



PIANO DELL'ARENILE

ai sensi dell'art.72 - L.R. 24/2017

Assunzione:

Delibera di G.C. n.465 del 12/12/2023

Adozione:

Delibera di C.C. n. 36 del 21/05/2024 e n. 47 del 13/06/2024

Approvazione:

Delibera di C.C. n.59 del 07/08/2025

Pubblicazione BURERT:

Bollettino n.235 del 10/09/2025

QUADRO CONOSCITIVO

B1_REL

Studio idraulico e rischio di alluvionamento
costiero

Relazione

Sindaco:

Jamil Sadegholvaad

Assessore al Territorio:

Valentina Ridolfi

Segretario Generale:

Diodorina Valerino

Responsabile Ufficio di Piano:

Carlo Mario Piacquadio

Responsabile del Procedimento:

Lorenzo Turchi

Garante della comunicazione e della partecipazione:

Carlo Mario Piacquadio



INCARICO PER REDAZIONE DELL'ANALISI DATI E STUDI DI MODELLISTICA
NELL'AMBITO DELLA DEFINIZIONE DEL PERICOLO DI ALLAGAMENTO
COSTIERO A SUPPORTO DEL PIANO DELL'ARENILE DEL COMUNE DI RIMINI

Comune di Rimini



° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	2	di	64	0 1			0 1	0 7	22		

1	INTRODUZIONE.....	4
2	PGRA e PAI.....	5
3	ACQUISIZIONE E PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO AGGIORNATO	18
3.1.1	profili longitudinali	24
3.1.2	Identificazione della linea di costa da volo aereo	31
4	MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA COSTIERA.....	32
4.1.1	Scenari di riferimento di allagamento costiero - Extreme Sea Level	33
4.1.2	La Subsidenza	34
4.1.3	L'innalzamento del livello del mare.....	36
4.1.4	Maree e Forzanti meteo-marine.....	37
4.1.5	Scenari ESL di progetto	40
4.1.6	Mappatura del rischio idraulico costiero - simulazioni modello Safer_COAST	42
4.1.7	MODELLO SEMPLIFICATO SAFER_COAST.....	42
4.1.8	ANALISI DEI RISULTATI – SCENARIO ANTE OPERAM.....	45
4.1.9	ANALISI DEI RISULTATI – SCENARIO POST OPERAM.....	49
5	RISCHIO EROSIONE COSTIERA	58
6	MAPPATURA DEL RISCHIO IDRAULICO COSTIERO E CO-IDEAZIONE DELLE NORME DI PIANO.....	62
7	SUPPORTO ALLA DEFINIZIONE DI STRATEGIE NORMATIVE E OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO COSTIERO.....	63
8	ELENCO TAVOLE	63

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	3	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

1 INTRODUZIONE

Il presente documento descrive le analisi dei dati meteomarini, i risultati e le ipotesi delle simulazioni di modellistica di allagamento costiero a supporto del piano dell'arenile del Comune di Rimini.

L'obiettivo di questo studio riguarda l'analisi e l'identificazione delle aree a rischio idraulico costiero all'interno della fascia di interesse dell'arenile, sia negli scenari attuali che negli scenari futuri che considerino anche gli effetti del cambiamento climatico.

Le valutazioni del rischio idraulico costiero saranno di supporto per la progettazione della pianificazione urbanistica con l'obiettivo di migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici e contribuire alla mitigazione dei rischi di allagamento.

La nuova LR 24/ 2017 riconosce infatti un ruolo centrale alla pianificazione comunale anche in relazione alla sicurezza idraulica del territorio, con il compito di valutare lo stato di fatto, stabilire le criticità e le priorità e, attraverso la Strategia, individuare le azioni da introdurre per elevare il grado di sicurezza idraulica degli insediamenti, con attenzione anche alla mitigazione e all'adattamento al cambiamento climatico, sia con opere strutturali che con interventi diffusi.

Ne è un esempio la realizzazione recente del Parco del Mare a sud del portocanale, opera che svolge sia la funzione di rigenerazione del lungomare, creando un nuovo paesaggio che si attesta tra la città ed il mare restituito alla fruizione pubblica, sia di difesa idraulica delle strutture degli asset economicamente rilevanti posizionati a tergo dell'opera.

Le analisi modellistiche a supporto del nuovo Piano dell'Arenile saranno in particolare focalizzate nel:

- valutare l'integrazione del nuovo piano dell'arenile con il progetto del Parco del Mare al fine di garantire la sicurezza idraulica da allagamenti costieri (attuali e futuri) per l'abitato che si trova a monte del sistema Parco del Mare/Arenile
- Fornire una mappatura ad alta risoluzione del pericolo e del rischio idraulico costiero per i beni e le attività localizzate sull'arenile
- Identificare le strategie normative le azioni di mitigazione ed adattamento per i beni e le attività localizzate sull'arenile

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	4	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

2 PGRA e PAI

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) è lo strumento di pianificazione previsto nella legislazione comunitaria dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D.Lgs. 49/2010.

La Dir. 2007/60/CE (detta anche Direttiva Alluvioni) si inserisce all'interno di un percorso di politiche europee in tema di acque iniziato con la Direttiva quadro 2000/60/CE che si prefigge l'obiettivo di salvaguardare e tutelare i corpi idrici superficiali e sotterranei e di migliorare la qualità della risorsa, con la finalità di raggiungere il buono stato ambientale in tutti i corpi idrici europei; nello specifico, il PGRA ha la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

In base a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE, il PGRA, alla stregua dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), è stralcio del Piano di Bacino ed ha valore di piano sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Alla scala di intero distretto, il PGRA agisce in sinergia e coordinamento con i PAI costituitisi nella precedente stagione di pianificazione e tutt'ora vigenti.

Il primo ciclo attuazione si è concluso nel 2016 quando sono stati definitivamente approvati i PGRA relativi al periodo 2015-2021; Il secondo ciclo si è concluso nel dicembre 2021, con l'adozione dei PGRA di seconda generazione. I Dati di pericolosità relativi al secondo ciclo di attuazione sono stati definitivamente approvati dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po con Decreto Segretariale (DS) n. 43/2022 del 11 aprile 2022 e sono disponibili in consultazione presso la Regione Emilia-Romagna tramite la cartografia interattiva Moka DIRETTIVA ALLUVIONI¹,

Il PGRA si compone di una parte cartografica, consistente nel quadro conoscitivo di settore costituito dall'insieme delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni a scala di bacino, in una

¹ <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/notizie/2022/mappe-direttiva-alluvioni-2022>

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	5	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

serie di relazioni tecniche metodologiche (a scala di distretto e regionali specifiche sulle Area a potenziale rischio significativo di alluvione APSFR Regionali) e nei relativi allegati.

La parte cartografica del PGRA deriva sostanzialmente dai contenuti dei precedenti Piani di Assetto Idrogeologico vigenti (PAI) e dagli studi di approfondimento ad essi propedeutici, con l'aggiunta di mappe specifiche redatte per l'ambito costiero, che descrivono il fenomeno di ingressione marina, e di cartografie che documentano le aree storicamente allagate a causa dell'officiosità del reticolo di bonifica nei territori di pianura.

La parte normativa del PGRA è demandata ai PAI previgenti, ancorché aggiornati e coordinati nella cornice del PGRA, ed è brevemente riassunta a fine paragrafo

Al fine di descrivere i diversi fenomeni alluvionali che possono avere impatti nel territorio in esame, le attività finalizzate alla mappatura della pericolosità e del rischio ai sensi dell'art. 6 del D.Lgs. 49/2010 sono state sviluppate, parallelamente, per l'Ambito Costiero Marino (ACM), per il Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP_RSCM) e per il Reticolo Secondario Pianura (RSP).

Le mappe della pericolosità indicano, pertanto, le aree geografiche potenzialmente allagabili con riferimento all'insieme di cause scatenanti sopra descritte, in relazione a tre scenari (art. 6, comma 2 D.Lgs. 49/2010):

- P1. Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi;
- P2. Alluvioni poco frequenti: corrispondenti a tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità);
- P3. Alluvioni frequenti: corrispondenti a tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità).

Le aree inondabili per l'Ambito Marino Costiero (AMC) sono state mappate calcolando l'elevazione totale della superficie del mare quale somma di più fattori tra loro concomitanti: l'effetto delle onde (che sotto costa generano un rialzo cosiddetto "*wave set-up*"), l'acqua alta, data dalla marea astronomica (*tide*) e dal sovrizzo atmosferico (*surge*).

Le diverse altezze critiche, corrispondenti agli scenari di bassa, media ed elevata probabilità (Tabella 1), sono state comparate con dati morfologici di dettaglio (rilievo Lidar anno 2019), tenendo conto dello smorzamento e dei percorsi reali seguiti dall'acqua.

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	6	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

Scenario	Tr	Elevazione totale superficie del mare in metri
Frequente P3	Tdr = 10	1,49
Poco Frequente P2	Tdr = 100	1,81
Raro P1	Tdr >> 100	2,5 m (Dato Piano costa RER '82)

Tabella 1 - Valori del sovrizzo totale da mareggiata considerati per la perimetrazione delle aree soggette ad ingressione marina – Relazione PGRA I Ciclo

Le mappe di pericolosità costiera predisposte seguendo il metodo sopra riassunto non tengono conto della presenza di misure di difesa temporanee, quali ad esempio le dune invernali e la protezione con paratie mobili, non essendo queste vere e proprie opere strutturali, ma strumenti utilizzati per la gestione del rischio, posti in essere, in particolare nel periodo invernale, per ridurre i danni conseguenti alle mareggiate, dagli enti e dai privati; in Figura 1 si riporta la mappa di pericolosità per il territorio dell'Unione relativo all'Ambito Marino Costiero, la mappa è consultabile tramite il citato Servizio Moka regionale ed è relativa all'ultima iterazione approvata della Direttiva Alluvioni 2022.

Di minore interesse, ancorché presenti, le mappature di pericolosità relative al reticolo principale fiumi) e secondario (bonifica), per le quali si riporta comunque la relativa cartografia ricordando che esiste un parziale interessamento di aree a pericolosità bassa (P1) alle foci di Marecchia e Torrente Marano ed una estesa pericolosità media (P2) da reticolo di bonifica.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	7	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

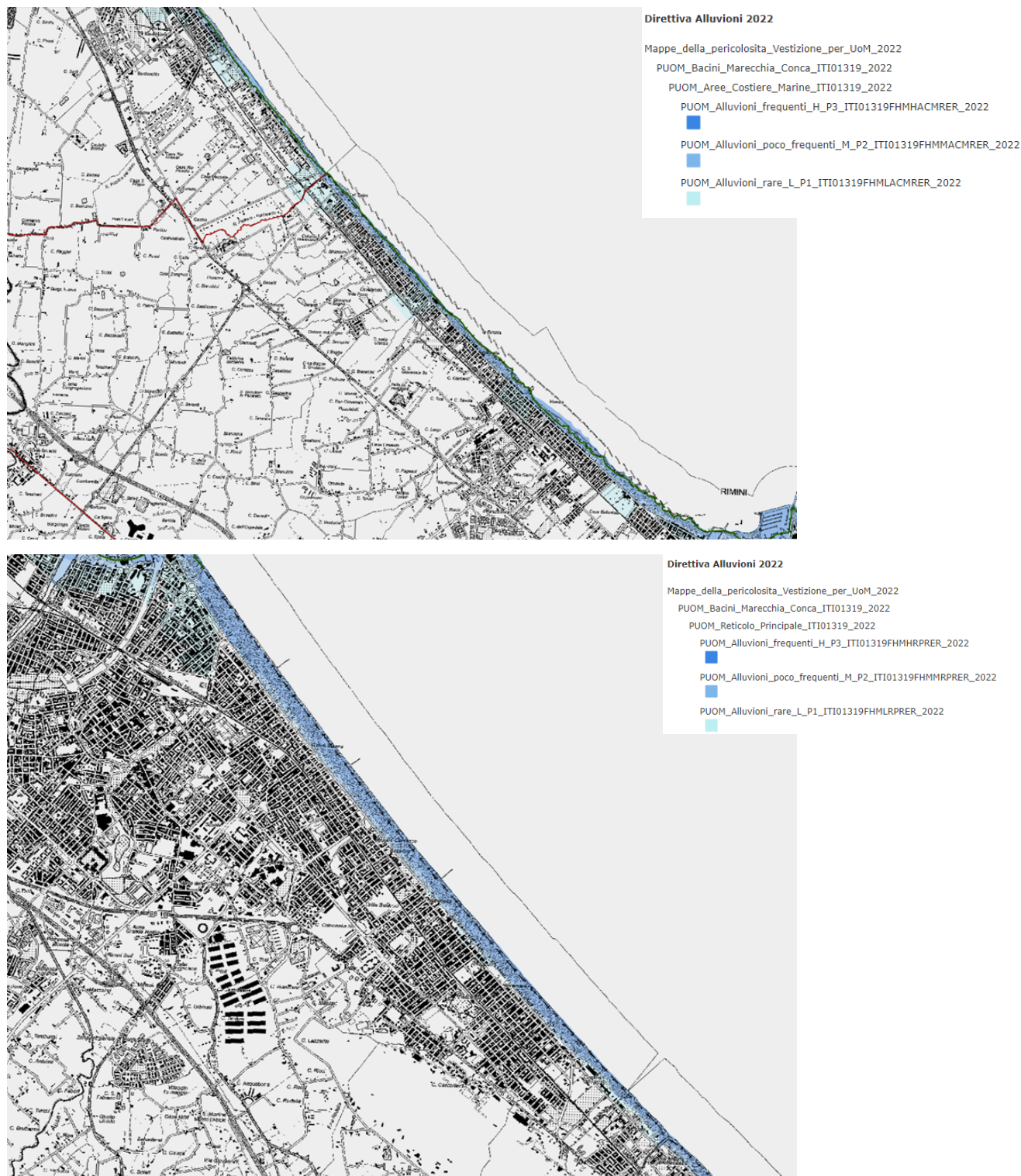


Figura 1 mappa della pericolosità per l'Ambito Marino Costiero (AMC)

