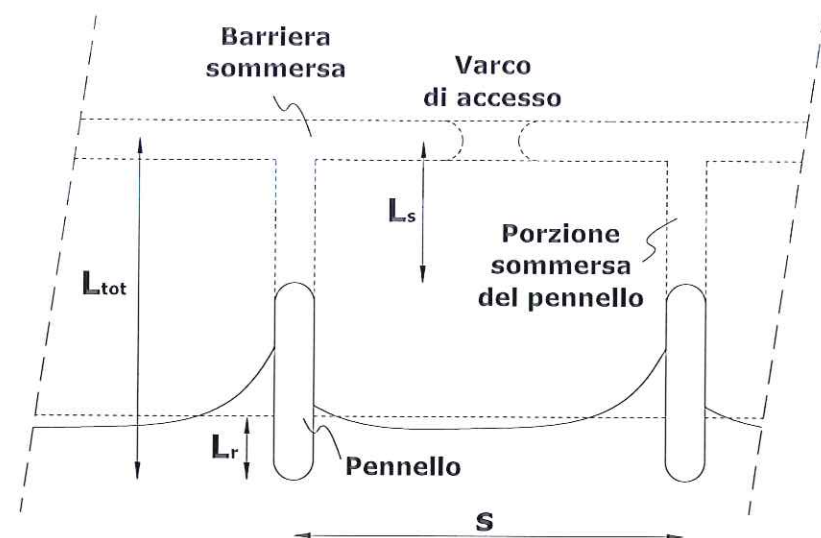


Figura 27: Schema della configurazione “a celle”. Le porzioni tratteggiate sono da intendersi sommerse.
 Le linee tratteggiate orizzontali rappresentano la linea di riva ad intervento ultimato.

Le simulazioni effettuate nell'ambito di questa ipotesi di intervento sono state condotte in assenza di apporto artificiale di sabbia (ipotesi 2-1) e con ripascimento (ipotesi 2-2). Nelle simulazioni che prevedono il versamento di sabbia nelle “celle” si è considerato un volume di ripascimento inferiore a quello simulato nell'ambito della precedente ipotesi (1), pari a circa 150 m³/m.

Con riferimento all'ipotesi (2-1), le figure 28 e 29 mostrano i risultati ottenuti in termini di posizione della linea di riva (Y), di rateo annuo della variazione di posizione della linea di riva (ΔY) e di componente longitudinale del trasporto solido ($Q^{(+)}$, diretta verso Sud-Est, $Q^{(-)}$, diretta verso Nord-Ovest e $Q_{netta} = Q^{(+)} - |Q^{(-)}|$). Si osserva che, rispetto ai risultati ottenuti per l'opzione zero, il tratto oggetto di intervento risulta stabile, con l'erosione che si trasferisce verso Sud. In particolare si osserva che esiste, nella zona sottoflutto dell'ultima “cella”, un tratto di erosione. Come di solito avviene con questa tipologia di interventi, l'erosione migra verso il tratto del litorale posto sottoflutto rispetto alla direzione dominante del trasporto solido longitudinale. La zona in erosione, nel caso dell'opzione zero confinata nell'area limitrofa alla foce del Torrente Vibrata ($x < 2000$ m) è in questo caso stabilizzata, ma si osserva un arretramento di circa 4 m/anno sottoflutto rispetto all'ultima cella prevista. L'area interessata si estende sino a circa 800 m verso Sud. A Sud di tale zona, e fino a circa 4.000 m dall'ultima cella meridionale prevista, il litorale risulta stabile, laddove i risultati relativi all'opzione zero mostrava una lieve tendenza all'avanzamento. Il resto del litorale non è influenzato dalla presenza delle opere simulate. In sostanza l'ipotesi simulata limita notevolmente l'erosione nell'area critica

individuata nell'ambito dello studio morfologico, ma sposta la criticità sottoflutto, peggiorando la situazione rispetto all'ipotesi (1) sino a raggiungere la progressiva pari a circa 5.500 m, localizzata approssimativamente in posizione centrale del litorale del Comune di Tortoreto.

Lo stesso risultato si ottiene anche nel caso in cui venga effettuato il versamento di sabbia all'interno delle singole "celle" (ipotesi 2-2, figure 30 e 31). L'erosione viene trasferita a Sud dell'intervento con una tendenza all'avanzamento più marcata nella zona di intervento a causa dell'apporto artificiale di materiale sedimentario. In sostanza l'apporto di nuovo materiale sedimentario influenza in maniera significativa soltanto la morfologia in corrispondenza delle celle, ma non induce influenza sulle caratteristiche erosive trasferite sottoflutto.

6.5 Ipotesi (3): Intervento di tipo rigido "a celle" diffuso a tutto il litorale

L'ultima ipotesi di intervento ha previsto l'estensione dell'intervento "a celle", simulato nell'ambito delle ipotesi (2), all'intero litorale in studio.

Analogamente alla precedente ipotesi (2), la lunghezza totale dei pennelli è posta pari a circa 100 m), la lunghezza di radicamento a circa 20 m, la lunghezza del tratto sommerso a 30 m. Inoltre la della quota di imbasamento della barriera sommersa considerata è pari a -3,5 m s.l.m. L'interasse tra i pennelli è pari a 250 m. Inoltre è stata effettuata la simulazione in assenza di apporto sedimentario (ipotesi 3-1) e con ripascimento di sabbia (circa 150 m³/m, ipotesi 3-2).

Con riferimento all'ipotesi 3-1, le figure 32 e 33 mostrano i risultati ottenuti in termini di posizione della linea di riva (Y), di rateo annuo della variazione di posizione della linea di riva (ΔY) e di componente longitudinale del trasporto solido ($Q^{(+)}$, diretta verso Sud-Est, $Q^{(-)}$, diretta verso Nord-Ovest e $Q_{netta} = Q^{(+)} - |Q^{(-)}|$). In questo caso, non si osserva la migrazione dell'erosione sottoflutto, poichè l'intervento riguarda l'intero litorale. L'intero litorale può essere definito stabile poichè non esistono tratti in evidente erosione. In sostanza l'ipotesi prevista stabilizza il tratto critico in corrispondenza della foce del Torrente Vibrata senza esportare alcun fenomeno di erosione in aree già stabili in assenza di interventi. Lo stesso risultato qualitativo si ottiene anche con lo sversamento di sedimento all'interno delle singole "celle" (ipotesi 3-2, figure 34 e 35). In questo caso il materiale sedimentario apportato al litorale rimane confinate nelle celle di ripascimento portando a un diffuso avanzamento della linea di riva, in particolare in corrispondenza di Alba Adriatica e Tortoreto.

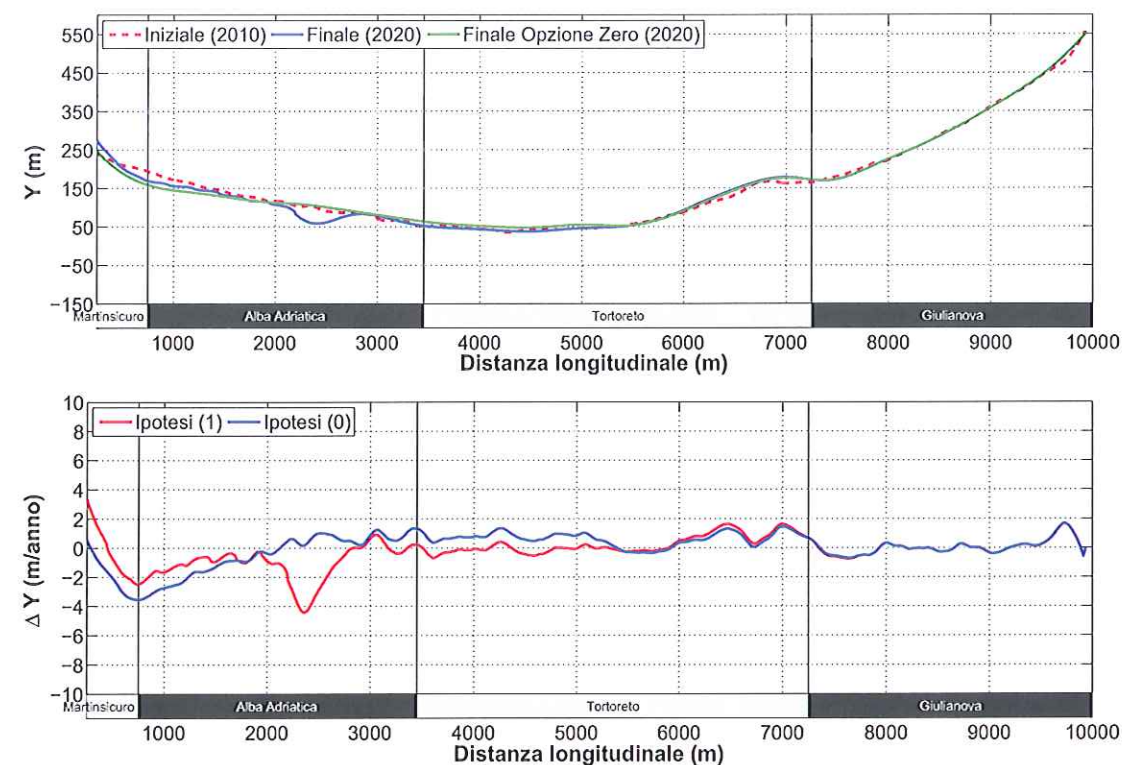


Figura 28: Ipotesi (2-1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.

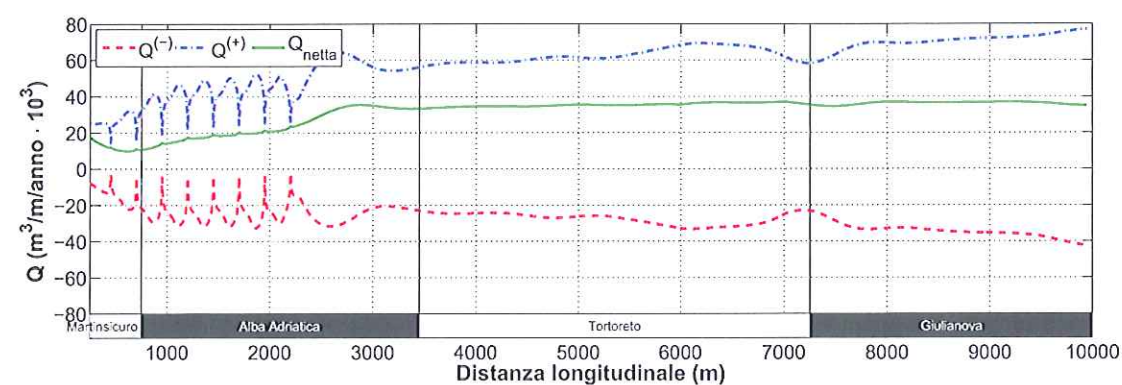


Figura 29: Ipotesi (2-1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord–Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

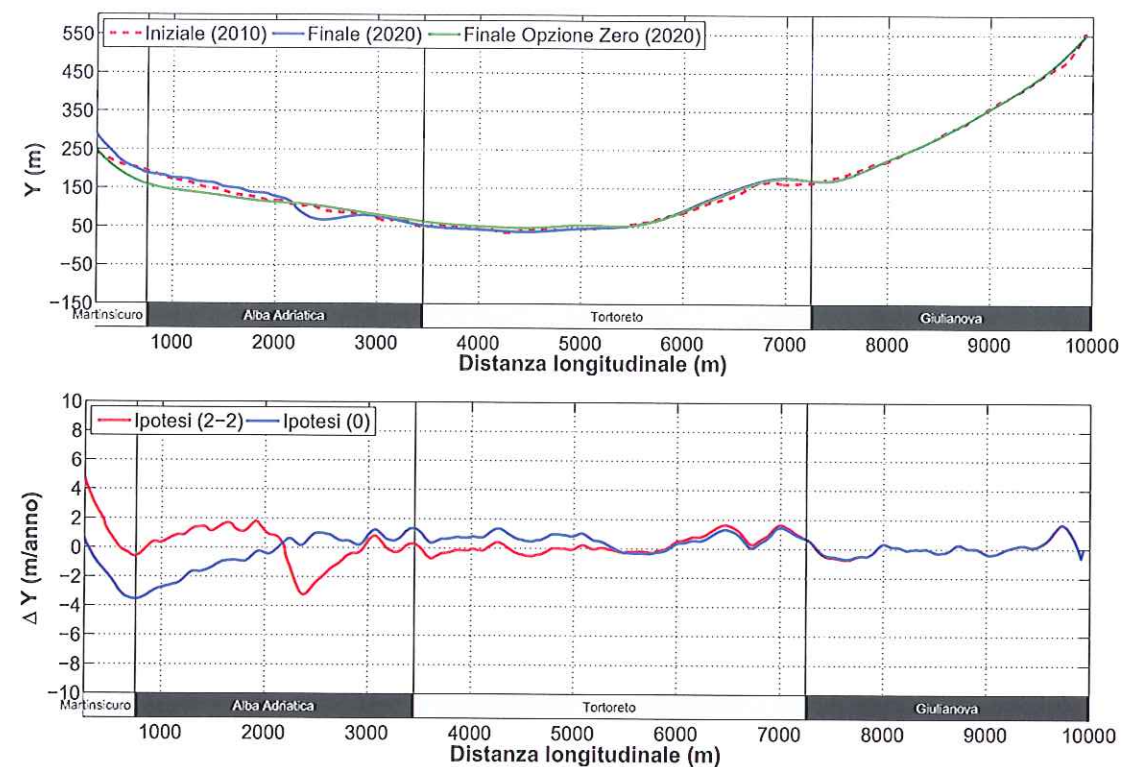


Figura 30: Ipotesi (2-2): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.

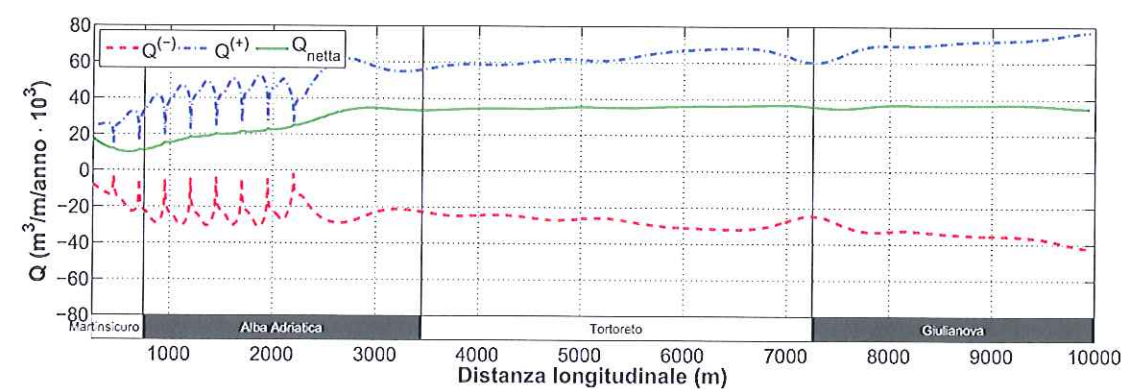


Figura 31: Ipotesi (2-2): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud–Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord–Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

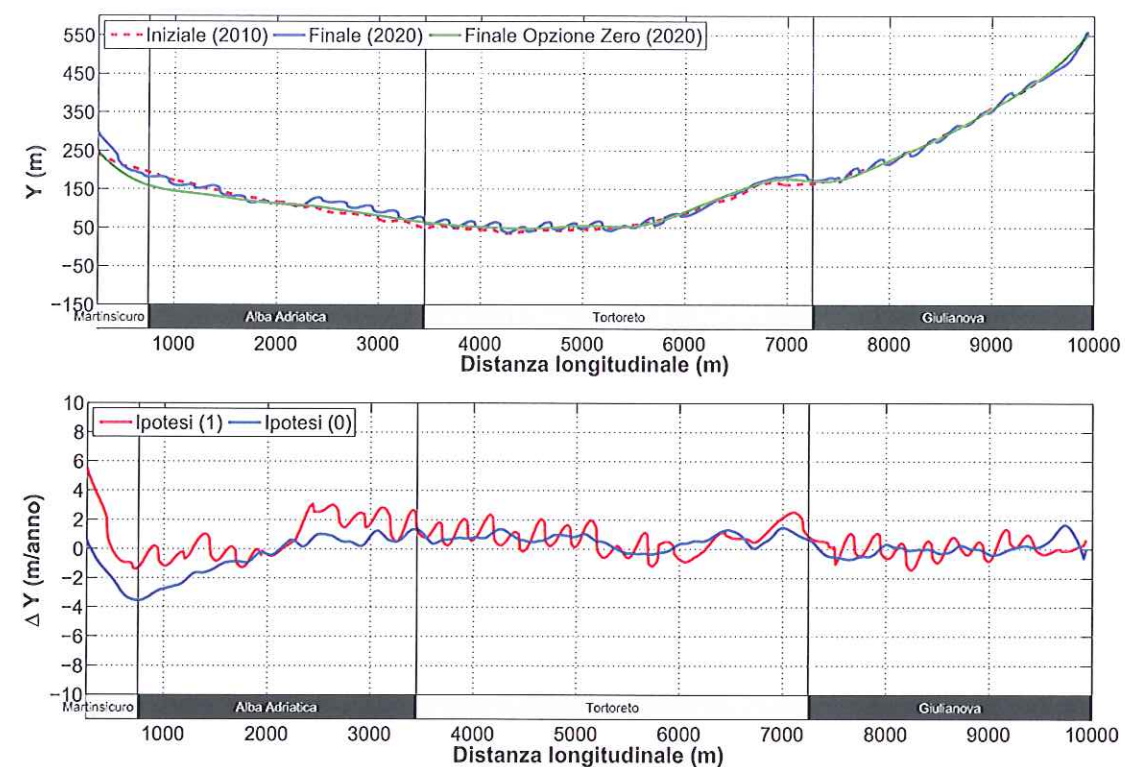


Figura 32: Ipotesi (3-1): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.

