



COMUNE DI RAVENNA
AREA INFRASTRUTTURE CIVILI
SERVIZIO TUTELA AMBIENTE E TERRITORIO
U.O GEOLOGICO



Sistema di Qualità certificato per:
Progettazione, programmazione,
affidamento, direzione lavori
dei lavori pubblici
e delle manutenzioni;
gestione espropri.

INTERVENTO: ripascimento di Marina Romea con sabbia proveniente dalla foce del fiume Lamone.

(CUP C67B17000450007)

FASE PROGETTUALE

ESECUTIVA

Segretario Generale Dott. Paolo Neri	Assessore ai LL.PP.: Roberto Giovanni Fagnani	Sindaco Michele de Pascale
Capo Servizio: Dott. Gianni Gregorio	Capo Area: Ing. MASSIMO CAMPRINI	

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:	Dott. Gianni Gregorio
PROGETTISTA COORDINATORE:	Dott. Nannini Sergio
COORD. SICUREZZA PROGETTAZIONE:	Dott. Nannini Sergio
PROGETTISTA:	Dott. Nannini Sergio
COLLABORATORE ALLA PROGETTAZIONE	Geom. Michela Chiarini
ELABORAZIONE GRAFICA:	Geom. Elisa Fortibuoni
	Sig.ra Franca Bertozzi

0	EMISSIONE				
Rev.	Descrizione	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data:

ELABORATO:

RELAZIONE GENERALE E TECNICA

Codice intervento: fasc. 2017/06.05/363	Data: 29 agosto 2018	Codice Elaborato: 1R RG-T
Scala:	File: 06.05/363 - E - RG-T	Revisione: R0

1. RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA.....	2
1.1. Premessa	2
1.2. Individuazione di massima dei siti oggetto dell'intervento	3
1.3. Indagini preliminari.....	3
1.4. Situazione Iniziale.....	4
1.5. Obiettivi generali e strategie per raggiungerli	6
1.6. Descrizione degli interventi da eseguire.....	7
1.7. Requisiti tecnici.....	8
2. STUDIO DI PREFATTIBILITA' AMBIENTALE.....	9
2.1. Verifica di compatibilità dell'intervento con le prescrizioni di piani paesaggistici, territoriali ed urbanistici sia generali che di settore.....	9
2.2. Accertamenti in ordine a vincoli presenti di natura paesaggistica o di qualsiasi altra natura interferenti sulle aree.	12
3. PARERI, NULLA OSTA AUTORIZZAZIONI OTTENUTE.....	13
4. VALUTAZIONE ECONOMICA E FONTI DI FINANZIAMENTO.....	14
5. ALLEGATI.....	15
5.1. INQUADRAMENTO REGIONALE	16
5.2. INQUADRAMENTO URBANISTICO : NORMATIVE DI RIFERIMENTO PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA E COMUNALE	17
5.3. TAVOLE VINCOLI AMBIENTALI	24
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	28
SIMULAZIONI MODELLISTICHE.....	31

1. RELAZIONE ILLUSTRATIVA E TECNICA

1.1. Premessa

La foce del Lamone è un estuario dominato da un alveo di magra stretto e incassato e da sponde arginate che si spingono fino a circa 2 m slm. La profondità dell'alveo è di circa -2 m alla sezione di ingresso nell'area di studio, poi si riduce progressivamente poco oltre il ponte sul Viale Italia (lungomare di Marina Romea) e sfocia con uno stretto canale con il fondo a circa -1.25. Poi l'alveo si approfondisce di nuovo per giungere a mare a quota -2 m slm circa. L'equilibrio dipende evidentemente dalle quote dell'acqua dolce in arrivo e da quella del mare, ma l'area è del tutto priva di dati osservati per poter fornire una valutazione diretta di tali equilibri.

Nel 2011, per disporre di alcune informazioni di minima, è stato necessario un approccio indiretto basato sulla realizzazione di un modello matematico del flusso idraulico nel tratto compreso dalla sezione corrispondente ad un punto circa 200 m a monte del ponte sulla viale Italia, fino alla sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'estremità dei moli guardiani. Tale studio è stato, a seguito degli esiti di gara, dall'ATI tra Anfibia S.r.l. (mandataria), Servin Soc. Coop. P. A. e Sapir Engineering S.r.l..

L'incarico consisteva nella "Prestazione di servizi per lo studio del tratto terminale del Fiume Lamone, finalizzato all'individuazione della soluzione progettuale ottimale al fine di evitare gli insabbiamenti della foce e ridurre i fenomeni erosivi provocati dal moto ondoso". Lo studio dopo aver analizzato molteplici fattori tra cui condizioni meteomarine, trasformazione dell'onda, equilibrio idraulico e dinamica sedimentaria, ha confermato che fondamentalmente, il problema consiste nel trovare un equilibrio il più possibile duraturo dell'assetto idraulico della foce del Lamone, che ha l'alveo di magra spostato a ridosso del molo nord, e il tombolo a ridosso del molo sud.

Le conclusioni dello studio hanno poi portato alla realizzazione di alcuni interventi che, tenendo conto della presenza del Circolo Nautico, dei capanni da pesca e dei moli foranei, avessero l'obiettivo principale di mettere in sicurezza idraulica l'intero sistema di foce, spostando leggermente l'alveo di magra e facendo sì che il fiume possa mantenere abbastanza a lungo questa nuova posizione. Quindi, in altre parole si è cercato di centrare meglio l'alveo riportandolo ad un assetto più idoneo mediante:

- risagomatura, mediante dragaggio, dell'alveo di magra;
- realizzazione di opere costituite da "bilanciatori" posti trasversalmente rispetto all'alveo del Lamone;
- realizzazione di una difesa spondale sulla riva sud, a monte della strada provinciale.

Oggi a distanza di circa cinque anni dalla realizzazione delle opere si rende necessario provvedere ad alcune opere migliorative, per rendere maggiormente efficace quanto realizzato.

Inoltre, su segnalazione del Corpo dei Carabinieri Forestali, si prevede di intervenire anche nella protezione di una porzione di duna posta a sud della foce del fiume Lamone, in quanto esiste una situazione di particolare degrado in questa duna, dovuta al parcheggio indiscriminato di autovetture sulla stessa.

1.2. Individuazione di massima dei siti oggetto dell'intervento

L'area interessata dal presente intervento, la foce del fiume Lamone e zone limitrofe a sud, sono ubicate nella parte settentrionale del Comune di Ravenna e sono poste nella porzione di territorio sito a nord del Porto Canale di Ravenna e a sud della foce del fiume Reno.



1.3. Indagini preliminari

Si sono rese necessarie indagini preliminari atte a pervenire ad una completa caratterizzazione del territorio ed in particolare nella zona di foce, ove nella primavera 2017 è stato eseguito un rilievo topografico/batimetrico, finalizzato definizione della morfologia dei fondali. Tale rilievo è stato poi utilizzato per l'elaborazione dell'allegato progetto.

Inoltre per avere una completa conoscenza della dinamica meteo marina e fluviale dell'ambiente transazionale di foce, con determinazione Dirigenziale DK n° 37, prot. n° 204260 del 07/12/2017, si è provveduto ad affidare un incarico finalizzato alla "verifica idraulica della foce del fiume

Lamone, relativamente alla compatibilità di alcune nuove opere”, in modo tale da verificare, con l’ausilio della modellistica numerica, l’impatto del presente progetto.

Non si sono eseguite altre indagini in quanto si ha precisa conoscenza del contesto in cui sono inserite le opere, sotto i profili storico, archeologico, ambientale, geologico, geotecnico e delle interferenze. La base conoscitiva di partenza è ricavata dagli studi effettuati nel tempo su incarico di codesta Amministrazione Comunale e di concerto con la Regione Emilia-Romagna.

1.4. Situazione Iniziale

Storicamente, la foce del fiume Lamone ha sempre sofferto di forti insabbiamenti tanto che già nel 2003 (vedi immagine 1) un importante accumulo di sabbia ostruiva quasi completamente il deflusso dell’acqua.



Immagine 1

Successivamente si è provveduto ad effettuare diversi prelievi di sabbia mediante dragaggio, oltre alla realizzazione dei tre pennelli deviatori di flusso citati in premessa, e già dall’immagine seguente (immagine 2), si nota come si sia riusciti ad ottenere un buon canale d’alveo in sinistra idraulica, con un parziale accumulo di sabbia a ridosso della sponda destra.



Immagine 2

L'area della foce del fiume Lamone, immagine 3, in seguito agli interventi eseguiti, oggi è caratterizzata da due moli in masso che proseguono la foce in mare, e dai tre pennelli deviatori di flusso realizzati a ridosso della sponda sinistra. I pennelli sono realizzati in pali di legno di castagno, mentre i moli in masso calcareo.

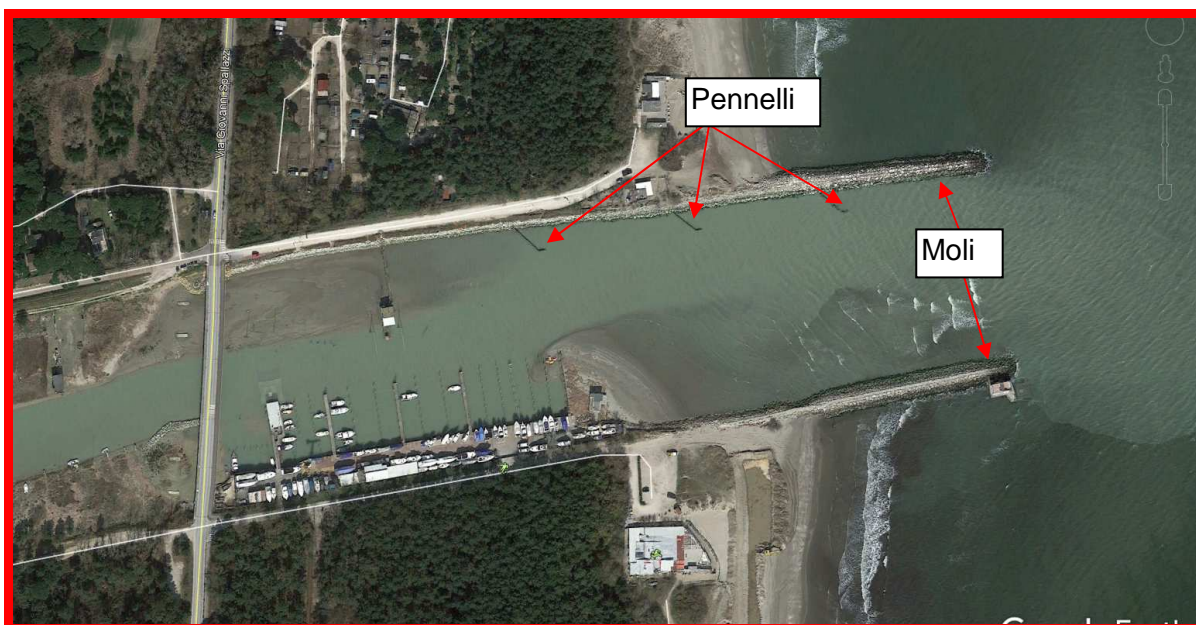


Immagine 3

E' evidente dall'ultima immagine satellitare, confermata come sopra detto da un rilievo batimetrico eseguito nel maggio 2017, che l'accumulo di sabbia presente in destra idraulica, tenda a migrare verso il centro dell'alveo fluviale, riducendo la profondità e pertanto sia la navigabilità che il deflusso delle acque in caso di piena.

Si fa presente che il primo pennello deflettore oggi è molto deteriorato e ha pressoché perso tutta la sua funzionalità, in quanto le violente mareggiate a cui è esposto lo hanno in parte demolito.

Relativamente alla porzione di duna posta a sud della foce, come ben evidenziato nell'immagine 4, oltre ad essere frammentata in due parti, è soggetta a importanti fenomeni antropici che la stanno profondamente segnando oltre che da solchi dovuti al passaggio di pedoni per giungere la spiaggia, anche dal parcheggio indiscriminato di autovetture



Immagine 4

1.5. Obiettivi generali e strategie per raggiungerli

Relativamente al presente intervento si distingue:

- 1) opere relative alla ricostruzione del primo pennello deflettore in sinistra idraulica lato mare, mediante la sua realizzazione in massi calcarei ad una quota sommitale di circa + 0,50 ml. dal medio mare;
- 2) prolungamento della parte parallela alla sponda nord degli altri due pennelli deflettori;
- 3) inserimento di un nuovo pennello deflettore, mediano fra i primi due esistenti;
- 4) realizzazione di una palancolata perpendicolare a quella esistente sul lato destro della foce, in modo tale da creare una zona di accumulo e deposito della sabbia che tende ad ostruire la foce. Questo materiale potrà poi essere facilmente prelevato anche con l'ausilio di mezzi terrestri ed utilizzato per il ripascimento delle spiagge limitrofe sia a nord che a sud della foce.
- 5) dragaggio degli accumuli esistenti ed utilizzo di tale materiale per il ripascimento delle stesse aree di cui al punto precedente

6) protezioni della duna, mediante la realizzazione di staccionate che impediscano l'accessibilità veicolare e la creazione di un percorso guidato di collegamento, attraverso la duna, alla spiaggia.

Gli interventi sono rivolti essenzialmente:

- alla sistemazione della foce fluviale facendo sì che gli insabbiamenti, che generalmente si formano in conseguenza del sopravvento della dinamica marina su quella fluviale, tendano a essere contenuti in una zona definita in destra idraulica, mantenendo pertanto libero al deflusso delle acque l'alveo centrale;
- utilizzando alcuni accumuli di sabbia semisommersi presenti all'interno della golena, al ripascimento dei tratti di litorale maggiormente sensibili all'erosione localizzata, in modo da uniformare la linea di riva;
- alla protezione del tratto di duna esistente posta a sud della foce.

1.6. Descrizione degli interventi da eseguire

- **nuovo deflettore in massi**, si prevede la realizzazione di un nuovo deflettore in sinistra idraulica, in sostituzione di quello oggi esistente e maggiormente esposto alle mareggiate

- **ripristino, modifica e nuovo deflettore**, si prevede il prolungamento dei due deflettori in legno esistente, oltre alla realizzazione di uno nuovo, eseguito in posizione mediana ai due esistenti

- **dragaggio degli accumuli presenti nella foce**, in modo tale da ricreare un alveo centrale maggiormente idoneo al deflusso delle acque di piena del fiume Lamone, tale materiale verrà utilizzato per il ripascimento sia della spiaggia sommersa che emersa delle zone limitrofe alla foce.

- **protezione della duna esistente**, mediante la realizzazione di un percorso guidato in legno, protetto da parapetti, situato nell'area fra il retroduna e la pineta litoranea. L'opera verrà realizzata con una pendenza massima dell'8% con tratti di ml. 10,00 intercalati da tratti orizzontali in quota, in modo tale che il nuovo sistema di attraversamento della duna litoranea sia accessibile anche ai diversamente abili.

Inoltre si prevede di richiudere i percorsi maggiormente incavati nella duna, mediante l'utilizzo della sabbia presente sulla battigia.

- **delimitazione area d'accumulo**, da realizzarsi mediante l'infissione di un palancolato parallelo all'argine destro e a collegamento con un palanco lato esistente perpendicolare allo stesso.

1.7. Requisiti tecnici

Dovranno essere rispettate le usuali indicazioni tecniche applicate per gli appalti del Servizio Tutela Ambiente e Territorio – U.O. Geologico del Comune di Ravenna e relativamente al presente intervento si distingue:

- **nuovo deflettore**, verrà realizzato utilizzando massi di natura calcarea compatta e saranno costituiti da pietre dure e compatte, prive di cappellaccio, non dovranno presentare piani di sfaldamento o incrinature, non dovranno alterarsi a contatto con l'acqua di mare o per effetto del gelo e dovranno avere un peso specifico non inferiore a 2500 kg/m³.

Le prove di resistenza del materiale alla compressione, all'abrasione, alla salsedine marina e alla gelività, che la Direzione Lavori riterrà di disporre, saranno effettuate a carico dell'Impresa, seguendo le norme in vigore per l'accettazione delle pietre naturali da costruzione (R.D. 16-11-1939, n° 2232). In particolare devono essere rispettati i seguenti limiti:

- peso specifico medio su 4 provini, allo stato naturale, > 2500 kg/m³;
- resistenza unitaria su quattro provini, allo stato naturale, > 600 kg/cm²;
- resistenza all'abrasione per attrito radente tale che la riduzione di spessore su 1000 m di percorso risulti < 5 mm (media su due prove);
- coefficiente di imbibizione < 4%;
- resistenza chimica (ASTMC 88/5 cicli solfato di sodio) tale che la perdita sia <10%;

Le opere saranno costituite da materiale classificato e diviso nelle seguenti categorie:

- massi naturali di II Categoria 1001 – 3000 kg;
- massi naturali di III Categoria 3001 – 5000 kg;

Ciascuna categoria di materiali lapidei dovrà essere bene assortita e dovrà rispettare le seguenti distribuzioni:

- massi II Categoria: Dn50 \pm 0.85 m
- massi III Categoria: Dn50 \pm 1.25 m

- **ripristino e modifica deflettori**, da realizzare con pali di castagno infissi nel fondale. Ogni palo sarà protetto da manicotti tubolari termorestringenti, colore marrone, adatti per la protezione dei pali di legno dall'attacco delle teredini. Per la buona riuscita dell'opera è fondamentale che il palo sia ricoperto dalla quota del medio mare fino a 20/30 cm. sotto tale livello.

- **dragaggio degli accumuli presenti nella foce**, da eseguirsi con draga refluyente che, mediante una tubazione stesa sulla battigia, si procederà al ripascimento sia della spiaggia sommersa che emersa delle zone limitrofe alla foce.

- **protezione della duna esistente**, da eseguirsi mediante l'impiego di legno di larice. I legnami utilizzati dovranno essere certificati e marcati C.E. in base alla vigente normativa.

2. STUDIO DI PREFATTIBILITA' AMBIENTALE

La foce del fiume Lamone, necessita di un intervento globale di risistemazione, in quanto nel corso degli anni, non sono stati eseguiti interventi significativi, soprattutto relativamente ad dragaggio dell'area di foce

Sotto il Profilo funzionale tecnico, considerata la tipologia dell'intervento proposto, non si configura la necessità di predisporre indagini geognostiche e relazione geologica e geotecnica preventiva.

Sotto il Profilo dell'inserimento ambientale, l'impatto dell'opera sulle componenti ambientali, sarà esclusivamente circoscritto ad un moderato e momentaneo intorbidimento dello specchio acqueo limitrofo, per effetto della movimentazione di materiale in zona di spiaggia emersa e sommersa; trattasi di un fenomeno temporaneo che svanisce completamente per sedimentazione dei granuli trasportati dalla corrente, oltre alla presenza dei soli mezzi meccanici necessari alla messa in opera della staccionate in legno. Pertanto, rispetto alla condizione attuale, non si presentano variazioni sulle componenti ambientali del contesto territoriale, che risulta salvaguardato nella qualità ambientale e paesaggistica.

Impatto del cantiere e delle fasi di lavorazione sulla viabilità e sui residenti / utenti, minimi i disagi prodotti alla viabilità durante l'esecuzione delle lavorazioni, il tutto in funzione delle caratteristiche intrinseche delle opere da realizzare. Verrà garantito comunque l'accesso all'arenile e interclusa solamente le aree di stoccaggio e esecuzione delle staccionate, scarico e rusatura della sabbia da ripascimento per il tempo strettamente necessario all'esecuzione delle lavorazioni.

2.1. Verifica di compatibilità dell'intervento con le prescrizioni di piani paesaggistici, territoriali ed urbanistici sia generali che di settore

Premesso che

- Il Piano Strutturale Comunale (P.S.C.), che individua l'Arenile al Titolo III art. 62 tra le componenti dello "Spazio naturalistico" e definisce le prestazioni dell'Arenile naturale all'art. 67 e le prestazioni per l'Arenile attrezzato (con o senza dune) all'art. 68, rinvia al Piano dell' Arenile tale componente;

- l'ambito di riferimento del Piano dell'Arenile è la fascia costiera, costituita dal sistema pineta/area retrostante/duna/spiaggia/mare (la porzione di mare di competenza è la fascia antistante destinata alla balneazione). Esso comprende l'intero affaccio a mare del territorio comunale e si estende dalla foce del Fiume Reno fino al confine con il Comune di Cervia; fanno parte di quest' ambito le

località di Casalborgorsetti, Marina Romea, Porto Corsini, Marina di Ravenna, Punta Marina Terme, Lido Adriano, Lido di Dante, Lido di Classe e Lido di Savio;

- Il Piano dell'Arenile 2015, attuativo del Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) vigente e del quale costituisce RUE ai sensi della L.R. n.9/2002 e s.m.i., adottato il 16/07/2015 con Delibera C.C. n. 99757/76 a seguito della scadenza del precedente Piano dell'Arenile 2009, è stato approvato dal C.C. il 17/03/2016 con Delibera C.C. n. 40441/52 e divenuto efficace in data 06/04/2016 con la pubblicazione sul BUR regionale n. 92;

- Il nuovo Piano dell'Arenile, ribadisce le scelte di fondo dello strumento urbanistico precedente, che individua come obiettivi strategici quelli relativi alla conservazione, gestione e valorizzazione delle aree ad elevato valore naturalistico destinate alla conservazione degli habitat e delle specie costiere, nonché quello di regolamentare gli insediamenti e l'uso della spiaggia e delle aree retrostanti secondo i principi previsti dalla LR 9/2000 e dalle relative Direttive.