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	8	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	



Figura 2 mappa della pericolosità per il Reticolo Principale (RP)

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	9	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

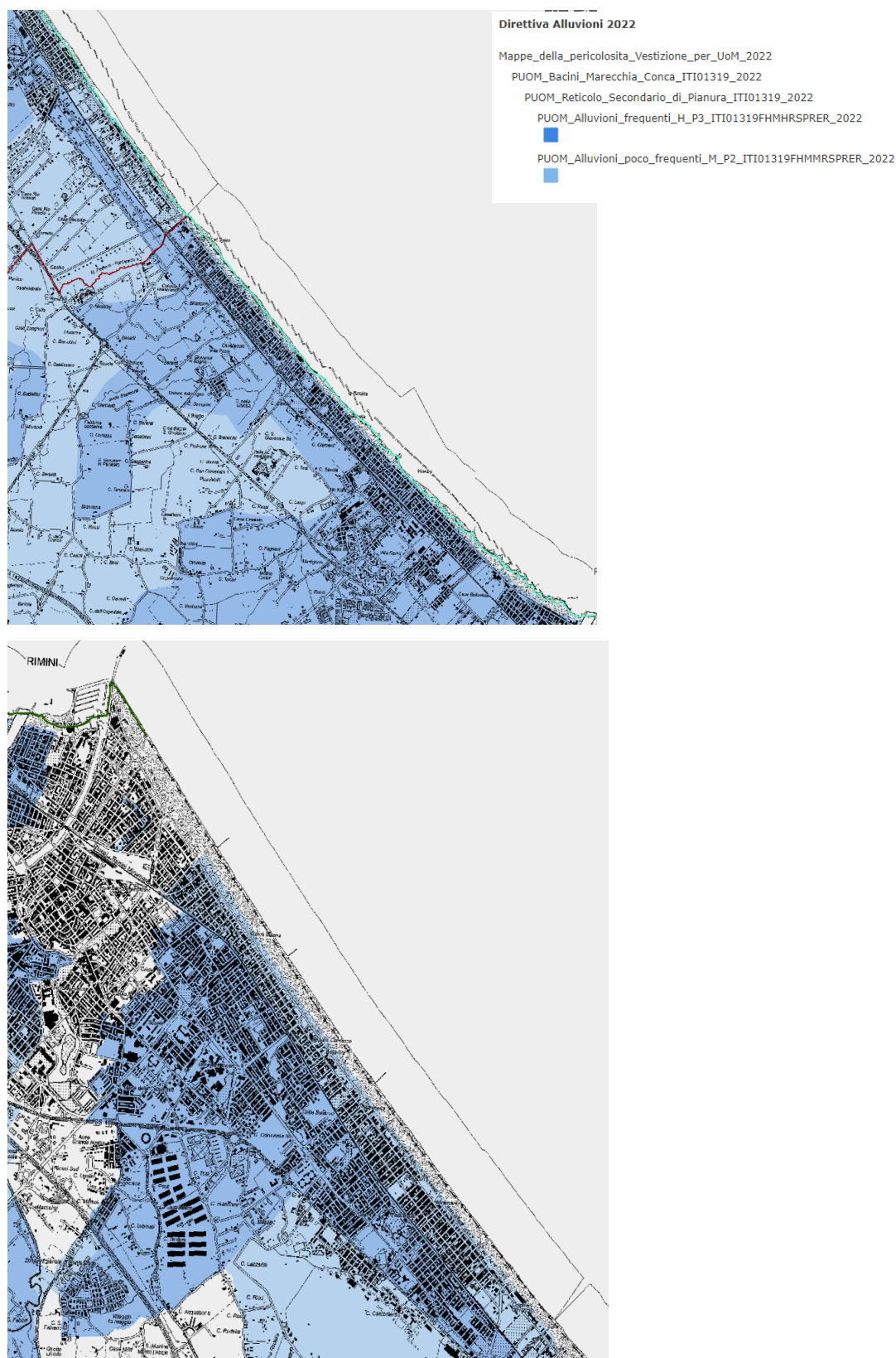


Figura 3 mappa della pericolosità per il Reticolo Secondario di Pianura (RSP)

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	10	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

Le mappe del rischio predisposte dal PGRA sono restituite in due formati grafici (mappature disponibili sulla cartografia interattiva Moka DIRETTIVA ALLUVIONI solo per l'iterazione 2019 del PGRA):

- rappresentazione degli elementi esposti di cui all'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6, c. 5 del D.Lgs., 49/2010 ricadenti all'interno delle aree di pericolosità articolate nei tre scenari previsti, tematizzati in funzione delle 6 macrocategorie indicate negli Indirizzi Operativi MATTM" (Zone urbanizzate, Strutture Strategiche e sedi di attività collettive, Infrastrutture strategiche e principali, Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse, Distribuzione e tipologia delle attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata, Zone interessate da insediamenti produttivi o impianti tecnologici) e della tipologia di attività economica prevalente presente nelle suddette aree;
- rappresentazione degli elementi esposti classificati in 4 gruppi di rischio, a valore crescente (da R1, moderato o nullo a R4, molto elevato), secondo quanto previsto dal D.P.C.M. 29.09.98 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e del D.L. 11.06.98, n. 180"; tali classi di rischio sono di seguito riassunte:
 - R4 (rischio molto elevato): per il quale sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socioeconomiche.
 - R3 (rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni relativi al patrimonio ambientale;
 - R2 (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
 - R1 (rischio moderato o nullo): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

Le classi di rischio sono state definite tramite un algoritmo di classificazione del territorio mediante la elaborazione di una matrice generale che associa le classi di pericolosità alle classi di danno

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	11	di	64	0 1			0 1	0 7	22

potenziale, definito come grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto.

Le classi di rischio per il territorio comunale, relativi all'ambito Marino Costiero (AMC) sono riportate nelle figure seguenti.

Si omette di riportare la classificazione del Rischio da Reticolo Principale (RP), al reticolo Secondario di Pianura (RSP) perché le mappe del Rischio hanno valore ricognitivo.

Le valutazioni contenute all'interno del Piano di Gestione del Rischio Alluvione (di cui sono appannaggio le cartografie più aggiornate) sono state recepite dal vigente Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, con la "Variante di coordinamento" approvata dalla Giunta regionale con la DGR 2112/2016 e Delibera CIP n.2 del 12/11/2019 di adozione della variante stessa (ex art. 8).

I due strumenti risultano quindi coerenti e si riporta di seguito **l'analisi normativa** di tale variante di recepimento:

La Variante 2016 del PAI Marecchia-Conca è costituita dai seguenti elaborati:

- Relazione Generale
- Elaborati grafici di analisi
- Elaborati grafici relativi agli 'interventi programmati e modalità di gestione' PAI e elaborati PGRA
- Norme di Piano

Come detto gli estratti più aggiornati degli elaborati cartografici sono contenuti nel PGRA, pertanto, si omette di riportare le cartografie più datate del PAI.

Si vogliono invece identificare le norme PAI che corrispondono alle perimetrazioni di pericolosità sopra identificate (non vi sono norme specifiche legate alla ricognizione del Rischio)

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	12	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

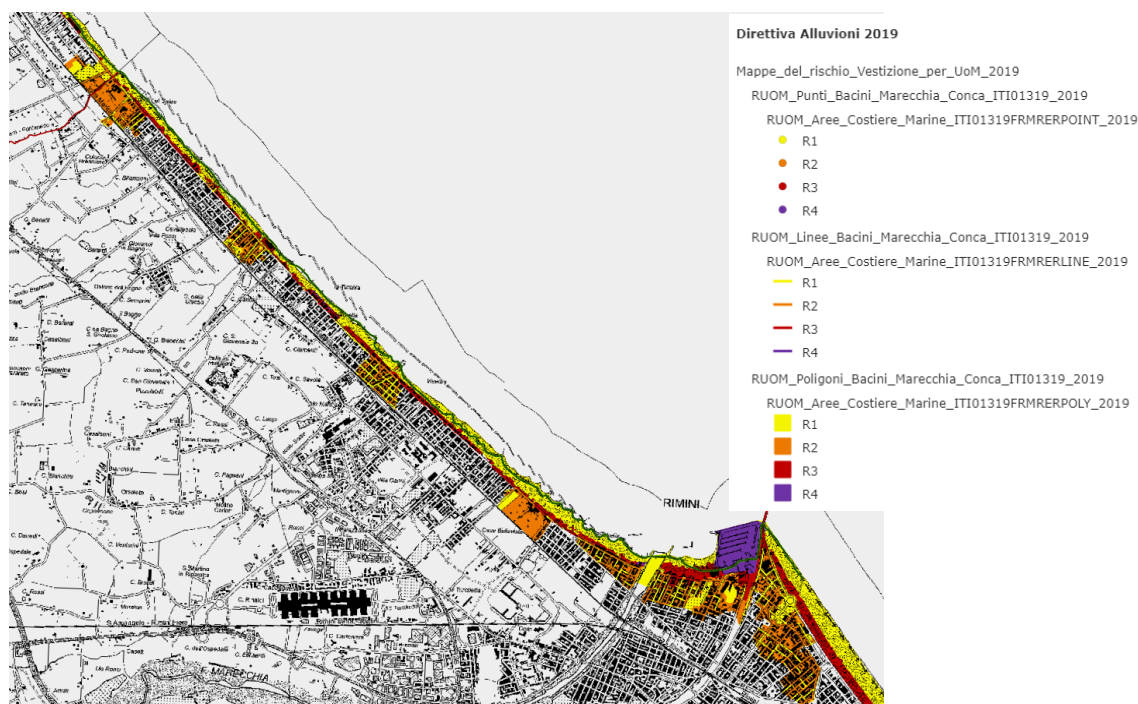


Figura 4 mappa del Rischio per l'Ambito Marino Costiero (AMC)

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	13	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

Per la Pericolosità Fluviale l'area di interesse è marginalmente interessata da aree ex art10 (piene con tempi di ritorno di 500 anni) su cui le norme demandano alla pianificazione comunale la regolamentazione delle attività e degli interventi edilizi. Il litorale è inoltre interessato da alluvioni poco frequenti (media probabilità – P2) generate dal reticolo idrografico secondario di pianura per cui le norme di coordinamento, in attesa di approfondimenti e di una specifica Direttiva Idraulica non pongono specifiche restrizioni come accade invece alle aree P3.

Di specifico e maggiore interesse per il Piano dell'Arenile è la pericolosità costiera: l'area oggetto di studio risulta caratterizzata da alluvioni frequenti ($T_r=10$ anni) - pericolosità P3 e Alluvioni poco frequenti ($T_r=100$ anni) - pericolosità P2. In tali aree le norme, oltre a prevedere limiti agli interventi edilizi, le norme PAI demandano agli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale di valutare la sostenibilità delle previsioni relativamente al rischio idraulico, facendo riferimento alle possibili alternative localizzative e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte.

Al TITOLO IV delle norme del piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (P.A.I.), variante 2016, sono riportate le norme in materia di coordinamento tra il PAI e il PGRA in riferimento all'ambito territoriale Bacino Marecchia-Conca. Nello specifico si riporta:

art.20 - Coordinamento del Piano Stralcio con le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione del PGRA:

1. *Le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione del P.G.R.A. sono relative alle seguenti tipologie di fenomeni che si esplicano sui relativi ambiti territoriali:*

a. alluvioni generate dai corsi d'acqua naturali (reticolo idrografico principale) – Ambito territoriale dei Corsi d'Acqua Naturali;

b. alluvioni generate dal reticolo idrografico secondario di pianura – Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica;

c. alluvioni generate da fenomeni meteo-marini (mareggiate) – Ambito territoriale delle Aree Costiere Marine.