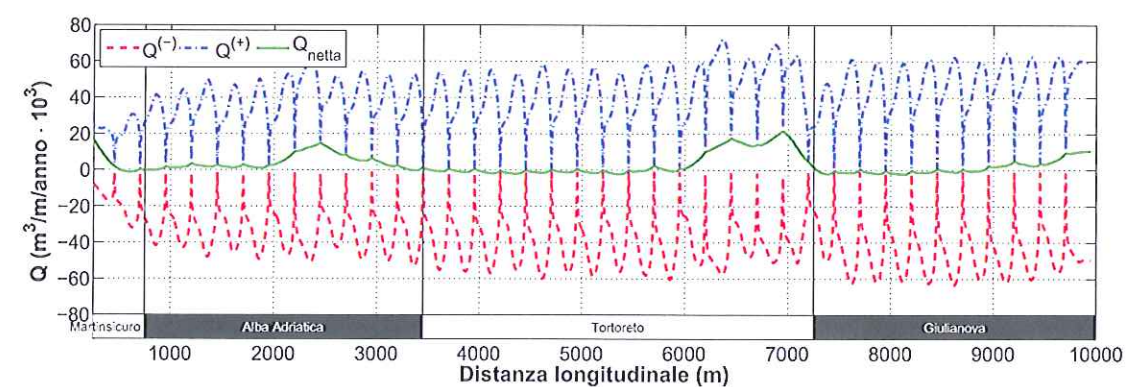


Figura 33: Ipotesi (3-1): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

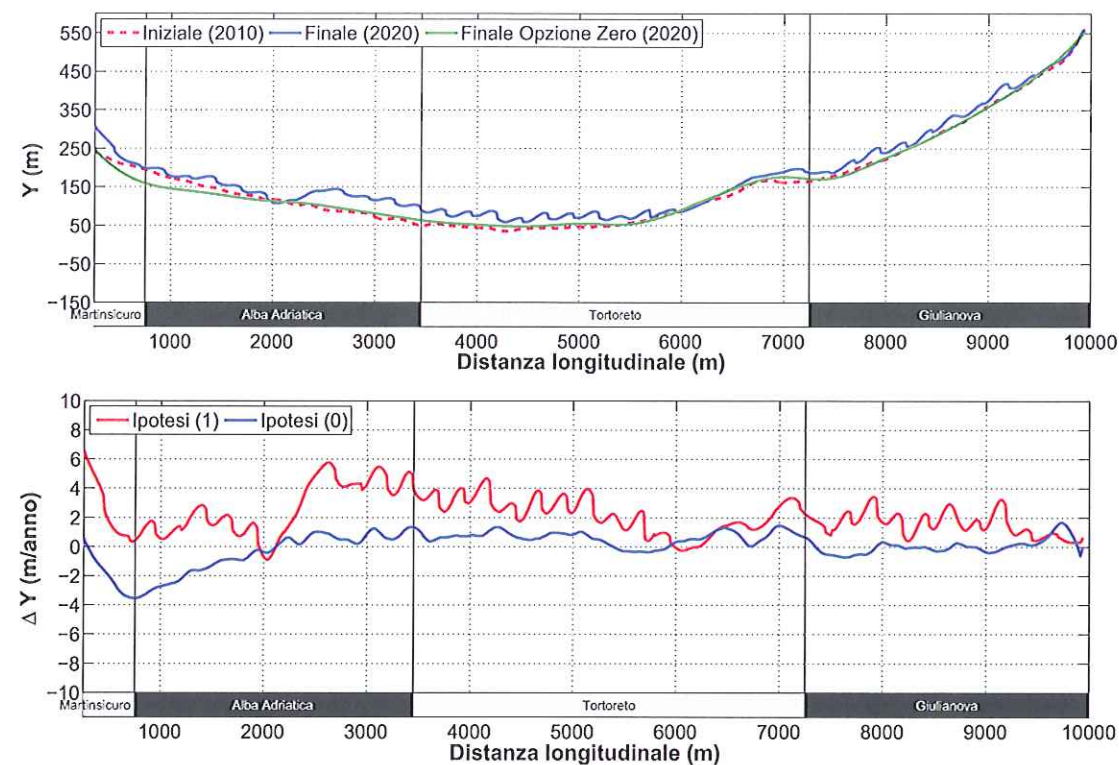


Figura 34: Ipotesi (3-2): risultati della simulazione numerica in termini di posizione della linea di riva (Y , grafico in alto) e di variazione annua della posizione della linea di riva (ΔY , grafico in basso). Intervallo di simulazione 2010–2020.

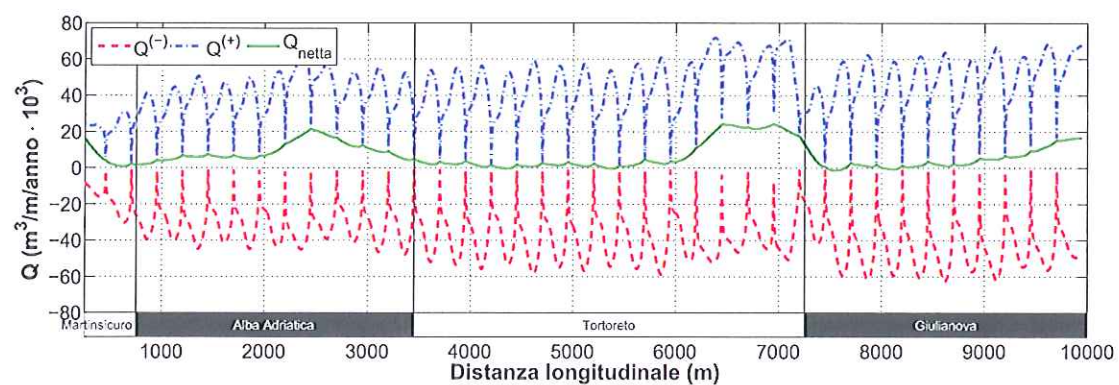


Figura 35: Ipotesi (3-2): risultati della simulazione numerica in termini di componente longitudinale diretta verso Sud-Est del trasporto solido ($Q^{(+)}$), di quella diretta verso Nord-Ovest ($Q^{(-)}$) e del valore netto (Q_{netta}). Intervallo di simulazione 2010–2020.

7 Sintesi dei risultati

7.1 Premesse

Si riassumono di seguito i risultati ottenuti per le varie ipotesi di intervento.

Si evidenzia che i valori calcolati per gli arretramenti della linea di riva devono intendersi come valori medi annuali causati solo dalla componente longitudinale del trasporto solido. Pertanto in occasione di eventi estremi di moto ondoso (mareggiate) tali arretramenti possono temporaneamente risultare superiori rispetto a quelli indicati. La stessa osservazione vale localmente anche per i tratti di litorale che risultano in avanzamento.

7.1.1 Ipotesi (0): opzione zero, assenza di interventi

Qualora non venissero eseguiti interventi lungo il litorale, le simulazioni numeriche eseguite confermano per i prossimi dieci anni la tendenza all'erosione del tratto di litorale posto a Nord della zona in esame. Come meglio specificato nel seguito, si ritiene che tale tendenza sia destinata a mantenersi in futuro, ovvero anche dopo il 2020, data utilizzata come termine per le simulazioni numeriche.

Con riferimento alla figura 36, il tratto in erosione presenta una lunghezza complessiva di circa 2.000 m e riguarda la costa Sud del Comune di Martinsicuro (per circa 700 m a Nord della foce del fiume Vibrata) ed il tratto Nord del comune di Alba Adriatica (per circa 1.300 m a Sud dalla foce del fiume Vibrata). I valori maggiori del rateo di erosione medio annuo, localizzati subito a Sud della foce del fiume Vibrata, risultano di circa 4,0 m/anno e pertanto l'arretramento medio complessivo da attendersi nei prossimi dieci anni è di circa 40,0 m.

Il punto di inversione della tendenza evolutiva, ovvero il passaggio da condizioni di erosione a condizioni di stabilità o di avanzamento medio della linea di riva, è localizzato a circa 1.300 m a Sud della foce del fiume Vibrata. A Sud del punto di inversione il litorale risulta sostanzialmente

Ipotesi (0): assenza di interventi

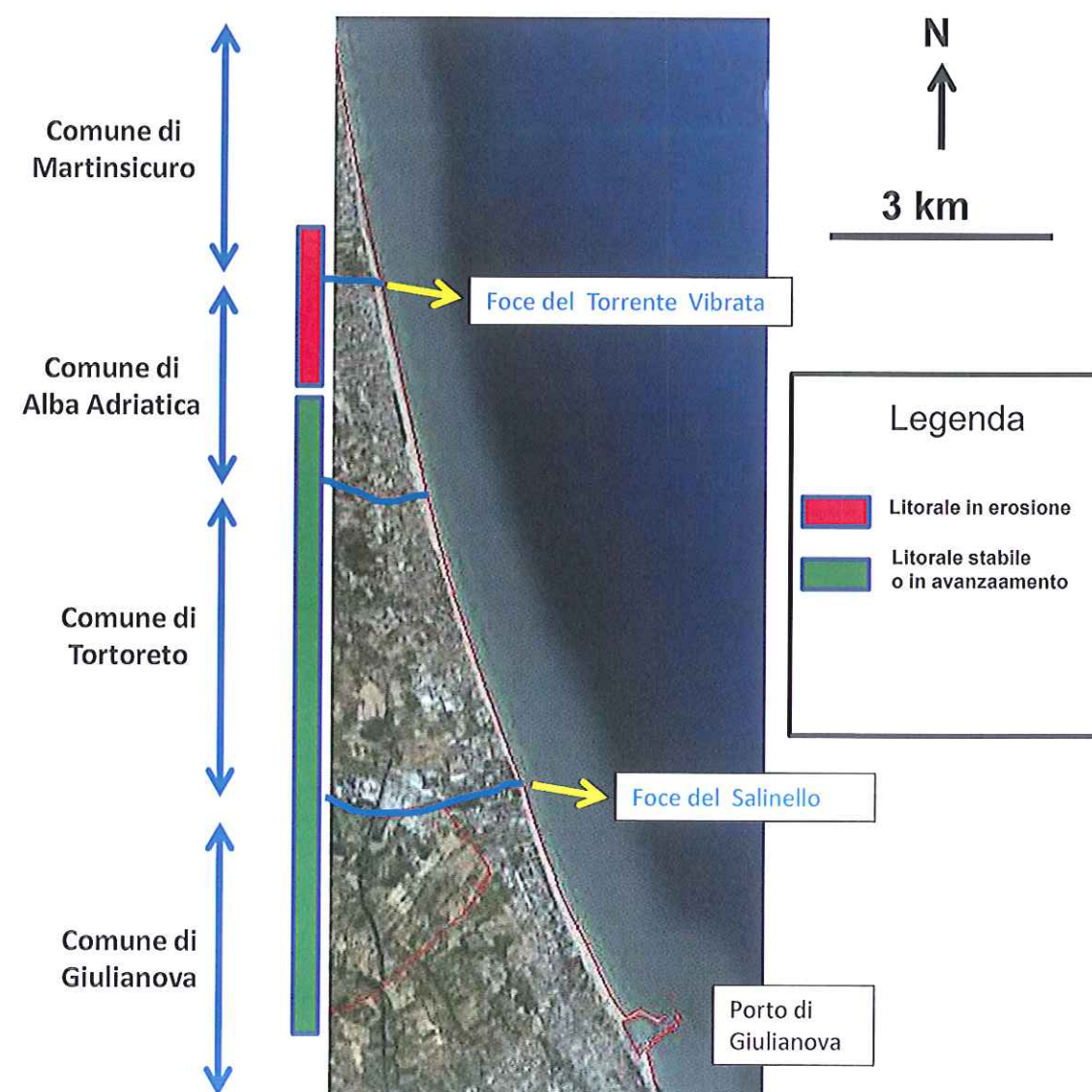


Figura 36: Risultati della simulazione in assenza di interventi (Ipotesi 0).

stabile, presentando ratei di avanzamento della linea di riva mediamente inferiori a circa 2,0 m/anno.

Le infrastrutture turistico-balneari maggiormente esposte ai fenomeni erosivi sono quelle che attualmente occupano una posizione particolarmente avanzata verso il mare.

Complessivamente le simulazioni numeriche hanno confermato quanto era stato previsto sulla base dell'evoluzione morfologica osservata nel secolo scorso; ovvero la forte riduzione degli apporti solidi del fiume Tronto si è ormai stabilizzata e nulla lascia pensare che in futuro il trasporto solido fluviale possa quantitativamente ritornare ad assumere i valori che nel passato hanno causato l'evidente estroflessione verso il mare della foce del Tronto e l'avanzamento delle spiagge oggetto della costa esaminata.

La riduzione del trasporto solido fluviale sta producendo lo smantellamento del litorale posto a Nord della falcata non difeso da opere di tipo rigido, il quale nel passato era direttamente alimentato dal trasporto solido del Tronto. Il materiale che viene attualmente eroso dal litorale settentrinale si sposta mediamente verso Sud e determina la stabilità o il contenuto avanzamento del litorale che si osserva nel tratto meridionale del Comune di Alba Adriatica, nel comune di Tortoreto e in quello di Giulianova posto a Nord del porto.

Tutto il litorale esaminato è “sostenuto” dalle opere foranee (diga Nord) del porto di Giulianova. Il porto, che si comporta dal punto di vista morfologico come un “pennello”, blocca sul suo lato sopraflutto, quello Nord, gran parte del trasporto solido che è diretto verso Sud. Poiché le testate delle opere foranee del Porto di Giulianova attualmente raggiungono profondità naturali inferiori rispetto alla profondità di chiusura della fascia attiva (la batimetrica naturale intercettata dalle testate delle opere foranee è la -5,0 m sul l.m.m mentre la profondità di chiusura della fascia attiva è localizzata in corrispondenza della batimetrica -7,0 m sul l.m.m.), una quota parte del trasporto solido longitudinale che raggiunge la diga Nord del Porto di Giulianova riesce a sorpassare lo stesso porto (circa 10÷15.000 m³ /anno rispetto ai 40.000÷45.000 m³/anno in arrivo). Si evidenzia che in assenza del Porto di Giulianova, gran parte del litorale esaminato sarebbe stato già da tempo oggetto di rilevanti fenomeni erosivi del tutto analoghi a quanto verificatosi negli ultimi decenni per i litorali di Roseto degli Abruzzi, Pineto e Silvi.

Per quanto riguarda la sabbia movimentata dai fenomeni di trasporto solido litoraneo e che riesce ad aggirare il Porto di Gulianova (circa 10÷15.000 m³/anno), si precisa che non tutto il materiale riesce a raggiungere e quindi ad alimentare il litorale posto a Sud dello stesso porto. Sulla base di uno studio eseguito dal Prof. Ing. Paolo De Girolamo agli inizi degli anni 2000 nell'ambito della redazione del progetto preliminare del Porto di Giulianova, si era messo in evidenza che l'attuale configurazione planimetrica delle opere foranee del porto non facilita il “by-pass” naturale dei sedimenti a valle (sottoflutto) dello stesso Porto. Ciò è evidenziato dal-

l'andamento delle isobate che mostrano la presenza di un "canyon" sottomarino provocato dalla corrente di "rip", indotta dalla conformazione delle opere foranee del porto, che tende a deflettere verso il largo il trasporto solido longitudinale (si veda figura 37). Tale problema, di interesse per il litorale posto a Sud del porto, potrebbe essere risolto modificando opportunamente la conformazione delle opere foranee perseguendo così il triplice obiettivo:

- di accompagnare il materiale solido proveniente da Nord, verso Sud, contenendone al contempo le perdite verso il largo;
- di ridurre la sedimentazione della sabbia nell'imboccatura portuale;
- di migliorare l'accessibilità nautica dello stesso porto.

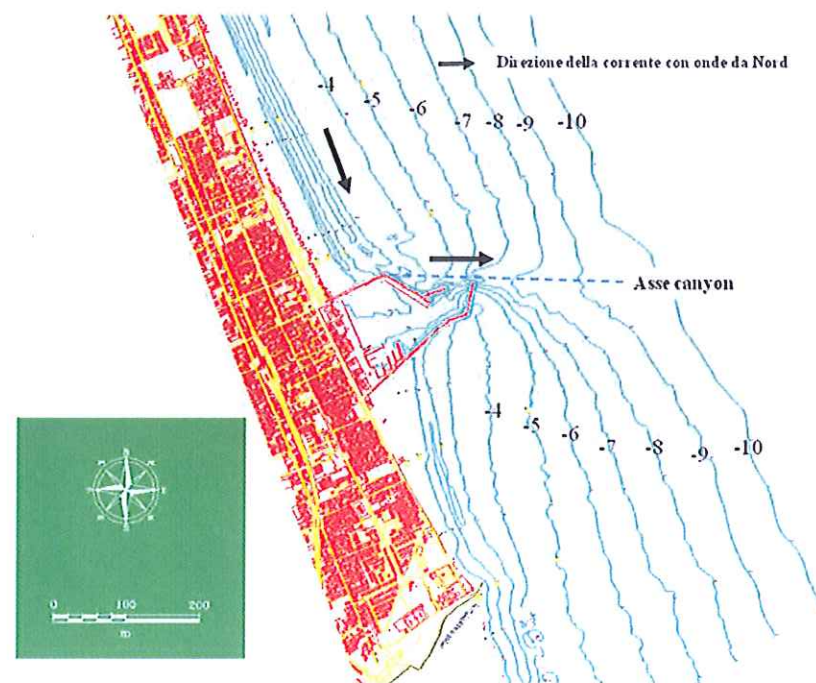


Figura 37: Andamento dei fondali in prossimità del Porto di Giulianova che evidenziano la presenza di un "canyon" sottomarino causato dalla corrente di rip indotta dalla conformazione delle opere foranee del Porto.