Esso si inserisce pertanto in un quadro normativo articolato di natura prevalentemente conservativa e di valorizzazione delle risorse ambientali; recepisce gli obiettivi delle Direttive CEE per le aree SIC (siti di importanza Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale) in esso comprese; fanno parte del Piano dell'Arenile le porzioni di territorio nei perimetri dei Piani territoriali di Stazione del Parco del Delta del Po dell'Emilia-Romagna; fa proprie le "linee guida" del Progetto GIZC per la Gestione Integrata delle Zone Costiere, orientando gli obiettivi di gestione del "sistema spiaggia" verso la piena sostenibilità ambientale, economica e sociale; recepisce come riferimento di pianificazione le norme riguardanti prescrizioni, direttive ed indirizzi del P.T.P.R. (Piano Territoriale Paesistico Regionale), che individua l'arenile di Ravenna nella unità di paesaggio "Costa Nord", e del P.T.R. (Piano Territoriale Regionale). Il Piano dell'Arenile recepisce poi i contenuti del P.T.C.P. (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) che individua il "Sistema costiero", di cui l'arenile di Ravenna è parte integrante, e recepisce ed integra le norme del PTPR relative all'arenile negli Art. 3.12; 3.13; 3.14 e 3.15 delle relative NdA;

- il Piano dell'Arenile 2015, al Capo 1, Art 14, Parte Seconda Urbanistica delle NTA, articola lo spazio naturalistico, definito dal PSC, in componenti ambientali: Pinete (costituite dalle Pinete adiacenti alla fascia litoranea e disciplinate dal RUE) Aree marginali o degradate e/o aree retrostanti (sono le porzioni di territorio comprese tra le parti retrostanti delle strutture turistico ricettive e la pineta o la viabilità comunale, e quelle aree interspazio tra concessioni che si trovano tra la spiaggia libera e la pineta/viabilità retrostante) Dune, Spiagge (costituite dalle porzioni di arenile che hanno una specifica funzione in relazione agli usi balneari liberi/organizzati), Fascia di libero transito, Mare (è costituito dallo specchio acqueo che si estende, di norma, per 300 metri dalla linea battigia e si attesta alle difese a mare dall'ingressione marina dove esistenti) e ne definisce gli interventi ammessi.

- **Il Piano dell'Arenile individua le dune oggetto di intervento all'Art. 16 – DUNE**, con valenza esclusivamente ambientale e/o di difesa, per le quali non è previsto alcun uso particolare legato

alle attività balneari, **classificate per tipologia alla lettera b) “Corpi dunosi con elementi di naturalità”**, che corrisponde alle porzioni di duna che presentano caratteristiche naturali d’interesse, sia per la presenza di vegetazione di particolare rilevanza comunitaria, che per il loro stato di conservazione, e che necessitano di interventi di modesta entità atti a migliorare la loro consistenza. Gli interventi sui corpi dunosi esistenti devono essere finalizzati al mantenimento, alla riqualificazione ambientale, all’integrazione dimensionale dei corpi dunosi stessi e alla conservazione delle caratteristiche vegetazionali e faunistiche tipiche degli habitat che li contraddistinguono. **A tal fine è consentita “la realizzazione di passerelle in legno e di interventi di ingegneria naturalistica”**; eventuali percorsi di accesso al mare che interessino il corpo dunoso devono essere realizzati in modalità che non compromettano l’habitat e la struttura della duna, non alterino l’andamento morfologico della duna e non costituiscano impermeabilizzazione del suolo.

- **Il Piano dell’Arenile, all’ Art 17 comma 2**, individua e suddivide la componente **SPIAGGE** nelle seguenti tipologie: Spiaggia per la balneazione organizzata - Spiaggia per la balneazione libera - Spiaggia derivante da ripascimento; in tali aree sono ammessi gli “interventi volti alla protezione delle strutture turistico- ricreative da fenomeni di mareggiata in periodo invernale” e **all’Art. 19** “Opere di difesa dal mare” (le opere di contrasto all’erosione marina, site nell’arenile e/o nel mare antistante), comma 2, consente “tutte le opere di difesa e sicurezza ritenute necessarie dagli enti competenti”.

- **Il Regolamento Urbanistico Edilizio (R.U.E.), la cui ultima variante è in vigore dal 10/01/2018, individua l’Arenile tra le “Componenti idrogeomorfologiche e vegetazionali” classificandolo all’Art. V.2.9 in Arenile Naturale e Arenile Attrezzato; in tali aree il RUE persegue gli obiettivi di tutela del sistema dunoso e di conservazione dei relitti di morfologie dunose esistenti e fa specifico rimando all’applicazione del Piano dell’Arenile;**

- **il RUE individua parte delle aree di intervento (duna), all’Art. V.2.1 - I Boschi e le Pinete**, prevedendo al c.1, in tali aree, “il mantenimento e la tutela del complesso boschivo”, al c.2, sono consentiti nei Boschi e Pinete, con le finalità di cui al c.1, gli interventi ambientali di cui all’art. II.3 del RUE: RRAN, MIA, MO e MS – *all’ Art. II.3.2, la definizione di RRAN : RIPRISTINO/RESTAURO AMBIENTALE-NATURALISTICO*, comprende l’insieme di interventi volti “ a preservare e migliorare aree verdi e naturali di particolare pregio-storico ambientale ” come ad esempio – “ la rinaturalizzazione dei suoli, mediante riempimenti, risagomature, consolidamento di scarpate e terrapieni, ricostituzione della copertura vegetale”.

- Il RUE individua le zone di intervento come soggette all’articolato IV.1.14. C.8 – “Aree soggette ad ingressione marina”, precisando che le opere da realizzarsi sull’arenile sono disciplinate dal Piano dell’Arenile e C.9 – “Dossi, Paleodossi e Sistemi dunosi”, l’insieme dei dossi di pianura e delle dune costiere, come definiti al comma 1 dell’Art. 3.20 del PTCP; per i **Sistemi dunosi costieri di rilevanza storico documentale paesistica** gli interventi devono essere effettuati in

conformità a quanto previsto all'art. 3.20 del PTCP punto 11 : “sono ammessi gli interventi pubblici e di interesse pubblico miranti alla conservazione e protezione dell'ambiente”.

- Il RUE individua inoltre l'area di foce del fiume Lamone, zona di intervento, tra le Componenti idrogeomorfologiche-vegetazionali all' **ART. V.2.4 / SN4 - Reticolo idrografico**; sono consentiti interventi “derivanti da esigenze di pubblico interesse”.

Ciò premesso,

SI ATTESTA LA COMPATIBILITÀ degli interventi in oggetto al RUE vigente ed al RUE PIANO DELL'ARENILE 2015 del Comune di Ravenna, approvato ed efficace dal 06/04/2016, e contestualmente, si da conto del rispetto degli indirizzi e delle prescrizioni della Pianificazione paesaggistica, territoriale ed urbanistica vigente, sia generali che di settore.

- Inoltre, ai sensi di quanto disposto dall'art. 4 comma 8 lettera b) della L. Reg. n° 9/99, come modificata ed integrata dalla L. Reg. n° 3/2012, il presente intervento non è sottoposto alla disciplina di valutazione di impatto ambientale.

2.2. Accertamenti in ordine a vincoli presenti di natura paesaggistica o di qualsiasi altra natura interferenti sulle aree.

- Le aree interessate dai lavori, ad esclusione della zona di foce del Fiume Lamone, sono sottoposte a **vincolo Idrogeologico** istituito con RD 30/12/1923 n° 3267. A tal fine e ai sensi del punto 2/8 della Delibera della Giunta Regionale n° 117 del 11 Luglio 2000 concernente le procedure tecniche ed amministrative relative alla gestione del vincolo Idrogeologico, SI DICHIARA che gli interventi previsti non provocano perdita di stabilità ai terreni interessati, turbativa del regime delle acque e danni ai terreni circostanti ed essendo realizzati dall'Ente delegato, non sono sottoposti a procedura autorizzativa.

- La zona di arenile di Marina Romea interessata dai lavori, ad esclusione della zona di foce del Fiume Lamone, ricade all'interno del Piano di Stazione “**Pineta San Vitale e Pialasse di Ravenna**” del **Parco Regionale del Delta del Po**, adottato dalla Provincia di Ravenna con Del. C.P. n. 11/8406 del 07/03/2006.

- Inoltre le aree interessate ricadono in toto all'interno del Sito Natura 2000 regionale: SIC/ZPS IT4070005 - PINETA DI CASALBORSETTI, PINETA STAGGIONI, DUNA DI PORTO CORSINI, (Deliberazione della Giunta Regionale n° 512/2009), per cui si attiveranno le procedure relative, previste dalla DGR n. 1191 del 30/07/2007 e si invierà da parte del Comune di Ravenna la Scheda Di Prevalutazione di Incidenza all'Ente Parco e ad altri eventuali Enti competenti;

- Le aree di intervento ricadono in **Ambiti di tutela ambientale**, come individuati dal Codice dei Beni culturali e del paesaggio D.Lgs. 42/2004 : si provvederà in tal senso a richiedere specifica Autorizzazione paesaggistica;

a) Art. 157 “Beni paesaggistici di notevole interesse pubblico istituiti ai sensi della legge 29 giugno 1939, n. 1497” : D.M. 05/01/1976 N.3 / Zona paesistica nord fra Candiano e Foce Reno e D.M. 21/05/1960 / Pineta di Marina di Ravenna;

b) Art. 142 :

Lettera a) “I territori costieri compresi in una fascia della profondità di 300 metri dalla linea di battigia”;

Lettera f) “I parchi e le riserve nazionali o regionali, nonché i territori di protezione esterna dei parchi” : Piano Territoriale Parco del Delta del Po Emilia Romagna / Piano Territoriale di - Stazione “Pineta di San Vitale e Piallasse di Ravenna”;

lettera c) “ fiumi, torrenti e corsi d’acqua, di cui al T.U. approvato con Regio Decreto 1775/1933 e relative sponde per una fascia di 150 m ciascuna;

In merito si fa presente che l’esecuzione degli interventi previsti lasciano inalterate le componenti paesaggistiche naturali dei siti, trattandosi di interventi tesi a produrre molteplici effetti positivi:

- il ripascimento delle zone di spiaggia erose riduce il deficit cronico dei sedimenti in circolazione lungo la costa con ricadute positive sulle spiagge limitrofe e sui fondali antistanti e si concilia con le strategie di lungo termine che prevedono il riequilibrio del litorale per via naturale;

- la protezione e la salvaguardia della duna costiera esistente e quindi dei caratteri naturali propri dei luoghi, mediante passerelle in legno e percorsi guidati da staccionate, immerse nella vegetazione presente sulla duna; dopo breve tempo il legno assume una colorazione tale da mimetizzarsi alquanto bene nel contesto;

- la modifica ed ottimizzazione delle soluzioni in alveo al fine di limitare il più possibile l’insabbiamento della foce, con ricadute positive su tutto l’ecosistema.

3. PARERI, NULLA OSTA AUTORIZZAZIONI OTTENUTE.

Il presente intervento, ai sensi dell’art. 2 comma 2 del D.M. 11/11/2011, è stato inserito nel Bilancio 2018 del Comune di Ravenna, previa approvazione dello studio di fattibilità avvenuto con Delibera di G. C. n° 755/207937 del 05/12/2017.

Successivamente con Delibera di G. C. n° 307/132143 del 22/05/2018, il progetto Preliminare Definitivo.

Inoltre:

- con parere n° 4 Espresso nella seduta del 24/07/2018 la Commissione Qualità Architettura e Paesaggio (CQAP) si è espressa favorevolmente e senza prescrizioni alla realizzazione dell’intervento.

- con PEC prot. n° 132494 del 25/07/2018 si è trasmessa la pre valutazione di incidenza (ai sensi dell'art. 2 comma 2 della L. Reg. n° 7/04) all' **Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità - Delta del Po**

- relativamente all'acquisizione delle aree per l'esecuzione del ripascimento in progetto, si provvederà mediante consegna provvisoria delle stesse al Comune di Ravenna, da parte della Regione Emilia Romagna, prima dell'inizio dei lavori.

4. **VALUTAZIONE ECONOMICA E FONTI DI FINANZIAMENTO**

L'importo del finanziamento per la realizzazione degli interventi è stato stimato pari a € 300.000,00 come riportato nel seguente quadro tecnico economico

A	IMPORTO PRESUNTO LAVORI	Euro
	TOTALE LAVORI a misura soggetti a ribasso	230.511,90
	ONERI SICUREZZA non soggetti a ribasso	4.802,30
	Per lavori in economia di difficile valutazione	6.500,00
	Totale Lavori in Appalto EURO – (A)	241.814,20
B	SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE	
	Per IVA al 22% sui lavori in appalto	53.199,12
	6 Spese di cui agli articoli 24 comma 4, del codice, per polizze assicurative per la copertura dei rischi di natura professionale a favore dei dipendenti incaricati della progettazione e verifica interna.	120,91
	8.1 Fondo per le funzioni tecniche e l'innovazione calcolata nella misura massima lorda sulla base di gara ex. Art. 113 comma 2 D.Lgs 50/2016. Quota relativa all'incentivo per funzioni tecniche, di cui all'articolo 113 comma 3 del D.Lgs 50/2016, nella quota dell'80%	3.869,03
	8.2 Fondo per le funzioni tecniche e l'innovazione calcolata nella misura massima lorda sulla base di gara ex. Art. 113 comma 2 D.Lgs 50/2016. Quota relativa all'incentivo per funzioni tecniche, di cui all'articolo 113 comma 4 D.Lgs 50/2016, nella quota del 20%	967,26
	Per arrotondamenti	29,49
	Totale Somme a disposizione dell'Amministrazione – (B)	58.185,80
	Importo complessivo dei lavori – (A+B)	300.000,00

La copertura economica dell'importo da finanziare avviene mediante l'utilizzo dei fondi ENI facenti parte del VII accordo di collaborazione ENI – Comune di Ravenna, registrato a Ravenna il 12/02/2015 al n° 329 Mod 3

5. **ALLEGATI**

5.1. INQUADRAMENTO REGIONALE

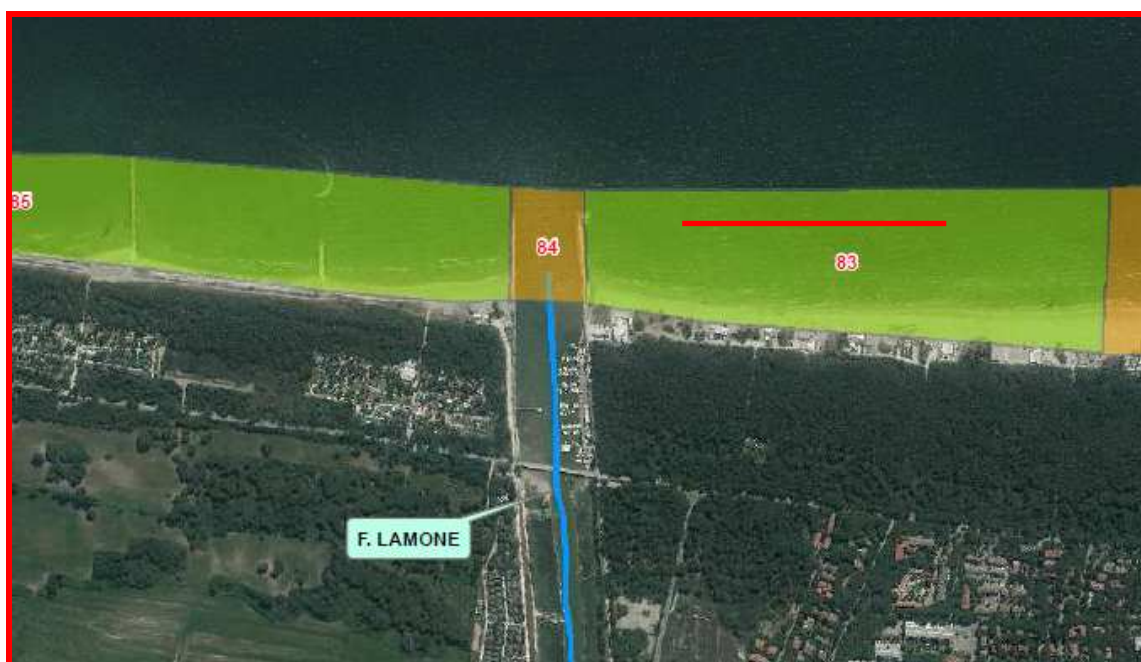
SICELL – SUDDIVISIONE DEL LITORALE REGIONALE IN CELLE

Tale suddivisione (discretizzazione) del litorale regionale si propone come riferimento per la registrazione degli interventi di ripascimento, delle manutenzioni o modifiche alle opere rigide, dei danni da mareggiate e quant'altro abbia ad oggetto la fascia litoranea, come ad esempio la gestione dei sedimenti costieri, anche ai fini del nuovo regolamento regionale, in fase di formulazione, in materia di dragaggio e movimentazione.

A questa nuovo sistema di suddivisione del litorale regionale in 118 celle sedimentarie secondo criteri di omogeneità del tratto costiero è associato un database con informazioni e dati su:

- caratteristiche fisiche delle celle litoranee,
- volumi di sabbia portati a ripascimento nel corso degli anni,
- interventi sulle opere rigide presenti,
- tasso di subsidenza,
- classificazione in base al bilancio sedimentario,
- ampiezza, quota massima e pendenza sia della spiaggia emersa che sommersa,
- aspetti gestionali (necessità di intervento, presenza di vincoli, possibilità di prelievi, possibilità di utilizzo come zona di ricarica di sedimenti).

I tratti di litorale di MARINA ROMEA interessati dal presente intervento (vedi vista satellitare con indicati i tratti in rosso) sono compresi all'interno delle CELLE LITORANEE NN°. 83 E 85 - TAVOLA 8 (Porto Corsini - Fiume Reno) del sistema di nuova suddivisione del litorale regionale denominato SICELL .