2. *Le Mappe della pericolosità relative all'Ambito territoriale dei Corsi d'Acqua Naturali delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:*

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	14	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

- a. *alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3): sono compresi gli alvei dei corsi d'acqua naturali e le aree inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 50 anni;*
- b. *alluvioni poco frequenti (media probabilità – P2): sono comprese le aree inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni;*
- c. *alluvioni rare per eventi estremi (scarsa probabilità – P1): sono comprese le aree inondabili per piene con tempi di ritorno superiori a 200 anni.*

Tali Mappe costituiscono integrazione e aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento per l'attuazione dei contenuti e delle finalità del P.A.I. e sono recepite negli elaborati grafici dell'Allegato 3 – Esondabilità attuale e rischio attuale e dell'Allegato 5 – Fasce fluviali e interventi previsti, in cui sono rappresentati gli Alvei, le Fasce di pertinenza dei corsi d'acqua con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni e le Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni dei corsi d'acqua del reticolo idrografico principale.

3. *Le Mappe della pericolosità relative all'Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:*

- a. *aree soggette ad alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3);*
- b. *aree soggette ad alluvioni poco frequenti (bassa probabilità – P2).*

Tali mappe sono rappresentate graficamente negli elaborati del Piano Stralcio costituiti dalle tavv. 5.1, 5.2, 5.3 – Mappe della pericolosità idraulica del reticolo secondario di pianura.

4. *Le Mappe della pericolosità relative all'Ambito Costiero Marino delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:*

- a. *alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno fino a 10 anni;*
- b. *alluvioni poco frequenti (media probabilità – P2): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno fino a 100 anni;*
- c. *alluvioni rare per eventi estremi (scarsa probabilità – P1): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno superiori a 100 anni.*

Tali mappe sono rappresentate graficamente negli elaborati del Piano Stralcio costituiti dalle tavv. 6.1, 6.2 – Mappe della pericolosità per alluvioni marine.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	15	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

art.21 - Coordinamento del Piano Stralcio con le Misure del PGRA:

1. *Nelle aree alluvionabili relative all'Ambito territoriale dei Corsi d'Acqua Naturali di cui al comma 2 del precedente articolo, con riferimento agli elaborati grafici dell'Allegato 5 – "Fasce fluviali e interventi previsti" del Piano Stralcio, si applicano le disposizioni di cui all'art. 8 (Alvei), all'art. 9 (Fasce di pertinenza dei corsi d'acqua con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni) e all'art. 10 (Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni) delle presenti Norme.*
2. *Relativamente alle aree alluvionabili dell'Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica di cui al comma 3 del precedente articolo, gli Enti Locali possono sviluppare approfondimenti del quadro conoscitivo, in accordo con i Consorzi di Bonifica competenti per territorio, con le Regioni per quanto di competenza e con l'Autorità di bacino Distrettuale, e regolamentano le attività consentite, i limiti e i divieti attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, in relazione alle misure indicate nel P.G.R.A.: tali approfondimenti comporteranno aggiornamenti cartografici del PAI secondo quanto previsto dal comma 2 del precedente art. 6. L'Autorità di bacino Distrettuale predispone una direttiva per la sicurezza idraulica in pianura in relazione al reticolo di bonifica. Nelle more dell'attuazione di quanto previsto al punto precedente nelle aree soggette ad alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3) è vietata la realizzazione di vani interrati e seminterrati accessibili non dotati di soluzioni di protezione. Le autorità competenti, secondo quanto specificato all'articolo 3, comma 1, predispongono o aggiornano i piani di emergenza ai fini della Protezione Civile, conformemente a quanto indicato dalla normativa nazionale e regionale, per la gestione del rischio idraulico relativo alle aree alluvionabili dal Reticolo di Bonifica.*
3. *Nelle aree alluvionabili relative all'Ambito territoriale delle Aree Costiere Marine di cui al comma 4 del precedente articolo, le Regioni di concerto con l'Autorità di bacino Distrettuale, qualora non in possesso di uno strumento di programmazione di settore, emanano successivamente dall'approvazione della presente variante, disposizioni riguardanti la sicurezza idraulica della costa, tenendo conto delle misure indicate nel PGRA, contenenti le indicazioni per gli strumenti urbanistici relativamente all'uso del suolo. Per le Regioni in possesso di uno strumento di programmazione di settore, le stesse disposizioni verranno emanate all'interno di detto strumento. Nelle more dell'attuazione di quanto previsto al punto precedente gli strumenti di pianificazione urbanistica e*

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	16	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

territoriale verificano la congruenza con il quadro della pericolosità di inondazione rappresentato dalle aree soggette ad alluvioni frequenti (elevata probabilità – tempo di ritorno fino a 10 anni – P3) e ad alluvioni poco frequenti (media probabilità - tempo di ritorno fino a 100 anni – P2), valutando la sostenibilità delle previsioni relativamente al rischio idraulico, facendo riferimento alle possibili alternative localizzative e all'adozione di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte. Nelle stesse aree gli interventi edilizi sono subordinati alla verifica della loro compatibilità con la pericolosità idraulica dell'area, anche mediante la riduzione della vulnerabilità del patrimonio edilizio esistente e l'adozione di adeguati provvedimenti volti alla mitigazione del rischio idraulico, commisurati all'entità degli interventi stessi. Sono esclusi, dall'adozione delle suddette misure, gli interventi relativi a manufatti edilizi a carattere stagionale strettamente funzionali ad attività connesse alla balneazione e gli interventi in aree portuali. Le autorità competenti, secondo quanto specificato all'articolo 3, comma 1 delle presenti Norme, predispongono o aggiornano i piani di emergenza ai fini della Protezione Civile conformemente a quanto indicato dalla normativa nazionale e regionale, per la gestione del rischio idraulico derivante da inondazione marina.

art. 10 - Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni

1 Definizione: le fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni sono le parti di territorio, individuate nelle tavole di piano (tavv. 4.1,..., 4.6, Allegati 3 e 5), esterne alle fasce di cui comma 1, lett. a) del precedente art. 9, nelle quali esondano le piene con tempi di ritorno di 500 anni.

2. Prescrizioni: le fasce con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni sono individuate ai fini della predisposizione, da parte degli organi della protezione civile, dei piani di emergenza di cui alla L. 225/92 e s.m.i. e alle leggi regionali, relativi alle aree che presentano potenziali situazioni di rischio idraulico. La regolamentazione delle attività e degli interventi edilizi in queste fasce, in assenza di limitazioni di altro tipo, attiene agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	17	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

3 ACQUISIZIONE E PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO AGGIORNATO

L'area oggetto dello studio (riportata indicativamente in Figura 5) è compresa nella fascia di interesse dell'arenile e è stata oggetto, nel recente passato, di rilievi per costruzione del modello digitale del terreno (DTM) tra mite tecnologia LiDAR da parte del Ministero dell'Ambiente (anno 2008) e della Autorità distrettuale del Fiume Po (anno 2019).

Si è provveduto ad aggiornare il modello LIDAR del 2019 con l'acquisizione di un volo LIDAR dedicato, eseguito in data 20 Settembre 2022 tra le ore 15 e le 17, al fine di aggiornare e meglio caratterizzare le quote nelle aree di maggiore interesse rappresentate dai manufatti ad uso turistico nella fascia A e nella fascia B del Piano dell'Arenile.

La nuova acquisizione LIDAR ha permesso di migliorare la risoluzione spaziale da 1m a 25 cm per il modello digitale del terreno, oltre ad ortofoto a risoluzione a terra di 10 cm.

L'accuratezza di posizionamento viene valutata su un subset di 175 punti a terra (quali vertici di segnaletica a terra) riconoscibili sulle ortofoto precedenti, acquisiti separatamente con GPS-RTK su Rete [TopnetLive](#) certificata IGM, con quote convertite su livello del mare (ortometriche) tramite grigliati IGM .gk2.

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	18	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

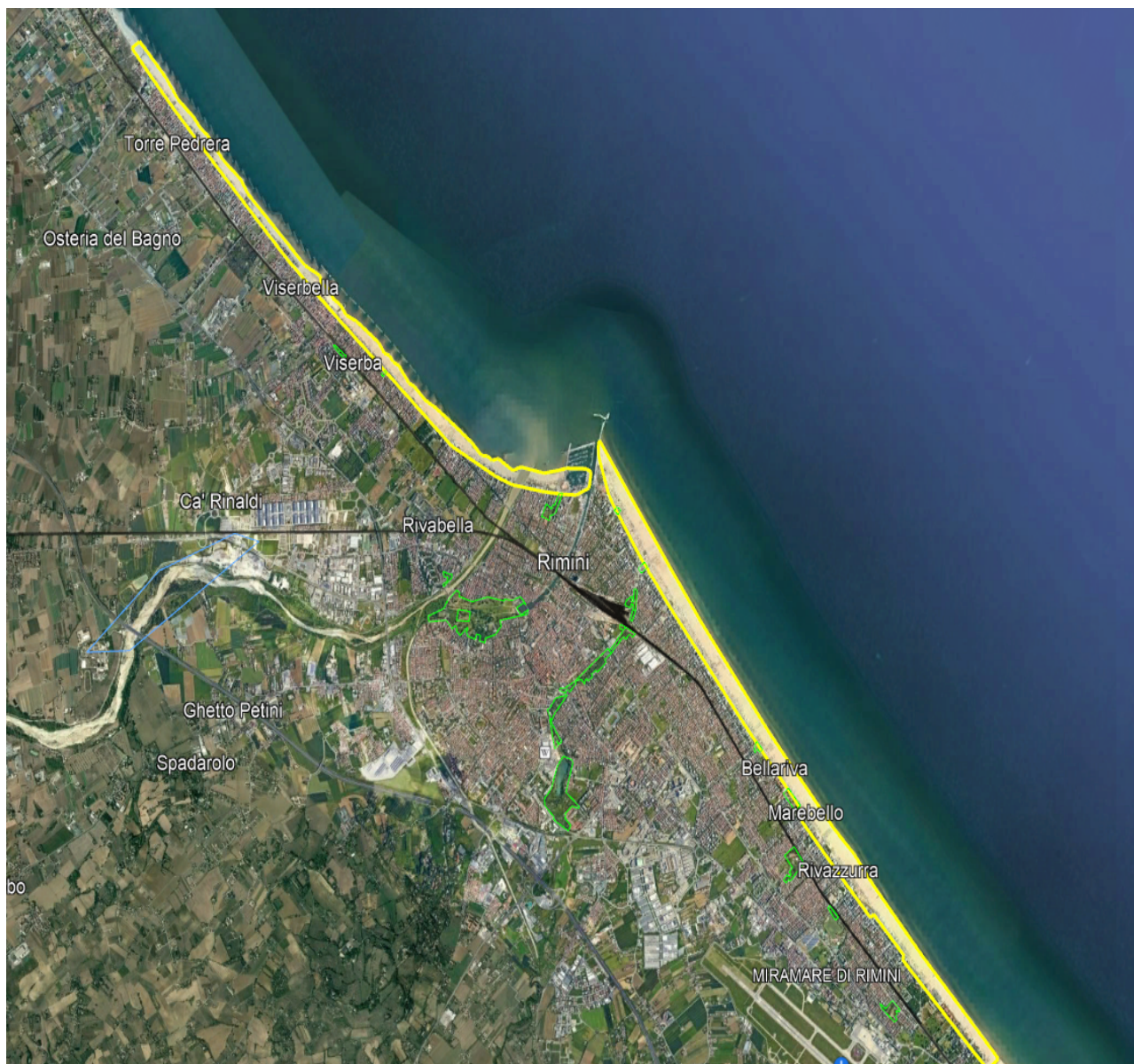


Figura 5 Fasce di Acquisizione LIDAR e di area di interesse per il piano dell'arenile

Nelle immagini seguenti si riporta distribuzione dei punti di controllo e andamento delle differenze quota GPS-Lidar2022.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	19	di	64	0 1		0 1	0 7	22



Figura 6 distribuzione dei punti di controllo e andamento delle differenze quota GPS-Lidar2022- Rimini Nord

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	20	di	64	0			0	0	22
				1			1	7	



Figura 7 distribuzione dei punti di controllo e andamento delle differenze quota GPS-Lidar2022- Rimini Sud

La precisione altimetrica, notoriamente più critica da conseguire è stata valutata in prima battuta tramite la differenza tra la quota (ortometrica) del rilievo GNSS e la quota desumibile dal prodotto LIDAR, tali valori sono riassunti nella distribuzione degli errori di seguito riportata in forma grafica e tabulare.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	21	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