7.1.2 Ipotesi (1): intervento morbido di solo ripascimento

Con riferimento alla figura 38, con questa ipotesi si è presa in esame la possibilità di intervenire nei prossimi dieci anni esclusivamente mediante la tecnica del "ripascimento artificiale", ovvero versando sul litorale soggetto ad erosione sabbia di caratteristiche adeguate. La funzione del ripascimento è quella di fornire artificialmente al litorale il materiale solido che non proviene più

Ipotesi (1): intervento “morbido” di solo ripascimento

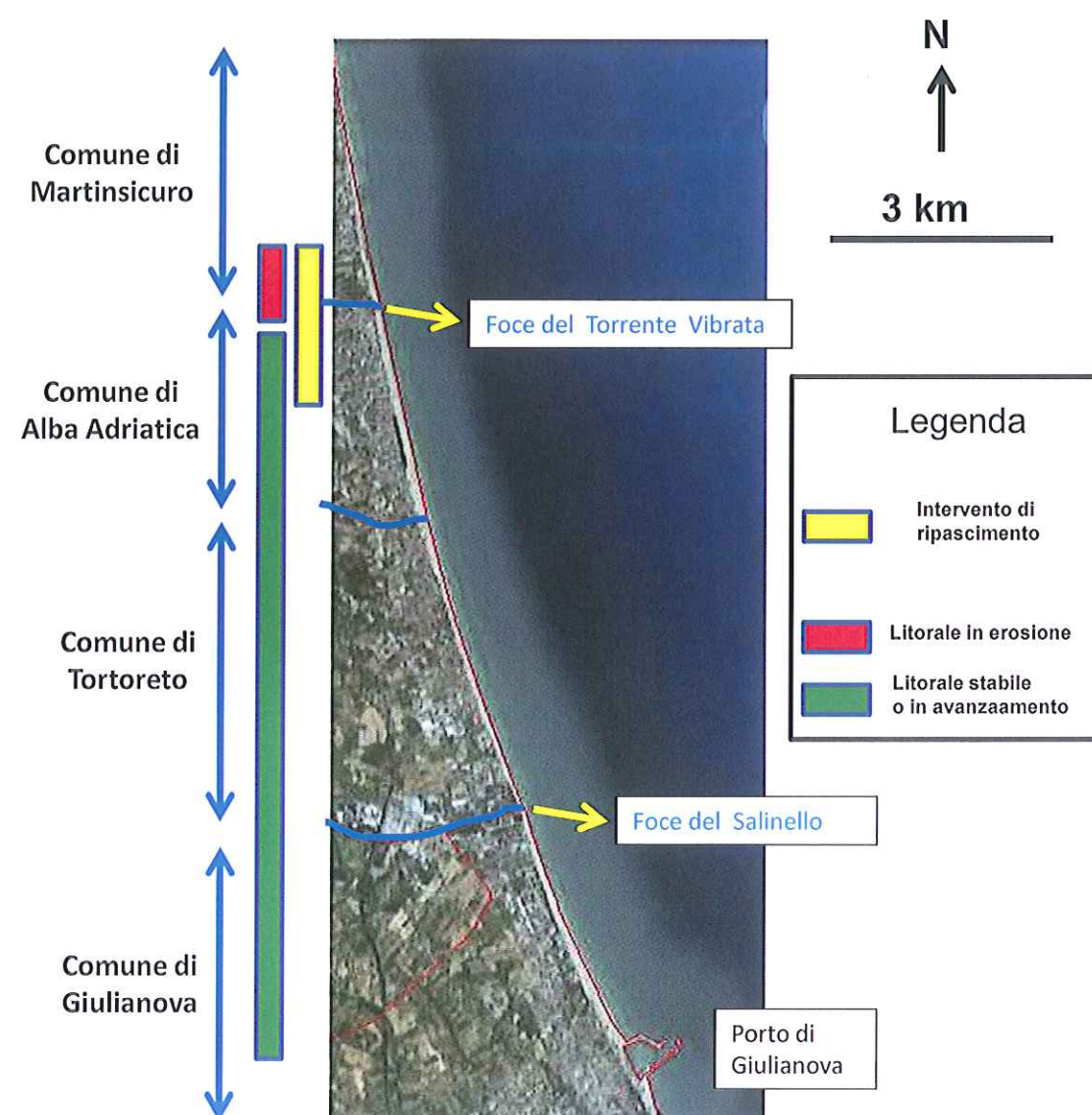


Figura 38: Risultati della simulazione con intervento morbido di solo ripascimento limitato alla zona attualmente critica (Ipotesi 1).

dal trasporto solido del fiume Tronto. Ovviamente questo materiale, non trattenuto da opere di tipo rigido, è destinato in parte a spostarsi verso Sud ed in parte a perdersi verso il largo ad opera delle correnti di “rip”. Di conseguenza utilizzando questo approccio sarà necessario intervenire periodicamente con nuovi versamenti di sabbia.

Al fine di contenere l’erosione relativa ad un arco di tempo di 10 anni è necessario assicurare un quantitativo minimo di sabbia da versare sul litorale pari a circa 500.000 m³ ogni dieci anni, che per unità di lunghezza di spiaggia corrisponde mediamente al versamento di circa 250 m³/m ogni dieci anni. Tenendo conto delle difficoltà tecniche ed amministrative che si incontrano per gestire interventi di questo tipo (ci si riferisce in particolare alla necessità di individuare ed utilizzare cave sottomarine in quanto le cave terrestri non sono in grado di fornire quantitativi di sabbia di questo ordine di grandezza ed ai tempi necessari per l’acquisizione delle risorse economiche, per l’espletamento della progettazione, dell’appalto e dell’ esecuzione dei lavori, ecc.) si è ipotizzato di versare tale quantitativo di sabbia con un solo intervento al fine di garantire una relativa stabilità dinamica all’intero litorale per un intervallo di tempo di circa 10 anni. Ovviamente questo tipo di approccio, non limitando le cause dell’erosione costiera mediante opere di tipo “rigido”, implica necessariamente che con una cadenza temporale simile (circa ogni dieci anni) si esegua un nuovo intervento di ripascimento.

In questo caso gli oneri di manutenzione, ovvero i quantitativi di sabbia da riportare sul litorale periodicamente, risultano dello stesso ordine di grandezza della sabbia versata per il primo intervento.

I risultati ottenuti mostrano che comunque a cavallo della foce del Torrente Vibrata permane un tratto in lieve erosione. Il rateo medio annuo di erosione si riduce rispetto all’ Ipotesi (0) a circa 1 m/anno. Il punto di inversione del tratto di erosione si posiziona a circa 400 m a Sud della foce del fiume Vibrata.

7.1.3 Ipotesi (2): intervento di tipo rigido “a celle” limitato alla zona attualmente critica

L’intervento ipotizzato, del tipo “a celle”, è costituito da pennelli parzialmente sommersi che si intestano su una barriera sommersa disposta parallelamente alla linea di riva. Questo tipo di intervento è già stato realizzato nella sua forma completa con successo in Abruzzo ad esempio lungo il litorale di Villa Rosa, a Martinsicuro, e lungo il litorale Sud di Pescara. La funzione dei pennelli è quella di bloccare la corrente longitudinale intercettando quindi parte del trasporto solido longitudinale, mentre quella della barriera parallela sommersa è di favorire il frangimento del moto ondoso, ovvero di dissipare l’energia delle onde prima che esse raggiungano la spiaggia emersa. In sostanza la barriera parallela si deve comportare in modo simile ad un “reef” corallino,

Ipotesi (2): intervento di tipo “rigido” a celle (con e
 senza ripascimento nelle celle) limitato
 alla zona attualmente critica

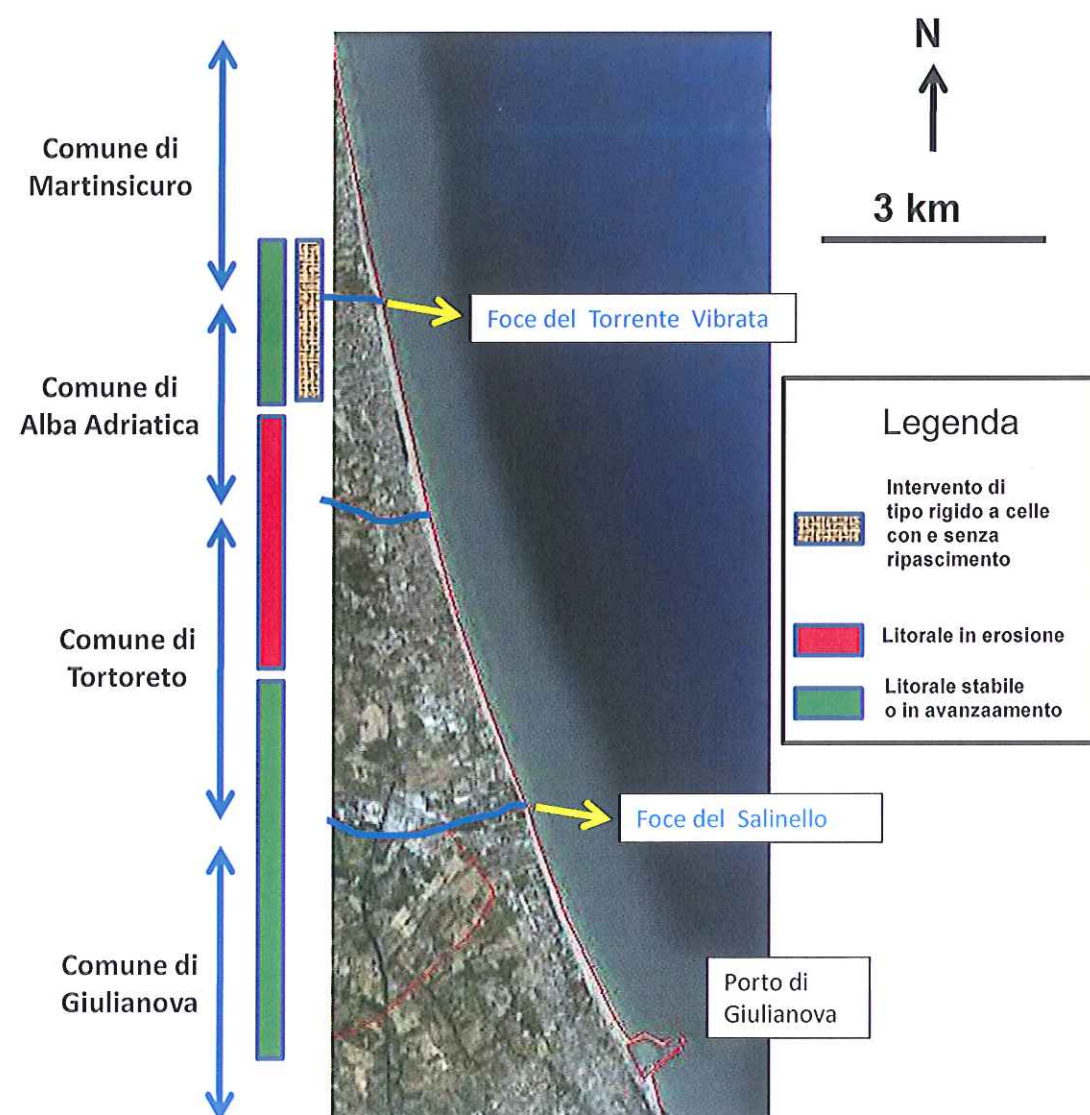


Figura 39: Risultati della simulazione con intervento di tipo rigido a celle (con e senza ripascimento nelle celle) limitato alla zona attualmente critica (Ipotesi 2).

il quale crea uno specchio d'acqua parzialmente protetto dal moto ondoso nella zona ridossata. Allo stesso tempo la barriera parallela contiene i fenomeni di trasporto e dispersione dei sedimenti verso il largo.

In questa ipotesi di intervento la realizzazione della tipologia “a celle” è stata limitata al tratto di litorale che si trova in condizioni critiche, ovvero per circa 2 km a cavallo della foce del Torrente Vibrata (a partire da circa 700 m a Nord della foce del fiume fino a circa 1.300 m a Sud di essa).

L'analisi è stata condotta ipotizzando sia il solo intervento con opere di tipo rigido a celle (Ipotesi 2-1), sia accoppiando tale intervento con un ripascimento artificiale (Ipotesi 2-2). La funzione del ripascimento è quella di garantire nella zona protetta un' adeguata larghezza della spiaggia per fini turistico-balnerari. Il ripascimento è stato previsto esclusivamente all'interno delle celle. Il quantitativo di sabbia oggetto del ripascimento è risultato inferiore rispetto a quello previsto nell'Ipotesi (1), pari a circa 300.000 m³ di sabbia (circa 150 m³/m).

Con riferimento alla figura 39, i risultati ottenuti nel caso in cui l'intervento non sia accoppiato al ripascimento, mostrano che per il tratto difeso la posizione della linea di riva a fine simulazione risulta stabile e quindi è mediamente in avanzamento rispetto a quella relativa alla simulazione con l'Ipotesi (0). Come era lecito aspettarsi l'erosione viene “esportata” verso Sud fino a raggiungere circa la progressiva 5.500 m che si colloca nella zona centrale del litorale di Tortoreto.

Nel caso in cui l'intervento con celle venga accoppiato al ripascimento, i risultati ottenuti in termine di esportazione dell'erosione verso Sud non cambiano sostanzialmente, in quanto le celle risultano molto efficaci nel trattenere la sabbia. Il beneficio del ripascimento risulta quindi limitato alla zona protetta dalle celle. A fine simulazione, ovvero dopo dieci anni, le perdite di sabbia dalle celle risultano trascurabili e comunque stimabili in poche unità percentuali.

7.1.4 Ipotesi (3): intervento di tipo rigido “a celle” esteso a tutto il litorale

Con riferimento alla figura 40, in questo caso l'intervento a celle è stato esteso a tutto il litorale (circa 10 km). Come nel caso precedente si è esaminata la possibilità di intervenire con opere rigide (celle) sia escludendo il ripascimento (Ipotesi 3-1), sia prevedendo il ripascimento all'interno delle celle (Ipotesi 3-2). Il volume di ripascimento a metro di spiaggia è stato posto come per l'ipotesi (2) pari a circa 150 m³/m dando luogo ad un volume complessivo di sabbia pari a circa 1.400.000 m³.

I risultati ottenuti in assenza del ripascimento mostrano che alla fine della simulazione (2020) tutto il litorale risulta stabile. Nel caso in cui venga eseguito anche il ripascimento, mediamente si determina a fine simulazione una posizione della linea di riva che permane in avanzamento

rispetto a quella che si avrebbe in assenza di ripascimento confermando anche in questo caso che le perdite di sabbia dalle celle dopo dieci anni sono trascurabili e comunque stimabili nell'ordine di poche unità per cento. Di conseguenza questa tipologia di intervento richiede degli oneri di manutenzione, rispetto alle perdite di sabbia, estremamente contenuti, che per i fini del presente lavoro possono essere trascurati. Si evidenzia che il vantaggio che si ottiene effettuando all'interno delle celle il versamento di sabbia è quello di aumentare l'estensione trasversale della spiaggia con indubbi benefici per la fruizione balneare del litorale.

Ipotesi (3): intervento di tipo “rigido” a celle (con e senza ripascimento nelle celle) diffuso a tutto il litorale

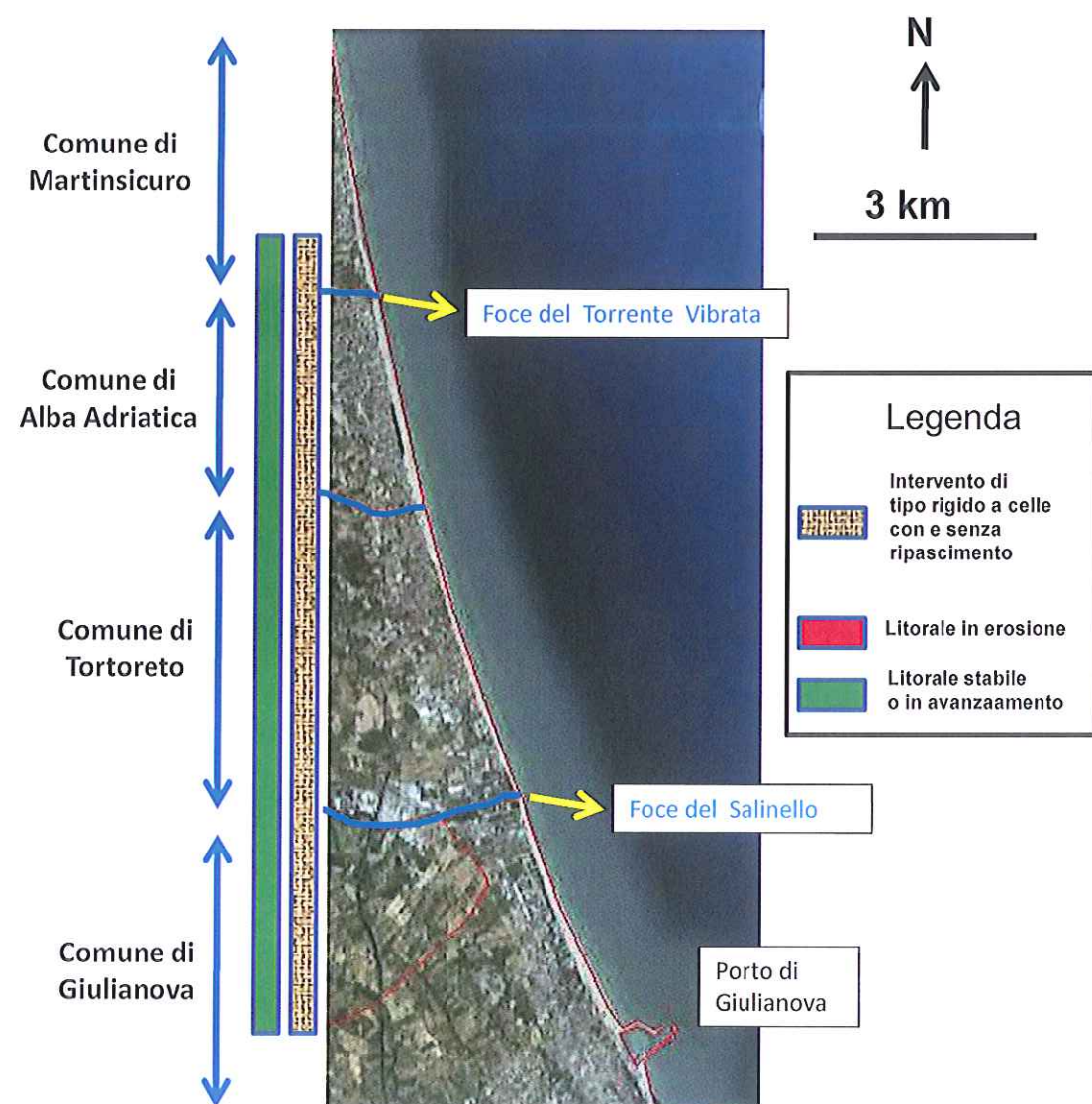


Figura 40: Risultati della simulazione con intervento di tipo rigido a celle (con e senza ripascimento nelle celle) diffuso a tutto il litorale (Ipotesi 3).

8 Stima dei costi e analisi comparative delle ipotesi di intervento

8.1 Stima approssimativa dei costi di intervento

La stima dei costi di seguito riportata è stata eseguita utilizzando quelli relativi a sistemi di difesa simili, realizzati recentemente in Abruzzo. Gli importi unitari sono stati forniti dalla Regione Abruzzo.