SICELL - TAVOLA 8 (PORTO CORSINI – FIUME RENO) - CELLA LITORANEA NN° 84

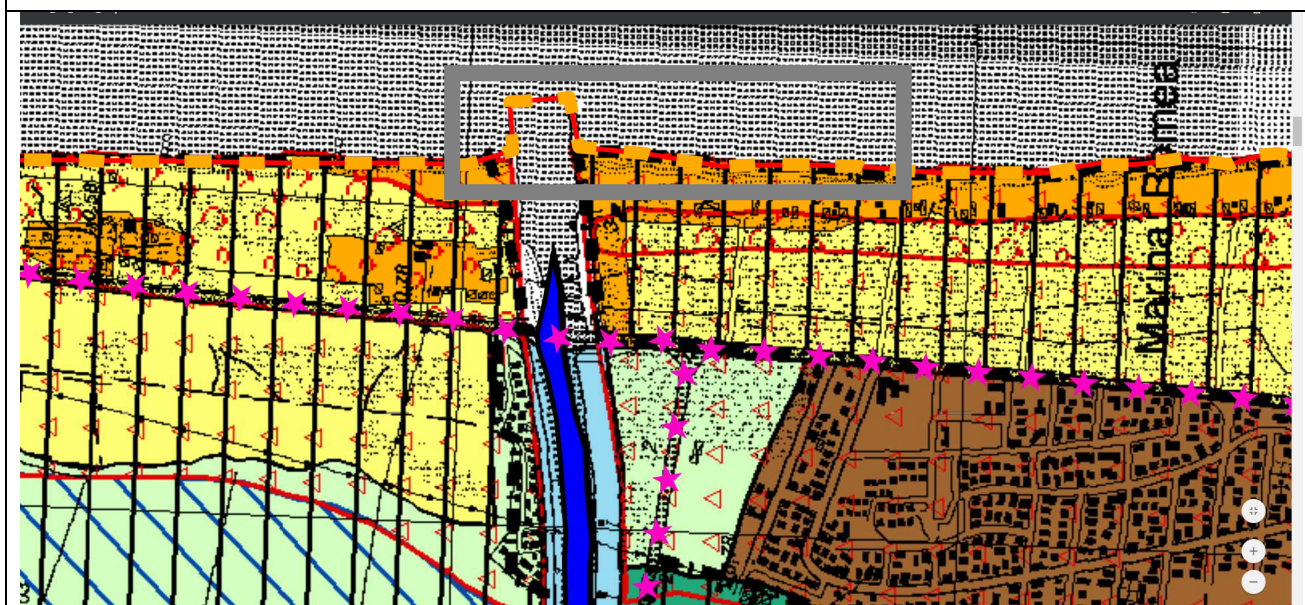
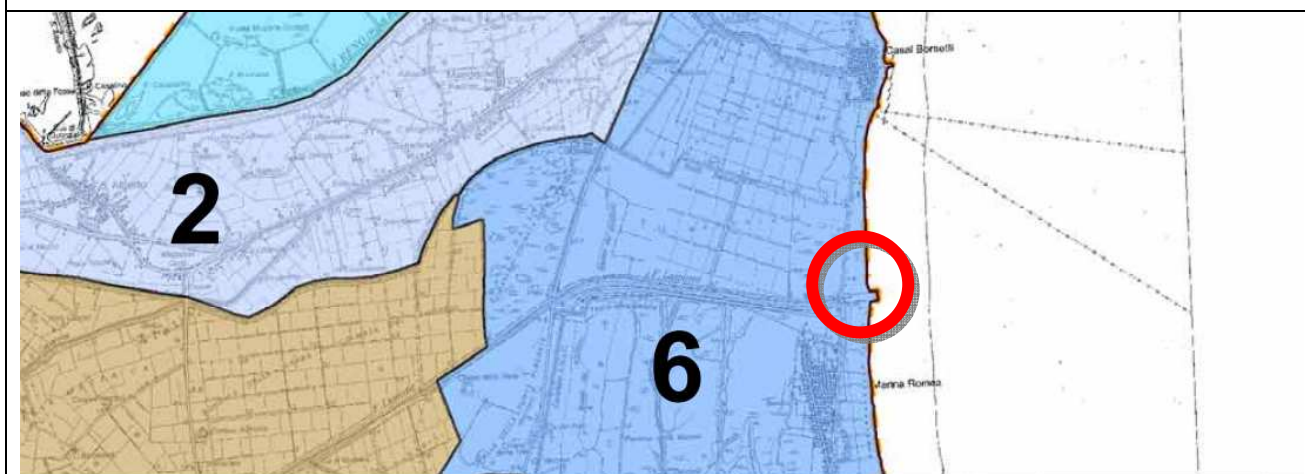
5.2. INQUADRAMENTO URBANISTICO : NORMATIVE DI RIFERIMENTO **PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA E COMUNALE**

PTCP – PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE

RUE - PIANO DELL'ARENILE 2015 (Approvato in data 17/03/2016 ed efficace dal 06/04/2016)
attuativo del PSC (Piano Strutturale Comunale)

RUE - REGOLAMENTO URBANISTO EDILIZIO (Approvato con delibera di C.C. n. 207602/128
nella seduta del 12/12/2017 ed entrato in vigore con la pubblicazione sul BUR n. 5 del 10/01/2018)

UNITÀ DI PAESAGGIO N°6 - DELLA COSTA NORD



SINTESI DEL PTCP TAV. 2- 5

COSTA

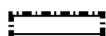
 Zone di riqualificazione della costa e dell'arenile

Art. 3.13



Sistemi dunosi costieri di rilevanza storico documentale paesistica Art. 3.20d

AREE DI VALORIZZAZIONE



Parchi regionali

Art. 7.4

Art. 3.13 - Zone di riqualificazione della costa e dell'arenile

Le zone che riguardano l'arenile nei tratti già interessati da utilizzazioni turistico - balneari e le aree ad esso direttamente connesse.

Gli strumenti di pianificazione e di attuazione della pianificazione, comunali od intercomunali, definiscono l'assetto, le trasformazioni prescritte e quelle consentite, gli usi ammissibili, delle zone di riqualificazione della costa, interessanti l'arenile, nel rispetto delle direttive seguenti:

- a) deve essere favorita la fruizione degli elementi naturali;
- b) deve essere promosso l'accorpamento dei manufatti ed il loro distanziamento dalla battigia;
- c) deve essere perseguito il miglioramento dell'immagine turistica e della qualità della costa;
- d) deve essere perseguito il riordino tipologico e distributivo delle strutture per la balneazione funzionale all'apparato ricettivo turistico anche attraverso il disimpegno della fascia retrostante dell'arenile da usi ed elementi incongrui;
- e) resta ferma la necessità del riposizionamento delle strutture per la balneazione finalizzata alla riorganizzazione delle stesse laddove vi sia un avanzamento della linea di riva conseguente al deposito naturale di materiale sabbioso.

Il riordino e la riqualificazione dei servizi e delle strutture per la balneazione si attua mediante la redazione dei Piani Degli Arenili, ai sensi dell'art. 3 della L.R. n.9/2004. I Comuni in redigono tali piani, nel rispetto degli obiettivi del presente articolo.

In particolare deve essere perseguita:

- a. la riconoscibilità dei caratteri distintivi locali mediante adeguate tipologie di intervento;
- b. la permeabilità visuale tra la spiaggia e l'edificato retrostante;
- c. il riordino della spiaggia anche attraverso il disimpegno della fascia direttamente retrostante le strutture per la balneazione da usi ed elementi incongrui;
- d. il contenimento delle altezze dei manufatti.

Art. 3.20 - Particolari disposizioni di tutela di specifici elementi: dossi di pianura e calanchi

1. I dossi di pianura, rappresentati morfosttrutture che per rilevanza storico testimoniale e/o consistenza fisica costituiscono elementi di connotazione degli insediamenti storici e/o concorrono a definire la struttura planiziale sia come ambiti recenti di pertinenza fluviale sia come elementi di significativa rilevanza idraulica influenti il comportamento delle acque di esondazione.

2. Nelle tavole contrassegnate dal numero 2 del presente Piano è riportato l'insieme dei dossi e delle dune costiere che, avendo diversa funzione e/o rilevanza vengono graficamente distinti in:

- a) Paleodossi fluviali particolarmente pronunciati
- b) Dossi di ambito fluviale recente

- c) Paleodossi di modesta rilevanza
- d) Sistemi dunosi costieri di rilevanza storico documentale paesistica
- e) Sistemi dunosi costieri di rilevanza idrogeologica




































11. Nelle zone dei "SISTEMI DUNOSI DI RILEVANZA STORICO DOCUMENTALE PAESISTICA", fermo restando l'obbligo di salvaguardare la testimonianza storico-documentale e paesistica dell'elemento individuato, sono ammessi gli interventi pubblici e di interesse pubblico miranti alla conservazione e protezione dell'ambiente dall'avanzamento del cuneo salino.

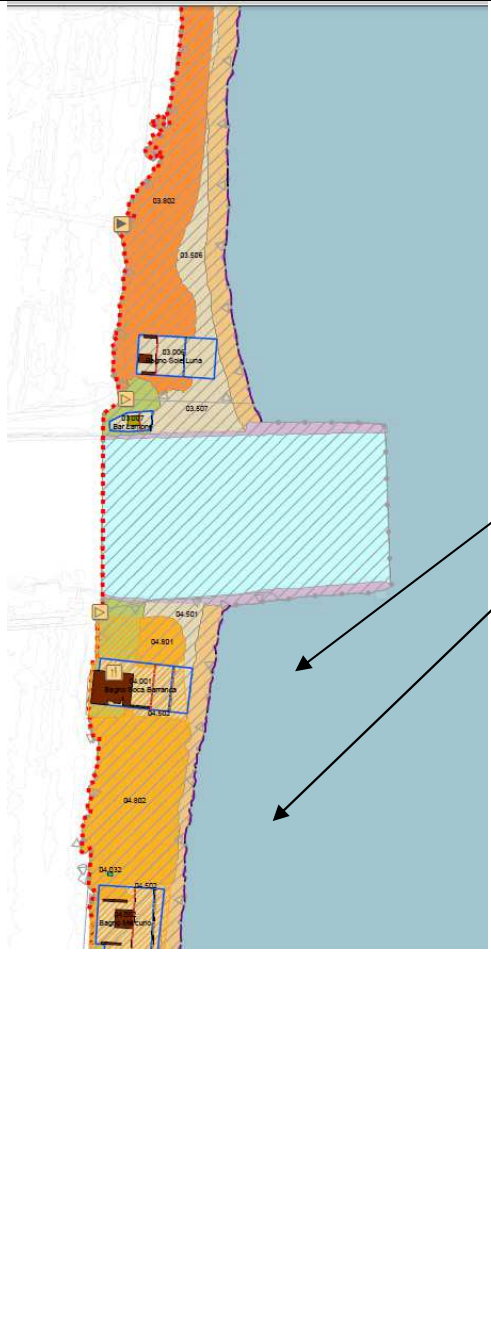
Art. 7.4 - Parchi regionali, riserve naturali e altre aree protette

Il Piano indica le perimetrazioni dei parchi regionali istituiti ai sensi della L.R. 17 febbraio 2005, n. 6: "Disciplina della formazione e della gestione del sistema regionale delle aree naturali protette e dei siti della rete natura 2000", della L.R. 2 luglio 1988, n. 27 – "Istituzione del Parco regionale del Delta del Po" e della L.R. 21 febbraio 2005 n. 10 "Istituzione del Parco regionale della Vena del Gesso Romagnola".

La perimetrazione e la disciplina in merito alla salvaguardia e valorizzazione nonché alle destinazioni e trasformazioni ammissibili del territorio compreso nei parchi regionali, nelle riserve naturali e nelle aree di riequilibrio ecologico, è stabilita dagli atti istitutivi e dai piani, programmi e regolamenti previsti dalle specifiche leggi che regolano la materia ancorché adottati ed in attesa di approvazione. Inoltre il P.T.C.P. recepisce, i Piani Territoriali dei Parchi.

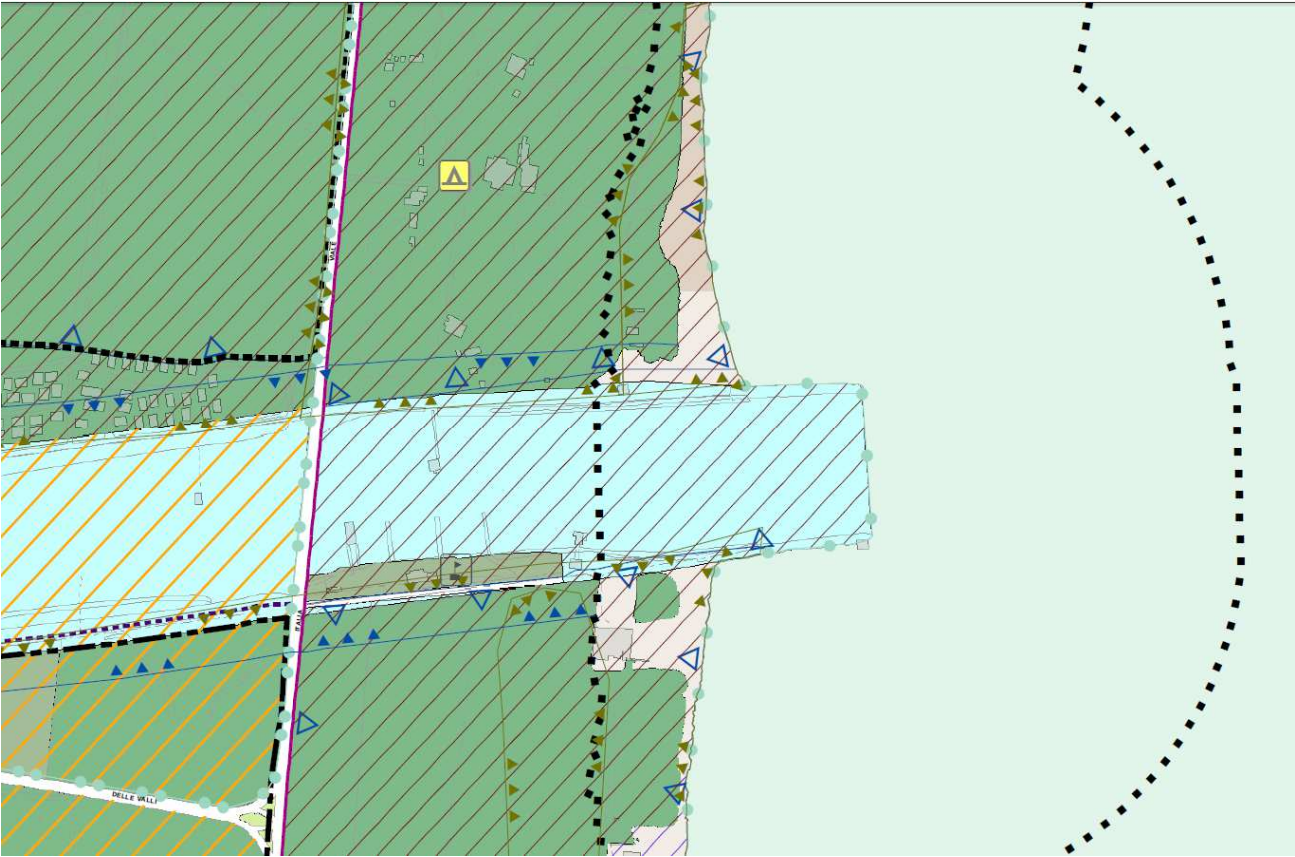
Approvato dal C.C. CON Delibera di C.C. N. 40441/52 del 17/03/2016_, efficace dal 06/04/2016 con pubblicazione sul BUR regionale N. 92

Elementi del Piano			
	Perimetro Piano dell'Arenile		Art.1 c.2
Componenti idrogeomorfologiche-vegetazionali			
Componenti idrogeomorfologiche-vegetazionali			
	Aree marginali o degradate e/o aree retrostanti	Art.15	 Pinete Art.14 c.1
	Corpo dunoso con elementi di naturalità compromessi	Art.16 c.1.a	 Corpo dunoso con elementi di naturalità Art.16 c.1.b
	Corpo dunoso con elementi di naturalità di particolare pregio	Art.16 c.1.c	
	Spiagge	Art.17	 Fascia di libero transito Art.18
	Interventi di Ricostruzione del cordone dunoso (Rod)	Art.16 c.1.d	 Opere di difesa a mare Art.19
	Specchio d'acqua	Art.20	 Linea di battigia Art.21
Allineamenti			
	Strutture precarie fisse	Art.7	 Strutture precarie temporanee Art.7
	Servizi di supporto alla balneazione	Art.7	
Articolazione delle componenti dei servizi turistico-ricreativi			
	Stabilimento balneare	Art.32	 Stabilimento balneare con somministrazione pubblica Art.32 c.5
	Attrezzature per il Soccorso	Art.29	 Attrezzature per il salvataggio Art.30
	Base operative di società sportive veliche	Art.26	 Capanni balneari Art.31
	Strutture particolari (cabina enel, discoteca, ristorante)	Art.33	 Spiagge attrezzate per il rimessaggio di natanti Art.27
Titolo d'utilizzo dell'arenile			
	Concessione Demanio Marittimo	Art.1 c.3	 Concessione Demanio Comunale Art.1 c.3
	Concessione Demanio Militare	Art.1 c.3	 Proprietà Privata Art.1 c.3
	Concessione Rimessaggio Natanti di progetto	Art.27	 Concessione ad uso kitesurf Art.24
	Aree Polivalenti	Art.25	 Limite area per delocalizzazione capanni Art.31 c.3
	Delocalizzazione Stabilimenti Balneari	Art.28	
Componenti sistema della mobilità			
	Accesso per servizi di pulizia (ordinario e/o straordinario e per gestione arenile)	Art.22 c.2.a	
	Accessi pedonali, ciclabili e carrabili	Art.22 c.2.b	
Modalità attuative particolari			
	PU - Parco Botanico Lido Adriano	Art.10 c.1	

	<p>ART. 16 DUNE C1 b</p> <p>1 - All'interno del Piano dell'Arenile sono individuate le dune con valenza esclusivamente ambientale e/o di difesa, per le quali non è previsto alcun uso particolare legato alle attività balneari, classificate per tipologia</p> <p><i>b. Corpo dunoso con elementi di naturalità: che corrisponde alle porzioni di duna che presentano caratteristiche naturali d'interesse, sia per la presenza di vegetazione di particolare rilevanza comunitaria, che per il loro stato di conservazione, e che necessitano di interventi di modesta entità atti a migliorare la loro consistenza.</i></p> <p>Art.17 SPIAGGE</p> <p>Il Piano dell'Arenile all' Art 17 comma 2, individua la componente Spiagge nelle seguenti tipologie: Spiaggia per la balneazione organizzata - Spiaggia per la balneazione libera - Spiaggia derivante da ripascimento, ove sono ammessi gli "interventi volti alla protezione delle strutture turistico- ricreative da fenomeni di mareggiata in periodo invernale</p> <p>ART.18 FASCIA DI LIBERO TRANSITO</p> <p>In tale fascia, che ha di norma una larghezza minima di m 5.00, anche in condizioni di alta marea, è vietato posizionare attrezzature ed arredi</p>
<p>RUE - PIANO ARENILE 2015 - MARINA ROMEA - TAVOLA: P.1.06</p>	

ART. V.2.1 - SN.1 BOSCHI E PINETE / ART. V.2.4 - SN.4 RETICOLO IDROGRAFICO

ART. V.2.9 - SN. 92 ARENILE ATTREZZATO



SPAZIO NATURALISTICO titolo V	Componenti idrogeomorfologiche-vegetazionali		art. V.1.3
		SN.1 - Boschi e pinete	art. V.2.1
		SN.2 - Aree boscate golenali	art. V.2.2
		SN.3 - Zone di recente rimboscimento	art. V.2.3
		SN.4 - Reticolo idrografico	art. V.2.4
		SN.5 - Zone umide	art. V.2.5
		SN.6 - Zone umide artificiali di recente formazione	art. V.2.6
		SN.7 - Zone d'acqua a bassa giacitura	art. V.2.7
		SN.8 - Zone di integrazione dello Spazio naturalistico	art. V.2.8
		SN.91 - Arenile naturale	art. V.2.9 c1
		SN.92 - Arenile attrezzato	art. V.2.9 c2

5.3. TAVOLE VINCOLI AMBIENTALI

STRALCIO STAZIONE DI PARCO

STRALCIO SITI NATURA

Elaborati Gestionali allegati al PSC : Tavole Vincoli G.1.1 – G.1.2 - G.1.3.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

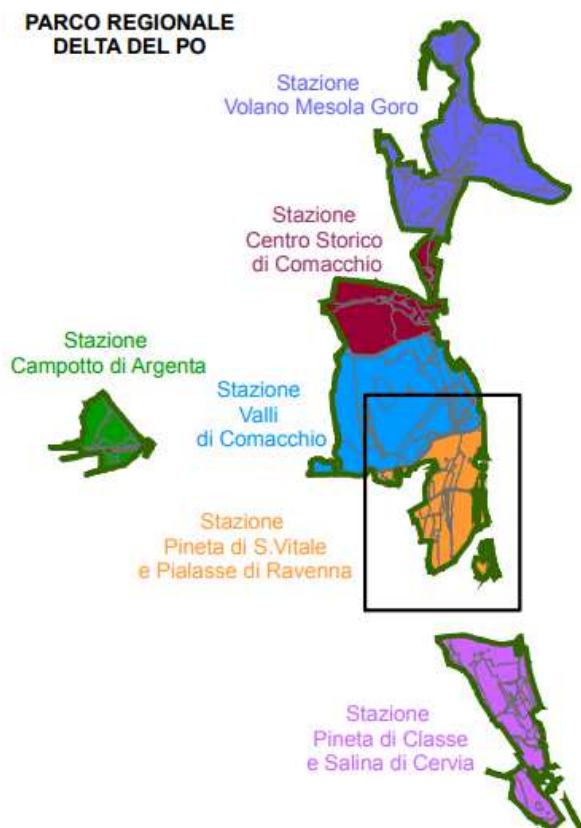
D.LGS. 42/2004 Codice dei beni culturali e del paesaggio

Vincolo Idrogeologico

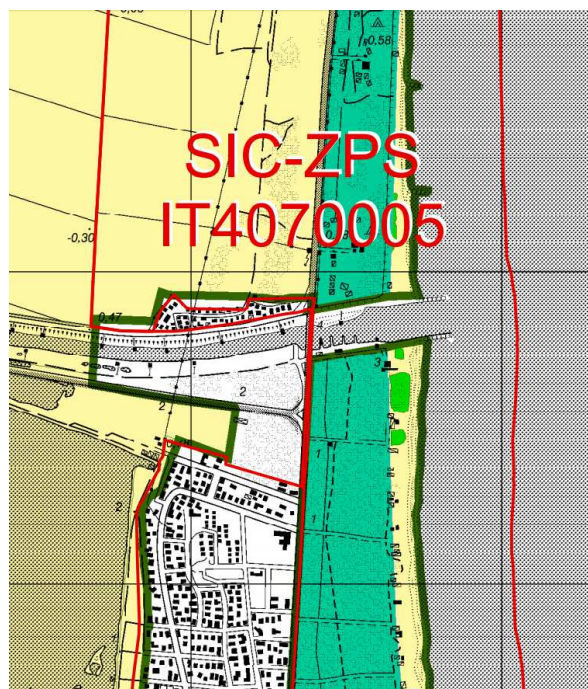
Piano Territoriale Regionale Parco Delta del PO

Siti Natura 2000 - Habitat SIC/ZPS

Piano Territoriale del Parco Regionale del Delta del Po



Stralcio “Piano di Stazione Pineta San Vitale e Piasse di Ravenna”



Regione Emilia-Romagna

Parchi e Riserve
dell'Emilia-Romagna

Parco regionale Delta del Po Stazione Pineta di S. Vitale e Piasse di Ravenna

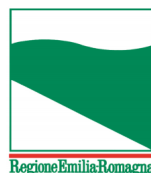
Adozione del Piano Territoriale del Parco
Deliberazione del Consiglio Comunale di Ravenna
n° 1/10298 del 05/01/2006

- Zona B
- Zona C
- Zona D
- Riserva statale
- Area contigua
- Confine di Parco regionale
- Confine Rete Natura 2000 (SIC e ZPS)

Stralcio dei “Siti Natura 2000” / Zone SIC-ZPS

“ IT4070005 – Pineta di Casalborsetti, Pineta Staggioni, Duna di Porto Corsini ”

– Deliberazione della Giunta Regionale n° 512/2009.