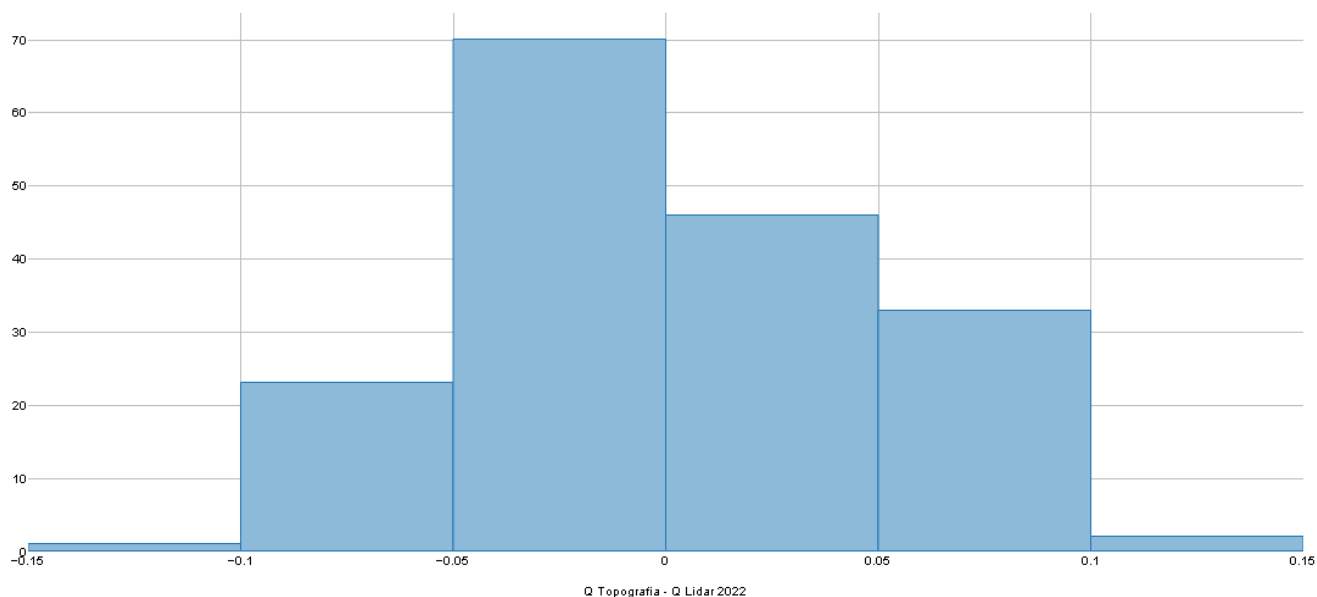


Figura 8 distribuzione delle differenze quota GPS-Lidar2022 nei punti di controllo rilevati.

Media errore	0.01 cm
Dev.standard	0.05 cm

Errore	N. punti	Frequenza
±5cm	116	66%
±10	172	98%
±11cm	175	100%

Tabella 1 – statistiche di errore per le differenze quota GPS-Lidar2022 nei punti di controllo rilevati

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	22	di	64	0			0	0	22
				1			1	7	

Come si nota sia dalle metriche che dalla distribuzione degli errori, le precisioni conseguite sono più che adeguate a supportare le analisi svolte.

La conoscenza della topografia ad alta risoluzione è la base per la modellistica di allagamento di seguito descritta inclusi gli effetti di opere di mitigazione strutturali, come ad esempio il Parco del Mare già realizzato a Rimini Sud nonché per la valutazione del rischio residuo per gli asset presenti sia lungo la linea di costa che dietro al lungomare.

Le immagini seguenti riportano un esempio del livello di dettaglio conseguibile con tale rilievo nella definizione degli elementi topografici (sono distinguibili, ad esempio, anche le impronte delle passerelle di accesso alla spiaggia), nel riconoscimento degli elementi di interesse (quali la linea di costa) nonché del necessario post processamento per filtrare gli elementi fuori terra quali alberi, ombrelloni ed edifici.

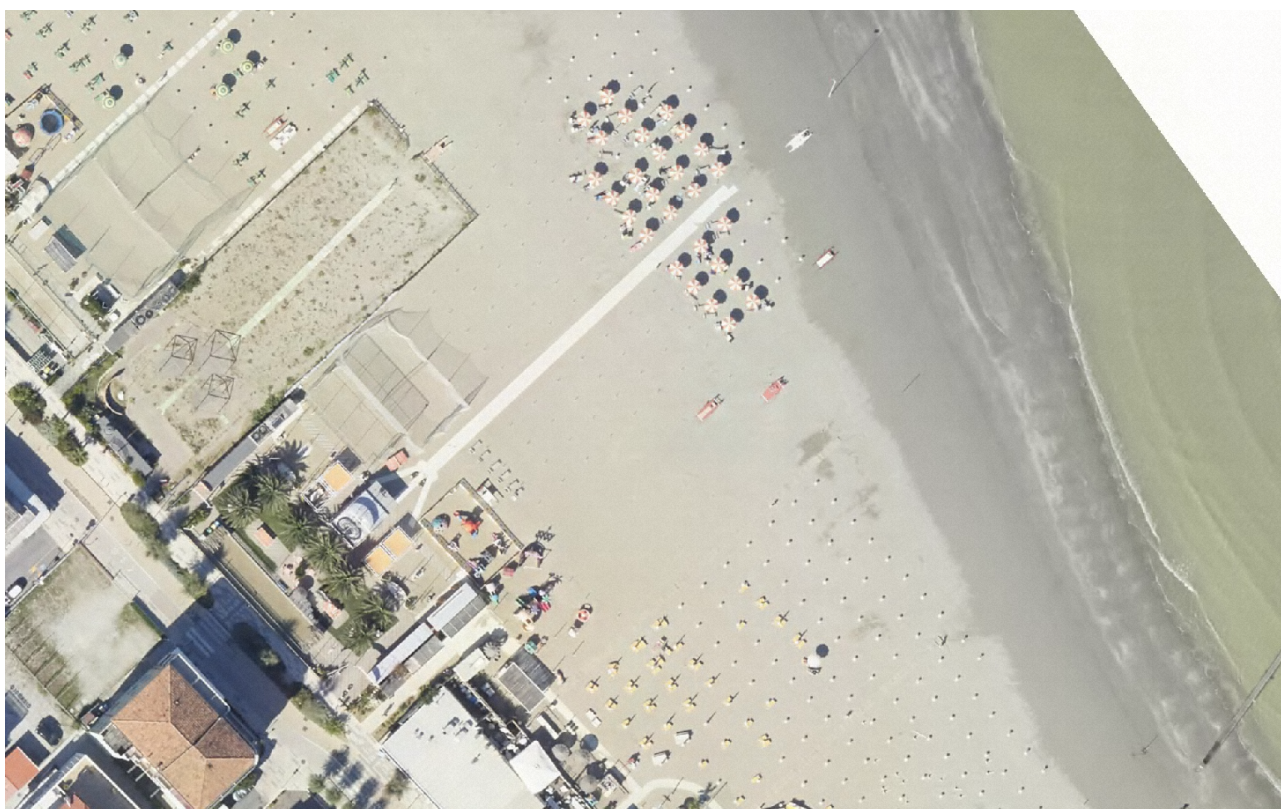


Figura 9 stralcio di ortofoto 10 cm ottenuta tramite il volo

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	23	di	64	0 1		0 1	0 7	22	

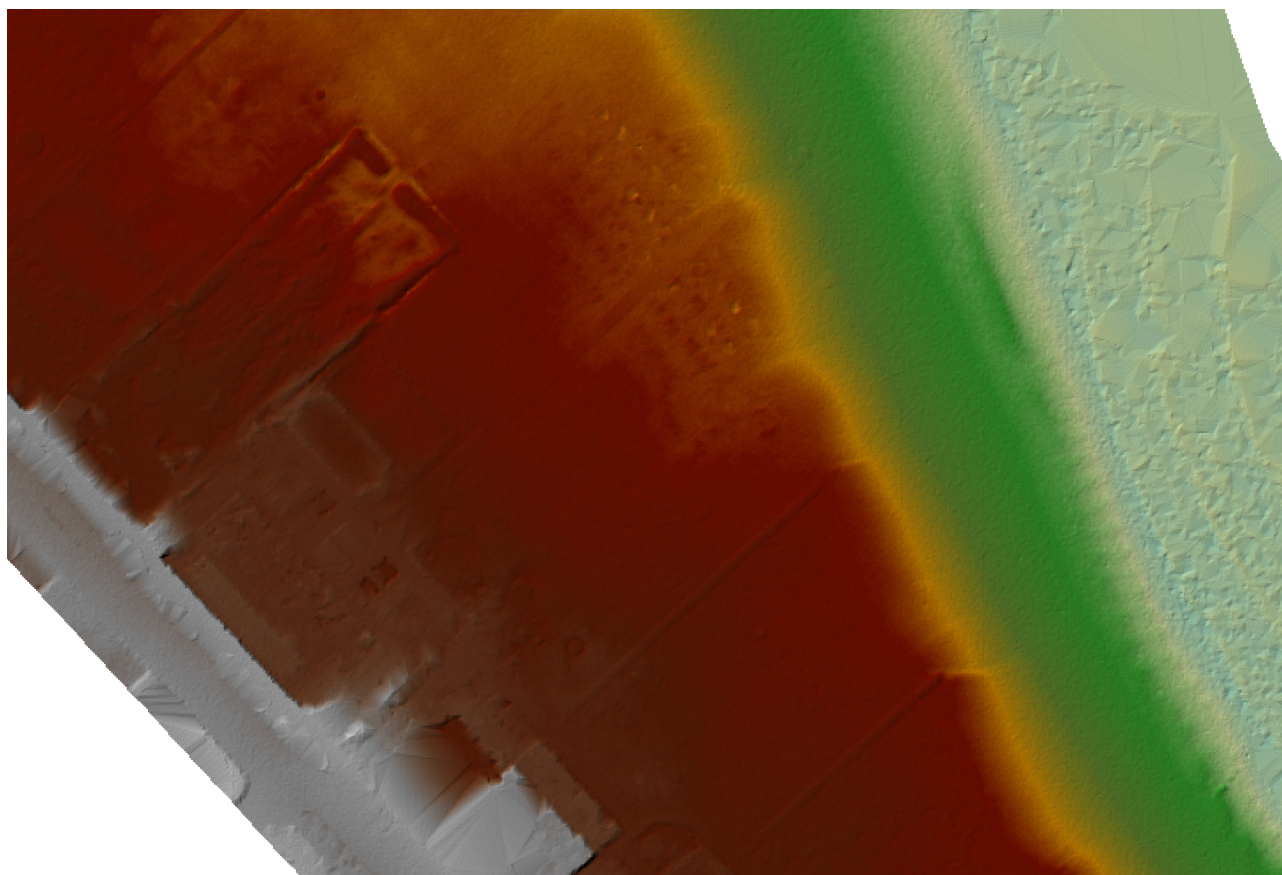


Figura 10 stralcio di DTM “ombreggiato” 25 cm ottenuta tramite il volo, con filtraggio degli ostacoli fuori terra

Nelle seguenti tavole sono riportate le ortofoto e l'altimetria da volo Lidar:

- B_QC.PA 01.1N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Ortofoto Rimini Nord
- B_QC.PA 01.1S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Ortofoto Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.2N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – LIDAR Rimini Nord
- B_QC.PA 01.2S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – LIDAR Rimini Sud;

3.1.1 PROFILI LONGITUDINALI

La topografia ad alta risoluzione permette di discriminare in modo puntuale tra aree soggette a maggiore o minore pericolosità a parità di sollecitazione meteomarina considerando non solo le quote assolute del piano campagna retro costa ma anche l'effettiva connessione idraulica con la sorgente a mare.

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	24	di	64	0			0	0	22
				1			1	7	

Nelle figure che seguono, si riportano a titolo di esempio l'andamento dei profili altimetrici in corrispondenza di alcuni transetti. Le mappe riportano anche l'estensione delle aree allagate in condizioni di scenario storico con RT=1 anno e quota di ESL pari a 1,23 m s.l.m.