In relazione all'esperienza acquisita è possibile definire approssimativamente in circa 16 €/m³ il prezzo unitario della sabbia di ripascimento provenienti da cave sottomarine. Nel capitolo precedente si è ipotizzato un intervento di solo ripascimento con un volume di sedimento pari a circa 500.000 m³ (ipotesi 1). In tal caso l'intervento, esteso su circa 2.000 m di litorale, ha un importo lavori complessivo di circa 8.000.000 €, corrispondente a circa 4.000.000 €/km. E' tuttavia da sottolineare che tale intervento necessita di manutenzione con nuovi versamenti da effettuarsi nel futuro, verosimilmente oltre la finestra temporale considerata pari a 10 anni. Nel caso degli interventi che prevedono il versamento di sabbia nelle "celle" costituite da pennelli e barriera sommersa, si è previsto un volume di ripascimento unitario pari a circa 150 m³/m. In tal caso l'importo lavori per ogni chilometro di intervento è di circa 2.400.000 €/km. Nel caso dell'ipotesi (2-2), limitato al solo tratto settentrionale del litorale, l'importo lavori del solo ripascimento ammonta a 4.800.000 €, mentre nel caso dell'estensione dell'intervento su tutto il litorale, di circa 9,5 km, l'importo lavori del solo ripascimento sale a circa 22.800.000 €. Per quanto riguarda l'importo lavori della singola opera trasversale (pennello) esso può essere quantificato in circa 200.000 €. Per contro la barriera sommersa ha un importo lavori unitario pari a circa 2.800 €/m, fornito approssimativamente dal costo unitario degli elementi naturali (circa 25 €/t) e dalla richiesta di materiale necessario (circa 110÷120 t/m), funzione della quota di imbasamento e della sommergezza di cresta. L'importo lavori unitario della barriera sommersa che ne risulta è pari a circa 2.800.000 €/km. Nel caso delle ipotesi (2-1) e (2-2) sono previsti 9 pennelli da realizzare su circa 2.000 m di litorale, pari all'estensione della barriera

Ipotesi di intervento	Estensione (€/1000)/km	Importi Lavori		Costi Complessivi	
		Imp. lavori a km (km)	Imp. lavori (€/1000)	Costo complessivo dell'intervento (€/1000)	Costo dell'intervento a km (€/1000)/km
0	0	0	0.00	0.00	0.00
1	2	4000	8000.00	11200.00	5600.00
2-1	2	3700	7400.00	10360.00	5180.00
2-2	2	6100	12200.00	17080.00	8540.00
3-1	9.5	3700	35150.00	49210.00	5180.00
3-2	9.5	6100	57950.00	81130.00	8540.00

Tabella 11: Sintesi degli importi lavori e dei costi delle varie ipotesi di intervento simulate.

sommersa. In tal caso l'importo lavori delle sole opere rigide raggiunge i 7.400.000 €, pari a un valore unitario di 3.700.000 €/km. Tale importo, per il solo intervento (2-2) va incrementato del costo del ripascimento (4.800.000 €), che, pertanto, raggiunge il valore di circa 12.200.000 € a cui corrisponde un valore unitario pari a 6.100.000 €/km. Infine, per le ipotesi (3-1) e (3-2), sono stati previsti 39 pennelli per un'estensione di circa 9,5 km. L'importo lavori delle sole opere raggiunge 34.400.000 € a cui va aggiunto, nel caso dell'ipotesi con ripascimento, l'importo lavori relativo al sedimento a concorrere al valore totale di 57.200.000 €. Pertanto il valore unitario dell'importo lavori dell'ipotesi (3-1) è pari a circa 3.700.000 €/km, quello dell'ipotesi (3-2) a circa 6.100.000 €/km, ovviamente coincidente con quello relativo alle ipotesi (2-1) e (2-2).

Agli importi lavori descritti occorre aggiungere circa il 40% per ottenere il costo complessivo di ogni intervento. Essi includono tutte le spese tecniche necessarie previste dalla normativa vigente e la quota IVA.

La tabella 11 sintetizza gli importi lavori e i costi complessivi stimati per ognuna delle ipotesi considerate.

8.2 Analisi comparativa tra le ipotesi di intervento

La presente analisi comparativa è stata divisa in due fasi.

Nella prima si è verificato, alla luce dei risultati ottenuti con le simulazioni numeriche, la fattibilità tecnica delle ipotesi di intervento esaminate, al fine di evidenziare se alcune di esse presentino delle contro indicazioni tecniche che le possano rendere di fatto non attuabili a prescindere dal loro costo.

Nella seconda fase sono state poste a confronto comparativo le ipotesi di intervento ritenute fattibili dal punto di vista tecnico.

8.2.1 Fattibilità tecnica delle ipotesi di intervento

Ipotesi (0): opzione zero, assenza di interventi

I risultati ottenuti mostrano che l'ipotesi (0) non è sicuramente perseguibile, in quanto i fenomeni erosivi lungo il litorale del Comune di Alba Adriatica nei prossimi dieci anni andranno aumentando mettendo a grave rischio le attività turistico-balneari esistenti.

Ipotesi (1): intervento morbido di solo ripascimento

Rispetto a questa ipotesi di intervento occorre esaminare la possibilità tecnica di reperire il materiale (sabbia) da utilizzare per il ripascimento artificiale. L'ordine di grandezza del quantitativo di sabbia necessario nel caso in esame è di circa 500.000 m³ ogni dieci anni. Tuttavia poiché anche altri litorali regionali presentano la necessità di ricorrere alla tecnica del ripascimento artificiale e poiché la "risorsa sabbia" non è infinita, risulta necessario che questo aspetto venga esaminato nel contesto del fabbisogno complessivo a scala regionale.

L'analisi della fattibilità tecnica di questo tipo di approccio (impiego del ripascimento artificiale sia di tipo libero che protetto) venne eseguita dalla Regione Abruzzo all'inizio degli anni 2000. Oggi, dopo circa dieci anni e sulla base dell'esperienza acquisita dalla realizzazione di due rilevanti stralci funzionali di interventi di difesa costiera eseguiti dalla Regione Abruzzo a scala regionale (nel 2004-2007 e nel 2009-2010) si ritiene doveroso aggiornarla.

Si ricorda a tal proposito che per tutti i tratti di litorale non difesi da opere di tipo rigido, come il caso in esame, il "Piano Organico degli interventi di difesa e gestione della fascia litoranea su scala regionale per la Regione Abruzzo" approvato con DGR n. 964 nel 2002 prevedeva, dove possibile, il ricorso alla tecnica del ripascimento artificiale "libero", ovvero non protetto da opere di tipo "rigido". Con tale indicazione si voleva cercare di preservare i pochi tratti dei litorali abruzzesi non ancora difesi con opere di tipo "rigido", dal punto di vista della qualità dell'ambiente costiero cercando di intervenire con tecniche di tipo "morbido". Il volume complessivo di sabbia di ripascimento era stato stimato per tutto l'Abruzzo in circa 7.000.000 di m³. Ovviamente tali ingenti quantitativi di sabbia dovevano essere necessariamente reperiti da cave "marine" non essendo assolutamente possibile ricorrere a cave terrestri per oggettivi limiti tecnici connessi con l'impossibilità di produrre questi quantitativi e le ripercussioni di carattere ambientale legate alle operazioni di coltivazione e trasporto del materiale via terra.

Per accertare la fattibilità tecnica di questa strategia, la Regione Abruzzo aveva preventivamente sviluppato un lavoro di ricerca di cave marine da destinare alla coltivazione di sabbia da utilizzare per ripascimenti artificiali. Tale ricerca, condotta tra il 1999 e il 2002 dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza", aveva consentito di individuare una cava marina al largo della costa di S. Benedetto del Tronto su fondali di circa 90÷100 m in grado di fornire sabbia con le caratteristiche tecniche adeguate e di quantitativi compatibili con le necessità complessive regionali.

Durante l'appalto della prima fase dei lavori (2004-2007), concepito dalla Regione Abruzzo su scala regionale in attuazione del "Piano Organico del 2002", nell'ambito del quale era previsto il versamento complessivo di circa 650.000 m³ di sabbia di ripascimento, non si è potuto utilizzare la cava di S. Benedetto a causa dei rischi associati alla possibile presenza sul fondale di ordigni bellici. Infatti nel 2005 la Marina Militare rese pubblica la segnalazione degli organi militari della NATO in merito all'esistenza di un'ampia zona al largo delle coste italiane, che durante la guerra del Kosovo (1998-1999) era stata destinata al possibile rilascio di ordigni bellici da parte degli aerei alleati. Purtroppo la cava sottomarina individuata dalla regione Abruzzo rientra all'interno di questa zona ed il suo utilizzo richiederebbe la preventiva bonifica da ordigni bellici con costi elevati e tempi lunghi senza peraltro assicurare la completa messa in sicurezza dell'area.

Di conseguenza in quella occasione, per portare a termine i lavori appaltati, la sabbia venne prelevata da una cava marina "privata" localizzata a largo di Civitanova Marche sempre su fondali elevati dell'ordine dei 90÷100 m. Tale cava presenta il grosso inconveniente che la società titolare della concessione pretende una "royalty" per il prelievo del materiale, che quindi costituisce un onere economico aggiuntivo ai costi effettivi di prelievo, trasporto e posa in opera. Inoltre la sabbia proveniente da questa cava presenta un colore grigio più scuro rispetto a quella nativa ed anche se questo contrasto cromatico nel tempo si è attenuato, i portatori di interesse ancora oggi si dichiarano contrari all'esecuzione di ripascimenti con sabbia di aspetto diverso da quello caratteristico "dorato" delle spiagge abruzzesi.

Per l'affidamento della seconda fase dei lavori (2007) che, in analogia alla precedente, prevedeva oltre alla realizzazione di opere di tipo "rigido" anche il versamento di sabbia su alcuni tratti di costa regionali per un quantitativo complessivo di circa 650.000 m³, la prima gara andò deserta. Ciò testimonia di fatto la difficoltà incontrata da parte delle imprese nel gestire in modo remunerativo gli interventi di ripascimento facendo affidamento sulla disponibilità di una sola cava sottomarina gravata da "diritti di estrazione" da riconoscere a terzi. Per poter appaltare questa seconda fase di attuazione dei lavori, la Regione ha dovuto rimodulare gli aspetti tecnici ed economici del progetto al fine di contemplare un quantitativo complessivo di volumi pari almeno a 1.000.000 m³ e nel contempo prevedere la possibilità di utilizzare altre cave sottoma-

rine, in alternativa a quelle già note. A tale scopo l'appaltatore si doveva assumere il compito di effettuare a proprie cure e spese le indagini di campo necessarie e finalizzate ad individuare la “risorsa sabbia” in aree sottomarine ricadenti anche su fondali inferiori a 50 m (fascia infralitoranea) e con volumi complessivi limitati (inferiori a 2.000.000 m³) purchè rispondenti alle specifiche tecniche prestazionali per la sabbia previste in progetto. La Regione si riservò la possibilità di non procedere con la realizzazione delle opere previste dall'appalto qualora la sabbia non fosse stata trovata. La ricerca venne indirizzata ad alcune aree costiere (anche su fondali di circa 15 m) della Regione Abruzzo ritenute promettenti. Le indagini eseguite confermarono la possibilità di coltivare sabbia con buone caratteristiche senza arrecare danno alla costa posta in prossimità alla zona di prelievo almeno in due aree costiere (Vasto ed Ortona). Mentre il Comune di Vasto si oppose fermamente al prelievo di sabbia dal proprio litorale, fortunatamente il comune di Ortona acconsentì ad utilizzare la cava individuata nei pressi del Porto di Ortona. I lavori relativi a questo appalto si sono conclusi recentemente (primavera del 2010). La qualità della sabbia versata sui litorali ed in particolare il suo colore, ad oggi sembra aver soddisfatto pienamente le aspettative da parte dei portatori di interesse.

Alla luce delle esperienze finora maturate si possono trarre alcune conclusioni. Attualmente non vi è la disponibilità di ingenti quantitativi di sabbia provenienti da cave marine da utilizzare a scopo di ripascimento e pertanto la “filosofia” di gestione prevista dal “Piano Organico del 2002” per i litorali privi di opere di difesa in condizione di tendenza evolutiva di tipo erosivo deve essere modificata.

Per contenere i quantitativi di sabbia necessari nel complesso, si ritiene opportuno allo stato attuale privilegiare gli interventi rivolti a ridurre le perdite di sabbia dai litorali mediante l'utilizzo di opere di difesa di tipo “rigido” e quindi cercare di evitare interventi di ripascimento di tipo “puro”, ferma restando la necessità allo stesso tempo di limitare per quanto possibile l'esportazione dei fenomeni erosivi verso valle, rispetto alla direzione del trasporto solido longitudinale, della zona di intervento. Per quest'ultimo aspetto è doveroso precisare che, in qualsiasi caso, perdurando le condizioni di “deficit” degli apporti solidi fluviali i litorali sabbiosi sarebbero destinati a subire una naturale, progressiva e inesorabile erosione.

Si evidenzia che anche qualora risultasse indispensabile il ricorso alla tecnica del ripascimento artificiale, ad esempio per ricostruire un' ampiezza di spiaggia adeguata per le esigenze delle attività turistico-balneari, come dimostrato nel presente caso di studio, il ricorso ad interventi di tipo “misto” (difese “rigide” più ripascimento) consente di abbattere in modo più che consistente le perdite di sabbia e quindi i relativi oneri di manutenzione.

In conclusione si ritiene che l'Ipotesi (1) sia non perseguibile dal punto di vista tecnico. In questo caso il ricorso al ripascimento puro potrebbe essere utilizzato solo per “tamponare” la

situazione al fine di mettere in atto soluzioni alternative, non certo quindi quale sistema di gestione della fascia costiera.

Ipotesi (2): intervento di tipo rigido “a celle” limitato alla zona attualmente critica

I risultati ottenuti mostrano che, sia nel caso in cui non si preveda un intervento di ripascimento all’interno delle celle sia nel caso in cui esso venga previsto, l’esportazione dei fenomeni erosivi verso sud metterebbero a repentaglio la stabilità del litorale del Comune di Tortoreto ed in futuro anche quello di Giulianova. Pertanto si ritiene questa ipotesi di intervento non fattibile dal punto di vista tecnico.

Ipotesi (3): intervento di tipo rigido “a celle” esteso a tutto il litorale

Sulla base dei risultati ottenuti e delle osservazioni riportate nei paragrafi precedenti si ritiene tale intervento pienamente fattibile dal punto di vista tecnico. Si rimanda al prossimo paragrafo per ulteriori commenti.

8.2.2 Confronto comparativo

Con riferimento all’analisi di fattibilità tecnica sopra riportata, di fatto il confronto comparativo perde di significato in quanto l’unica soluzione tecnicamente sostenibile allo stato attuale è l’Ipotesi (3), che prevede l’intervento a “celle” esteso a tutto il litorale.

Tuttavia è necessario precisare che nell’ambito di tale ipotesi si sono presi in esame volutamente i due sotto casi estremi descritti in precedenza, ovvero la possibilità di non prevedere interventi di ripascimento all’interno delle celle oppure di versare quantitativi di sabbia uniformi all’interno di tutte le celle. Questo secondo caso prevede il versamento di un quantitativo di sabbia che complessivamente risulta piuttosto elevato, risultando pari a circa 1.400.000 m³.

Si ritiene che qualora si decidesse di procedere alla fase di progettazione degli interventi adottando tale ipotesi, sicuramente sarà indispensabile prevedere uno studio di dettaglio rivolto ad ottimizzare la soluzione individuata nell’ambito del presente studio di fattibilità. Tale ottimizzazione deve necessariamente prendere in esame il volume di ripascimento effettivamente indispensabile da porre in opera, che nella presente analisi cautelativamente è stato assunto uniforme lungo tutto il litorale.

9 Osservazioni conclusive e raccomandazioni

A conclusione del presente studio di fattibilità si evidenzia che allo stato attuale occorre modificare, rispetto a quanto previsto nel “Piano organico del 2002”, la logica di gestione dei litorali abruzzesi che presentano spiccate situazioni di criticità dal punto di vista erosivo e che allo stato attuale non sono ancora difesi da opere di tipo “rigido”. Per questi litorali occorre iniziare a prevedere interventi con opere di tipo “rigido”. Tale necessità scaturisce dall’estrema difficoltà incontrata negli ultimi dieci anni nel reperire ingenti quantitativi di sabbia da cave marine per sopperire alle necessità complessive della Regione Abruzzo.

Sinteticamente la “risorsa sabbia”, sia quella nativa che quella di ripascimento proveniente da cave marine o terrestri, deve essere considerata per l’ambito litoraneo abruzzese una “risorsa finita” (nel senso che non è infinita) e quindi deve essere amministrata oculatamente contenendo il più possibile le perdite di sabbia dai litorali e gli oneri di manutenzione.

Il ricorso ad interventi di tipo rigido, se ben concepiti, consentirà di ridurre i quantitativi di sabbia complessivamente necessari in quanto questo tipo di interventi, come è stato ampiamente dimostrato sia in Abruzzo sia in altre regioni italiane (si veda ad esempio i litorali veneti), consentono di ridurre considerevolmente sia i quantitativi di sabbia da porre in opera sia le perdite di materiale e quindi i relativi oneri di manutenzione.

Per quanto riguarda il litorale in questione, si ritiene che l’unica soluzione tecnicamente sostenibile sia quella di intervenire contemporaneamente, o quasi, su tutto il litorale compreso approssimativamente tra la foce del Torrente Vibrata fino al molo Nord del Porto di Giulianova. In sintesi l’intervento deve prevedere la realizzazione di un sistema di difesa del tipo “a celle” accoppiato ad un ripascimento artificiale.

Per quanto riguarda le opere di tipo “rigido” si evidenzia che poiché il litorale è soggetto ad un ben definito trasporto solido longitudinale, di tipo bimodale con prevalenza netta della componente diretta verso Sud, l’opera di difesa ideale è costituita da pennelli. L’accoppiamento dei pennelli con una barriera sommersa distaccata parallela alla costa, garantisce una maggiore

dissipazione dei fenomeni erosivi associati al moto ondoso ed un'elevata capacità delle celle di contenere le perdite di sabbia.

In una fase più avanzata della progettazione si dovrà ottimizzare la soluzione individuata sia per quanto riguarda le opere rigide sia per quanto riguarda il ripascimento.

In via transitoria, ovvero nell'attesa di reperire i finanziamenti necessari per gli interventi individuati, qualora risultasse necessario si suggerisce di effettuare ripascimenti artificiali di tipo puro utilizzando volumi di sabbia contenuti. Anche il valore stimato in questa sede (circa 50.000 m3/anno) dovrà essere oggetto di una ottimizzazione progettuale.

Si evidenzia infine che la realizzazione delle opere di "tipo rigido" lungo il litorale in questione dovrà essere intrapresa solo nel momento in cui si disporrà dei finanziamenti necessari per la totale realizzazione delle opere mediante l'esecuzione di un unico appalto. In caso contrario la realizzazione per "stralci" degli interventi causerebbe inevitabili fenomeni di erosione "sottoflutto" (ovvero verso Sud) alle zone di intervento. Ciò è stato ampiamente mostrato nell'ambito del presente lavoro.

A causa dei rilevanti volumi di materiale necessari, l'esecuzione degli interventi mediante un unico appalto potrebbe richiedere fino a tre anni di lavoro. Per ovviare ai problemi relativi all'e-sportazione "sottoflutto" dei fenomeni erosivi, sarà quindi necessario eseguire gli interventi par-tendo da "valle" rispetto alla direzione del trasporto solido longitudinale, ovvero da Giulianova, procedendo progressivamente verso Tortoreto, Alba Adriatica per giungere infine a Martinsicuro.