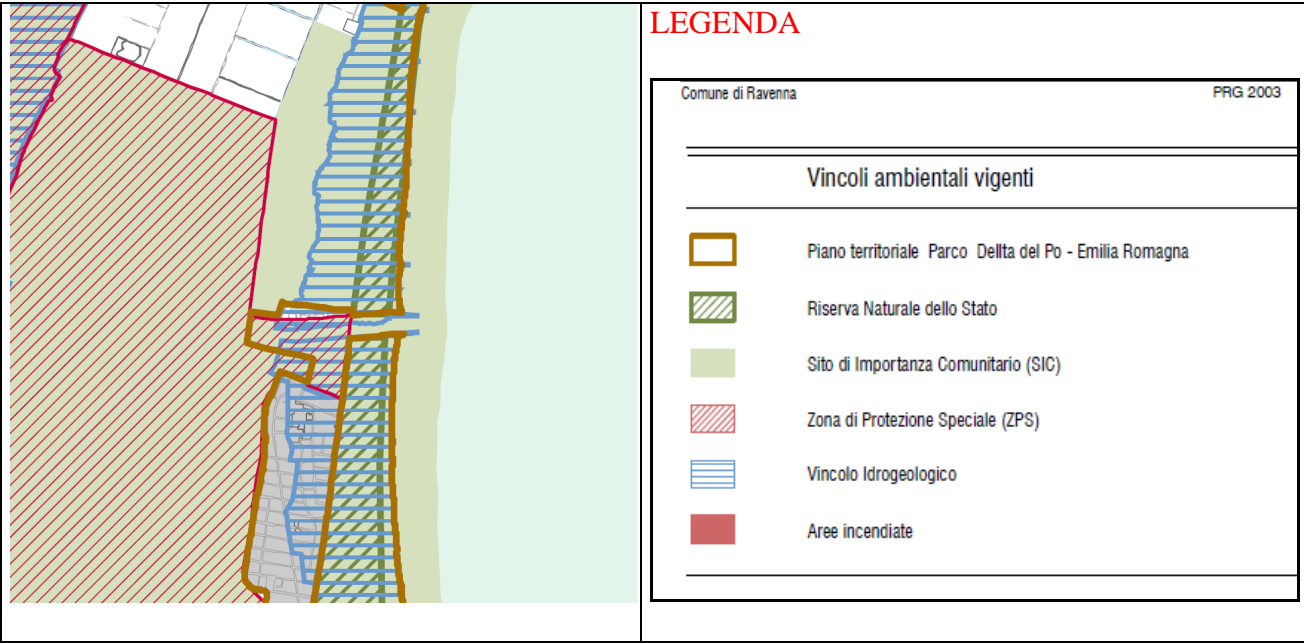
Regione Emilia-Romagna

IT4070005 Pineta di Casalborsetti, Pineta Staggioni, Duna di Porto Corsini

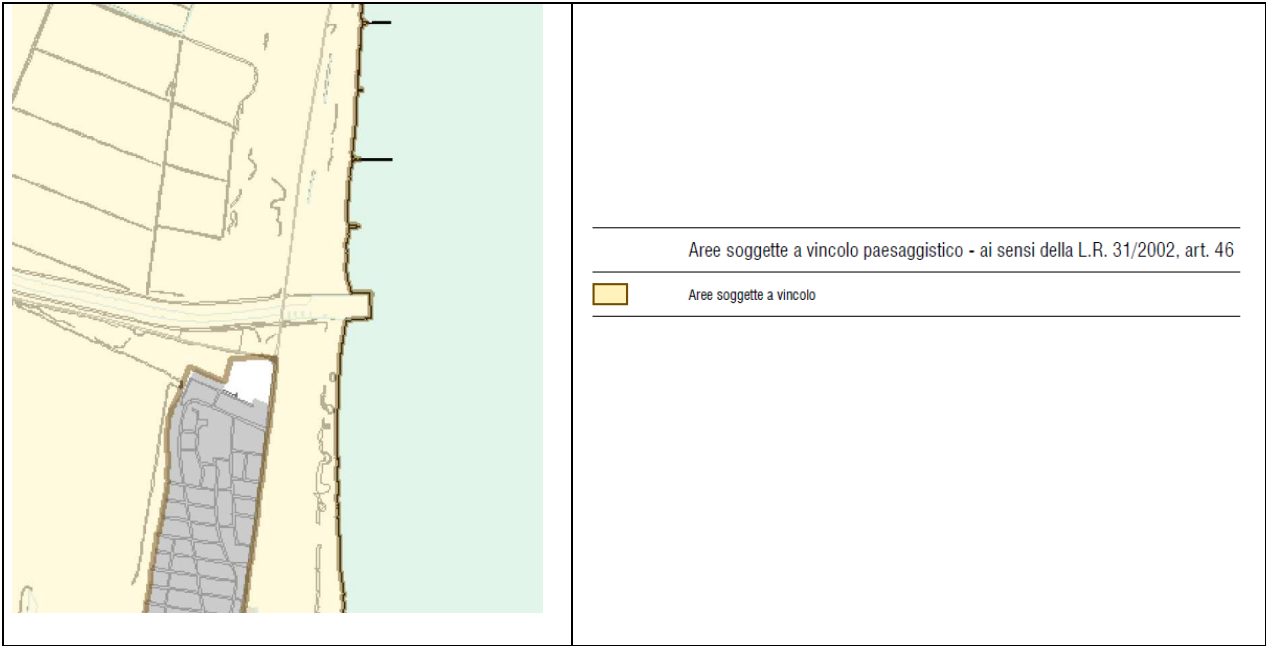
Cartografia vigente dal 20 aprile 2009
(Deliberazione della Giunta Regionale n. 512/2009)

- Sito Rete Natura 2000 rappresentato
- Limiti altri Siti
- SIC
- SIC-ZPS
- ZPS

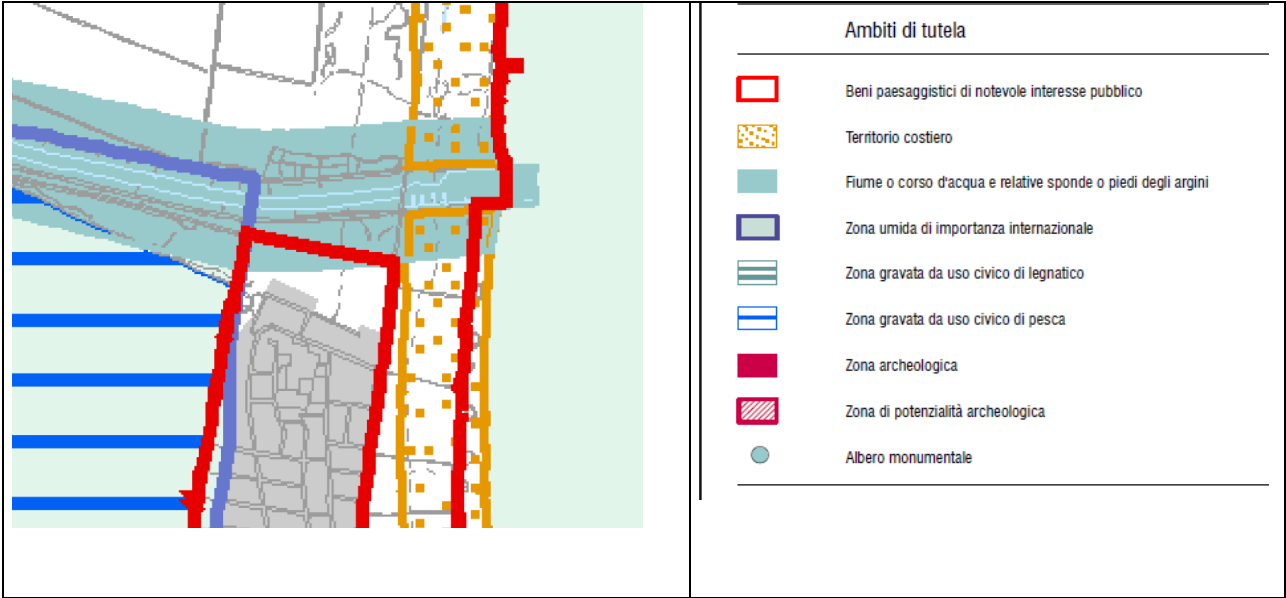
Stralcio Elaborato Gestionale P.S.C. “Carta dei vincoli ambientali vigenti G1.3” : Parco del Delta del Po, Aree di protezione degli Habitat, Vincolo idrogeologico



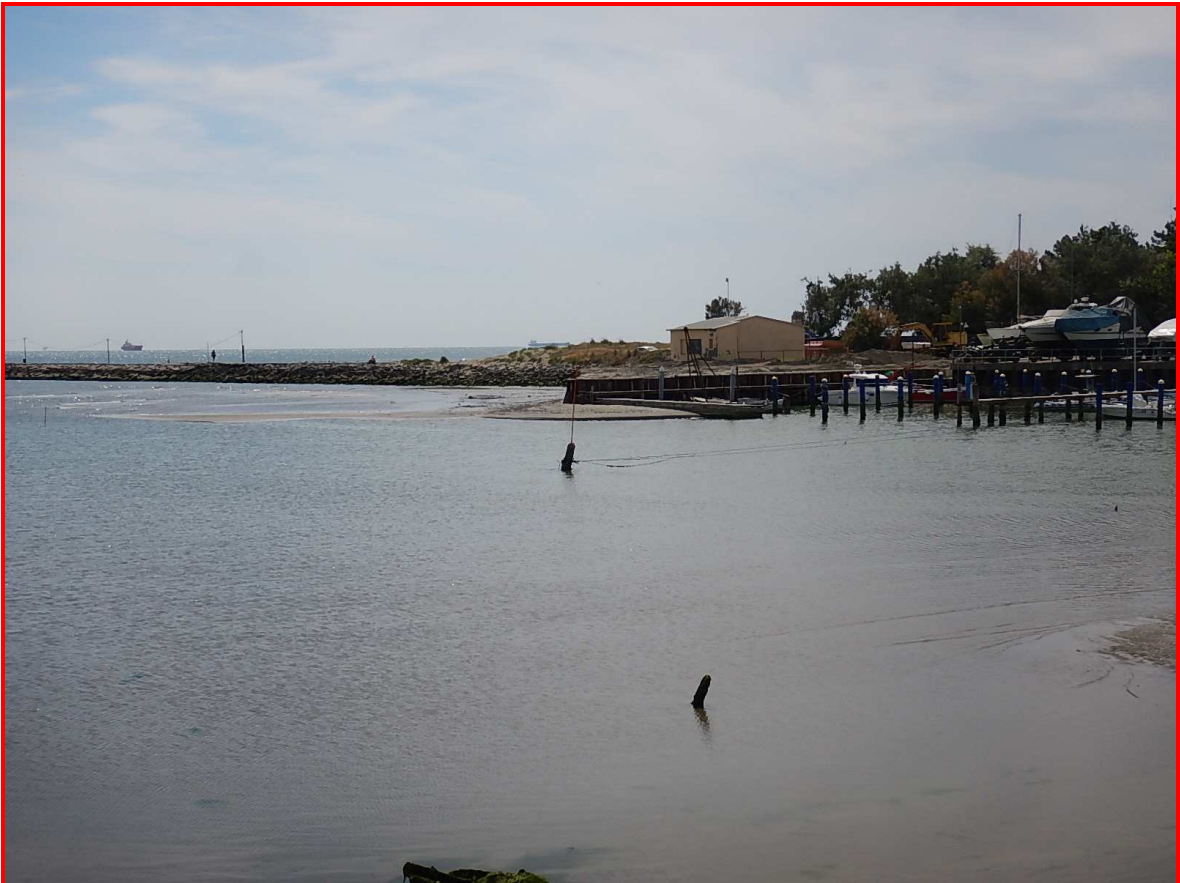
Stralcio Elaborato Gestionale P.S.C. “Aree soggette a Vincolo paesaggistico G1.1

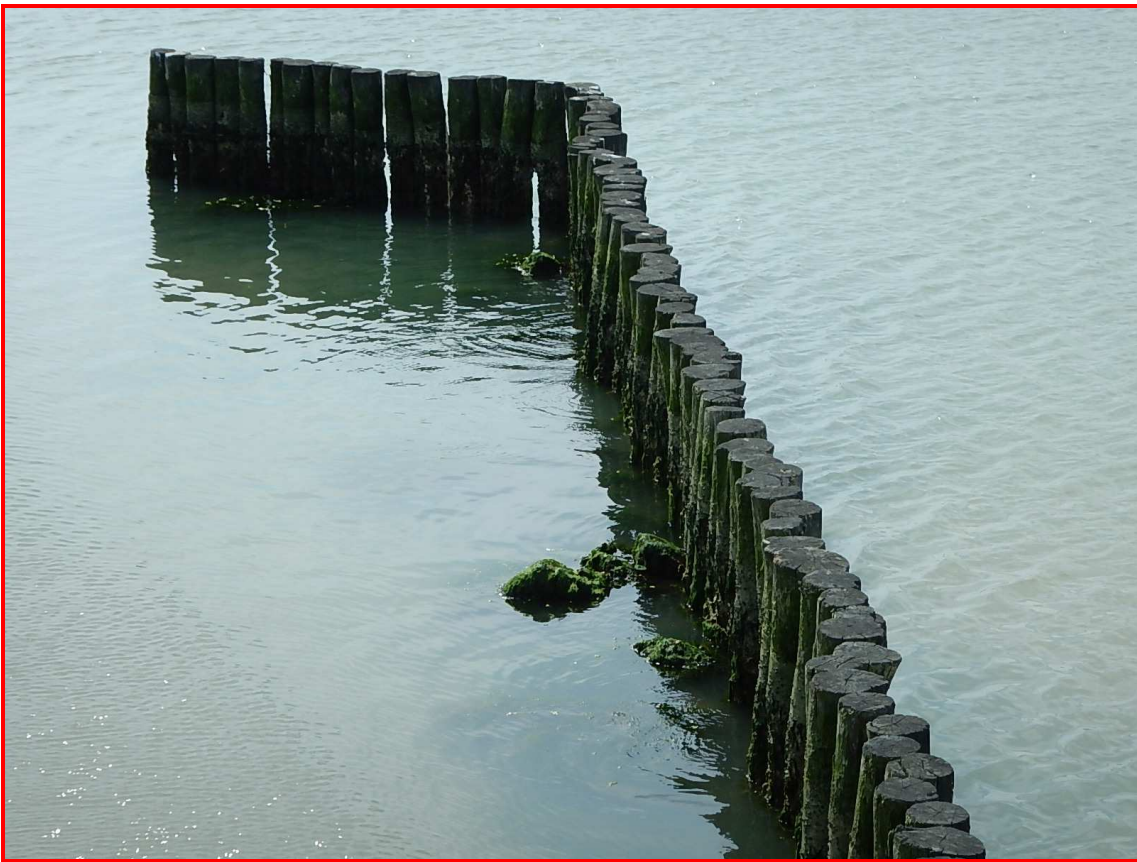


“Carta dei vincoli ambientali vigenti : ambiti di tutela G.1.2



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





SIMULAZIONI MODELLISTICHE



<div>Comune di Ravenna</div> <div>SERVIZIO TUTELA AMBIENTE E TERRITORIO</div> <div>UO GEOLOGICO</div> <div>Simulazione del comportamento idrodinamico delle opere di protezione in foce Lamone a Ravenna</div>	Job		
	10676		
	Formato		
	A4		
	Emissione: gp		
	maggio 2018		
revisioni	oggetto	data	controllato
0	draft	30-04-2018	beppe patrizi
1	emissione	22-05-2018	beppe patrizi
2	finale	13-06-2018	beppe patrizi



Sommario

1. Scopo del lavoro.....	3
2. Situazione precedente.....	3
3. Aggiornamento della batimetria e variazioni morfologiche.....	4
4. Brevi riferimenti metodologici.....	5
5. Organizzazione delle configurazioni.....	9
6. Taratura del modello.....	10
7. Simulazione degli interventi	18
7.1. Simulazione 1	21
7.2. Simulazione 2	21
7.3. Simulazione 3	22
7.4. Simulazione 4	23
7.5. Simulazione 5	24
7.6. Simulazione 6	25
8. Conclusioni	26
9. Bibliografia essenziale	28



1. Scopo del lavoro

A distanza di alcuni anni dall'intervento, uno dei pennelli posti a guardia del lato nord della foce del Lamone ha mostrato segni di danneggiamento a causa dell'azione del mare. Il danneggiamento ha riguardato questo pennello, dato che è esposto direttamente all'ondazione, mentre i primi due non ne hanno risentito in maniera visibile.

Oltre a questo si è visto, come meglio descritto nei paragrafi che seguono, che l'effetto di protezione – stimato attraverso l'osservazione delle variazioni delle quote di fondo – è stato meno significativo di quanto atteso.

Per queste due ragioni, il comune di Ravenna ha predisposto un intervento di consolidamento e di miglioramento delle protezioni per proseguire con gli effetti già ottenuti e, di conseguenza, ha richiesto di poter disporre di alcune simulazioni relative alla circolazione idraulica in foce con diverse ipotesi relative all'assetto da dare a tali miglioramenti.

Questo report contiene la descrizione delle attività svolte ed i risultati ottenuti.

2. Situazione precedente

Il primo intervento è stato realizzato nel 2012 ed è stato basato su 3 pennelli posti a circa 45° rispetto all'asse del fiume e dotati, all'estremità, di un tratto di 5 metri posto invece parallelamente. L'ipotesi di lavoro alla base dell'intervento è stata, all'epoca, quella di rallentare il deflusso del Lamone in corrispondenza del lato sinistro e di spostare più verso il centro dell'alveo il flusso principale; infatti, nel corso degli anni precedenti il lato nord è sempre stato oggetto di erosione, a causa del fatto che il fiume entra in foce con l'alveo abbastanza in asse, ma tende poi a deviare verso nord e a impattare in sinistra idraulica.

I pennelli, costituiti da una semplice barriera di pali di legno, hanno l'effetto di modificare il flusso in due modi:

- a) rallentano leggermente la velocità longitudinale;
- b) producono una deviazione attorno all'estremità di ciascuno di essi attivando una circolazione secondaria localizzata attorno all'estremità stessa.

Le simulazioni condotte in tale circostanza hanno fatto ipotizzare che l'effetto di rallentamento fosse adeguato considerando, in assenza di informazioni al riguardo, una resistenza del fondo adeguata. In realtà si è visto che tale circostanza si è rivelata abbastanza vera in corrispondenza del primo e del terzo pennello, mentre è stata sottostimata in corrispondenza del pennello centrale, e cioè in corrispondenza della posizione in cui la corrente del Lamone esercita lo sforzo più elevato.

3. Aggiornamento della batimetria e variazioni morfologiche

Nell'estate del 2017 il comune di Ravenna ha rilevato una batimetria aggiornata e, da questa, è stata ricavata la variazione rispetto alla morfologia precedente, che risale al 2012. Da notare che il rilievo del 2017 è parziale rispetto all'altro e che per conseguenza la variazione è disponibile solo nel tratto a valle dell'ultimo capanno da pesca posto in sinistra, per cui la seconda immagine in figura, per la parte più a monte, è stata mantenuta uguale alla prima (Fig. 1).