Figura 11 transetto topografico derivato da Lidar - Bagno 8 Rimini Sud – Allagamento con evento di TR = 1 anno

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	25	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

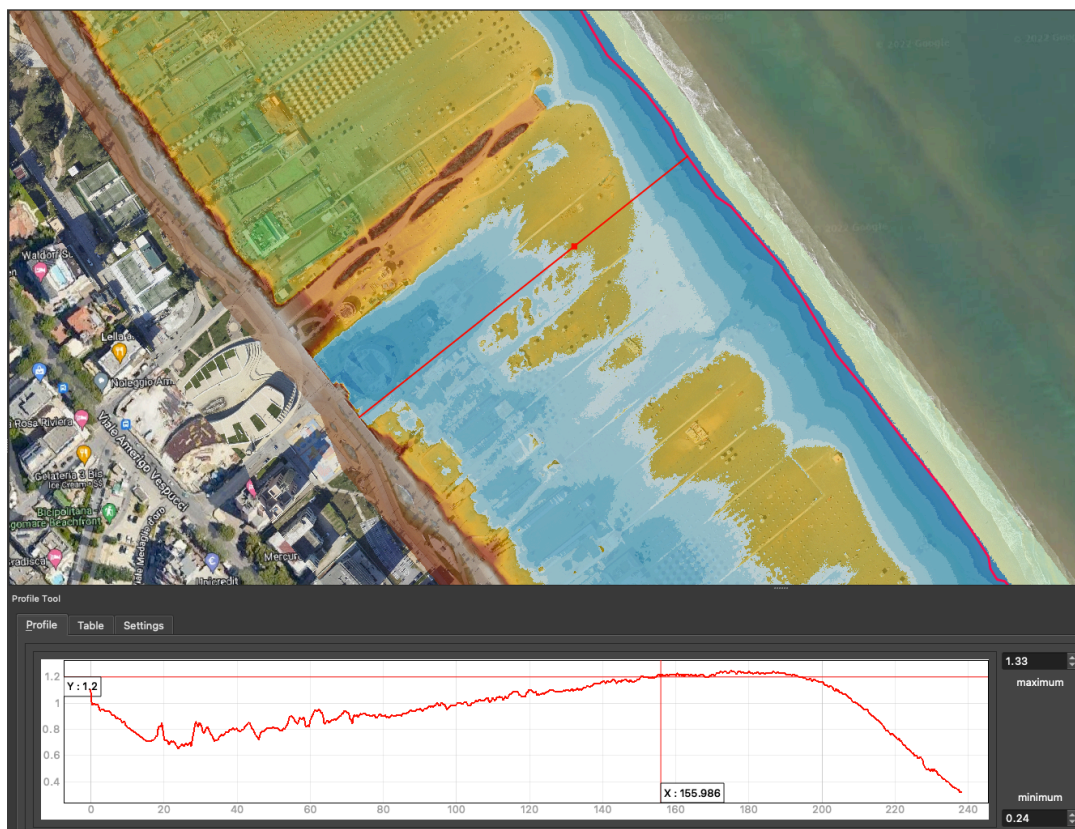


Figura 12 transetto topografico derivato da Lidar - Bagno 29 Rimini Sud – Allagamento con evento di TR = 1 anno

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	26	di	64	0 1		0 1	0 7	22



Figura 13 transetto topografico derivato da Lidar - Bagno 30 Rimini Sud – Allagamento con evento di TR = 1 anno

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	27	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

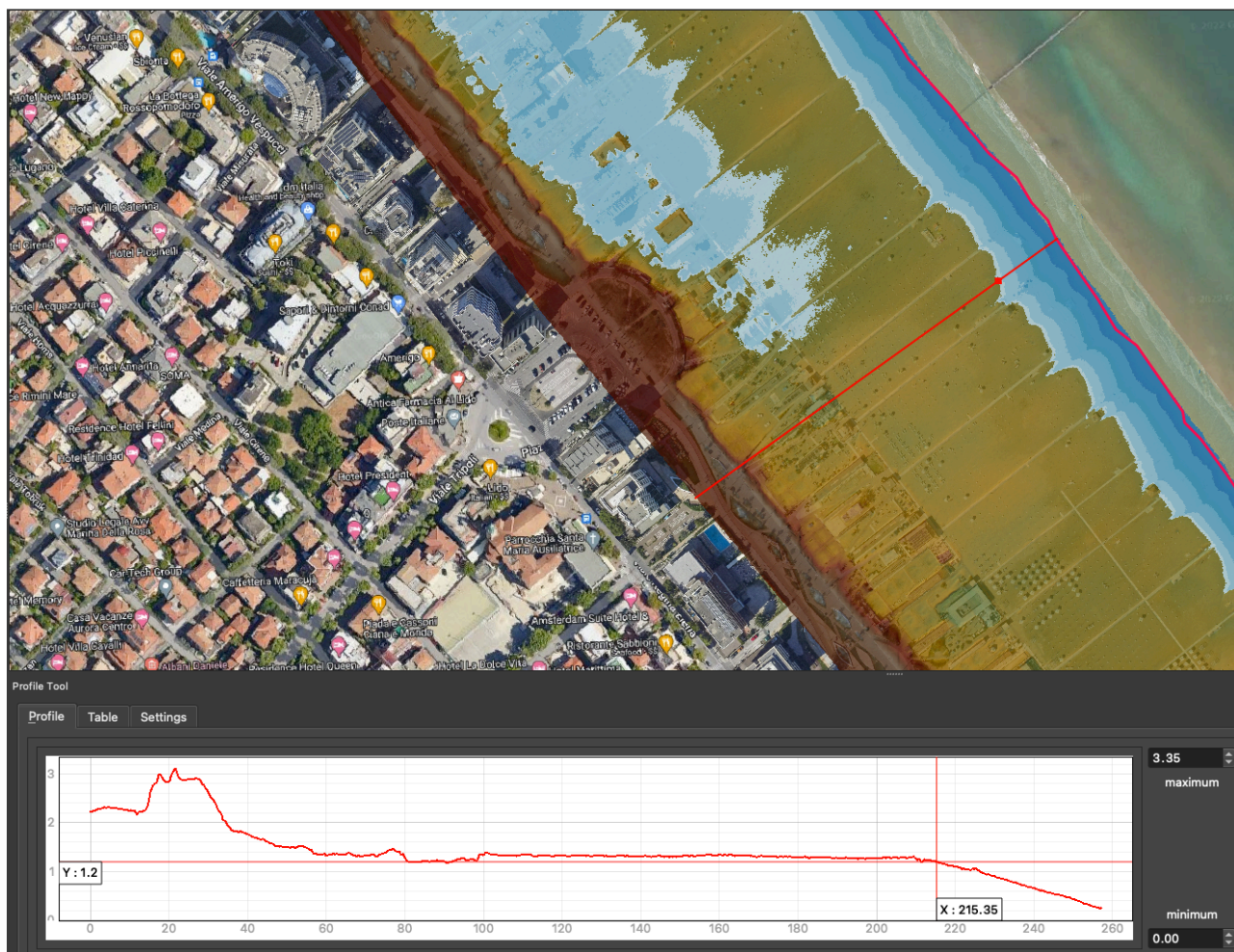


Figura 14 transetto topografico derivato da Lidar - Bagno 44 Rimini Sud – Allagamento con evento di TR = 1 anno

Risulta in particolare evidente il ruolo svolto da opere di difesa continua come il Parco del Mare a Rimini Sud nel fornire un presidio stabile e nel confinare morfologicamente gli effetti delle mareggiate.

Analizzando i profili altimetrici dei transetti verticali si rileva come in particolare nella zona di Rimini Sud, in corrispondenza del tratto di spiaggia che va da Piazzale Kennedy a Piazzale Marvelli, i profili altimetrici evidenziano la presenza di depressioni che iniziano a circa 80 m dalla linea di riva, queste zone di arenile depresse si allagano quando il livello del mare supera la quota di circa 1,1 m.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	28	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

Nella futura configurazione dell'arenile si suggerisce il profilamento dell'intera spiaggia con un andamento crescente delle quote da mare verso monte senza la presenza di depressioni all'interno dell'arenile stesso.

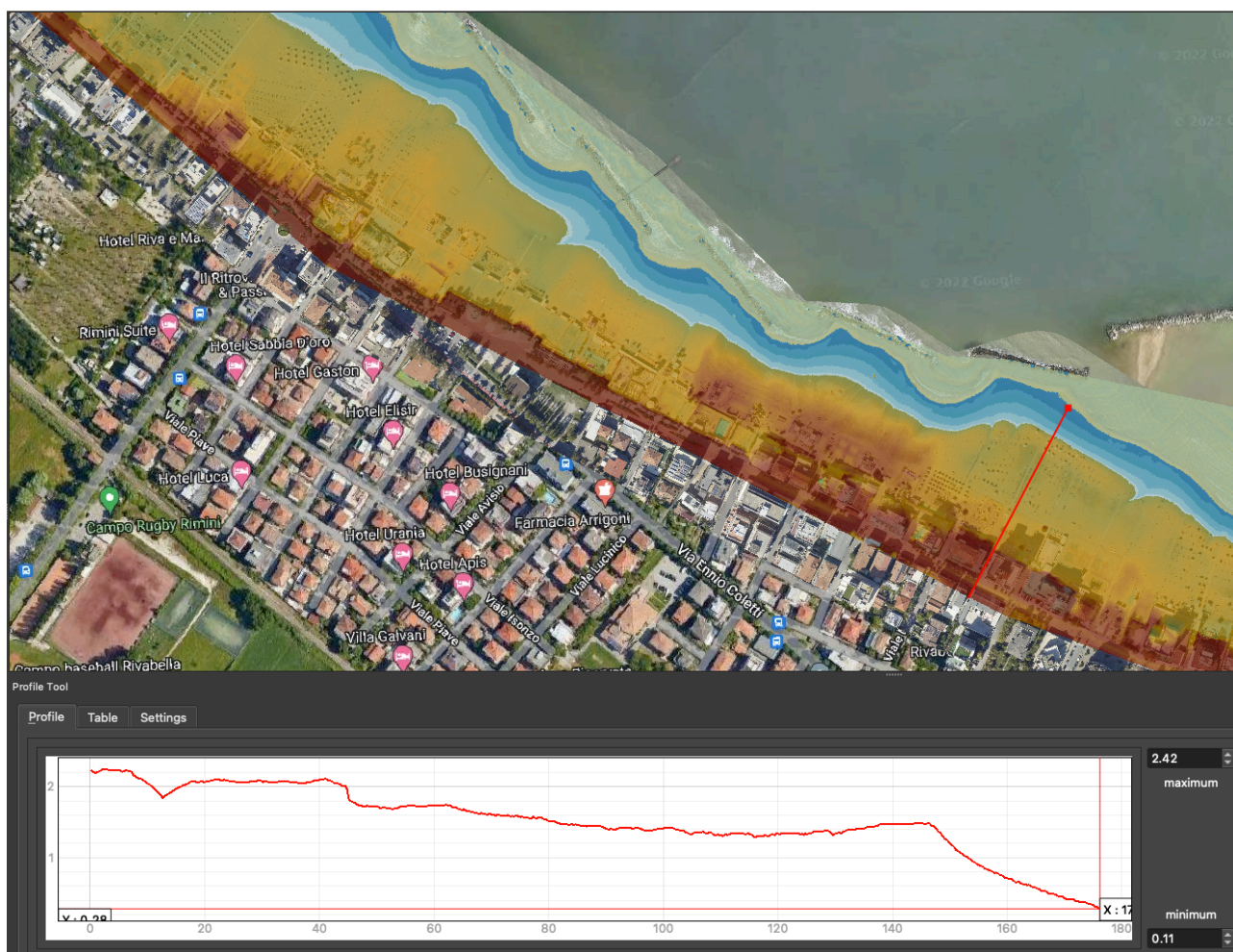


Figura 15 transetto topografico derivato da Lidar - Rivabella Rimini Nord – Allagamento con evento di TR = 1 anno

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	29	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