10 Riferimenti bibliografici

Archetti R. e Franco L., 1995, Nuove analisi di dati ondametrici nei mari italiani, Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera, Ravenna

AA.VV. *Relazione sullo stato della costa abruzzese* Abruzzo Cronache. In stampa

AA. VV., *Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera abruzzese*, Abruzzo Cronache, Numero Speciale Settembre 2006, 2006

Battjes J.A., 1974, Long term wave Height distributions at seven stations around the British Isles, NIO Report n° A44, National Institute of Oceanography, U.K.

Battjes, J.A. and Janssen J.P.F.M. 1978, Energy loss and Set-up due to breaking of random Waves. Procs. of the 16th Int. Conf. On Coastal engineering, ASCE, 569-587

Beltrami G.M., Mondini F., Contini P., Cuzzi D., Caputi P. e De Girolamo, P., *Risk assessment and feasibility defence study within the framework of the Regione Abruzzo integrated coastal area management*, Atti della VI conferenza internazionale sull'ambiente costiero Mediterraneo, MEDCOAST 03, Ravenna, Ottobre 7-11, 1:211-222, 2003

Beltrami G.M., *Una procedura cautelativa di inferenza dei livelli a riva: il caso della costa Abruzzese*, Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera. VII Edizione, Trieste, Luglio 2-4, 2003, pp. 85-96, 2003

Borgman L.E., 1975, Extremal statistics in Ocean Engineering, Proc. Conf. Civil Engineering in Ocean, III, Newark, U.S.A.

C.N.R., 1984, STONE: statistica delle onde estreme nel Mar Tirreno, Editrice CLEUP, Padova

Contini, P. e De Girolamo, P., 1998, Impatto morfologico di opere a mare: casi di studio, Convegno AIOM, Lerici

De Girolamo P., Noli A., Contini P., Mondini F., Beltrami G.M. e Franco L. *Risk-Analysis in Coastal System Planning and Management*, Excerpta of the Italian Contributions to the field of Hydraulic Engineering, 14:257-271, 2000.

Draper L., 1963, Derivation of a Design Wave from instrumental records of sea waves, Proc. of the Institution of Civil Engineers, Vol. 26, Londra

U.S. Army Corps of Engineers, 2002, Coastal Engineering Manual, Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes)

Franco L., 1993, Misure strumentali di moto ondoso nei mari italiani: analisi statistiche degli eventi estremi, Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera, ICCE 92, Genova

Franco L., Sammarco P. e Spina D., 1990, Analisi degli eventi ondosi estremi misurati nei mari italiani, XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza

De Girolamo P., Caputi P., Visca C., Beltrami G.M., Venturini G. e Bobbio V., *L'esperienza di gestione integrata della costa dell'Abruzzo: Il progetto S.I.Co.R.A.*, Regioni e Ambiente, anno VI, n.7/8, luglio/agosto 2005, 2005

De Girolamo P., Caputi P., Contini P., Beltrami G.M., Mondini F., Sammarco P., Cuzzi D., Polidoro M. e Bobbio, V., *Analisi di rischio morfologico e socioeconomico della fascia costiera Abruzzese*, Ambiente Italia, anno IV, n.17, giugno/luglio 2005, 2005

De Girolamo P., Venturini G., Fiduccia A., Beltrami G.M., Visca C., Caputi P. e Scarsella E. *La realizzazione di un sistema informativo geografico (GIS) nell'ambito della gestione integrata della costa abruzzese*, Consulting, anno III, n.4, luglio/agosto 2005

Di Risio M., Lisi I., Beltrami G.M., De Girolamo P., *Physical modeling of the cross-shore short-term evolution of protected and unprotected beach nourishments*, Ocean Engineering, 37:777-789, 2010

Dominici, D.; Beltrami, G.M.; ,De Girolamo, P. (2005): Monitoraggio costiero a scala regionale mediante utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione. Studi Costieri Vol.11, pp. 145-156.

Dominici D., Beltrami G.M., De Girolamo P., Visca C., Del Guzzo F. e Caputi, P. *Monitoraggio costiero a scala regionale mediante utilizzo di immagini satellitari ad alta riso-*

luzione, Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. Roma, Settembre 10-15, 2006

Galeati G. e Rossi V., 1990, Caratteristiche del moto ondoso nella zona di mare prospiciente la centrale di Montalto di Castro. Analisi statistica della durata di eventi ondosi superiori a prefissati valori di soglia, Rapporto ENEL SI-973/90

Galeati G. e Rossi V., 1991, Caratteristiche del moto ondoso nella zona di mare prospiciente la centrale di Montalto di Castro. Analisi statistica della frequenza di apparizione e della durata degli eventi, Rapporto ENEL SI-1012/91

Galeati G. e Tomasino M., 1982, Rilievi di moto ondoso nei siti di interesse ENEL. Determinazione dell'onda massima più probabile, l'Energia Elettrica, n. 8

Goda, Y., 2000, Random seas and design of maritime structures, Advanced Series on Ocean Dynamics, Volume 15, World Scientific Publishing, Singapore

Hallermeier R.J., 1981, Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles, Coastal Engineering Technical Aid, CETA, 81-2

Holthuijsen, L.H., Booij, N. and T.H.C. Herbers, 1989, A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents, Coastal Engineering, 13, 23-54.

Holthuijsen, L.H., N. Booij and R.C. Ris, 1993: A spectral wave model for the coastal zone, Proc. of 2nd Int. Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, USA, 630-641

Isaacson M. e MacKenzie N.G., 1981, Long term distribution of ocean waves: a review, ASCE Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Division, Vol. 107, n.WW2

Jahns H.O. e Wheeler J.D., 1973, Long-term wave probability based on hindcasting of severe storms, Journal of Petroleum Technology

Kottegoda, N.T., Rosso, R., 1997, Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers, McGraw Hill, Milano

Lamberti A., 1993, Processi idrodinamici e fattori ambientali costieri, Atti delle Giornate Italiane di Ingegneria Costiera, ICCE 92, Genova

Leenknecht D.A. et al., 1992, Automated Coastal Engineering System - Technical Reference, C.E.R.C. - W.E.S., Vicksburg, Version 1.06

Lisi I., Di Risio M., De Girolamo P., e Beltrami G.M., *Experimental modeling of sand beach nourishment cross-shore evolution*, Atti della conferenza internazionale CoastLab08, Bari, Luglio 2-5, 2008

Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart, 1962. Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to surf-beats, *Journal of Fluid Mechanics*, 13, 481-504

Maione, U. Moisello, U., 1993, *Elementi di statistica per l'idrologia*, La Goliardica Pavese, Pavia

Mathiesen M., 1994, Estimation of wave height duration statistics, *Coastal Engineering*, Vol. 23

Mathiesen M., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Peltier E., Thompson E. e Van Veddler G., 1994, Recommended practice for extreme wave analysis, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 32. n. 6

Mood, A.M., Graybill, F.A., Boes, D.C., 1988, *Introduzione alla statistica*, McGraw Hill, Milano

Muir L.R. e El-Shaarawi A.H., 1986, On the calculation of extreme wave heights: a review, *Ocean Engineering*, Vol. 13, n° 1

National Environment Research Council, 1975, *Flood studies resport*, Vol. 1, Hydrological studies, NERC Publ., Londra

Owen M.W., 1988, *Wave prediction in reservoirs comparison of available methods*, Hydraulics Research Limited, Wallingford - Oxfordshire, Report EX1809

Petrauskas C. e Aagaard P.M., 1971, Extrapolation of historical storm data for estimating design wave height, *Journal of the Society of Petroleum Engineers*, Vol. 11

Ris, R.C., 1997: Spectral modelling of wind waves in coastal areas, (Ph.D. Dissertation Delft University of Technology, Department of Civil Engineering), Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Report No. 97-4, Delft, The Netherlands.

Saetre H.J., 1975, On high wave conditions in the Northern North Sea, *Proc. Oceanology International*, Brighton, U.K.

Seymour R.J., 1977, Estimating wave generation on restricted fetches, *Journal of the Waterway Port Coastal and Ocean Division*, Proc. ASCE, n.103 WW2

Smith, J.M. 1991, Wind-wave generation on restricted fetches, Miscellaneous paper CERC-91-2, US Army Engineer Waterways Experiment Station

Svendsen, I.A., 2006, Introduction to nearshore hydrodynamics, Advanced Series on Ocean Dynamics, Volume 24, World Scientific Publishing, Singapore

Valentini V. e Venturi M., 1992, Definizione delle condizioni ambientali nella progettazione di strutture offshore, Revisione critica, Atti 3° Congresso AIOM, Genova

Van Veddler G., Goda Y., Hawkes P., Mansard E., Martin M.J., Mathiesen M., Peltier E. e Thompson E., , 1993, Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis, Proc. Conf. WAVES 93, New Orleans, U.S.A.

ALLEGATO D



REGIONE ABRUZZO

DIREZIONE L.P., CICLO IDRICO INTEGRATO, DIFESA DEL SUOLO E DELLA COSTA, PROTEZIONE CIVILE SERVIZIO OPERE MARITTIME E ACQUE MARINE

COMUNE DI MARTINSICURO (TE)

ACCORDO DI PROGRAMMA FINALIZZATO ALLA PROGRAMMAZIONE DI INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL 16.06.2010.

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO SCOGLIERE ESISTENTI E CHIUSURA VARCHI NEL COMUNE DI MARTINSICURO (TE)

FASE PROGETTUALE

- PROGETTO ESECUTIVO -

ELABORATO

02 - RELAZIONE SULL'ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO
A SEGUITO DELLE INDICAZIONI DELLA CONFERENZA DEI SERVIZI DEL 14/11/2013

IMPRESE



La Dragaggi S.r.l.,
Via L. Kossut n. 6 cap. 30175 Marghera (VE).



L.M.D. S.p.A.
Via Moranzani n. 74 cap. 30176 Malcontenta (VE).

PROGETTISTA

G.P. General Progetti S.r.l.
via C. Mezzacapo n.13, 30175 Marghera (VE)

DIRETTORE TECNICO E
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. N. Caporale

CODICE PROGETTO

131 - Martinsicuro

CODICE ELABORATO

SCALA

rev	data	descrizione	redatto	controllato	approvato
0	Febbraio 2014	Consegna progetto esecutivo			
1					
2					
3					

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

INDICE

<u>1</u>	<u>PREMESSA</u>	<u>2</u>
<u>2</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u>	<u>3</u>
<u>3</u>	<u>CLIMA METEOMARINO</u>	<u>5</u>
<u>4</u>	<u>EVOLUZIONE STORICA RECENTE</u>	<u>9</u>
<u>5</u>	<u>REGIME DEL TRASPORTO SOLIDO</u>	<u>11</u>
<u>6</u>	<u>PROPOSTA DI INTERVENTO</u>	<u>13</u>
<u>7</u>	<u>CONSIDERAZIONI SULLA FUNZIONALITÀ DELLA PROPOSTA E SUI POTENZIALI IMPATTI SULLA DINAMICA LITORANEA</u>	<u>14</u>
<u>8</u>	<u>CONCLUSIONI</u>	<u>21</u>

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 – Inquadramento del paraggio di Martinsicuro tra la foce del Tronto e la foce del Vibrata (immagine Google-Earth aprile 2013)	3
Fig. 2.2 – Area oggetto di intervento (immagine Google-Earth aprile 2013).....	4
Fig. 3.1 – Ubicazione della boa ondometrica di Ortona e fetch efficaci	5
Fig. 3.2 – Tabella e rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali (boa RON di Ortona)	6
Fig. 3.3 – Fetch efficaci per il paraggio di Giulianova	7
Fig. 3.4 – Tabella e rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali (Giulianova)	8
Fig. 4.1 – Foto aeree Google-Earth a confronto (gennaio 2004 in alto e aprile 2013 in basso) In rosso è evidenziato il tratto di litorale dove l'erosione è più sensibile	10
Fig. 5.1 – Previsione con ripascimento di 100 m ³ /m Evoluzione della linea di costa (in alto) e trasporto solido netto (in basso)	12
Fig. 6.1 – Planimetria di progetto area di intervento	13
Fig. 7.1 – Profilo "tipo" e profilo di equilibrio (profilo di Dean) corrispondente	14
Fig. 7.2 – Clima ondoso "al largo" del paraggio	15
Fig. 7.3 – Schema di distribuzione trasversale del trasporto solido litoraneo per un'onda che frange al largo (figura a sinistra) o a riva (a destra) rispetto alla posizione delle barriere.....	16
Fig. 7.4 – Effetto della posizione della barriera per un'onda di 3.70m, Tp=7.4 s; obliquità 16°; Casi simulati: barriera 1) assente; 2) prima della profondità di frangimento; 3) oltre il punto di frangimento, ma prima della profondità di chiusura; 4) oltre la profondità di chiusura	17
Fig. 7.5 – Diagramma del trasporto solido litoraneo: verso Nord (blu), verso Sud (verde), netto (rosso).....	18
Fig. 7.6 – Distribuzione cumulata del trasporto solido litoraneo: verso Nord (blu), verso Sud (verde), netto (rosso)	18
Fig. 7.7 – Distribuzione cumulata del trasporto solido litoraneo: particolare tra barriere e riva	19
Fig. 7.8 – Immagine satellitare del litorale di Villa Rosa (Google-Earth aprile 2013).....	21

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

1 PREMESSA

Lo scrivente Prof. Ing. Piero Ruol è stato incaricato dalla GENERAL PROGETTI Srl di Marghera (VE) di svolgere uno studio, allo scopo di chiarire alcuni aspetti in merito al Progetto Definitivo dei "Lavori di consolidamento scogliere esistenti e chiusura varchi nel comune di Martinsicuro" (*Accordo di programma finalizzato alla programmazione e al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico del 16.09.2010*).

Gli interventi previsti nell'ambito del Progetto Definitivo riguardano la risagomatura delle opere rigide (scogliere parallele alla linea di costa) e la riduzione della profondità dei varchi tra le stesse mediante barriere sommerse, aventi la duplice funzione di proteggere i fondali in corrispondenza dei varchi e limitare la fuoriuscita delle sabbie verso il largo.

La Costituenda A.T.I. (composta dalle imprese La Dragaggi S.r.l. e LMD S.p.a.) , nell'ambito del bando di gara di appalto integrato, ha proposto le seguenti migliorie al progetto definitivo: esecuzione di un ripascimento con le sabbie derivanti dalle attività di dragaggio dello specchio acqueo del porticciolo di Martinsicuro e realizzazione di tre pennelli semi-emersi ortogonali alla spiaggia.

Al fine di conseguire tutti gli atti autorizzativi prescritti e necessari per l'approvazione del Progetto Definitivo, in data 14/11/2013 è stata convocata una Conferenza dei Servizi, nell'ambito della quale si sono espresse le varie Autorità competenti.

In particolare L'Ing. Giorgio di Pancrazio (Dirigente Tecnico del Comune di Alba Adriatica) e la Dott.ssa Tonia Piccioni (Sindaco del Comune di Alba Adriatica) si sono entrambi astenuti dall'esprimere il proprio parere fornendo la seguente motivazione: *"il progetto prevede la realizzazione di pennelli trasversali che potrebbero alterare i flussi dei sedimenti verso Sud aggravando la situazione del litorale di Alba Adriatica e apportando ad essa anche un danno economico"*. In aggiunta, si *"lamenta, inoltre, la mancanza di studi sulle conseguenze che tali opere potrebbero arrecare al Comune di Alba Adriatica"*.

La presente relazione ha come obiettivo quello di chiarire se la realizzazione dei pennelli trasversali (associati al previsto ripascimento artificiale) presentati come proposta migliorativa dall'A.T.I., influenzi la dinamica litoranea del paraggio e soprattutto se sia in grado di alterare o meno i flussi dei sedimenti verso Sud aggravando la situazione del litorale di Alba Adriatica.

Lo studio si prefigge, inoltre, di analizzare in dettaglio la dinamica del litorale di Martinsicuro, con lo scopo di determinare l'entità del trasporto solido in transito tra le barriere frangiflutti e riva, rispetto al trasporto solido litoraneo oltre alle barriere staccate.

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il litorale oggetto di intervento ricade all'interno del comune di Martinsicuro e fa parte della sub-unità fisiografica che si sviluppa per una lunghezza di circa 16 km dalla foce armata del Fiume Tronto sino al molo di sopraflutto del porto di Giulianova.

Più in dettaglio (Fig. 2.1), il litorale di Martinsicuro si estende per circa 7 km dalla foce del Tronto, a Nord-Ovest (confine con la Regione Marche), alla foce del Vibrata, a Sud-Est (confine con il comune di Alba Adriatica).



Fig. 2.1 – Inquadramento del paraggio di Martinsicuro tra la foce del Tronto e la foce del Vibrata (immagine Google-Earth aprile 2013)

FILE:	Martinsicuro-REL_TEC-DEF.doc	DATA:	Feb. 2014	Pagina 3 di 22
-------	------------------------------	-------	-----------	----------------

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

Si tratta di un litorale costituito da una spiaggia prevalentemente sabbiosa; lungo tutto lo sviluppo longitudinale del "fronte mare" il retro-spiaggia è stato da tempo urbanizzato con insediamenti ed infrastrutture antropiche.

Il litorale è stato oggetto di una serie di interventi di protezione susseguitisi nel corso degli anni senza un vero e proprio "progetto generale", se non a partire dal 2002. Le prime opere di difesa litoranea hanno riguardato la zona più a Nord del litorale comunale (foce del Tronto), dove, a causa del progressivo smantellamento dell'apparato di foce, venivano maggiormente compromessi gli interessi ed usi antropici sul territorio costiero; la realizzazione delle prime opere di difesa ha di fatto "spostato" il problema verso Sud innescando e/o esaltando i fenomeni di erosione costiera.

Attualmente, nel tratto di litorale oggetto di intervento (che si estende per circa 2 km a Sud della foce del Tronto), sono presenti 19 barriere in stato di avanzato degrado, con scavi localizzati in presenza dei varchi (Fig. 2.2).



Fig. 2.2 – Area oggetto di intervento (immagine Google-Earth aprile 2013)

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneraliProgetti

3 CLIMA METEOMARINO

Per la definizione del clima meteomarinario caratteristico del paraggio si è fatto riferimento a quanto riportato nell'elaborato "Studio meteomarinario" facente parte del Progetto Definitivo dei "Lavori di consolidamento scogliere esistenti e chiusura varchi nel comune di Martinsicuro" (*Accordo di programma finalizzato alla programmazione e al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico del 16.09.2010*).

La caratterizzazione del clima ondoso al largo del paraggio è stata condotta con riferimento alle misure ondamiche eseguite dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale (RON) ubicata al largo di Ortona. La boa ondametrica di Ortona è posizionata su un fondale di circa 100 m in corrispondenza del punto di coordinate geografiche 42° 24.4' N e 14° 32.2' E (Fig. 3.1); la serie storica dei dati copre il periodo che va dal 1 luglio 1989 al 30 giugno 2006.

Nella successiva Fig. 3.2 si riportano la tabella e la rosa annuale delle registrazioni di moto ondoso relative alla boa ondametrica di Ortona.