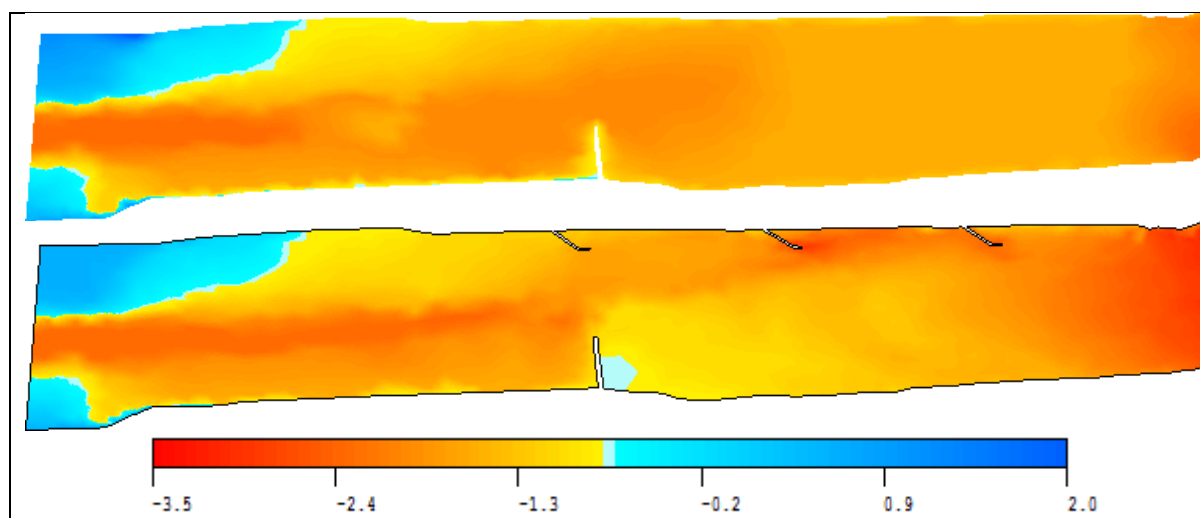


Fig. 1 – Morfologia del 2012 (in alto) e del 2017 (in basso) – valori in metri slm

La differenza tra i due rilievi è riportata in Fig. 2 e, considerando per comodità quattro quadranti, se ne possono trarre alcune evidenze:

- a) il quadrante a nord-ovest è caratterizzato da prevalente sedimentazione;
- b) il quadrante di nord-est è quello maggiormente soggetto ad erosione, sia per effetto del deflusso del Lamone, come accennato, sia per effetto dell'ondazione da mare;
- c) il quadrante di sud-ovest presenta una leggera tendenza all'erosione in corrispondenza dell'alveo vero e proprio;
- d) nel quadrante di sud-est prevale la sedimentazione sia a ridosso della difesa di valle del Circolo Nautico, sia in corrispondenza del limite della foce.

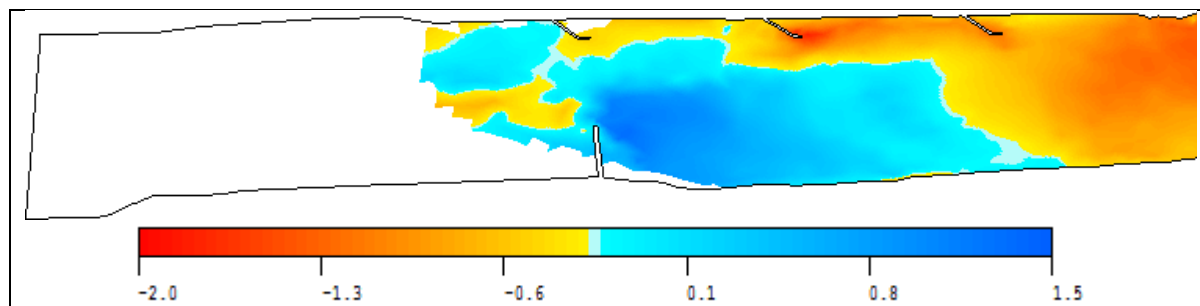


Fig. 2 – Variazione della morfologia tra il 2012 ed il 2017 (m)

4. Brevi riferimenti metodologici

Il sistema di calcolo utilizzato per eseguire le simulazioni è Flomod (Froelich, 1989) nella versione Windows realizzata presso Servin (WinWasp); si tratta di un sistema che risolve in due dimensioni le equazioni del moto in acque basse con un metodo del tipo depth-averaged, che considera, cioè, una distribuzione assegnata del moto lungo la verticale per ridurre il problema alle due dimensioni.

Molto brevemente, le equazioni che descrivono il flusso dell'acqua in due dimensioni sono (Froelich, 1989):

$$U = \frac{1}{H} \int_{z_b}^{z_w} u \, dz \quad V = \frac{1}{H} \int_{z_b}^{z_w} v \, dz$$

con H = profondità dell'acqua, z_b = elevazione del fondo, $z_w = z_b + H$ = elevazione della superficie dell'acqua, U e V le velocità rispettivamente secondo gli assi x e y , orientati parallelamente alla superficie libera dell'acqua. Dalle equazioni precedenti si ottiene la distribuzione secondo l'asse z , che ha invece uno schema del tipo riportato nella seguente Fig. 3.

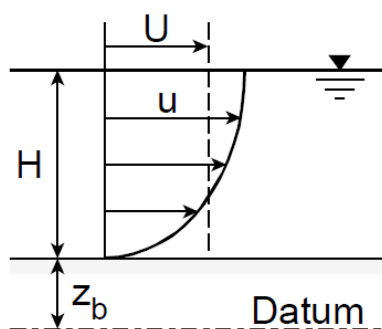


Fig. 3 – Velocità mediate in funzione della profondità (da: Froelich, 1989)

Lo schema di calcolo è agli elementi finiti con il metodo di Galerkin, mentre la soluzione del sistema di equazioni avviene con il metodo frontale.

Per migliorare la capacità di fornire indicazioni utili in sede di progettazione dell'intervento, alla simulazione del flusso è stata associata una stima dell'erosione del fondo. L'applicazione è stata realizzata considerando solo alcuni aspetti della meccanica del trasporto solido in canali aperti con l'obiettivo di fornire qualche indicazione di massima, essendo praticamente improponibile effettuare la simulazione del trasporto solido in senso stretto, dato che le conoscenze sia idrauliche, sia sedimentarie del corso d'acqua sono praticamente inesistenti.

Trascurando, quindi, tutto ciò che concerne il trasporto solido in sospensione, sia quello relativo ai materiali più grossolani, sia quello relativo alle particelle fini e finissime che risentono anche della salinità dell'acqua, ci si è limitati a valutare il rapporto tra la resistenza offerta dal fondo e lo sforzo sul fondo dovuto alla corrente d'acqua. Lo sforzo sul fondo è dato dalla seguente relazione (Froelich, 1989):

$$\tau_b = \rho \frac{gn^2}{H^{1/3}} U_s^2$$

con ρ = densità dell'acqua, n = coefficiente di scabrezza di Manning, H = profondità dell'acqua e $U_s^2 = U^2 + V^2$ = velocità del flusso. Lo sforzo limite sul fondo è dato, invece, dalla nota relazione di Shields (1936):

$$\tau_c = \frac{\tau^*}{(\rho_s - \rho)gD}$$

con ρ_s la densità del sedimento, g la gravità e D il diametro dei granuli, normalmente fatto coincidere con il diametro corrispondente al 50° percentile, il D_{50} , e τ^* = sforzo critico, deducibile dall'abaco di Shields (1936).

Froelich, per Flomod, applica invece la formula:

$$\tau_c = \tau_b \frac{n_{soil}^2}{n^2}$$

con n_{soil} = scabrosità del fondo e n = coefficiente di Manning. Tuttavia, si è trovato che si tratta di una condizione troppo rigida, per cui si è preferito optare per una forma semi empirica e semplificata della medesima espressione:

$$\tau_c = \rho_s H i_s \frac{n_{soil}}{n}$$

con H per la profondità dell'acqua ed i_s per il gradiente del fondo. Si considera quindi che il fondo dell'alveo sia erodibile quando lo sforzo effettivo pareggia o supera (moto incipiente) la resistenza limite *ratio*:

$$ratio = \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right) \quad (1)$$

e che l'erosione che ne può derivare è regolata da un coefficiente di erodibilità che può assumere una delle tante forme prospettate in letteratura.

In realtà, non esiste un metodo di tipo univocamente riconosciuto a livello scientifico internazionale per affrontare la stima della variazione del fondo (ε) e, in pratica, ciascun Autore tende a proporre uno stimatore adatto alla specifica circostanza. Nel caso in esame, si è fatto riferimento a quello proposto da Ariathurai & Arulanandan (1978, in Hayter & al., 1995) come segue:

$$\varepsilon = M \left(\frac{\tau_b - \tau_c}{\tau_c} \right) \quad (2)$$

dove M è il "coefficiente di erodibilità". Analogamente, non esiste uno stimatore per valutare l'accrescimento della quota del fondo che non sia espresso nei termini della concentrazione iniziale di sedimento nel fluido e della velocità di caduta (a sua volta derivata da una qualche forma dell'equazione di Stokes).

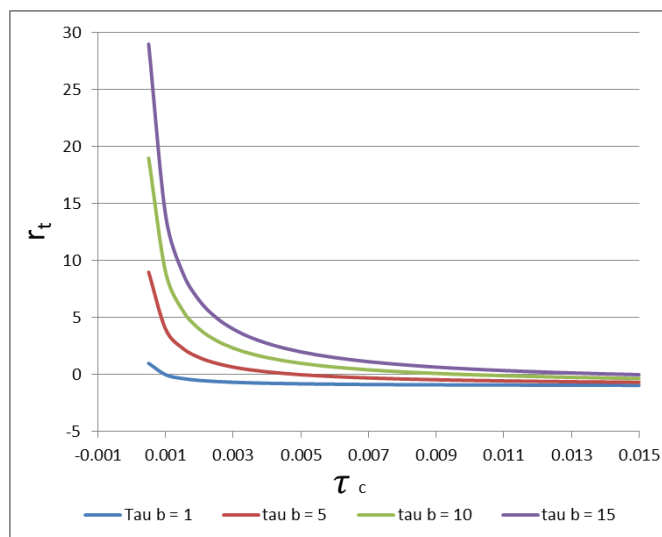


Fig. 4 $-(\tau_b - \tau_c)/\tau_c$ in funzione dell'altezza d'acqua e per alcuni valori assegnati di τ_b



Dopo diversi tentativi si è assunta una forma del tipo:

$$\varepsilon' = M' \left(\frac{v}{H} \right) \quad (3)$$

con v = velocità di flusso e M un generico “coefficiente di sedimentazione”.

In termini di conservazione della massa, Einstein & Krone (1962) hanno ipotizzato che la sedimentazione sia dipendente da una funzione di probabilità come segue:

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{P_d W_s C}{d}$$

in cui C è la concentrazione di sedimento, t il tempo, P_d la probabilità che il sedimento si depositi sul fondo, W_s la velocità di sedimentazione e d l'altezza d'acqua. La probabilità di sedimentazione viene ipotizzata con una funzione del tipo:

$$P_d = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}$$

in cui τ_{cd} è lo sforzo critico sul fondo. Nel caso in esame si è assunto che la probabilità sia sempre massima quando la resistenza del fondo supera la tensione esercitata dal flusso e che la deposizione avvenga istantaneamente secondo la (3).

Se, da un lato, queste assunzioni semi-empiriche rendono possibile una qualche stima, dall'altro non va dimenticato che la simulazione del trasporto solido coinvolge meccanismi ben più complessi; quanto implementato in questo modello permette, se non altro e senza eccessivi carichi computazionali o descrizioni modellistiche di ben difficile definizione o verifica, di ottenere una stima semi empirica strettamente limitata alle condizioni assunte per il problema.

Infatti si deve considerare, prima di valutare quanto ottenuto, che sia il deflusso dell'acqua, sia il trasporto solido, sono il risultato di moltissimi fattori fisici e che la simulazione completa e realistica di tutte queste variabili è un esercizio particolarmente difficile e gravoso dal punto di vista organizzativo e computazionale anche nelle migliori e più semplici condizioni di campo.

Oltre a tutte le limitazioni già descritte, si deve poi considerare che l'evoluzione subita dalla foce del Lamone nel quinquennio considerato è anche e soprattutto l'effetto di un insieme di condizioni meteo fluviali e meteo marine quanto mai variabili, mentre una simulazione non è altro che la riduzione di tutti questi eventi ad un periodo limitato e ad una situazione idraulica standard, assegnata mediante le condizioni al contorno.

Il coefficiente di erodibilità M ed il coefficiente di sedimentazione M' , con queste premesse, assumono quindi il senso di fattori di scala attraverso i quali vengono considerati tutti gli effetti delle complesse fenomenologie intercorse nel periodo di tempo considerato; analogamente, la durata della simulazione, assume il senso di un fattore di scala nella dimensione del tempo.

5. Organizzazione delle configurazioni

Il sistema di calcolo è stato basato sulle due seguenti configurazioni della morfologia:

- a) la prima è servita a stimare i coefficienti di controllo (sforzo e resistenza) con la morfologia del 2012, sia per quanto riguarda le quote del fondo, sia per quanto riguarda le opere di difesa;
- b) la seconda è stata basata, invece, applicando i coefficienti di cui sopra, alla morfologia del 2017 modificando le opere di difesa con le ipotesi dei nuovi interventi.

Sotto il profilo idraulico sono state adottate diverse situazioni-tipo assegnando ai bordi – di monte e di valle – diverse combinazioni di altezze d'acqua e scartando a priori gli eventi più estremi, considerando che nel medio periodo qui considerato siano poco significativi. Di queste, quelle che sono state considerate più significative sono le seguenti:

- a) *fiume in piena ordinaria e mare mosso*, con a monte 0.7 m slm di tirante idrico, che produce un deflusso coerente con l'entità della piena ordinaria, stimata nell'ordine di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sulla base delle osservazioni riportate in Laghi (2010); in foce è stata assegnata una condizione variabile costituita da un'onda di altezza medio-alta (1 m) e di frequenza elevata (periodo pari a 5.6 s), secondo lo schema mostrato in Fig. 5. Questa configurazione vorrebbe rappresentare una situazione di elevato deflusso in condizioni di mare mosso;
- b) *fiume in magra e mare da quasi calmo a poco mosso*, con $H = 0.05 \text{ m}$ a monte e onda da 0.20 m (mare poco mosso – quasi calmo). L'afflusso qui è stato stimato in $2.5 - 3 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'onda di riferimento è stata considerata nel modo più semplice, rinunciando a rappresentare uno stato del mare vero e proprio. La durata delle simulazioni, nel tempo, è stata fissata a 60 cicli di 60 secondi ciascuno; la scelta è stata condizionata da diversi fattori di ordine pratico, che vanno dalla necessità di:

- raggiungere l'equilibrio numerico;
- raggiungere l'equilibrio idraulico (che avviene quasi subito, come mostrano i diagrammi successivi);
- raggiungere, con le limitazioni già ampiamente espresse, l'assetto finale desiderato;
- mantenere un tempo di attesa ragionevole per l'esecuzione dei calcoli, vista la gran quantità di simulazioni da realizzare.

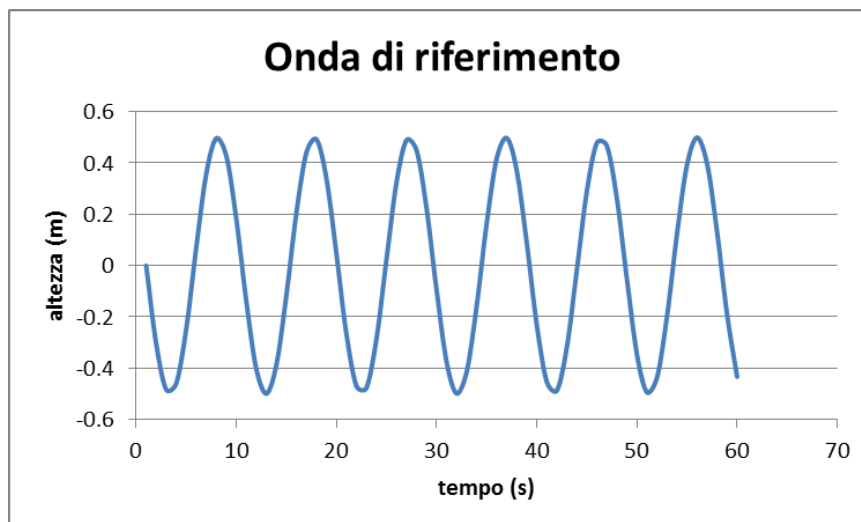


Fig. 5 – Schema dell'onda utilizzata come condizione di bordo alla foce ($h = 0.5$ m)

6. Taratura del modello

La taratura è consistita nel minimizzare gli scarti tra la batimetria rilevata nel 2017 e quella simulata partendo dal rilievo del 2012 attraverso l'adozione di un adeguato insieme di coefficienti per la determinazione di *ratio*, M e M' (eqq. 1-3). La taratura è stata realizzata sia manualmente con il metodo “*try and error*”, sia con alcuni sottoprogrammi di calcolo, sviluppati per l'occasione, per consentire un maggiore controllo e precisione su tutti i nodi del dominio di calcolo. Per quello che riguarda i due coefficienti M ed M' , va notato che nella grafica seguente non sono distinti; infatti, nel corso del calcolo vengono considerati i due casi in cui *ratio* è positivo (erosione) o negativo (sedimentazione), mentre la tabella con cui vengono controllati M e M' è, per comodità, la medesima per entrambi.

La taratura vera e propria è stata preceduta da numerosi test per verificare la stabilità delle condizioni idrauliche desiderate e la coerenza generale del sistema di calcolo. Nelle figure che seguono sono riportati i risultati di questi test, sotto forma di: (i) altezza idrometrica e afflusso/deflusso nella sezione di monte, (ii) altezza idrometrica e afflusso/deflusso nella sezione alla foce per le configurazioni di base adottate.