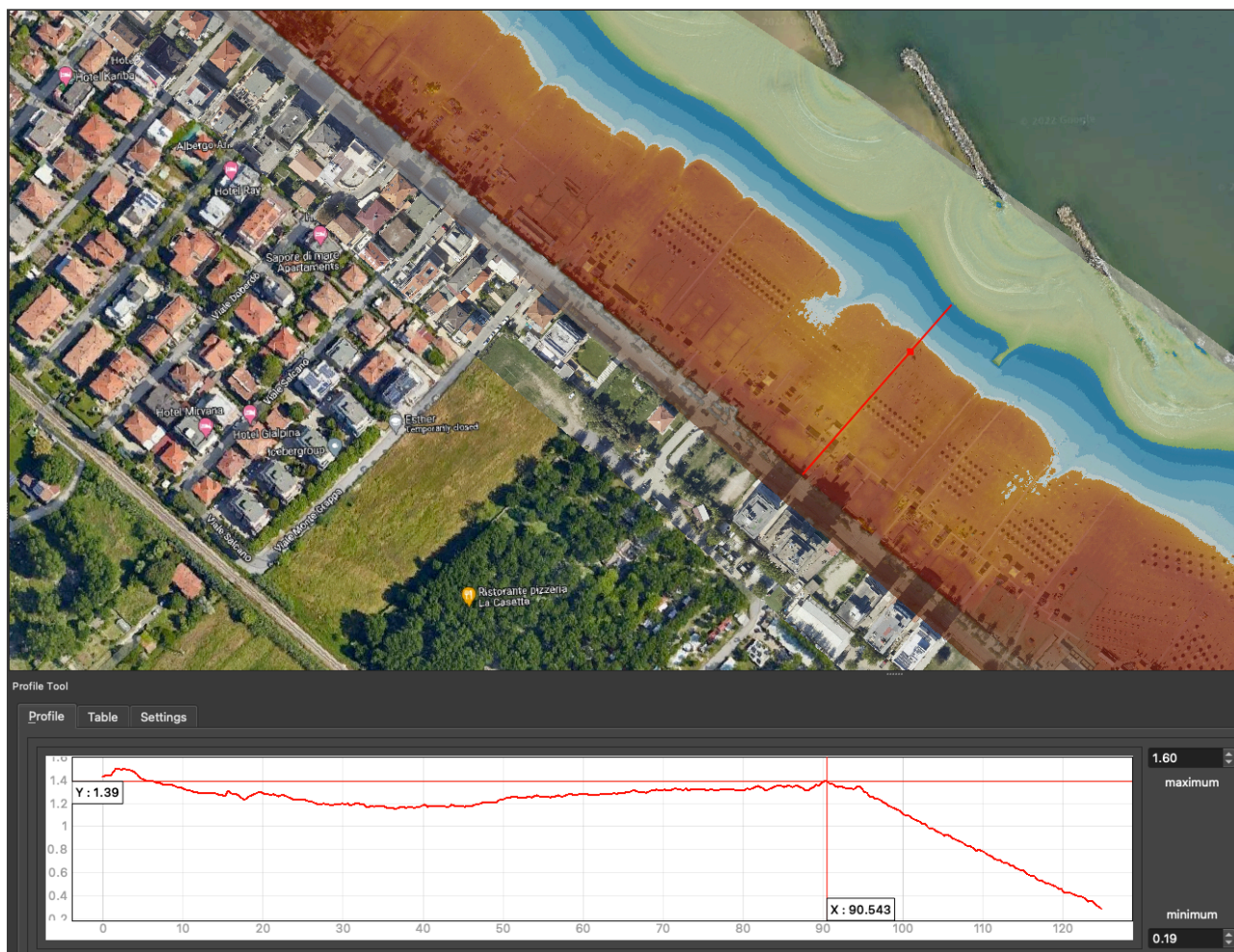


Figura 16 transetto topografico derivato da Lidar - Bagno 14 Rimini Nord – Allagamento con evento di TR = 1 anno

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	30	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

3.1.2 IDENTIFICAZIONE DELLA LINEA DI COSTA DA VOLO AEREO

La Linea di costa è stata identificata sulla base delle foto aeree ad alta risoluzione precedentemente descritte. L'acquisizione delle ortofoto aeree è avvenuta in data 20 Settembre 2022 tra le 15 e le 17, con condizioni di marea astronomica calante pari a 0.5m con un coefficiente di maree pari a circa 40 classificato come basso.

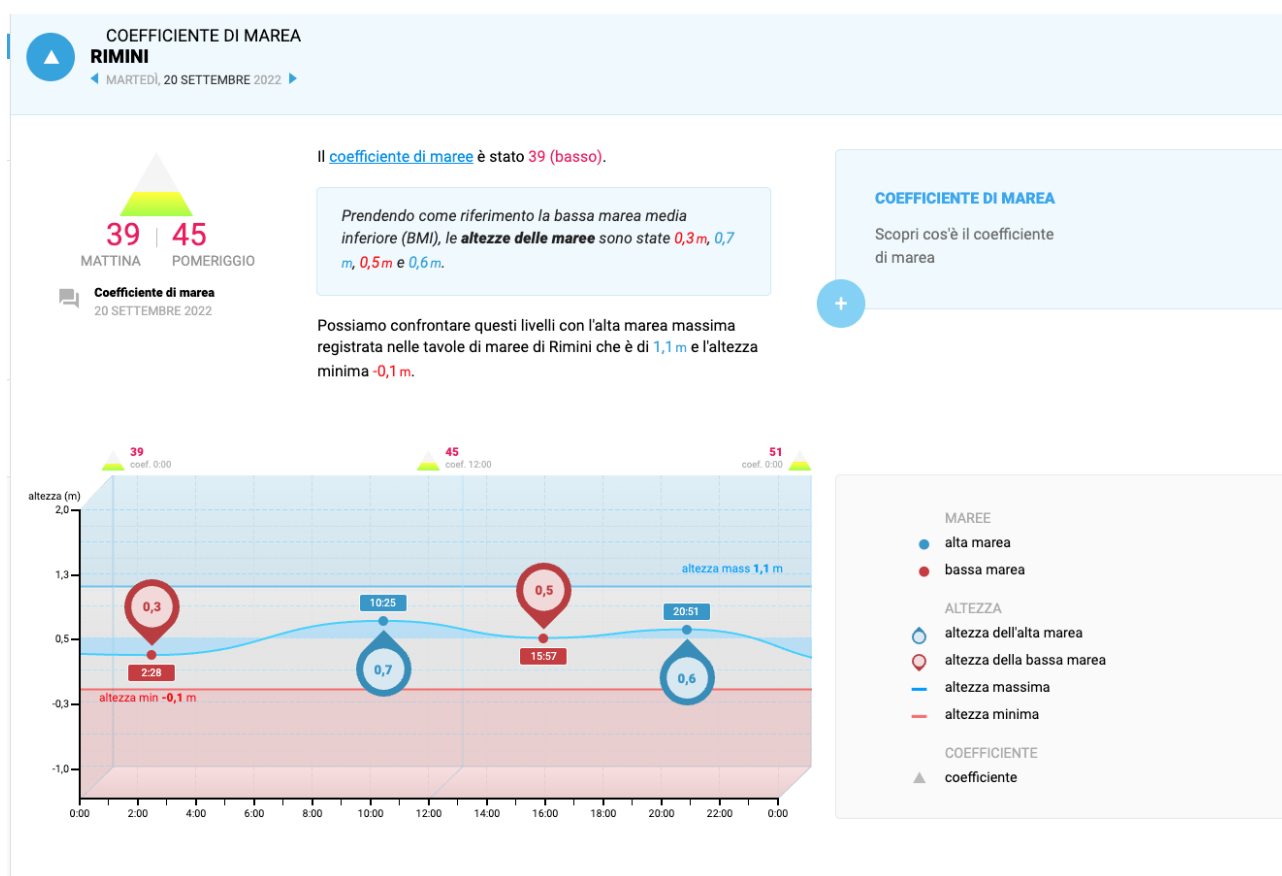


Figura 17 Andamento Maree Rimini – 20 Settembre 2022 – fonte meteopesca.com

Le condizioni del mare erano caratterizzate da un leggero moto ondoso con direzione Nord-Est che determinavano condizioni di run-up modeste nella zona di Rimini Sud mentre erano molto deboli nella zona di Rimini Nord.

In ragione delle considerazioni di presenza di bassa marea e assenza di run-up nella zona di Rimini Nord si identifica una linea di costa leggermente distante (circa 10-15m) dal confine visibile terra/mare, mentre per il tratto di Rimini Sud si posiziona vicino a tale limite.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	31	di	64	0	1	0	0	22

Nelle tavole elencate di seguito si riporta la nuova linea di costa identificata dalle immagini ortofoto del Settembre 2022 sulla base delle ipotesi elencate.

- B_QC.PA 01.3N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Linea di Costa 2022 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.3S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Linea di Costa 2022 Rimini Sud;

Nelle tavole elencate in seguito si riporta l'evoluzione della linea di costa dal 1943.

- B_QC.PA 01.4N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Evoluzione Linea di Costa 1943-2022 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.4S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Evoluzione Linea di Costa 1943 2022 Rimini Sud.

4 MAPPATURA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA COSTIERA

Le attività di caratterizzazione del rischio di allagamento costiero sono condotte simulando scenari di Extreme Sea Levels per scenari di allagamento storici e futuri che considerano le previsioni dei cambiamenti climatici e dell'evoluzione della subsidenza.

Per ciascun scenario di allagamento sono prodotte mappe di pericolo con indicazione dei tiranti idrici sia nelle condizioni attuali che nelle previsioni future (urbanistiche e di cambiamento climatico/ subsidenza) mediante modello semplificato raster-based Safer_COAST sviluppato da GECOsystema S.r.l. A partire dalla morfologia LIDAR ad alta risoluzione il modello permette di allagare tutti i "pixel" della costa e della pianura retrostante che sono idraulicamente connessi alla sorgente dell'allagamento da mare e sono a quota inferiore al livello del mare alla sorgente.

Le mappe di allagamento per gli scenari discussi in seguito sono disponibili alle seguenti Tavole

- B_QC.PA 01.7N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 1 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.7S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.8N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 1 2050 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.8S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 2050 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.9N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 10 Rimini Nord

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	32	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

- B_QC.PA 01.9S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.10N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 10 2050 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.10S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.11N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 100 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.11S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.12N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 100 2050 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.12S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud;
- B_QC.PA 01.13N – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero –RT 100 2100 Rimini Nord
- B_QC.PA 01.13S – Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud;

4.1.1 SCENARI DI RIFERIMENTO DI ALLAGAMENTO COSTIERO - EXTREME SEA LEVEL

Gli allagamenti costieri sono determinati da eventi caratterizzati dall'aumento del livello totale del mare (TWL- Total Water Level) o come spesso definito da livello estremo del mare (ESL- Extreme Sea Level). Questi eventi sono spesso generati dall'effetto combinato di condizioni di alta marea astronomica e condizioni meteo-marine estreme come Storm Surge (ST) ed elevato moto ondoso. Nella valutazione del rischio idraulico costiero con approccio probabilistico ESL viene considerato come somma degli effetti di Storm Surge e marea alta astronomica (Muis et al., 2015; Vousdoukas et al., 2017). Alcuni studi recenti invece considerano conservativamente anche l'effetto delle onde sommando la componente del Wave Setup (WS) ovvero della componente di aumento del livello determinato dalla risalita delle onde sul profilo trasversale della spiaggia (Kirezci et al., 2020; Melet

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	33	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

et al., 2020; Li et al., 2020; Wang et al., 2021; Muis et al., 2020; Lionello et al., 2021; McInnes et al., 2009; Idier et al., 2019).

In questo studio consideriamo TWL/ESL come somma di tre elementi:

- alta marea astronomica (HT)
- Storm surge (SW)
- effetto delle onde (WS)

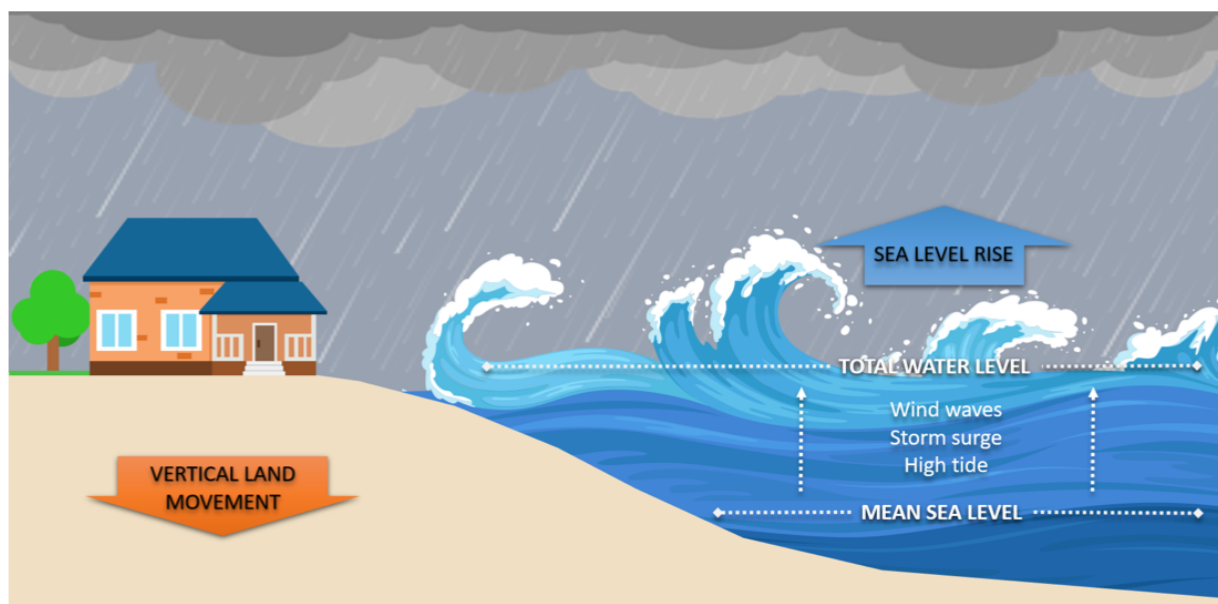


Figura 18 Componenti del ESL Extreme Sea Level (ref. Amadio et al 2022)

L'identificazione delle aree soggette ad allagamento e dei battenti di acqua che possono interessare gli edifici e gli assets nelle aree allagate determinate da eventi di ESL viene ottenuta mediante modelli idrodinamici o idrostatici come discusso nel paragrafo 4.1.7.