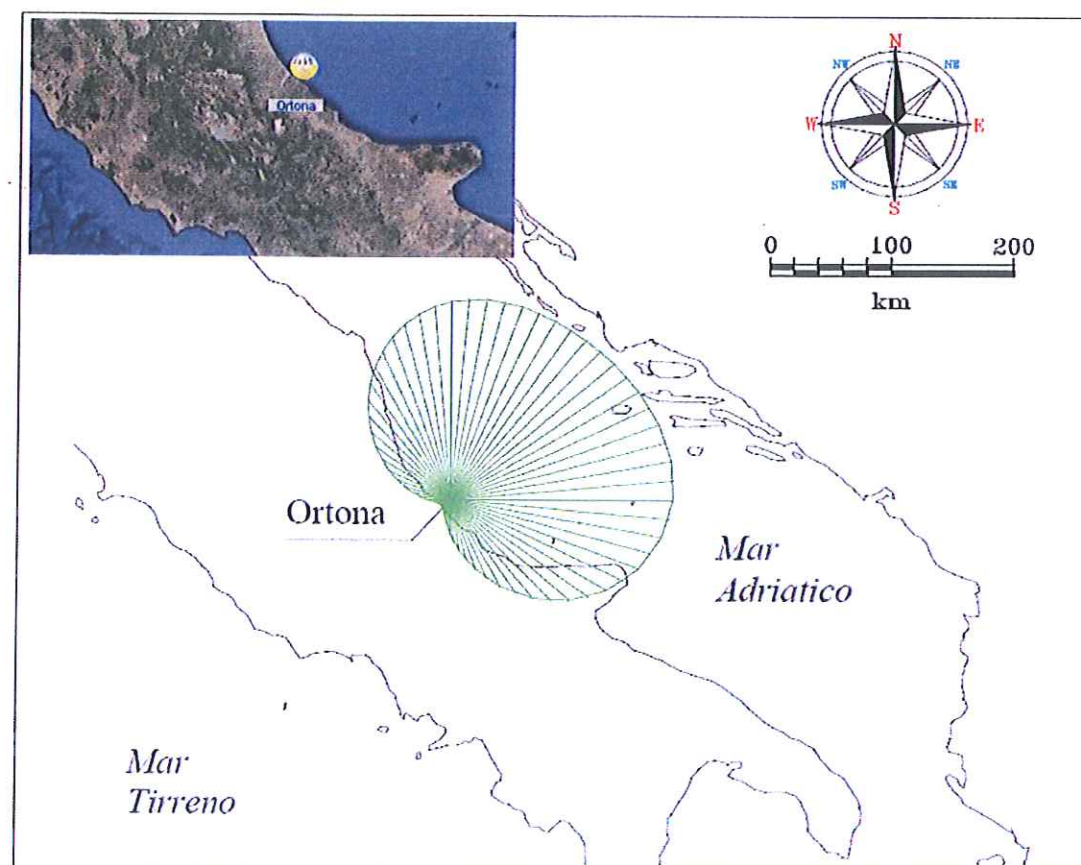


Fig. 3.1 – Ubicazione della boa ondametrica di Ortona e fetch efficaci

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

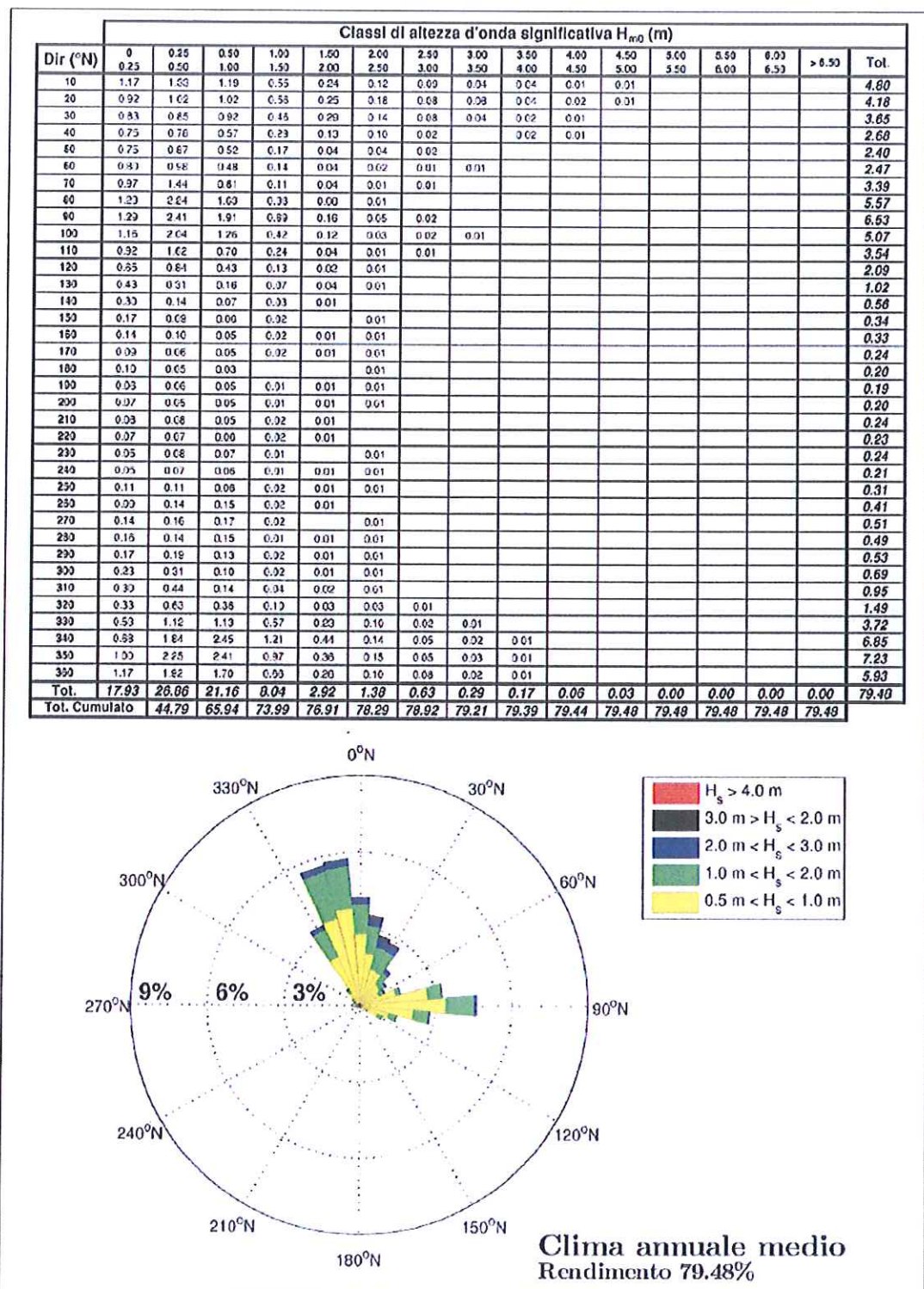


Fig. 3.2 – Tabella e rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali (boa RON di Ortona)

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata corrispondono a mareggiate provenienti da Tramontana e da Levante, con prevalenza delle prime. Le mareggiate provenienti dal settore di traversia Nord-Ovest-Nord risultano essere più intense rispetto a quelle provenienti da Est; nel primo caso i valori di altezza d'onda significativa superano mediamente i 3.5 m, mentre nel secondo caso si osservano valori mediamente inferiori ai 3 m.

Successivamente, considerata l'esposizione del paraggio, per definire il clima in corrispondenza del litorale di Martinsicuro (posto circa 15 km a Nord di Ortona) è stata condotta una trasposizione geografica delle misure di moto ondoso.

La trasposizione geografica del clima è stata eseguita con riferimento al metodo proposto da Contini e De Girolamo (1998), che consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze e i periodi del moto ondoso relativi al punto di misura (boa di Ortona) e al punto di interesse (litorale di Martinsicuro, denominato di seguito "Giulianova").

Le formule di trasposizione si basano sul rapporto tra i fetch efficaci del punto di misura (Fig. 3.1) e del punto di interesse (Fig. 3.3).

Una volta applicato l'approccio proposto è stato possibile determinare il clima ondoso al largo del paraggio oggetto di intervento e ricostruire la tabella e la rosa annuale delle registrazioni di moto ondoso (Fig. 3.4).

Si può notare, come per la boa di Ortona, che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata corrispondono a mareggiate provenienti da Tramontana e da Levante, con prevalenza delle prime. Le mareggiate provenienti dal settore di Tramontana risultano anche in questo caso più intense rispetto a quelle provenienti da Levante.

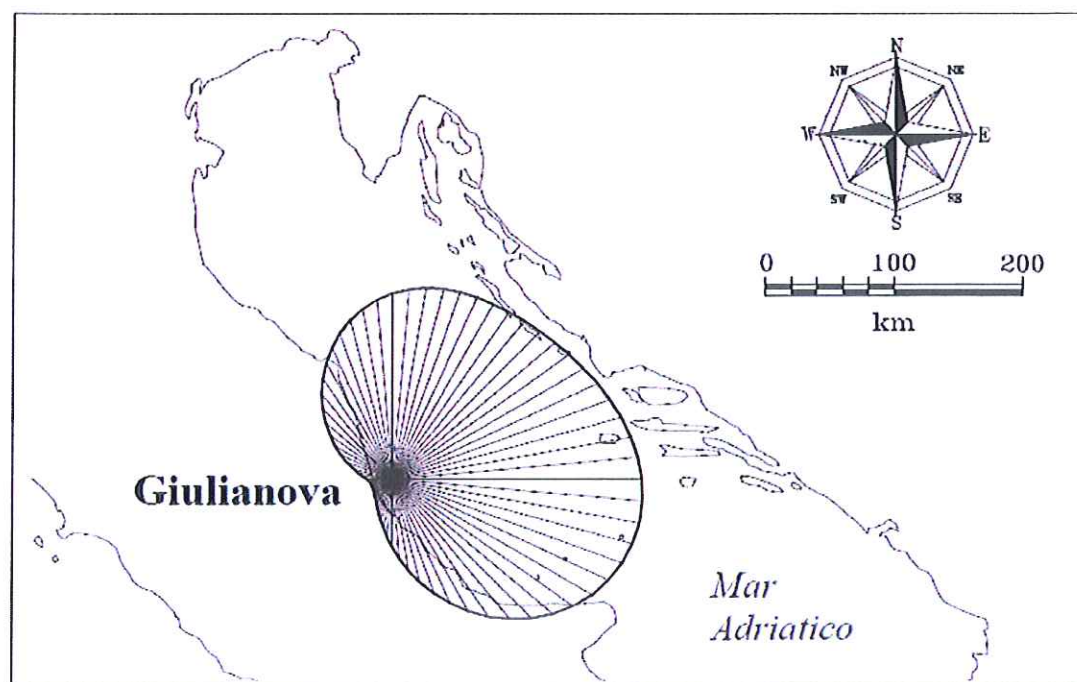


Fig. 3.3 – Fetch efficaci per il paraggio di Julianova

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

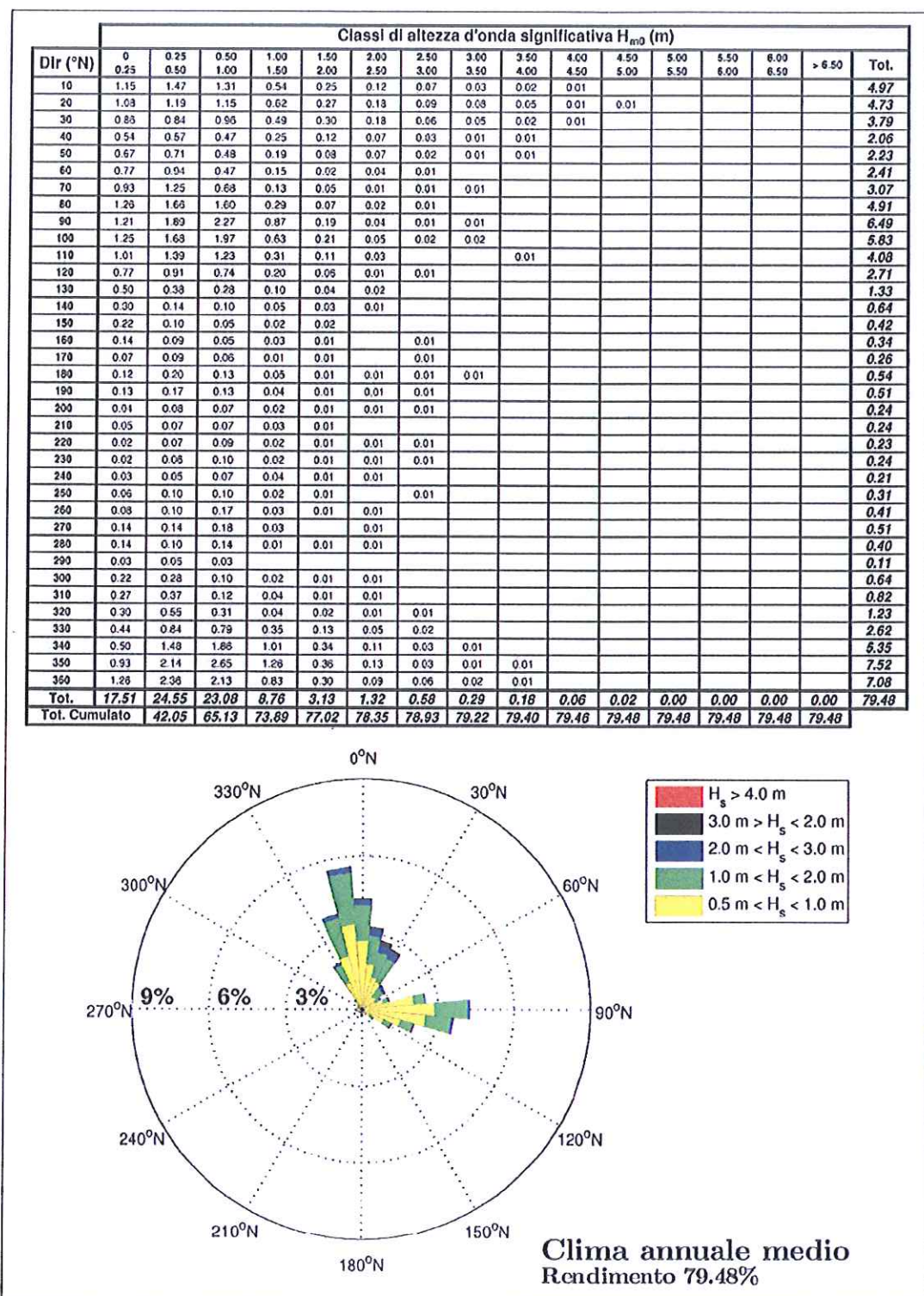



Fig. 3.4 – Tabella e rosa della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso annuali (Giulianova)

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE: 
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	

4 EVOLUZIONE STORICA RECENTE

La ricostruzione dell'evoluzione storica recente del litorale è stata condotta con riferimento alle informazioni riportate nel Progetto Definitivo dei "Lavori di consolidamento scogliere esistenti e chiusura varchi nel comune di Martinsicuro" (cfr. elaborato "Relazione tecnica").

Nel recente passato il litorale di Martinsicuro è stato oggetto di numerosi interventi di protezione. La prima serie di difese parallele alla costa è stata realizzata negli anni '80, a partire dal porticciolo in prossimità della foce del fiume Tronto; il sistema di difesa è stato esteso quindi verso Sud per circa tre chilometri. Le barriere, poste ad una distanza dalla linea di costa di circa 100 m, avevano lunghezza di circa 45+60 m con varchi di 35 m.

A partire dal 2000 l'intervento è stato ulteriormente esteso verso Sud con la realizzazione di altre 5 barriere parallele alla costa, di cui una sommersa e quattro debolmente emerse per un tratto di 1700 m davanti all'abitato di Villa Rosa. Nel tratto meridionale, alle barriere sono stati collegati 3 pennelli trasversali sommersi.

Allo stato attuale, nel tratto di litorale oggetto di intervento (che si estende per circa 2 km a Sud della foce del Tronto), sono presenti 19 barriere in stato di avanzato degrado. Rispetto alla conformazione originale delle scarpate sono state stimate delle perdite pari al 40% del pietrame della sezione originaria; anche le mantellate presentano evidenti segni di degrado.

Le quote di sommità attuali delle barriere sono mediamente comprese tra m +0.40++0.60 m s.m.m., con una larghezza al coronamento che in molti tratti si riduce a pochi metri. In corrispondenza dei varchi si sono innescati fenomeni erosivi piuttosto intensi che hanno portato alla formazione di scavi localizzati, in corrispondenza dei quali i fondali raggiungono profondità di -3.0+-3.5 m s.m.m..

Dal confronto tra le linee di costa disponibili e tra le foto aeree (Fig. 4.1), si evidenzia un arretramento nel tratto di litorale antistante l'abitato di Martinsicuro, dovuto ad una perdita di efficacia delle barriere esistenti, probabilmente legata alla riduzione di quota delle scogliere, oltre che alla ridotta alimentazione delle sabbie provenienti da Nord conseguente al prolungamento del molo Sud del piccolo specchio protetto di Martinsicuro, in destra foce Tronto.

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti



Fig. 4.1 – Foto aeree Google-Earth a confronto (gennaio 2004 in alto e aprile 2013 in basso)
In rosso è evidenziato il tratto di litorale dove l'erosione è più sensibile

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

5 REGIME DEL TRASPORTO SOLIDO

Le considerazioni sul regime del trasporto solido riportate nel presente paragrafo sono state condotte con riferimento allo "Studio Morfodinamico" redatto dal Prof. Alberto Noli nell'ambito del Progetto Esecutivo dei "Lavori di riqualificazione ambientale e di difesa delle aree della fascia litoranea di Martinsicuro, Pescara Sud-Francavilla al mare, Fossacesia, Casalbordino, Vasto, Montesilvano e Pineto-Silvi" (*Piano Organico per il rischio delle aree vulnerabili. Rafforzamento dei dispositivi di difesa costiera. Delibere CIPE n. 36/2002 e n. 17/2003*).

Lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale di Martinsicuro è stato condotto utilizzando il modello ad una linea ARIES, sviluppato dalla MODIMAR di Roma. In particolare è stato studiato il comportamento della linea di riva a seguito della realizzazione del sistema di protezione, abbinato ad un intervento di ripascimento di 100 m³/m e 300 m³/m.

Le simulazioni condotte hanno mostrato come il sistema di protezione proposto risulti efficace ai fini del mantenimento della spiaggia a tergo della difesa; solamente nel tratto più meridionale (a Sud dell'ultima cella) si determina un arretramento della spiaggia, che raggiunge valori massimi di circa 12.5 m a 5 anni dalla realizzazione dell'intervento. Nella Fig. 5.1 si riportano a titolo di esempio i risultati delle simulazioni condotte per mezzo del codice di calcolo ARIES con riferimento allo scenario di progetto con ripascimento di 100 m³/m.