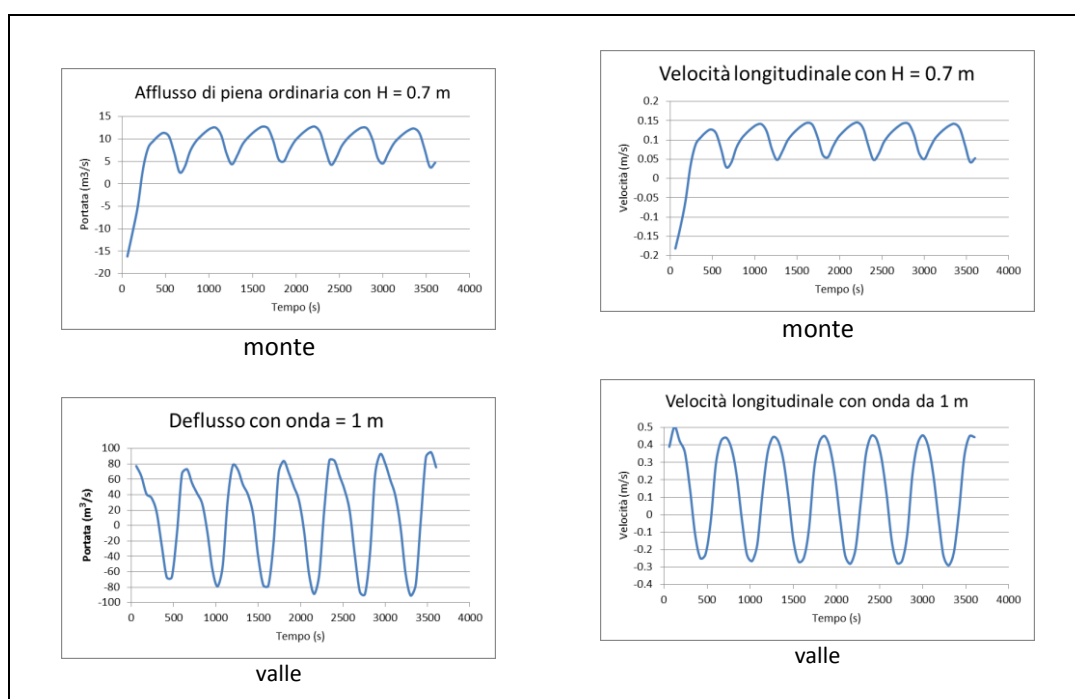


Fig. 6 – Afflussi, deflussi e velocità con H = 0.7 m e onda da 1 m

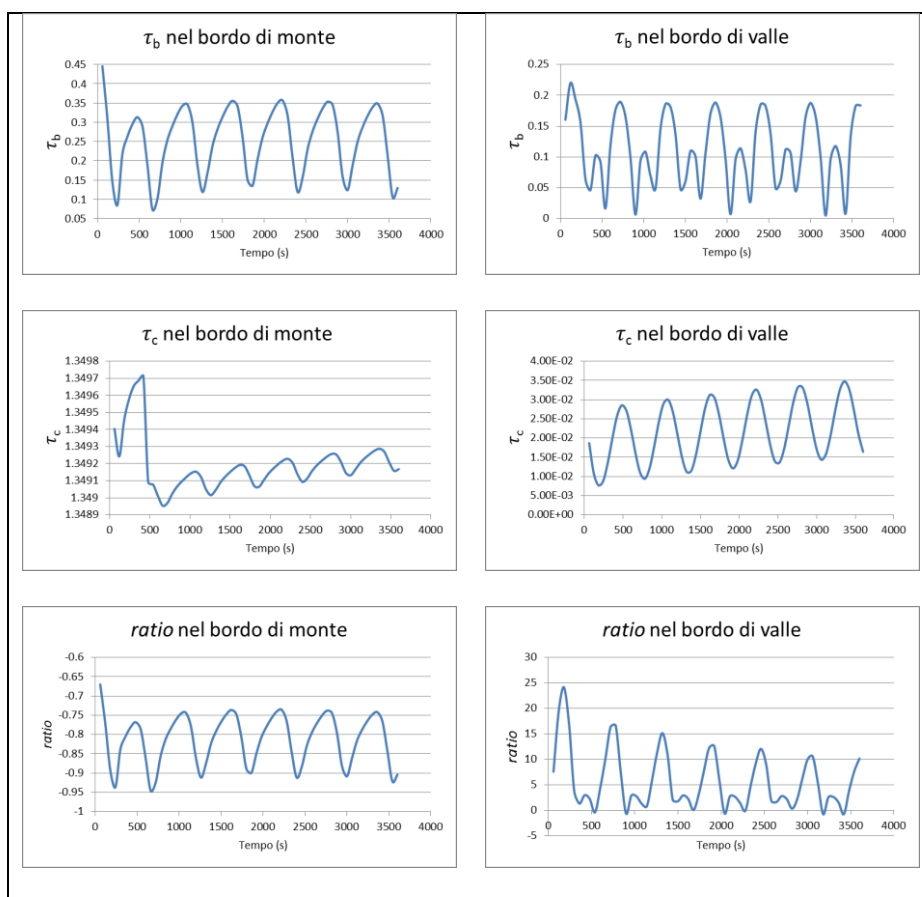


Fig. 7 – Sforzi e resistenze con $H = 0.7$ m e onda da 1 m

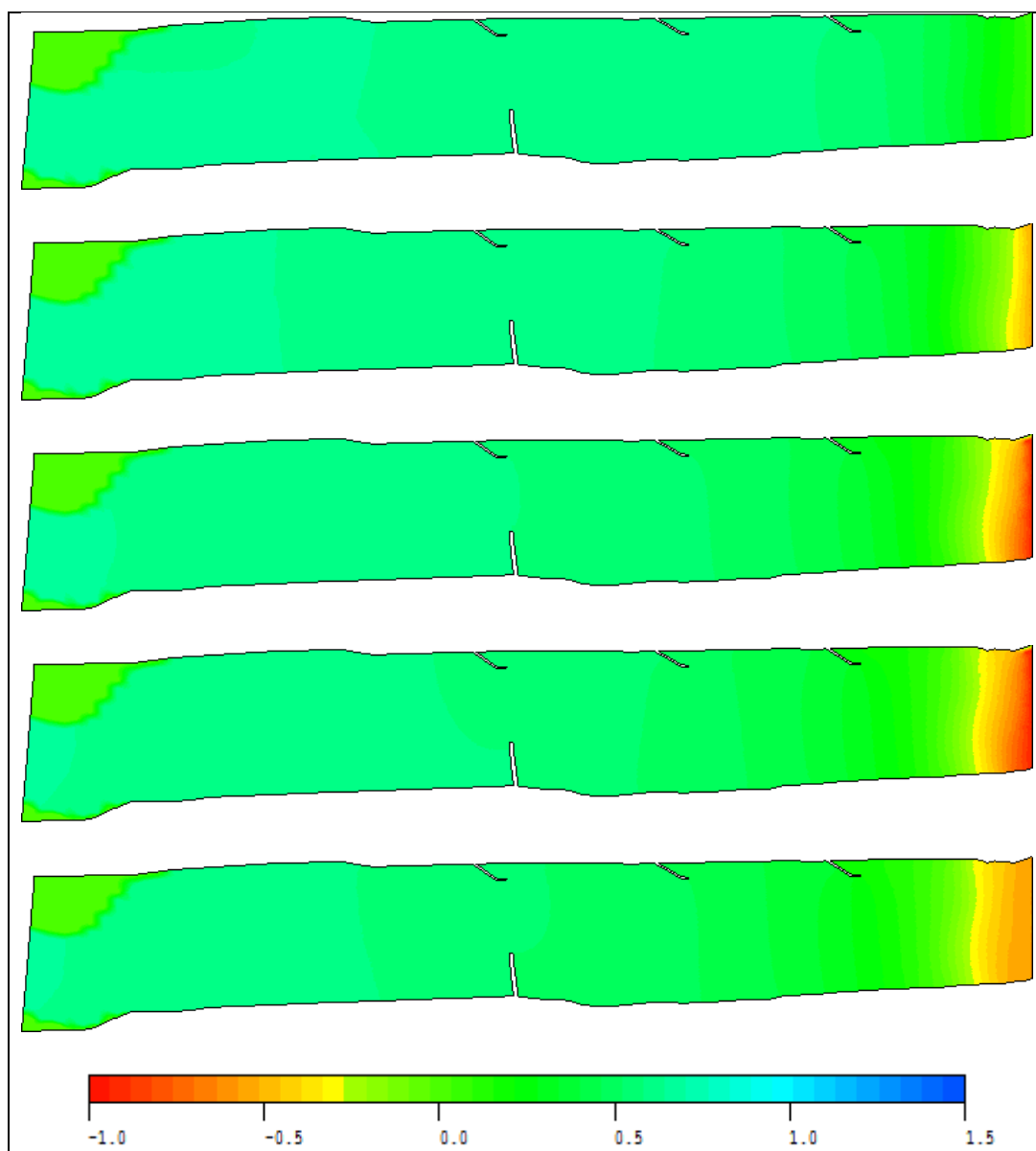


Fig. 8 – Propagazione dell'onda in foce con $H = 0.7$ m e onda da 1 m (elevazione in m slm)

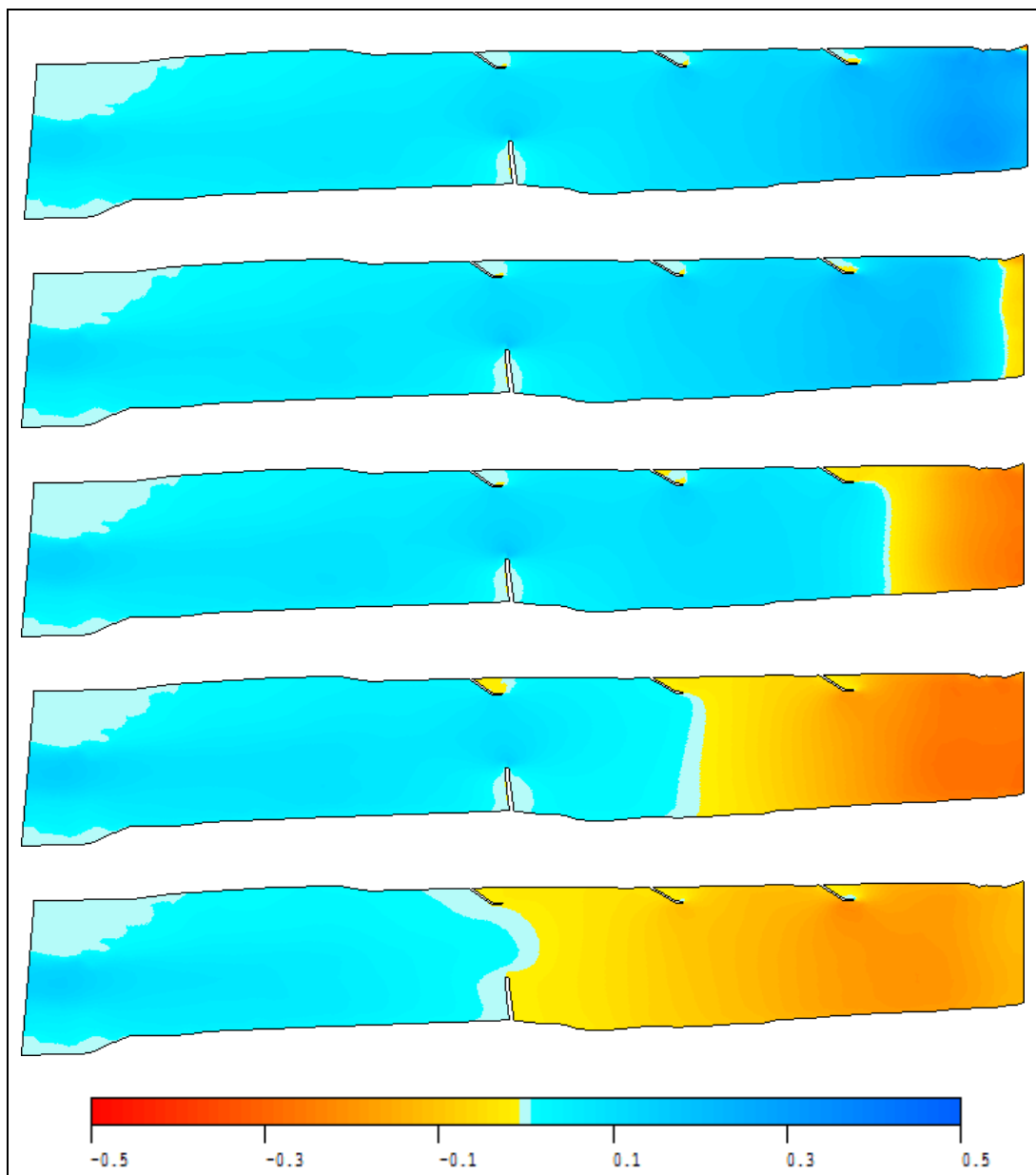


Fig. 9 – Componente longitudinale della velocità di flusso (valori in m/s, stessi cicli e condizioni delle immagini precedenti. I valori positivi indicano il flusso in ingresso, i valori negativi il flusso in uscita)

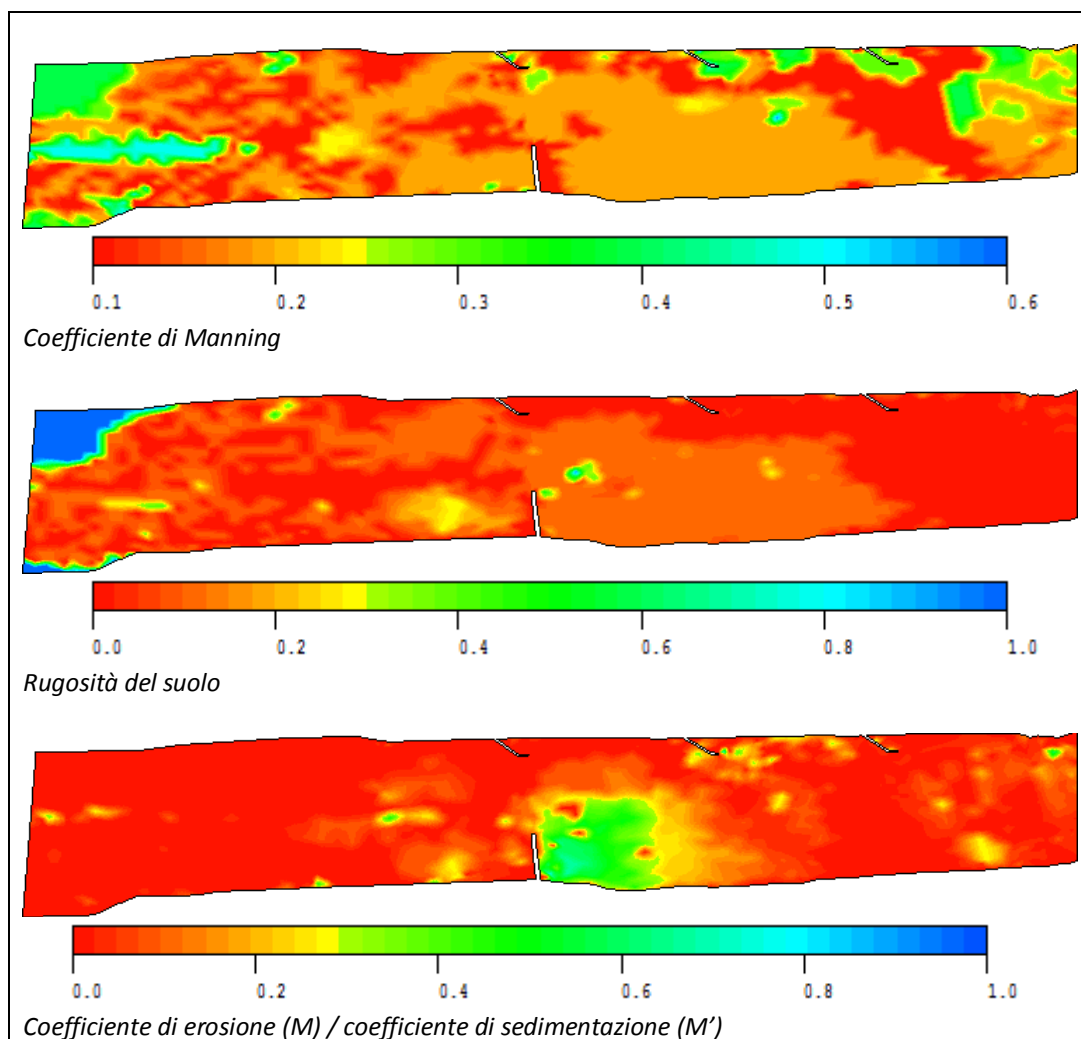


Fig. 10 – Variabili di controllo nel corso della taratura

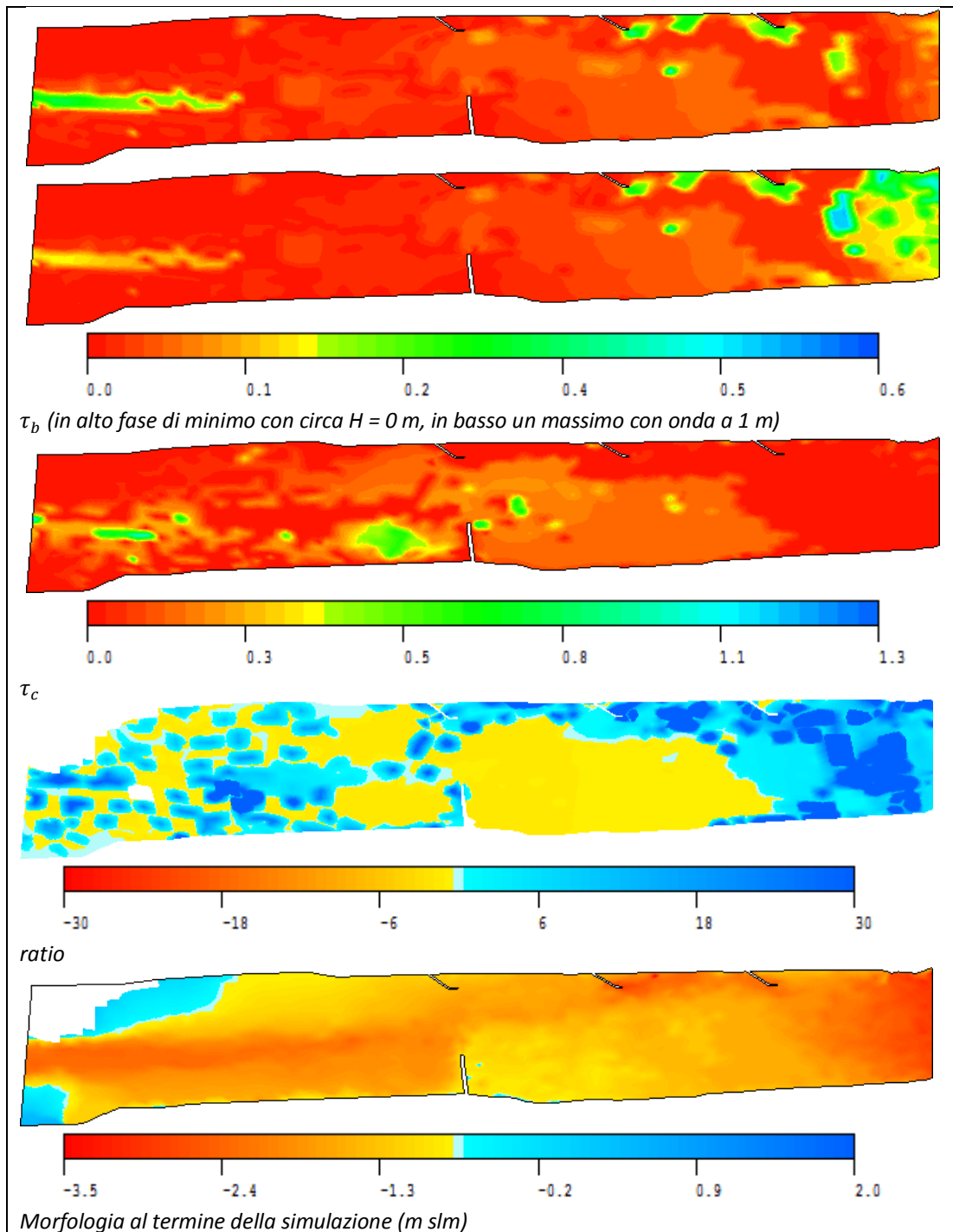


Fig. 11 –Risultati per $H = 0.7$ m e onda da 1 m

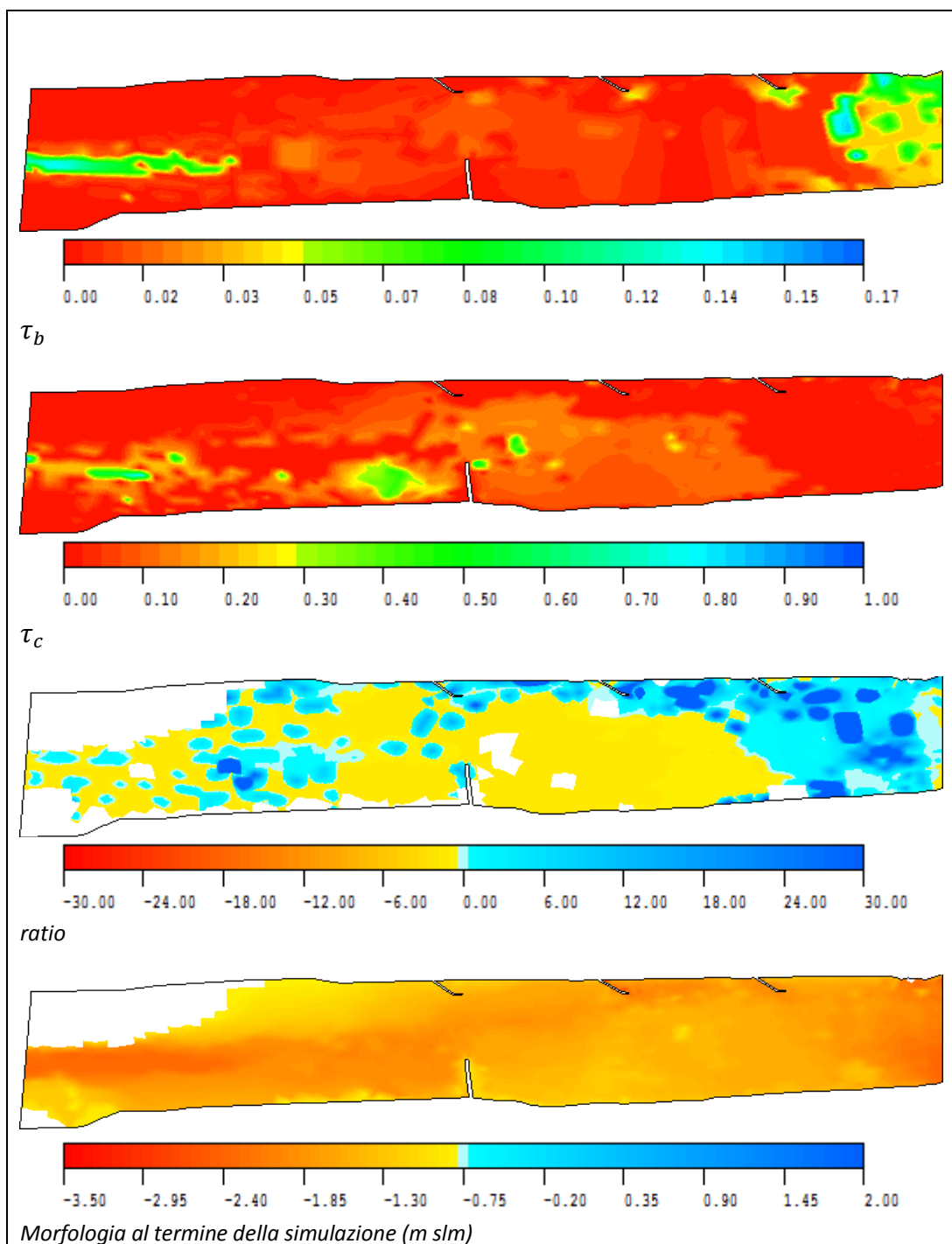


Fig. 9 –Risultati per $H = 0.05$ m e onda da 0.20 m

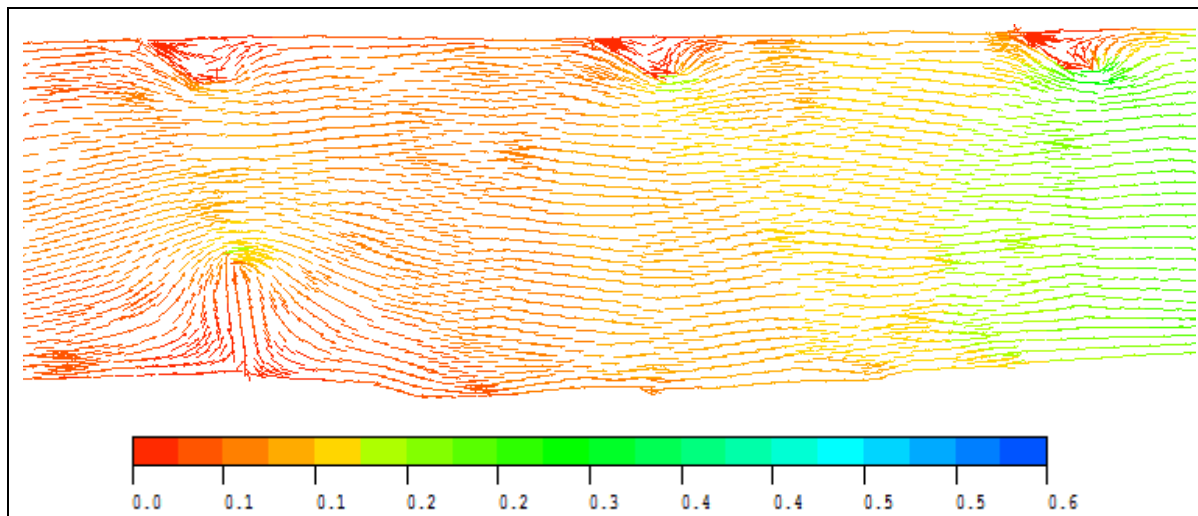


Fig. 12 – Dettaglio del flusso in prossimità delle opere (onda da 1 m, legenda in m/s)

La taratura si presta a diverse considerazioni, che derivano dalla necessità di poter applicare il modello con diverse configurazioni idrauliche ed è per questo motivo che il primo degli scenari è stato calibrato con molta cura, in modo tale da poterlo utilizzare adeguatamente anche negli altri casi; ciò nonostante, si è trovato che il grado di correlazione tra la morfologia del 2012 e quella simulata al 2017 scende a circa il 48 % nel caso (b).