4.1.2 LA SUBSIDENZA

La pianura emiliano-romagnola è soggetta ad un fenomeno di subsidenza naturale la cui velocità, variabile a seconda delle zone, è valutata intorno ad alcuni mm/anno. Arpa, su incarico della Regione e in collaborazione con il DICAM (Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e dei materiali) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna, ha progettato e istituito nel 1997-98 una rete regionale di monitoraggio della subsidenza.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	34	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

I dati aggiornati al periodo 2011-2016 fotografano l'evoluzione rispetto al precedente rilievo riferito al periodo 2006-2011.

Sul litorale ⁽²⁾ continua la tendenza, già manifestatasi con il precedente rilievo, ad una diminuzione della subsidenza: Si notano abbassamenti di pochi mm/anno su tutto il litorale ferrarese; il litorale ravennate presenta abbassamenti generalmente fino a circa 5 mm/anno, fatta eccezione per un'area di depressione che interessa il paraggio costiero da Lido Adriano fino alla Bocca del torrente Bevano, con un massimo di oltre 15 mm/anno in corrispondenza della foce dei Fiumi Uniti ed un'estensione massima verso l'entroterra di circa 5 km: anche quest'area storicamente subsidente presenta una tendenza alla riduzione del fenomeno. Più a sud, gli abbassamenti si riducono a circa 2-3 mm/anno lungo tutto il litorale fino a Cattolica.

Le mappe disponibili sul [Portale Cartografico ARP AE](https://www.arpae.it/temi-ambientali/suolo/subsidenza/la-rete-regionale-di-monitoraggio-della-subsidenza/rilievo-della-subsidenza-2016-2017) (Figura seguente) riportano infatti ,per il litorale riminese, velocità media cautelativamente approssimabile per tutta l'area a **2.5 mm/anno** , si nota infatti che valori superiori vengono raggiunti solo in porzioni molto limitate del litorale.

² <https://www.arpae.it/temi-ambientali/suolo/subsidenza/la-rete-regionale-di-monitoraggio-della-subsidenza/rilievo-della-subsidenza-2016-2017>

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	35	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

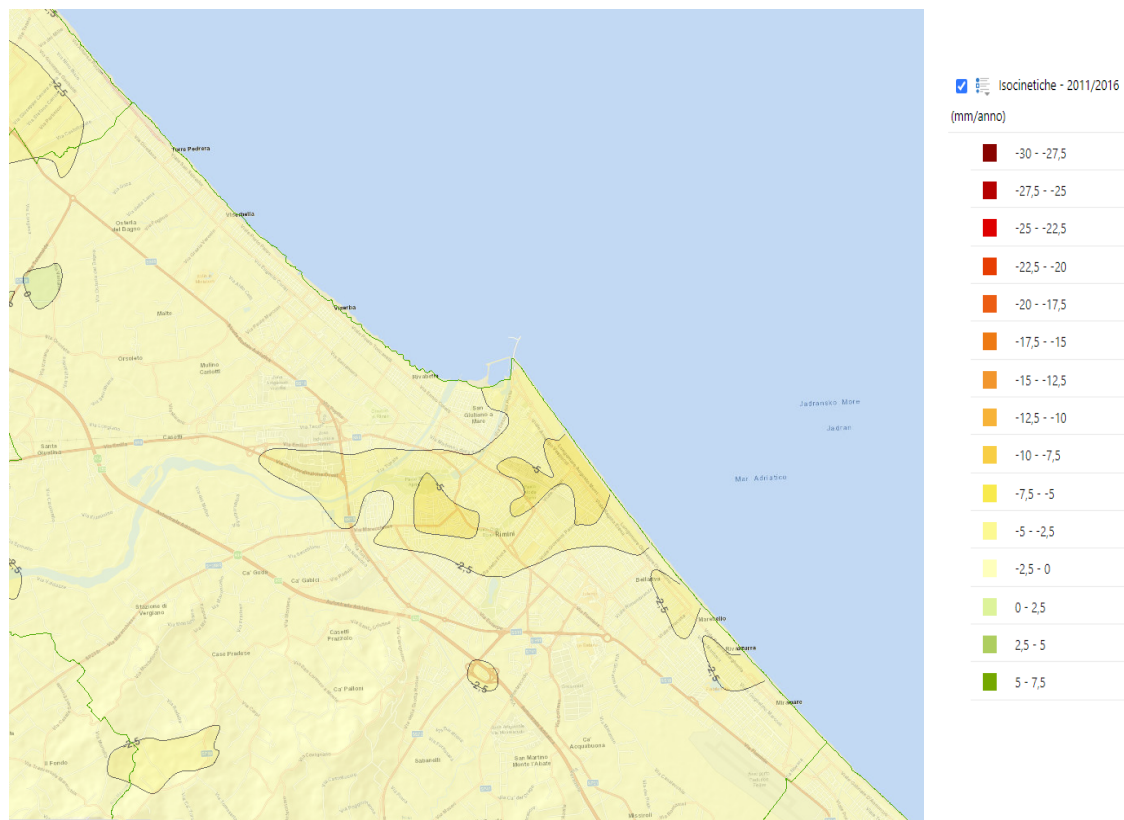


Figura 19 Velocità di Subsidenza- isocinetiche 2011-2016, fonte ARPAE

4.1.3 L'INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE

La disponibilità a lungo termine dei dati mareografici lungo la costa nord adriatica consente una valutazione delle variazioni del MSL nel corso dell'ultimo secolo, stimate in $+1,3 \text{ mm yr}^{-1}$ (Scarascia e Lionello, 2013). Ciò è coerente con i valori pubblicati per il Mar Mediterraneo (Tsimplis et al., 2008; Tsimplis e Rixen, 2002) e il Mar Adriatico (Tsimplis et al., 2012; Carbognin et al., 2009). Le proiezioni del futuro MSL tengono conto delle espansioni termiche del mare da quattro modelli di circolazione globale, contributi stimati da calotte glaciali e ghiacciai (Hinkel et al., 2014) e proiezioni di cedimento a lungo termine (Peltier, 2004).

La media dell'insieme viene scelta per rappresentare ciascun RCP per diversi intervalli di tempo. Si prevede che l'aumento nel bacino del Mediterraneo centrale sarà di circa 0,2 m entro il 2050 e tra 0,5 e 0,7 m entro il 2100, rispetto alla media storica (1970–2004) (Vousdoukas et al., 2017).

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	36	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

I recenti dati pubblicati da Copernicus CDS “Global sea level change indicators from 1950 to 2050 derived from reanalysis and high resolution CMIP6 climate projections” <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-water-level-change-indicators-cmip6?tab=overview> riportano per l’area riminese un incremento di 0,14 m per il periodo 2021-2050.

Per le finalità del presente studio idraulico si considerano come orizzonte temporale di riferimento quello fino al 2050 pertanto gli scenari futuri saranno stimati considerando il MSL (mean sea level rise) proiettato al 2050.

Il valore di MSL al 2050 per la costa riminese viene assunto pari a 14 cm.

Si noti che queste proiezioni, seppur ridimensionate per il bacino adriatico, non tengono conto delle peculiari caratteristiche continentali del settore poco profondo dell'Adriatico settentrionale, dove i parametri idrodinamici e oceanografici dipendono in parte dall'afflusso di acqua dolce (Zanchettin et al., 2007).

4.1.4 MAREE E FORZANTI METEO-MARINE

Gli effetti di Storm Surge (SS) e del modo ondoso (WS) rappresentano il contributo principale in termini di ESL/TWL. Una stima di queste componenti viene ottenuta analizzando i seguenti dati di riferimento:

- misurazioni dei dati di maree e onde come riportato in Armaroli and Duo, 2018; Perini et al., 2012; Masina et al., 2015; Perini et al., 2011, 2017
- data set Copernicus CDS “Global sea level change indicators from 1950 to 2050 derived from reanalysis and high resolution CMIP6 climate projections” <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-water-level-change-indicators-cmip6?tab=overview>

Analizzando i set di dati elencati si rileva come l’area della spiaggia riminese sia classificata di tipo *Microtidal* ovvero con escursioni di mare astronomica media pari a 30-40cm e escursioni di marea massima di 80-90 cm.

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	37	di	64	0			0	0		22	
	1			1			1	7			

I dati Copernicus CDS forniscono anche previsioni del livello di marea astronomica con il cambiamento climatico, i valori della variabile MHHW corrispondente alla media delle alte maree calcolate in una finestra mobile di 25 ore, risulta essere pressoché costante anche in condizioni di proiezione future.

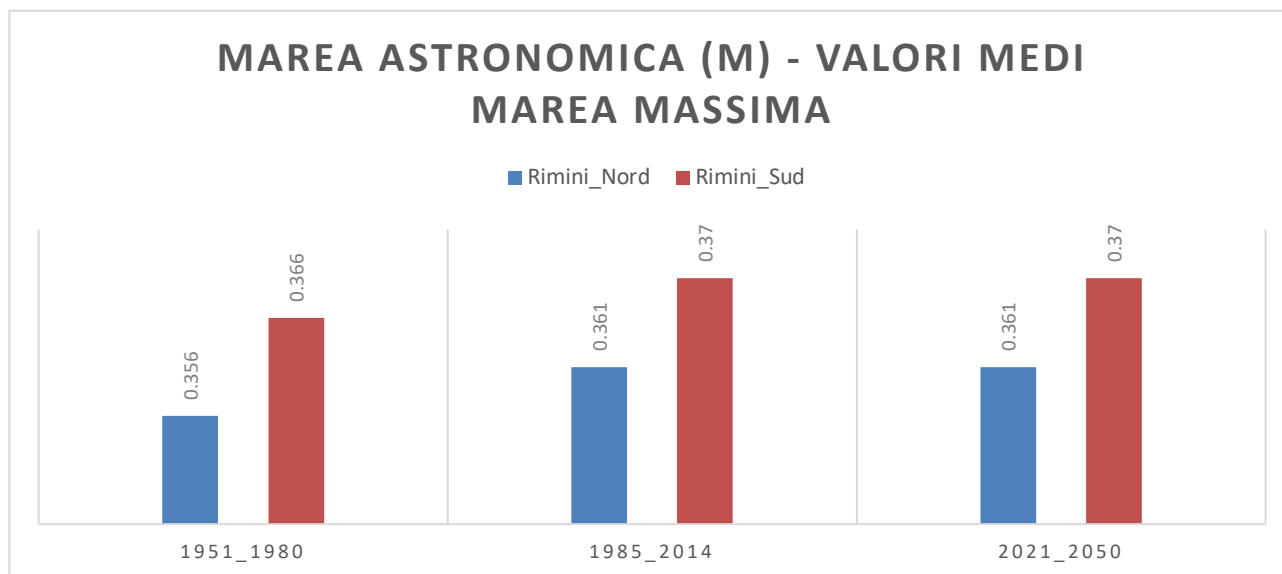


Figura 20 Valori di Marea Astronomica da Copernicus CDS 2022 – quote m s.l.m.

La maggior parte degli eventi di Storm Surge (SS) hanno una durata limitata alle 24h. Durante eventi ciclonici estremi, la sequenza di vento da SE (scirocco) che accumula l'acqua a nord e vento da ENE (bora) che spinge le onde verso la costa può generare gravi eventi di inondazione, con l'altezza significativa dell'onda compresa tra 3,3 e 4,7 m ed eccezionalmente superiore a 5,5 m (Armaroli et al., 2012).

Cinquanta eventi significativi sono stati registrati dal 1946 al 2010 sulla costa dell'Emilia-Romagna (ER), di cui la metà ha provocato gravi impatti lungo l'intera costa e 10 sono stati associati a importanti eventi alluvionali (Perini et al., 2017). Gli eventi più gravi si verificano quando soffiano forti venti durante eccezionali picchi di marea, che si verificano più spesso nel tardo autunno e in inverno. L'evento del novembre 1966 rappresenta l'ESL più alto mai registrato, provocando impatti significativi lungo la costa regionale: il livello dell'acqua registrato era di 1,20 m s.l.m. e le altezze

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	38	di	64	0			0	0	22
				1			1	7	

delle onde al largo sono state stimate intorno a 6–7 m (Garnier et al., 2018; Perini et al., 2011).