Lo studio condotto permette di formulare alcune considerazioni di carattere generale sul regime del trasporto solido per il litorale oggetto di intervento. Tuttavia risulta evidente che la scala scelta per le simulazioni non consente di rappresentare nel dettaglio tutte le opere e/o i fenomeni che direttamente e indirettamente influiscono sulla dinamica litoranea.

Ne consegue che il problema meriterebbe un'analisi di dettaglio, sia per quanto riguarda l'evoluzione della linea di costa (modello ad una linea) che per quanto concerne l'analisi della circolazione idrodinamica, del trasporto solido e dell'evoluzione dei fondali in prossimità degli elementi che costituiscono il sistema di difesa (modelli di circolazione e trasporto).

Tuttavia, risulta evidente che l'attuale sistema di difesa del litorale di Martinsicuro sia di fatto un "sistema chiuso"; tale situazione verrà ancor più enfatizzata una volta realizzati gli interventi previsti in progetto (risagomatura delle scogliere e chiusura parziale dei varchi con barriere sommerse). Nel senso che il materiale presente all'interno della difesa a celle può muoversi all'interno di queste, ma contribuisce in minima misura alla dinamica litoranea generale, che va ad alimentare le spiagge sottoflutto.

Pertanto, è ragionevole supporre che qualsiasi intervento realizzato all'interno del sistema di difesa non sia in grado di influenzare apprezzabilmente (né positivamente né negativamente) la dinamica litoranea del tratto posto a Sud della difesa di cui in oggetto, tanto meno quella del litorale di Alba Adriatica che si trova a Sud della foce del Vibrata.

FILE:	Martinsicuro-REL_TEC-DEF.doc	DATA:	Feb. 2014	Pagina 11 di 22
-------	------------------------------	-------	-----------	-----------------

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

Ulteriori considerazioni sulla funzionalità delle opere previste in progetto e sui potenziali impatti sulla dinamica litoranea sono riportate in dettaglio nel successivo paragrafo 7.

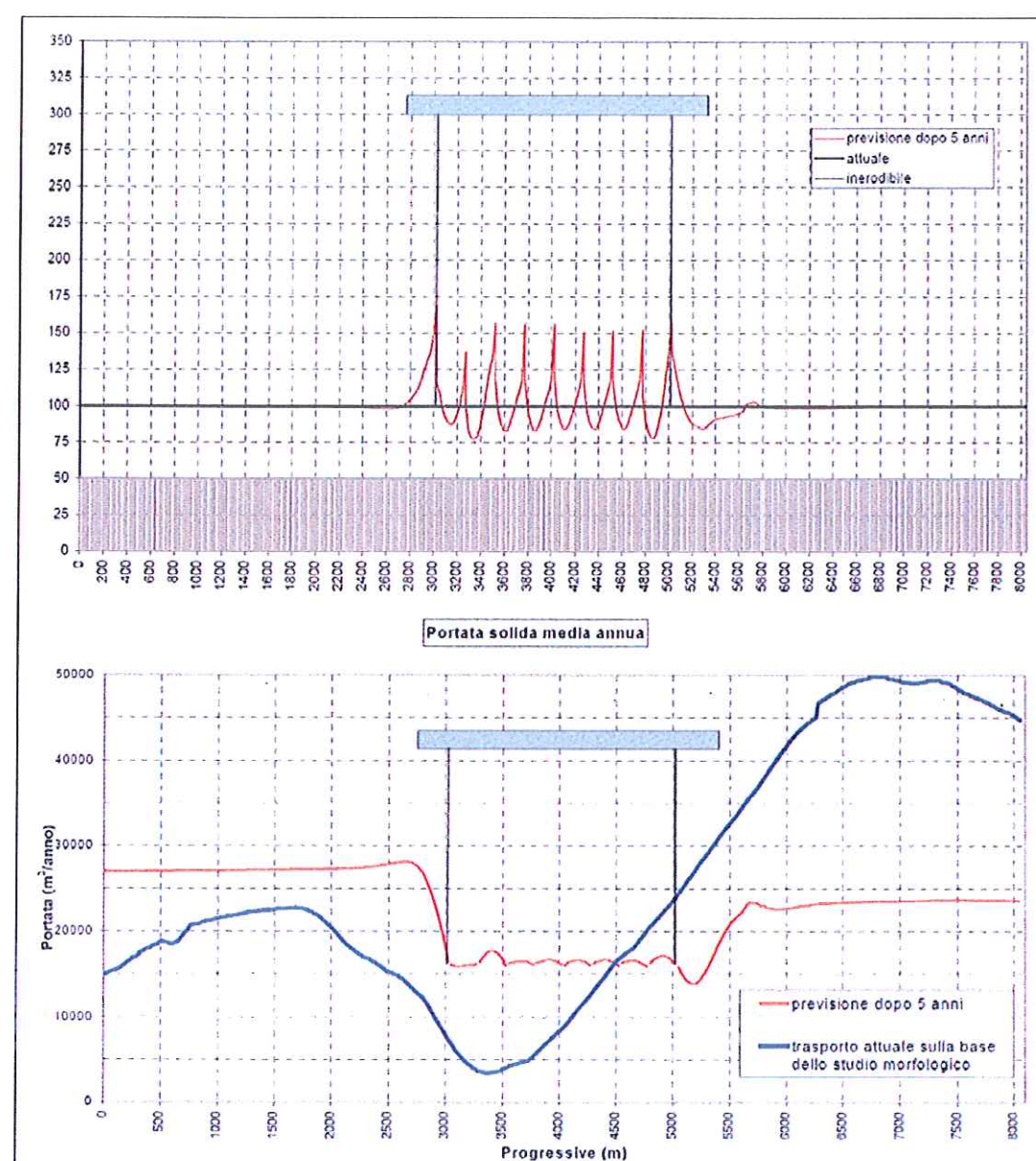


Fig. 5.1 – Previsione con ripascimento di 100 m³/m
Evoluzione della linea di costa (in alto) e trasporto solido netto (in basso)

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

6 PROPOSTA DI INTERVENTO

Il progetto preliminare elaborato sulla base dell' "Accordo di programma finalizzato alla programmazione e al finanziamento di interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico del 16.09.2010" prevedeva la realizzazione di una serie di interventi finalizzati alla protezione del fondale in corrispondenza dei varchi esistenti tra le barriere.

Gli interventi sono stati individuati al fine di ovviare agli attuali problemi di fuoriuscita irreversibile di materiale verso il largo ad opera delle correnti di rip, che hanno determinato marcati approfondimenti dei fondali nei varchi e conseguenti cedimenti delle testate delle scogliere.

Nello specifico, gli interventi previsti nel progetto preliminare riguardano la risagomatura delle opere rigide (scogliere parallele alla linea di costa), ricreando le sezioni di progetto mediante l'impiego di massi naturali e pietrame.

Nell'ambito della redazione del progetto definitivo, è stata confermata la realizzazione degli interventi di riqualificazione delle scogliere emerse e di riduzione della profondità dei varchi mediante barriere sommerse, in modo tale da ridurre la perdita delle sabbie dalla zona protetta.

La Costituenda A.T.I. (composta da La Dragaggi s.r.l. e LMD S.p.a.), nell'ambito delle procedure previste dall'offerta, ha proposto le seguenti migliorie al progetto definitivo (Fig. 6.1):

- dragaggio dello specchio acqueo del porticciolo di Martinsicuro con recupero delle sabbie già caratterizzate dalla Regione nell'ambito degli interventi realizzati nei primi mesi dell'anno 2012, per il ripascimento del tratto di spiaggia maggiormente in erosione a tergo delle opere di difesa (stimato in circa 20'000 m³);
- realizzazione di tre pennelli semi-emersi ortogonali alla spiaggia radicati nella stessa per circa m 15;
- riqualificazione degli scarichi a mare delle acque meteoriche dei canali nel tratto di litorale tra il porticciolo e la frazione di Alba Adriatica.

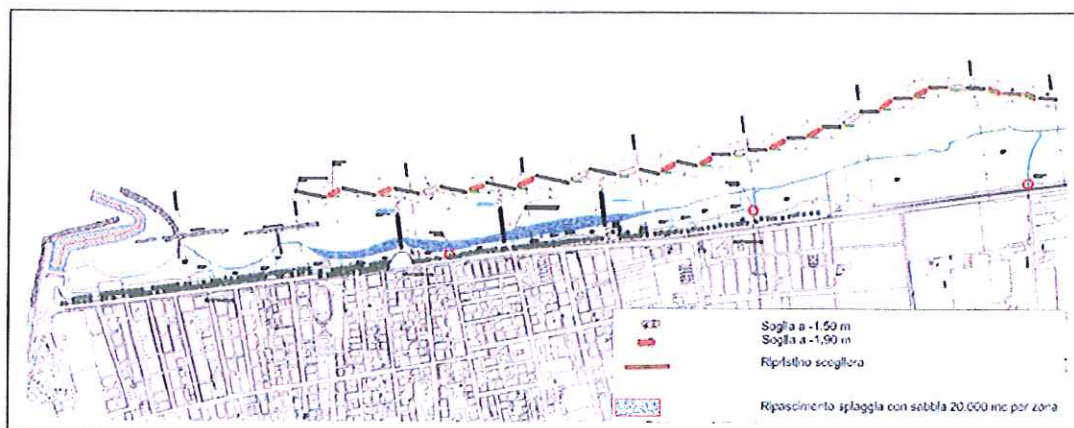


Fig. 6.1 – Planimetria di progetto area di intervento

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

7 CONSIDERAZIONI SULLA FUNZIONALITÀ DELLA PROPOSTA E SUI POTENZIALI IMPATTI SULLA DINAMICA LITORANEA

Per valutare gli effetti delle opere in progetto sui litorali adiacenti, si è anzitutto analizzata la dinamica litoranea, cercando di distinguere quanto avviene tra il tratto di profilo oltre alle barriere staccate da quello che invece avviene nel tratto compreso tra le barriere e la riva. Le considerazioni seguenti si appoggiano al concetto di "profilo di equilibrio" trasversale (ortogonale a riva). In Fig. 7.1 si è riportato anzitutto un profilo tipico del tratto di costa in esame (tratto in nero). Nella stessa figura, oltre a tale profilo (rilevato) si è riportato il profilo di equilibrio (o profilo di Dean) che meglio approssima la batimetria reale nel tratto al di là delle barriere staccate. Questa curva, indicata in rosso nella figura, è rappresentata matematicamente dall'equazione:

$y = A \times x^{2/3}$

In cui y è la profondità calcolata alla distanza x dalla linea di riva, ed "A" il parametro di Dean consigliato in letteratura per un D₅₀=0.20 mm.

Ciò porta a pensare che sia questo il diametro mediano minimo stabile in relazione al trasporto cross-shore. Il diametro ideale di un eventuale ripascimento dovrebbe essere vicino o superiore a questo, per ottimizzare i volumi di apporto. Si può osservare che la barriera ha comportato un avanzamento della battigia dell'ordine dei 120 m e questo può essere considerato come il "beneficio" che possiamo imputare alle opere di difesa realizzate nel passato; ossia, in assenza di barriere, si potrebbe ipotizzare che l'arretramento della linea di riva rispetto alla posizione attuale sarebbe dell'ordine dei 120 m.

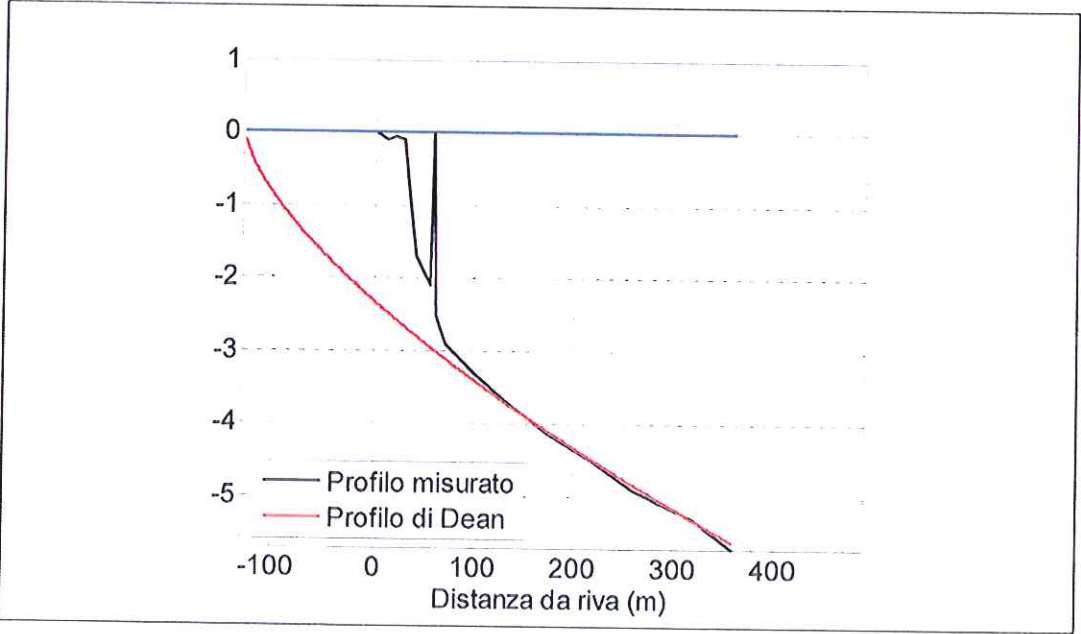


Fig. 7.1 – Profilo "tipo" e profilo di equilibrio (profilo di Dean) corrispondente

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

Si vuole ora caratterizzare il trasporto solido litoraneo nella zona di studio (il trasporto netto è notoriamente diretto verso Sud, nel tratto in esame) per capire come le opere in progetto possano influenzare tale fenomeno.

Lo studio è stato basato sul "clima ondoso annuale" desunto dagli studi idraulico-marittimi disponibili. La rosa delle onde rappresentative della statistica "al largo" è rappresentata graficamente nella Fig. 7.2 seguente.

Le onde "al largo" sono state poi trasferite dal largo a riva utilizzando un approccio semplificato, ossia in assenza di dissipazioni e in assenza di attrito al fondo ed ipotizzando che il fondale sia digradante in modo omogeneo. Il periodo dell'onda che è stato usato nella trasformazione è stato basato sulla relazione fra periodo e altezza d'onda indicato nello studio meteomarinario ($T_p = a \cdot H_b^b$; con $a=5.34; b=0.25$).

Una volta determinate le caratteristiche delle onde in prossimità della riva, si è utilizzato l'approccio suggerito dal CERC (Coastal Engineering Research Centre) per calcolare il trasporto solido litoraneo, per ciascuna delle onde rappresentative del clima ondoso annuale.

La formula del CERC adottata si appoggia all'altezza d'onda H_b (altezza d'onda frangente) che è stata valutata singolarmente considerando l'orientamento locale della spiaggia (tipicamente la perpendicolare alla linea di riva è orientata $84^\circ N$).

La distribuzione del trasporto è stata assunta con forma triangolare, dalla riva alla profondità di chiusura ($x_c=2$ volte altezza d'onda incidente) con valore massimo al frangimento (calcolato come il punto in cui $H(x)$ nel trasferimento verso riva diventa uguale o superiore a $0.78 h$).

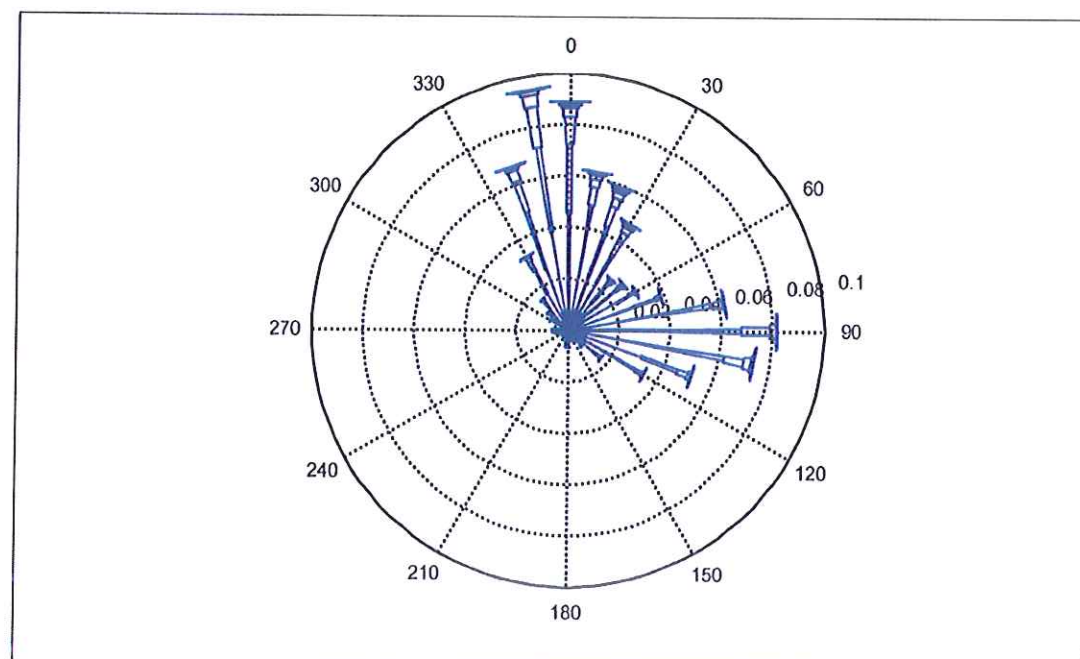


Fig. 7.2 – Clima ondoso "al largo" del paraggio

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

Si è poi adottato uno schema che considera che l'onda trasmessa a tergo delle barriere sia dell'ordine del 50 %. In tali condizioni, ci si attende che la frazione di trasporto residua tra le barriere e la riva sia pari a 17% ($= 0.5^{2.5}$). Ciononostante, nella zona compresa tra le barriere e riva, si è cautelativamente ipotizzato che, in presenza delle barriere, il trasporto solido sia ridotto al 50% di quello che si avrebbe in assenza delle stesse.

L'effetto delle barriere (in termini di trasporto solido) può essere dunque schematizzato come rappresentato in Fig. 7.3.

A titolo di esempio, nella seguente Fig. 7.4 è rappresentato un calcolo effettuato per un'onda caratterizzata da $H=3.70$ m; $T_p=7.4$ s; obliquità 16° . In essa l'effetto di una barriera, ubicata a diverse distanze da riva, è stato valutato nei casi di barriera: 1) assente; 2) prima della profondità di frangimento; 3) oltre il punto di frangimento, ma prima della profondità di chiusura; 4) oltre la profondità di chiusura.