7. Simulazione degli interventi

Gli obiettivi degli interventi in foce Lamone sono:

- a) limitare gli effetti erosivi del flusso che insiste nella scogliera radente a nord;
- b) proteggere l'area di sedimentazione posta in sinistra, lato mare;
- c) utilizzare metodi e modalità quanto più possibile "leggeri" dal punto di vista degli effetti ambientali e paesaggistici negativi.

Il terzo criterio è particolarmente restrittivo, perché per incidere in misura significativa sul flusso bisognerebbe realizzare interventi di dimensioni adeguate al problema, mentre è stata invece scelta l'alternativa meno impattante che comunque migliora lo stato di fatto mantenendo la propensione alla salvaguardia ambientale dei luoghi.

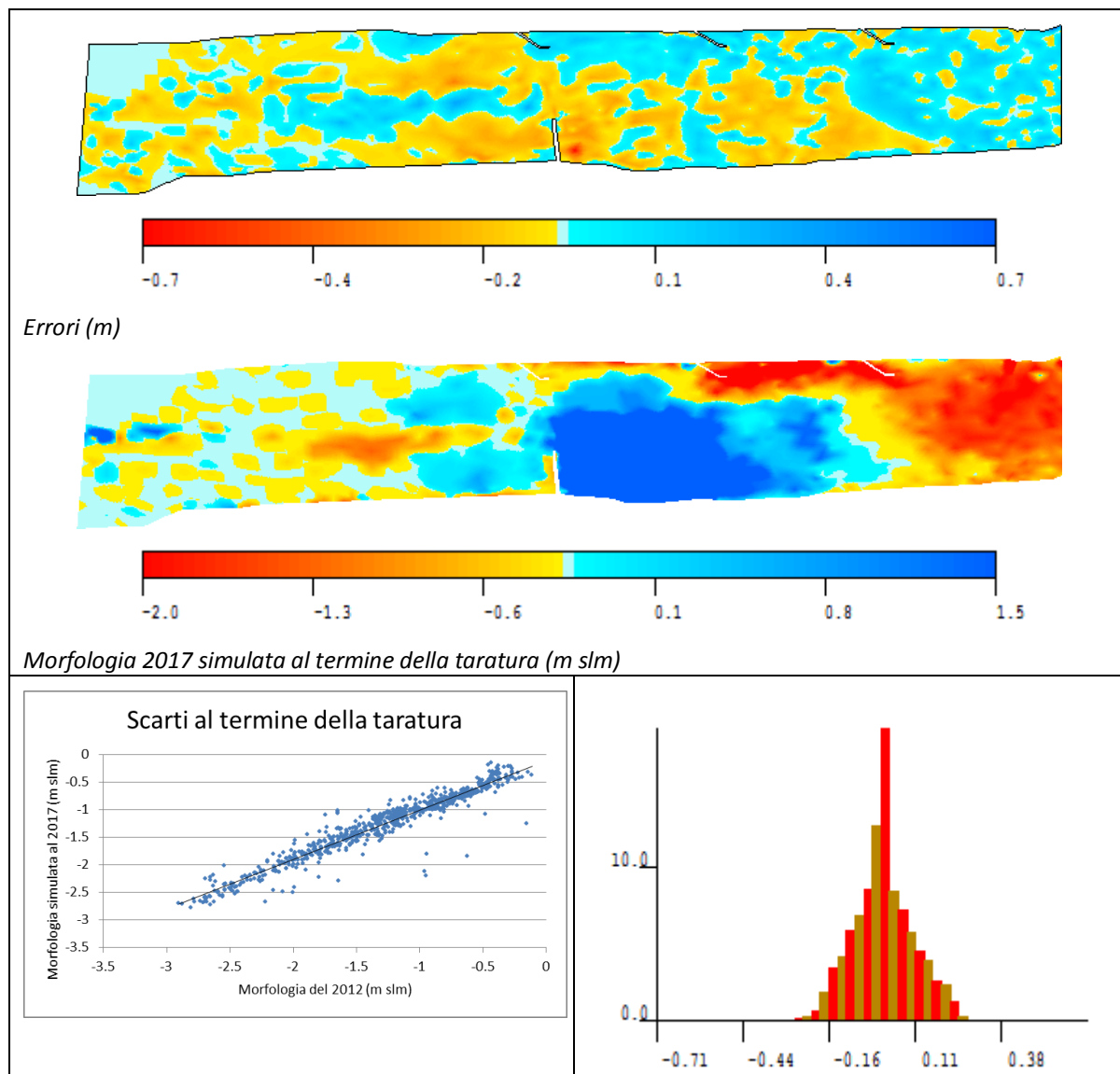


Fig. 13 – Taratura con $H = 0.7$ m e onda da 1 m ($r^2 = 92.5\%$)
Scarti in m (in alto e a sinistra) e frequenza degli errori in % (a destra)

Le considerazioni che emergono invece dalle simulazioni e dall'analisi dei dati batimetrici esistenti sono le seguenti:

- a) gli interventi del 2012 hanno dato risultati apprezzabili in corrispondenza dei pennelli 1 e 3, nel senso che il fondale, a valle degli stessi, mostra oggi la tendenza alla sedimentazione (o, perlomeno, ad un ambiente in equilibrio);
- b) il punto più critico è in corrispondenza dell'estremità del pennello 2 che ha avuto due effetti:
 - i. il primo di non avere impedito l'erosione in corrispondenza della propria estremità;
 - ii. il secondo è quello di avere scaricato l'energia in eccesso lungo la scogliera radente, il cui fondale continua ad essere in erosione.
- c) le simulazioni sono state realizzate per verificare la possibilità di migliorare gli interventi del 2012 mediante:
 - i. la barriera posta in prolungamento del palancolato di valle del Circolo Nautico e ortogonale a questo;
 - ii. la modifica di alcune caratteristiche dei pennelli bilanciatori.

Tutte le simulazioni sono stata realizzate con le medesime condizioni generali e idrauliche già viste per la taratura, ma utilizzando la morfologia del 2017 invece che quella del 2012. Inoltre, la griglia è stata rielaborata per tenere conto della nuova geometria delle opere. I risultati, graficamente, sono riportati nelle figure seguenti, raffrontando sia la morfologia di partenza, quella del 2017, con quella simulata, sia mettendo a confronto la variazione 2012 – 2017 con quella ottenuta simulando il nuovo intervento rispetto al 2017.

Dal punto di vista metodologico va notato che le simulazioni non sono eseguite a rigorosa parità di condizioni; infatti, le diverse geometrie ipotizzate caso per caso hanno necessariamente costretto a ridefinire la griglia del dominio di calcolo e quindi l'assetto generale del modello. A causa della diversa geometria della griglia, anche le variabili di controllo (rugosità, coefficiente di Manning ecc.) sono state riassegnate con una operazione che non ha potuto garantire – essendo diverse le coordinate dei nodi – l'omogeneità di tali coefficienti e si vede infatti anche dalle immagini che talune evidenti differenze di calcolo non si spiegano solo con l'assetto variabile delle opere.

Infine, è necessario fissare un criterio per confrontare le simulazioni ed i risultati ottenuti. Questo aspetto è stato affrontato fissando un'area di riferimento costituita da un rettangolo che circoscrive la fascia nord dell'alveo in corrispondenza dei pennelli, in modo da comprenderli tutti, indipendentemente dalle geometrie adottate. Per ciascuna simulazione è stata poi calcolata la somma di tutti i contributi, in più o in meno, ottenuti al termine di ciascuna simulazione e, da queste somme è stata ottenuta una valutazione del guadagno ottenuto caso per caso. Questi risultati sono commentati nell'ultimo paragrafo con le conclusioni.

7.1. Simulazione 1

La prima verifica è stata centrata sulla possibilità di prolungare il tratto longitudinale del pennello centrale per una lunghezza di 26 metri. L'effetto di rallentamento della fase erosiva nei pressi del pennello 2 è modesta, ma evidente.

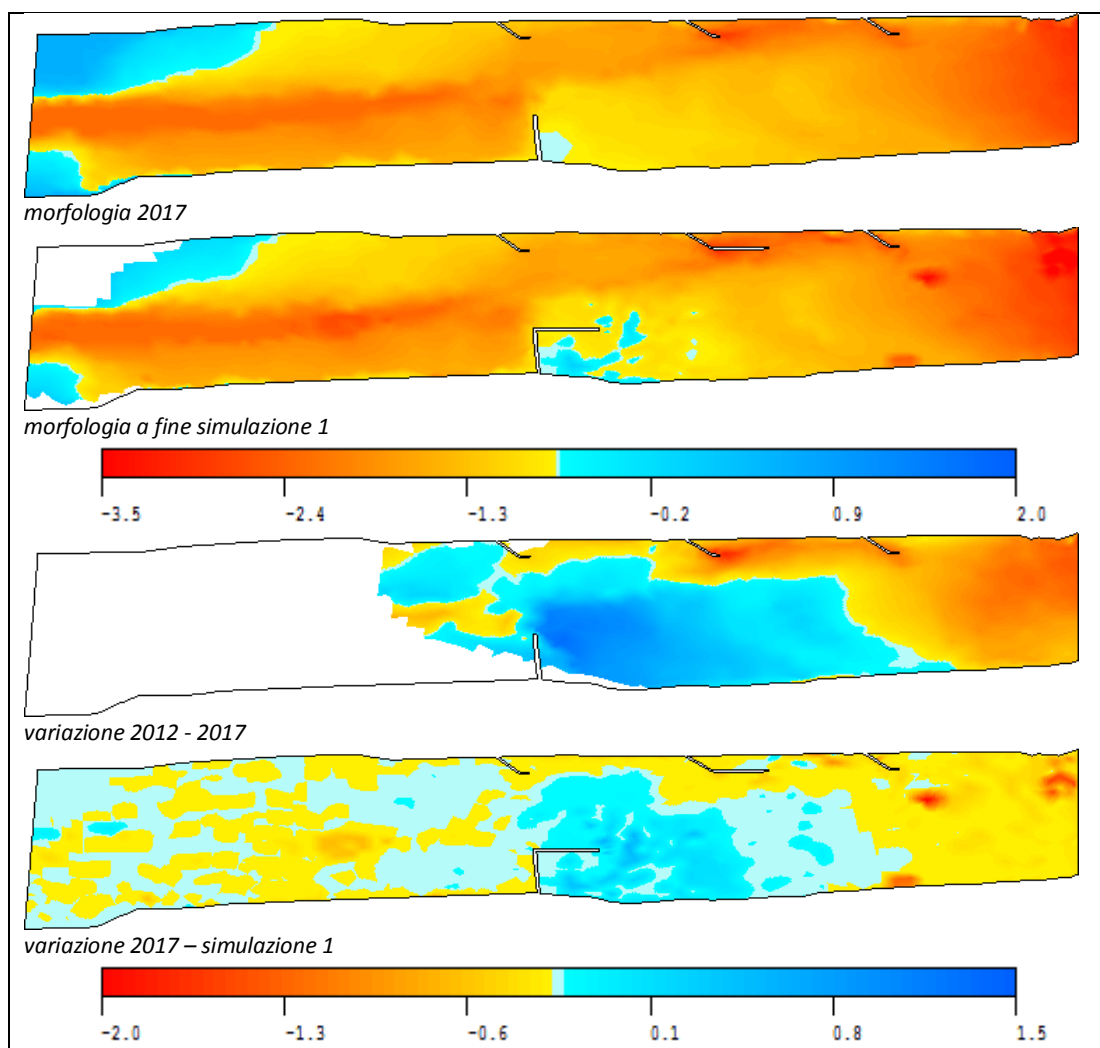


Fig. 14 – Variazioni della morfologia (valori in m)

7.2. Simulazione 2

Analoga alla precedente, ma la lunghezza del tratto longitudinale è di 10 metri; inoltre si prevede l'allestimento di una protezione in massi sull'ultimo pennello lato mare.

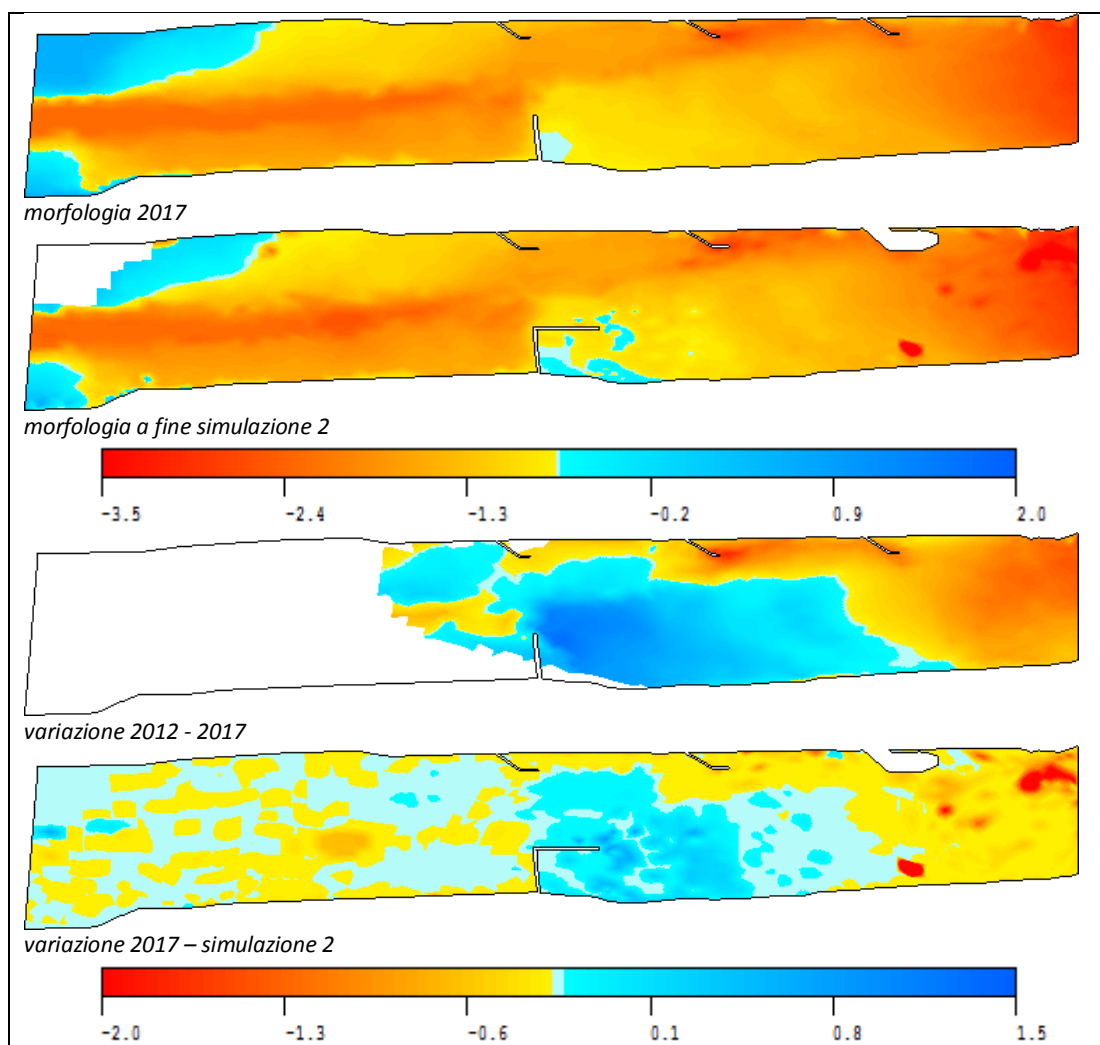
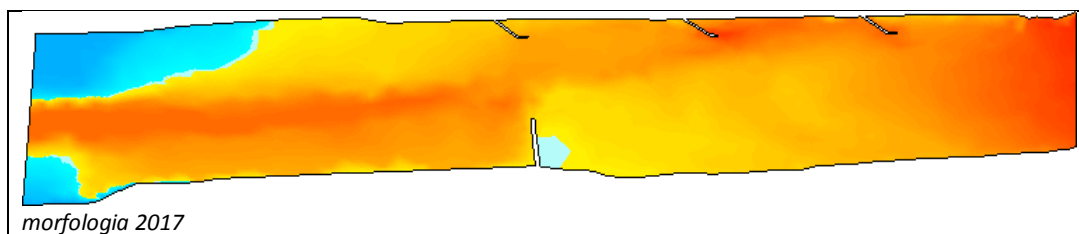


Fig. 15 – Variazioni della morfologia (valori in m)

7.3. Simulazione 3

Viene inserito il pennello 1 bis, inserito tra il primo ed il secondo. Il pennello 2 è ancora prolungato di 26 metri rispetto allo stato di fatto.



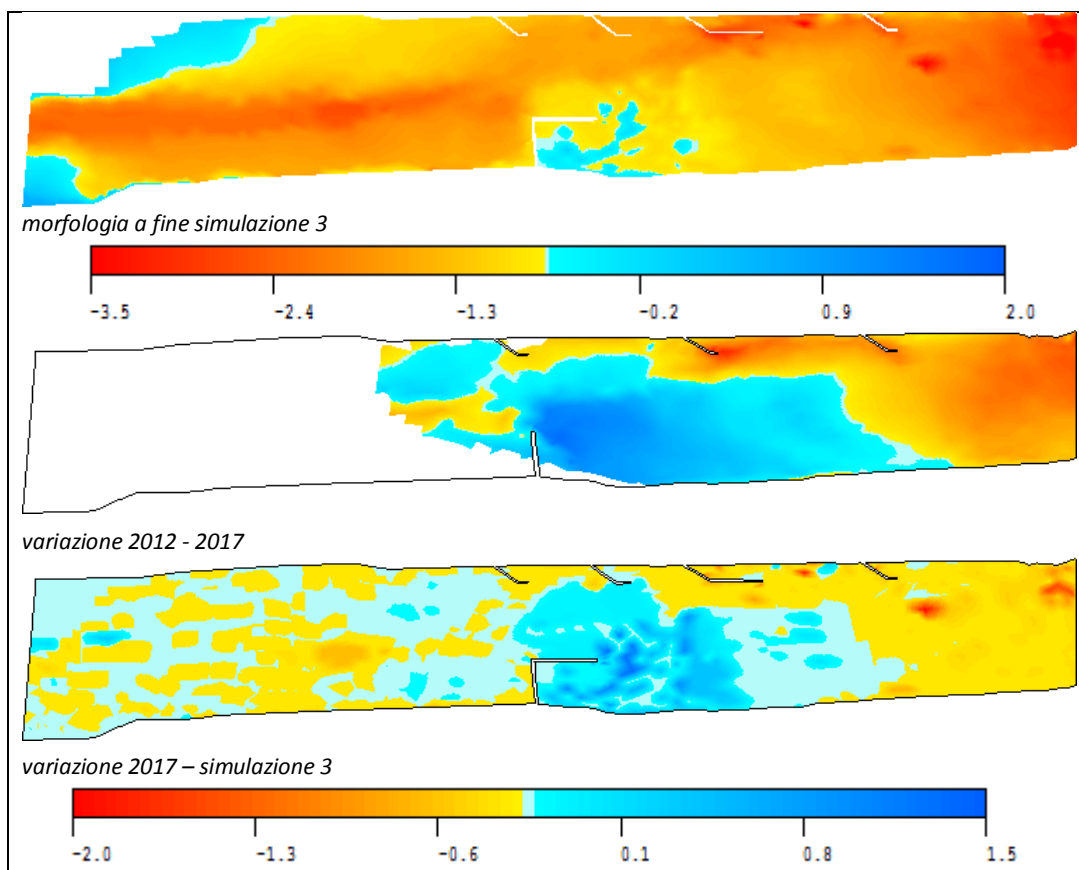
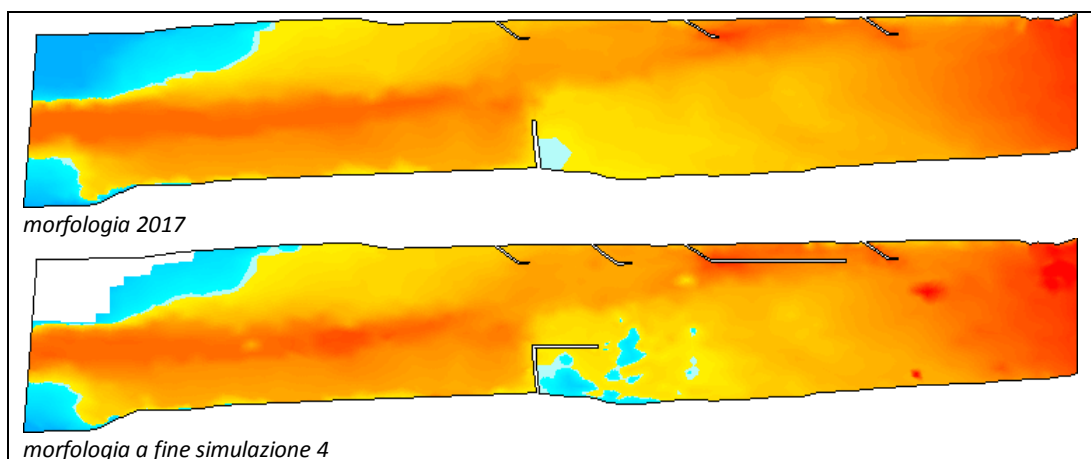


Fig. 16 – Variazioni della morfologia (valori in m)

7.4. Simulazione 4

Il pennello 1 bis rimane, il pennello 2 viene prolungato, longitudinalmente fino a 65 m.



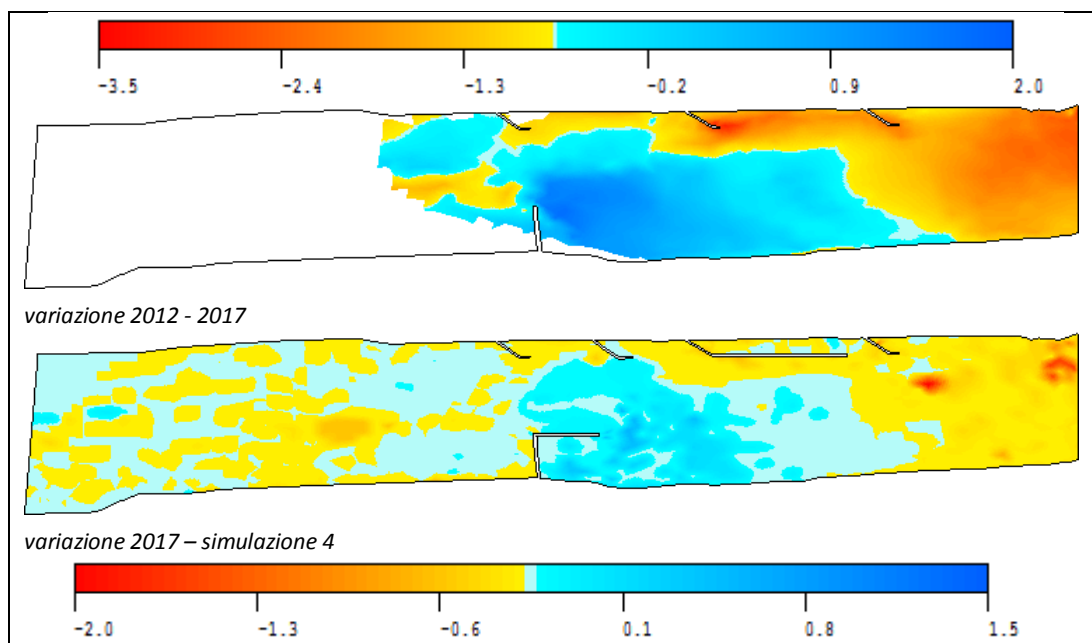
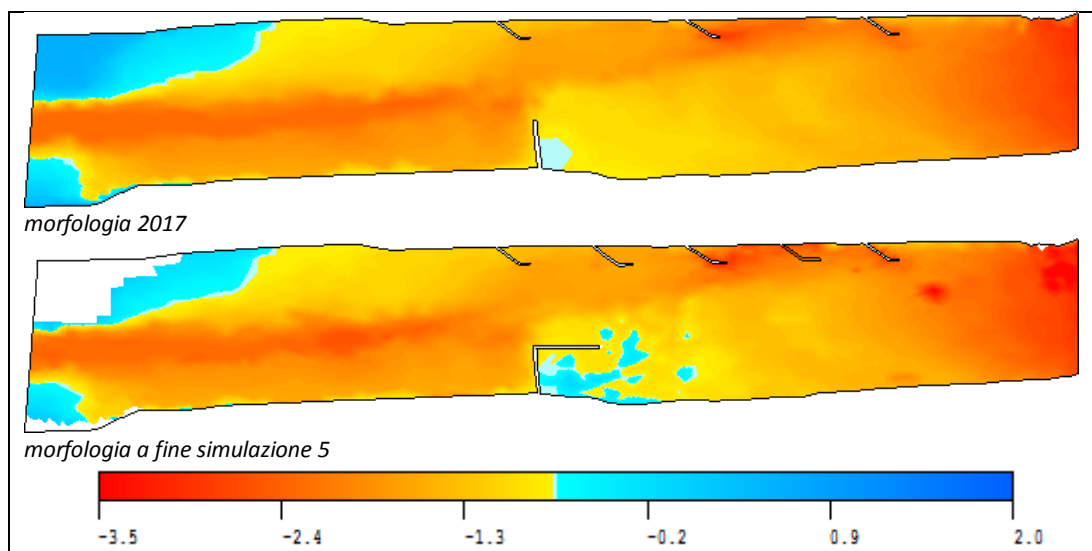


Fig. 17 – Variazioni della morfologia (valori in m)

7.5. Simulazione 5

Si porta a 5 il numero totale di pennelli, inserendone due rispettivamente a monte e a valle del secondo. Il braccio longitudinale è di 10 metri.



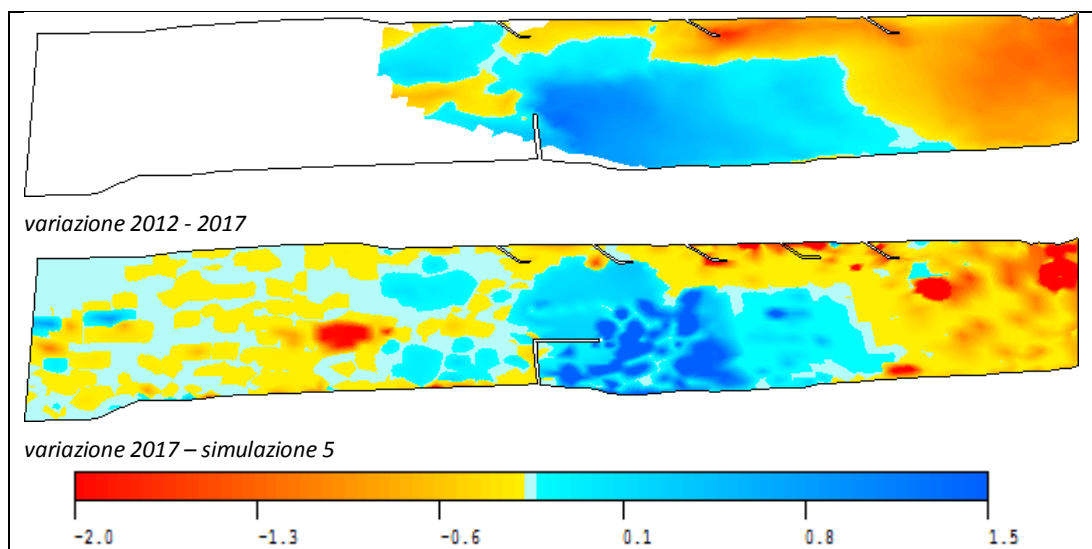


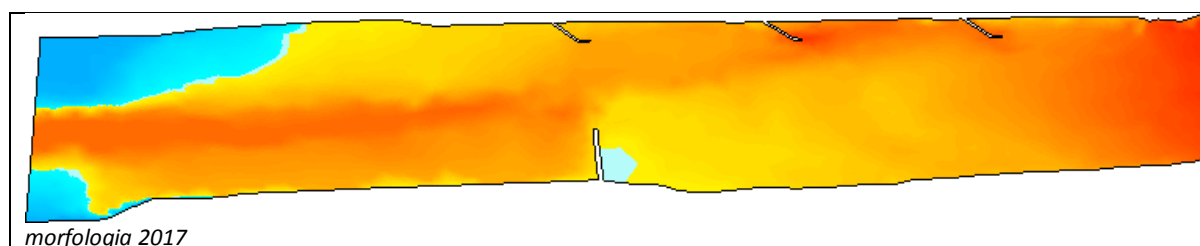
Fig. 18 – Variazioni della morfologia (valori in m)

7.6. Simulazione 6

La configurazione, in questo caso, è una variante della seconda (par. 7.2); infatti, si considera:

- l'inserimento di due altri pennelli, rispettivamente a monte e a valle del n. 2;
- il prolungamento a 10 metri del braccio longitudinale dei pennelli;
- il rafforzamento – e quindi l'ispessimento – del pennello n. 3 (che diventa così il quinto) con una barriera di massi.

Gli effetti, pur considerando la scala e le piccole dimensioni del tratto di foce interessato sono visibili; infatti, le variazioni attorno ai pennelli mostrano un ambiente leggermente meno erosivo, tranne alcuni punti molto concentrati, in cui tuttavia si può pensare più ad un limite nella taratura che all'effetto della nuova geometria.



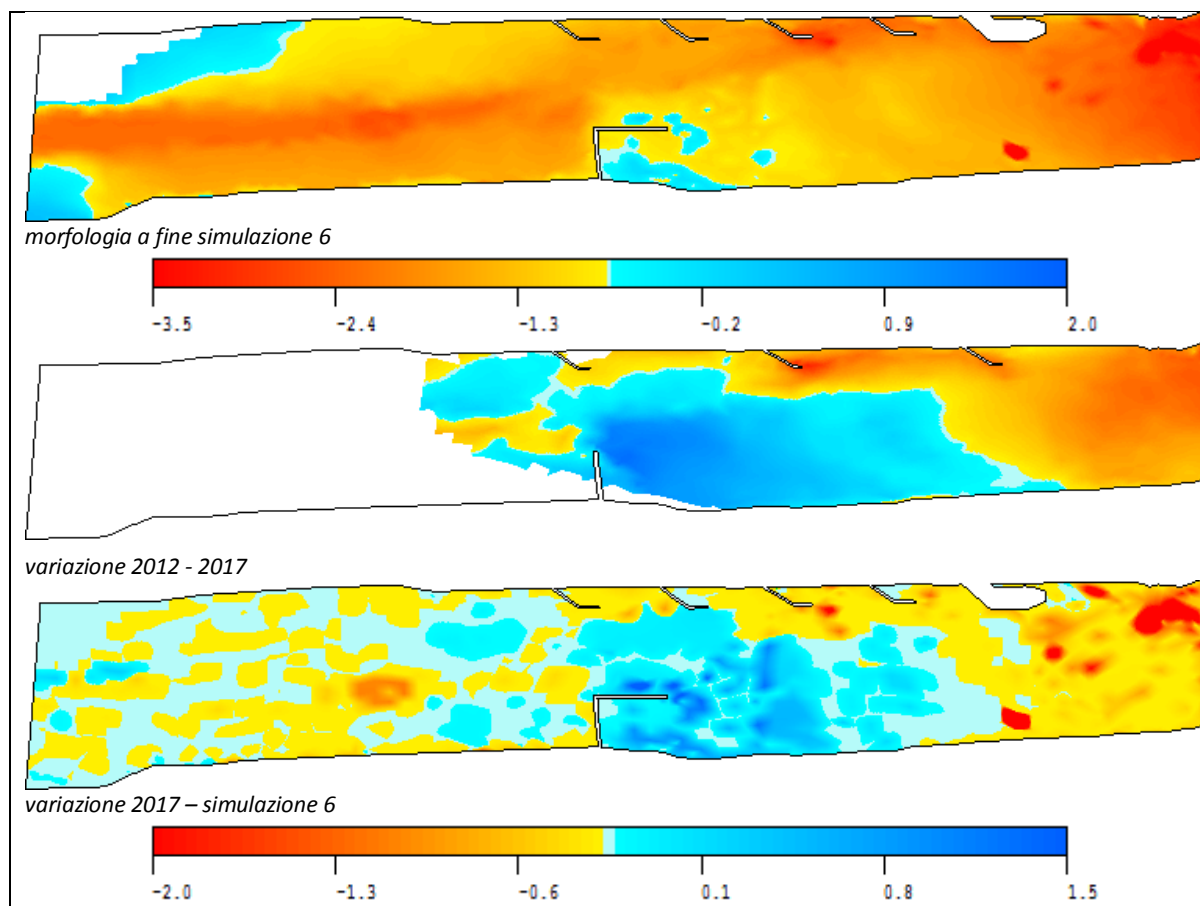


Fig. 19 – Variazioni della morfologia (valori in m slm e m)

8. Conclusioni

Il lavoro è stato realizzato dapprima con una ricerca e messa a punto di un algoritmo ragionevolmente affidabile, ancorché molto limitato sul piano formale, con il quale rappresentare l'evoluzione del fondo della foce del Lamone. Successivamente, il modello è stato calibrato nel modo più accurato possibile sulla base dei due soli rilievi disponibili, essendo poi quello del 2017 molto parziale rispetto al precedente.

Nel corso della taratura sono state studiate molte configurazioni per testare l'assetto idraulico a monte e a valle, verso mare; questo rapporto contiene i risultati di un numero molto limitato di questi test, al termine dei quali ci si è concentrati su una configurazione che più di altre è apparsa adatta a simulare l'intero periodo di riferimento, dal 2012 al 2017 e che è quella con 0.7 m di tirante (variabile) a monte ed un'onda standard con altezza massima di 1 metro a valle.

La taratura è consistita nell'identificare gli insiemi delle variabili di controllo, distribuite sugli oltre 3000 nodi del reticolo, in grado di far ottenere una morfologia quanto più vicina a quella rilevata



nel 2017. Le variabili di controllo che sono state adottate sono un coefficiente di rugosità del fondo, il coefficiente di Manning e un coefficiente di erosione/sedimentazione, come sopra già descritto.

Al termine di questo lungo processo di adattamento, il modello ha consentito di spiegare oltre il 90 % dell'evoluzione osservata; anche se si tratta di una stima molto incoraggiante, non va dimenticato che le assunzioni che ne stanno alla base sono molte e che limitano i risultati al solo contesto simulato; ove le condizioni idrauliche dell'alveo considerato debbano mutare, anche il modello – così concepito – sarebbe certamente meno affidabile.

Esaurita questa prima fase di attività, nella seconda ed ultima è stato affrontato il momento della simulazione delle opere previste e che sono state ipotizzate con 6 diverse combinazioni e geometrie, come già riportato sopra.

La lettura dei risultati è riportata nel diagramma seguente, attraverso una stima del guadagno in termini di minore erosione. Fermo restando che in tutti i casi l'ambiente a ridosso dell'argine nord resta prevalentemente erosivo, si vedono le diverse risposte ottenute del sistema di calcolo, esposte anche in tabella, in termini di variazione totale in m^3 e in termini percentuali rispetto alla simulazione di riferimento.

La simulazione di riferimento è stata ottenuta applicando la morfologia del 2017 alla situazione esistente delle opere e, ovviamente, con i coefficienti ottenuti dalla taratura. Questa configurazione porta ad una stima di circa $180 m^3$ di erosione (sempre limitatamente all'area di controllo posta a ridosso dell'argine nord) ed il guadagno esprime la variazione percentuale rispetto al riferimento. Fermo restando che tutte le simulazioni conducono ad un deficit, cioè a condizioni erosive, si vede che una minore erosione corrisponde ad un guadagno maggiore e che le migliori condizioni sono quelle della simulazione n. 2, che ha un saldo negativo di meno di $60 m^3$.

Si vede anche che le configurazioni migliori sono quelle che prevedono un allungamento limitato del tratto longitudinale dei pennelli, mentre il prolungamento molto elevato (simulazioni 3 e 4 sono meno efficienti). La simulazione 4, che quasi chiude del tutto l'area all'interno del pennello ha ovviamente qualche vantaggio in più, ma allora tanto varrebbe chiudere del tutto e affrontare il problema in termini molto più invasivi di quanto ipotizzato fin dall'inizio.

Le ipotesi basate su un numero più elevato di pennelli sono le peggiori: se ne può arguire che l'inserimento di altri ostacoli peggiora le condizioni generali, anche se alla radice dei pennelli si produce una zona d'ombra con effetti limitatamente positivi, ma non tali da compensare l'assetto generale.

In definitiva, la soluzione migliore, che è anche la meno invasiva, passa da un rafforzamento dei pennelli prolungando fino a 10 metri il braccio longitudinale, oltre che consolidare quello sul lato a mare con una massicciata.

n.	Simulazione	Variazione (m ³)	Guadagno (%)
1	pennello 2 prolungato a 26 m	-91.0	49.3
2	3 pennelli prolungati a 10 metri + massi di protezione	-58.1	67.7
3	pennello 2 a prolungato a 26 metri + 1 altro pennello tra 1 e 2	-107.9	39.9
4	come 3 con prolungamento a 65 m	-70.0	61.0
5	5 pennelli corti	-116.4	35.2
6	5 pennelli corti + massi di protezione	-101.1	43.7

Tab. 1- Sintesi dei risultati

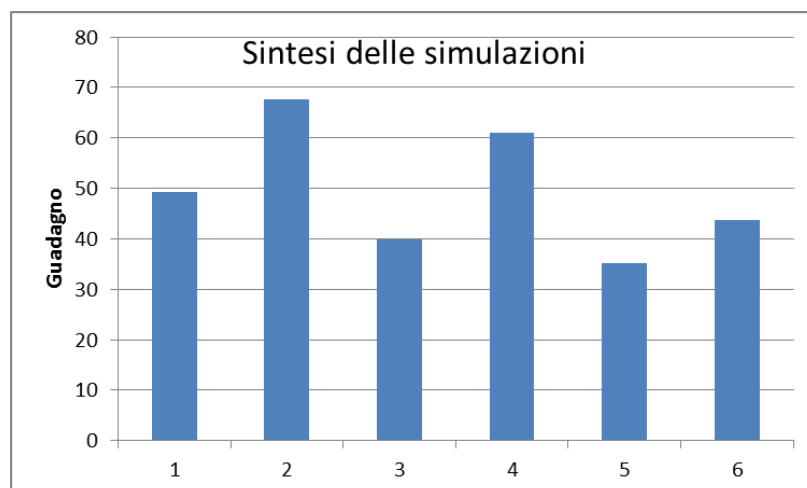


Fig. 20 – Sintesi dei risultati (guadagno in %)

9. Bibliografia essenziale

Dalla Fontana G., *Correzione dei torrenti e quantificazione trasporto solido*, A.A. 2013/2014, Università di Padova.

Froehlich D. C., *Finite Element Surface-Water Modeling System: Two Dimensional Flow in a Horizontal Plane*. Users Manual, Federal Highway Administration Report FHWA- RD-88-177, 285 p., 1989.

Graf W. H., *Hydraulics of Sediment transport*. Mc Graw-Hill Book Company, 1971, 512 pp.



Hayter E. J., Berg M. A., Gu R., McCutcheon S. C., Jarrell Smith S., Whiteley H. J., *HSCTM-2D, A finite element model for depth-averaged hydrodynamics, sediment and contaminant transport*, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia 30605, May 1995.

Laghi M., *L'interazione tra acque fluviali superficiali e acque sotterranee in zona costiera: il sistema dell'estuario del fiume Lamone*. Tesi di dottorato di ricerca, Scienze Ambientali: Tutela e Gestione delle Risorse Naturali, XXII Ciclo, Università di Bologna, 2010

Simeoni, U., Tessari, U., Zamariolo, A., Gabbianelli, G., Del Grande, C., Gonella, M., Polo, P., Atzeni, P., Anconetani, P. & Pellizzari, M., *Studio dell'Ancona e delle Vene di Bellocchio e del litorale fra P.to Garibaldi e P.to Corsini: proposte di sistemazione ambientale. Rapporto conclusivo*, 161 pp., 2000.