Adottando lo schema di calcolo descritto è stato dunque calcolato (per tutte le onde del "clima annuale") il trasporto solido litoraneo in funzione della distanza dalla linea di riva. I risultati ottenuti sono rappresentati graficamente nella Fig. 7.5. Si possono distinguere il trasporto solido diretto verso Nord, quello verso Sud ed il trasporto solido netto (diretto verso Sud, come previsto), sempre in relazione alla posizione (distanza) rispetto alla riva.

Nelle Fig. 7.6 e Fig. 7.7 è rappresentato il trasporto solido cumulato (da riva al largo). Nella prima figura tale valore è stato rappresentato fino ad oltre la profondità di chiusura di tutte le onde, mentre nella seconda figura è stato rappresentato un dettaglio del trasporto tra le barriere staccate (poste a circa 80 m da riva) e la costa.

In tutte le figure appena descritte (Fig. 7.5, Fig. 7.6, Fig. 7.7) il trasporto solido è stato "normalizzato" rispetto al valore massimo del trasporto netto. Ossia, posto il trasporto totale netto pari ad 1, gli altri ne sono una frazione. Nel caso della distribuzione del trasporto lungo riva, il valore di riferimento è il massimo trasporto netto per metro lineare.

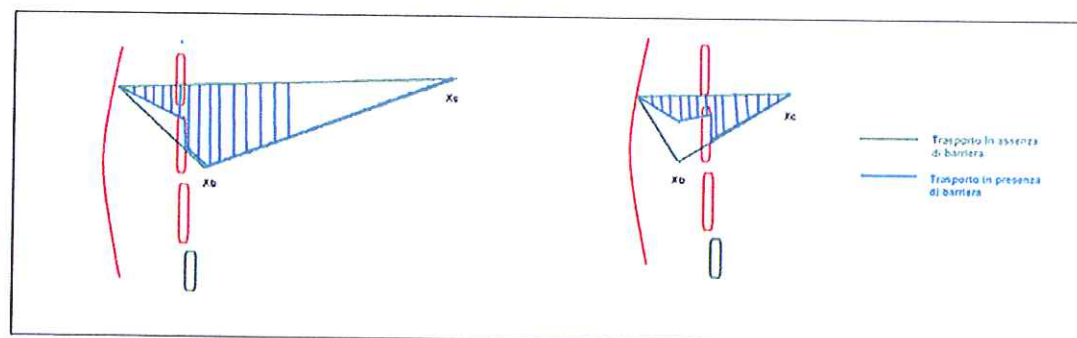


Fig. 7.3 – Schema di distribuzione trasversale del trasporto solido litoraneo per un'onda che frange al largo (figura a sinistra) o a riva (a destra) rispetto alla posizione delle barriere.

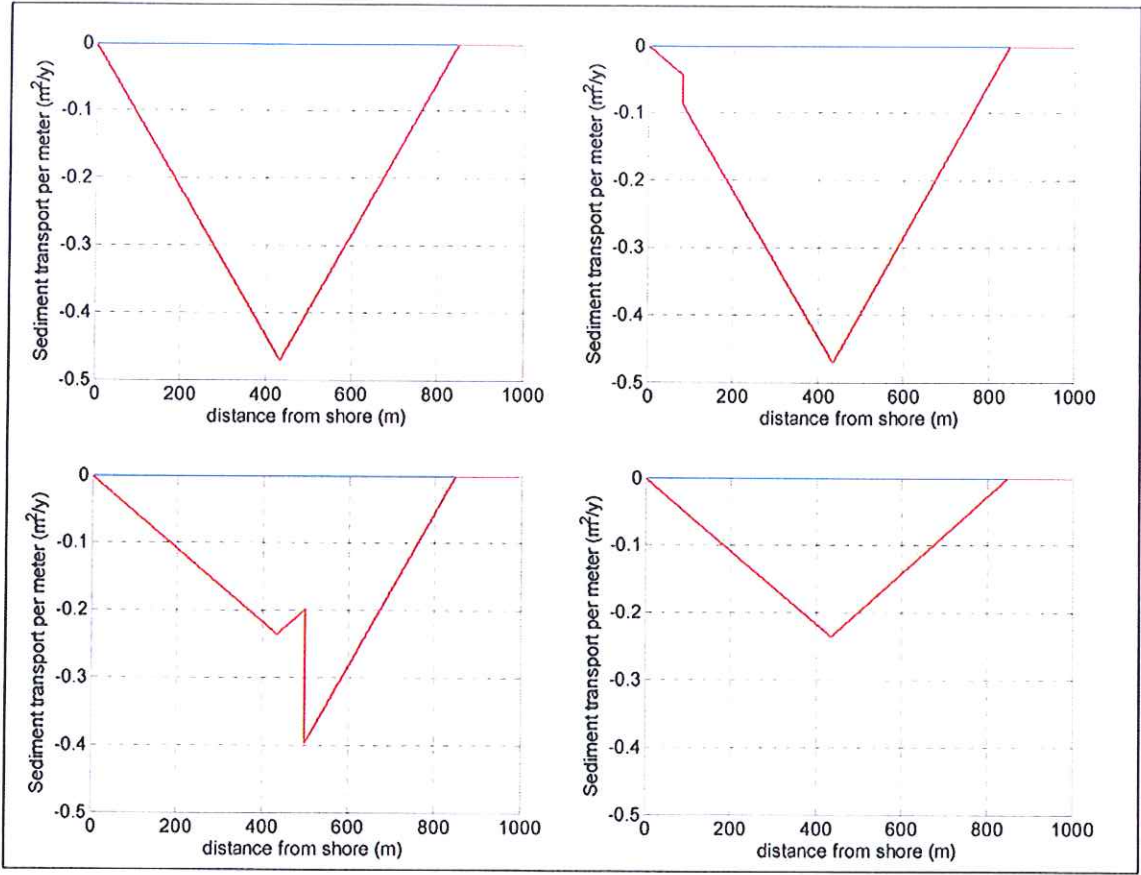


Fig. 7.4 – Effetto della posizione della barriera per un'onda di 3.70m, $T_p=7.4$ s; obliquità 16° ;
Casi simulati: barriera 1) assente; 2) prima della profondità di frangimento; 3) oltre il punto di frangimento,
ma prima della profondità di chiusura; 4) oltre la profondità di chiusura

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

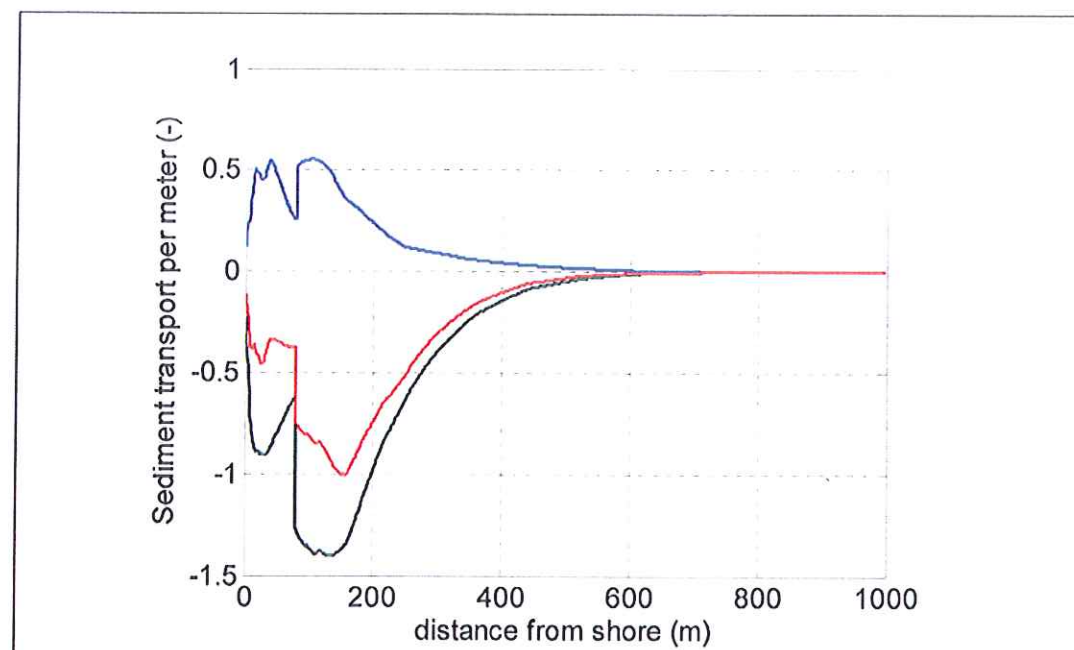


Fig. 7.5 – Diagramma del trasporto solido litoraneo: verso Nord (blu), verso Sud (verde), netto (rosso)

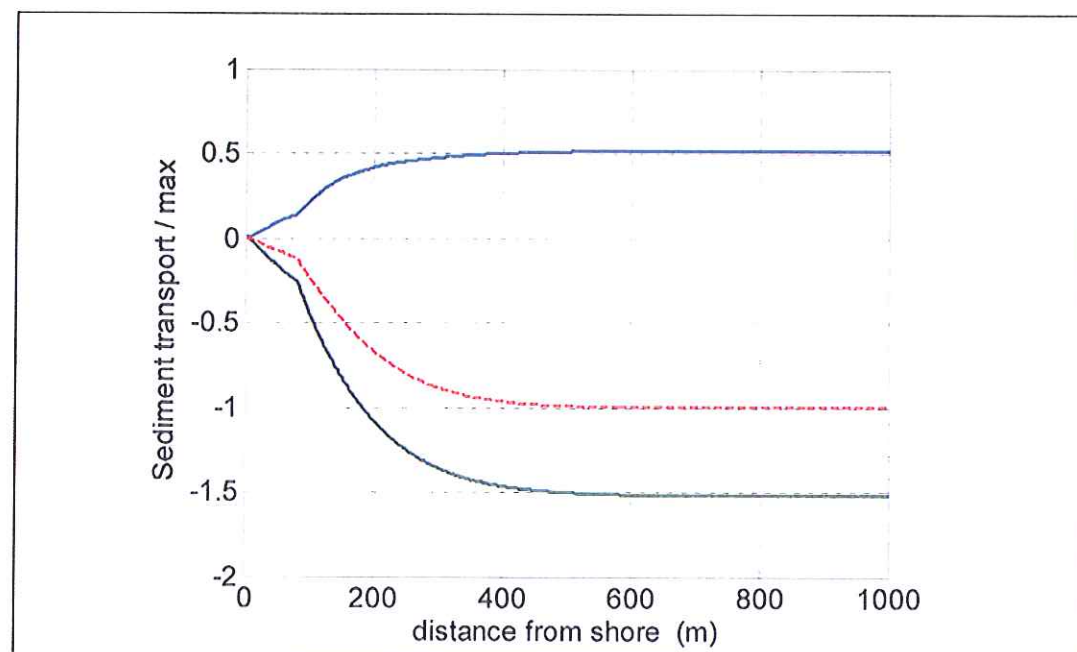


Fig. 7.6 – Distribuzione cumulata del trasporto solido litoraneo:
verso Nord (blu), verso Sud (verde), netto (rosso)

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

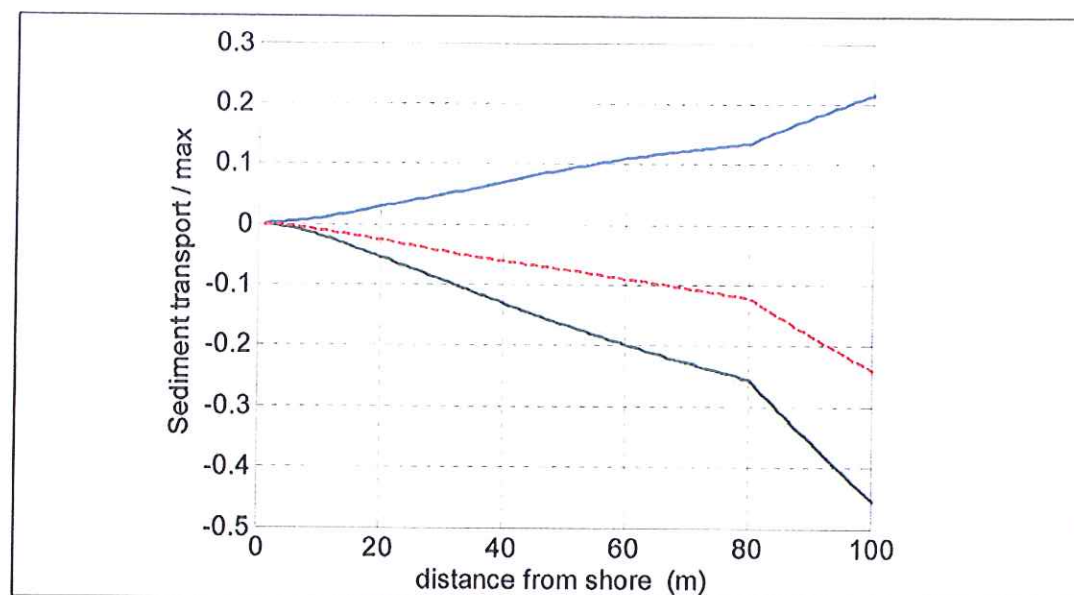


Fig. 7.7 – Distribuzione cumulata del trasporto solido litoraneo: particolare tra barriere e riva

Dall'analisi delle figure appare evidente che il trasporto solido litoraneo tra le barriere e riva è assai ridotto rispetto al totale; in particolare, il trasporto netto verso Sud, nella fascia compresa tra la riva e le barriere, (distanti 80m dalla riva) è circa il 12% del trasporto globale (considerando quindi anche la frazione che si sposta al largo delle barriere, come si vede dall'ultima figura), ossia è al più di 3000 m³/anno. Quasi il 90% del trasporto solido litoraneo transita (e transiterà) quindi al largo delle barriere e non sarà perciò influenzato in modo apprezzabile dalle eventuali opere realizzate tra le barriere e la riva.

Questa stima è cautelativa come già anticipato; è infatti prevedibile che i volumi di sabbia che si muovono dietro le barriere siano ancor più contenuti. In altre parole, il trasporto solido che si realizza entro le barriere è presumibilmente inferiore a quanto stimato dal calcolo proposto (3'000 m³/anno), in quanto, oltre alle assunzioni cautelative ricordate, si parla pur sempre di trasporto solido "potenziale", che può essere anche notevolmente superiore a quello reale.

Ora, se si analizza la situazione esistente delle opere di difesa rigide realizzate lungo il tratto di costa in esame (Fig. 2.2) si nota inequivocabilmente che il tratto compreso tra le barriere e la riva appare come un "cul de sac", che impedisce quasi completamente il flusso dei pochi sedimenti qui movimentati, verso Sud. Dall'immagine fotografica si nota infatti che all'estremità più meridionale la linea di riva è considerevolmente avanzata, fino a toccare quasi le barriere che in origine erano "staccate" (con formazione di tombolo). Dunque, oltre a tale punto non transiterà praticamente alcun sedimento. Per di più, procedendo ancora verso Sud (litorale di Villa Rosa, Fig. 7.8) c'è un altro sistema di opere di difesa che impedisce quasi totalmente il flusso di sedimenti tra le opere e riva, verso Sud, mentre continua a persistere il trasporto parallelo alla riva, ma al largo delle opere.

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti

In risposta alla giusta rilevazione qualitativa che i pennelli di nuova costruzione potrebbero limitare il transito di sedimenti, è necessario ribadire la limitata entità del trasporto complessivo tra le barriere e riva, che porterebbe al più a ridurre il tasso di crescita osservato nel tratto più meridionale del litorale di Martinsicuro. La riduzione di tale accumulo sarebbe peraltro auspicabile, in quanto potrebbe per contro aumentare il materiale che fuoriesce dalla zona, diretto a Sud. Viceversa, nelle condizioni attuali, si può prevedere che la riva giungerà a toccare le barriere intrappolando il 100% del trasporto che avviene sotto riva (che peraltro è poca cosa).

Infine, la distanza entro cui si possono generare effetti legati alla presenza dei pennelli può essere stimata tipicamente nell'ordine di 10 volte la lunghezza del pennello, ossia qualche centinaio di metri, anche in relazione al materiale attualmente accumulato e al trasporto stimato entro le barriere. Si noti anche che la costruzione delle barriere stesse ha avuto come effetto una erosione, in questo caso molto significativa, ma che si estende comunque non oltre 10 volte l'ingombro a mare delle barriere, presentando quindi estensione limitata e concentrata in circa 0.5+1 km.

Da ultimo, si deve notare che il previsto ripascimento artificiale (dell'ordine dei 20.000 m³), che verrà associato alla realizzazione dei nuovi pennelli, non potrà che arrecare beneficio alle spiagge più a valle (in termini di trasporto solido), nel senso che parte del materiale versato verrà mobilitato (anche se in tempi piuttosto lunghi, vista l'entità del trasporto) verso Sud, con un certo vantaggio per queste spiagge di valle.

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE:
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	GeneralProgetti



Fig. 7.8 – Immagine satellitare del litorale di Villa Rosa (Google-Earth aprile 2013)

8 CONCLUSIONI

In conclusione, sulla base degli studi condotti, si può affermare che nell'area di intervento quasi il 90% del trasporto solido in direzione parallela alla riva avvenga al largo delle barriere frangiflutti. Vale anche la pena di osservare che, a Sud dell'area di intervento, la presenza di tomboli azzerà di fatto la dinamica dei sedimenti tra le barriere e la riva, con la conseguenza che la quasi totalità del trasporto solido avviene al largo delle barriere.

Il quesito circa i potenziali impatti della realizzazione dei pennelli tra la riva e le barriere trova quindi la sua risposta nelle considerazioni sopra esposte: il litorale sottoflutto all'area di intervento, più precisamente la spiaggia di Alba Adriatica a Sud della foce del Vibrata, viene alimentato dal trasporto solido proveniente da Nord, che avviene quasi esclusivamente al largo delle barriere e non è quindi influenzato da quanto viene realizzato tra queste e la riva.

TITOLO:	Analisi del trasporto solido litoraneo lungo il litorale di Martinsicuro (TE)	COMMITTENTE: GeneralProgetti
ELAB.:	RELAZIONE TECNICA	

In altre parole, che si realizzino o meno i pennelli (più il ripascimento) lungo il litorale di Martinsicuro, poco o nulla può cambiare lungo i litorali di Alba Adriatica, molto più a Sud degli interventi.

Il significato dei tre pennelli inseriti nel progetto è quello di contenere la perdita irreversibile verso il largo dei sedimenti versati sulla spiaggia a tergo delle barriere; nel medio termine, le perdite che comunque si verificheranno non potranno che aumentare il budget di sedimenti disponibile per il trasporto solido e produrre un beneficio, ancorchè minimo, per le spiagge sottoflutto.

Padova, Febbraio 2014

Prof. Ing. Piero Ruol