L'intero litorale ha subito erosioni e inondazioni, soprattutto nella provincia di Rimini.

La forzatura atmosferica ha mostrato una variabilità significativa per il periodo dal 1960 in poi (Tsimplis et al., 2012), ma non ci sono prove evidenti a sostegno di un cambiamento significativo nella frequenza o gravità delle tempeste marine per il prossimo futuro (Lionello, 2012; Zanchettin et al., 2020; Lionello et al., 2020, 2017).

Analizzando i dati di Copernicus CDS riportati nel data-set “Global sea level change indicators from 1950 to 2050 derived from reanalysis and high resolution CMIP6 climate projections” per un punto della griglia in corrispondenza del lungomare di Rimini si possono ottenere i contributi di SS sia per il periodo storico che per le proiezioni future ottenute da un ensemble di modelli del progetto HighResMIP .

Analizzando il grafico della Figura 21 si evidenzia un leggero trend di crescita nel tempo per tutti gli eventi con Tempo di Ritorno (RT) da 1 a 100 anni, ad esempio il contributo SS con RT 100 anni passa da 1.22 m nel periodo 1951-1980 a 1,25 m nello scenario futuro 2021-2050. Si tratta di un piccolo incremento di 3 cm in coerenza con quanto rilevato negli studi citati in precedenza.

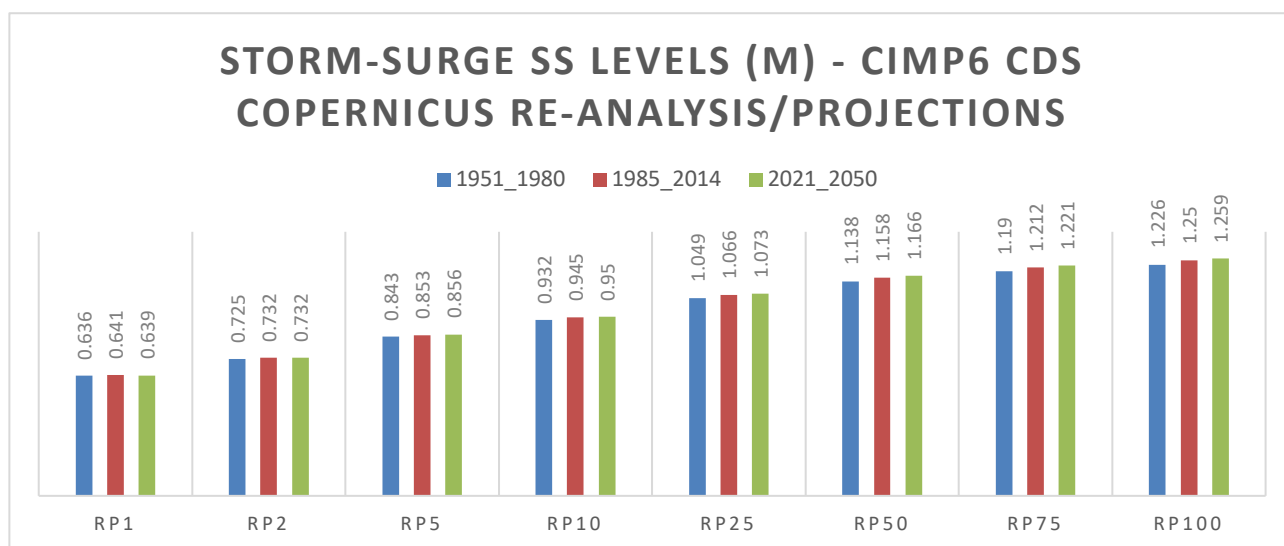


Figura 21 Valori di Storm Surge da Copernicus CDS 2022 – quote m s.l.m.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	39	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

L'ultima componente meteo-marina che contribuisce al TWL è costituito dal moto ondoso denominato Wawe Setup (WS). I valori del WS utilizzati in questo studio fanno riferimento a quanto pubblicato da Perini et al. 2016 ed ottenuti con la formula di Holman modificata da Komar. Nella tabella che segue si riportano i valori del WS e delle caratteristiche delle onde rappresentative per fissato scenario con tempo di ritorno.

Eventi Estremi - ARPAE - PERINI (2016, 2017)					
RT - anni	SS (m) -Perini	Tmax	WS (m)	Time (h)	Wp(s)
1	0.60	0.40	0.22	32.00	7.70
10	0.79	0.40	0.30	42.00	8.90
100	1.02	0.40	0.39	55.00	9.90

Tabella 2 - valori del WS e delle caratteristiche delle onde rappresentative per fissato scenario con tempo di ritorno

4.1.5 SCENARI ESL DI PROGETTO

Al fine di progettare scenari probabilistici di allagamento della costa associati a ESL di diversa intensità da utilizzare come condizioni al contorno nel modello idrostatico Safer_COAST, ci basiamo sull'analisi esistente degli eventi ESL che si verificano sulla costa regionale (Perini et al., 2011, 2016, 2017), che sono stati adottati dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente per definire le zone ufficiali di pericolo di alluvione costiere e le relative norme di tutela (ARPA Emilia-Romagna, 2019). La probabilità di accadimento di questi scenari ESL è espressa in termini di periodo di ritorno (RP), che è l'intervallo di tempo medio stimato (in anni) tra eventi di intensità simile.

Sono progettati tre scenari di intensità crescente, vale a dire RP 1, 10 e 100 anni. Per ciascuno di questi scenari ipotetici, il TWL nearshore è calcolato come la somma dei valori estremi per il livello di mareggiata Storm-Surge (SS), la marea massima (Tmax) e il contributo delle onde (WS) in ogni fase temporale (vedi Tabella 3).

La Tabella riporta i valori di TWL ottenuti utilizzando sia i dati pubblicati da Perini et al. 2016, 2017 che i recenti dati disponibili sul CDS Copernicus.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	40	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

	Eventi Estremi					Historical	2050		
RT - anni	SS (m) -Perini	Tmax	WS (m)	Time (h)	Wp(s)	TWL (m)	SLR (m)	VLM (m)	TWL (m)
1	0.60	0.40	0.22	32.00	7.70	1.22	0.14	0.08	1.44
10	0.79	0.40	0.30	42.00	8.90	1.49	0.14	0.08	1.71
100	1.02	0.40	0.39	55.00	9.90	1.81	0.14	0.08	2.03
>100						2.50	0.14	0.08	2.72

	Eventi Estremi					Historical	2050					
RT - anni	SS (m) - Copernicus	Tmax - Copernicus	WS (m)	Time (h)	Wp(s)	TWL (m)	SS (m) Copernicus	Tmax - Copernicus	WS (m)	SLR (m)	VLM (m)	TWL (m)
1	0.65	0.37	0.22	32.00	7.7 0	1.24	0.65	0.37	0.22	0.14	0.08	1.45
10	0.95	0.37	0.30	42.00	8.9 0	1.62	0.96	0.37	0.30	0.14	0.08	1.85
100	1.26	0.37	0.39	55.00	9.9 0	2.02	1.28	0.37	0.39	0.14	0.08	2.25

	Storici - Perini	Storici - Copernicus	2050 - perini	2050- Copernicus	Storici - Media	2050 - Media	2100- Copernicus
RT - anni	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)
1	1.22	1.24	1.44	1.45	1.23	1.44	1.97
10	1.49	1.62	1.71	1.85	1.56	1.78	2.36
100	1.81	2.02	2.03	2.25	1.91	2.14	2.77
>100	2.50		2.72			2.72	

Tabella 3 - Componenti di ESL e TWL risultante , derivanti da da Perini et a. 2016,2017 e di recenti dati disponibili sul Copernicus CDS.

Ai fini delle analisi del rischio idraulico a supporto del Piano dell'Arenile del Comune di Rimini si fissano come livelli di TWL-ESL di riferimento quelli ottenuti facendo la media tra i valori ottenuti

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	41	di	64	0 1			0 1	0 7	22

con le ipotesi degli studi pubblicati da Perini et al e i recenti dati Copernicus CDS 2022 (Tabella 4), mentre per lo scenario con RT100 al 2100 si considera il valore ESL pari a 2,77m.

	Storici - Media	2050 - Media	2100 - Copernicus
RT - anni	TWL (m)	TWL (m)	TWL (m)
1	1.23	1.44	
10	1.56	1.78	
100	1.91	2.14	2..77

Tabella 4 – Valori finali di TWL adottati

4.1.6 MAPPATURA DEL RISCHIO IDRAULICO COSTIERO - SIMULAZIONI MODELLO SAFER_COAST

I livelli di TWL per i 3 tempi di ritorno (RT 1,10 e 100) sia storici che futuri (2050) sono stati simulati come condizioni al contorno con il modello SaferCOAST al fine di ottenere le mappe di allagamento per l'area di interesse.

Il modello ha utilizzato come dato orografico di input il rilievo LIDAR descritto al paragrafo 3 e come linea di costa la rilevazione mediante volo areo descritta al paragrafo 3.1.2

I risultati ottenuti sono mappe di allagamento ad alta risoluzione spaziale con pixel size di 30 cm.

4.1.7 MODELLO SEMPLIFICATO SAFER_COAST

Il modello denominato Safer_COAST è stato sviluppato da GECOSistema S.r.l.

Safer_COAST è un modello idrostatico 0-D in grado di mappare l'estensione ed il battente idraulico associato ad uno specifico evento di allagamento costiero caratterizzato da uno specifico Extreme Sea Level ovvero livello del medio mare.

Il modello scritto in codice Python è in grado di propagare la quota del livello del mare a partire da un punto (pixel) sorgente localizzato in mare aperto verso tutti i pixel della terraferma che sono idraulicamente connessi al punto sorgente ed hanno una quota inferiore o uguale alla quota del mare in esame. L'equazione che segue descrive le regole alla base di propagazione dell'allagamento dal punto sorgente all'interno dell'area di studio:

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	42	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

$$F_{x,y} = \begin{cases} E_{x,y} \leq S, 1 \\ E_{x,y} > S, 0 \end{cases} \cdot C_i$$

Dove F è una funzione binomiale (1) allagato o (0) non allagato, E è l'altezza topografica fornita dal DEM/Lidar alla posizione x, y ; S è il livello del mare che si vuole propagare, C rappresenta la regola di connessione idraulica nelle diverse direzioni ("zero-side rule", "four-side rule", or "eight-side rule"). Con riferimento alla figura seguente, dato un livello marino di riferimento pari a 1 m, si ha che:

- “zero-side rule”: tutte le celle del raster con quota minore o uguale al livello di riferimento risultano allagate
- “four-side rule”: le celle del raster a quota inferiore o uguale al livello di riferimento risultano allagate solo se connesse al mare direttamente oppure tramite celle adiacenti lungo le direzioni cardinali
- “eight-side rule”: le celle del raster a quota inferiore o uguale al livello di riferimento risultano allagate solo se connesse al mare direttamente oppure tramite celle adiacenti sia lungo le direzioni cardinali, sia in direzione diagonale

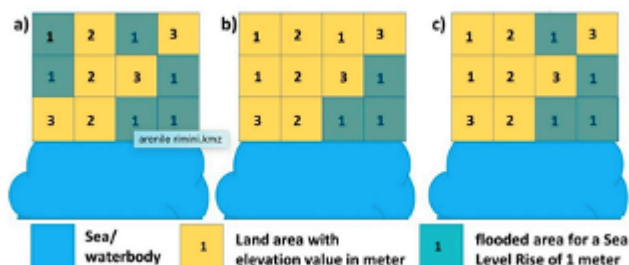


Figura 1 - regole di connessione idraulica nelle diverse direzioni

La mappa delle aree allagate è ottenuta dall'insieme di tutti i pixel della pianura che rispettano le seguenti regole topologiche:

1. Sono idraulicamente connessi al pixel sorgente dell'allagamento da mare
2. La quota del pixel è inferiore al livello del mare alla sorgente

Il modello Safer_COAST è stato sviluppato utilizzando librerie raster Python (Gdal) e sfruttando l'algebra delle matrici (numpy, numba) (Tomlin, 1990), questi modelli vengono classificati come

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	43	di	64	0 1			0 1	0 7	22	

region-growing, watershed segmentation (Meyer and Beucher (1990), Soille and Ansoult (1990)) o cellular automata.

Le ipotesi principali del modello Safer_COAST per la mappatura delle aree di pericolosità idraulica costiera sono le seguenti:

1. Propagazione del livello del medio/estremo mare ipotizzando un volume di acqua infinito
2. Il terreno è considerato impermeabile e si trascurano i processi di infiltrazione sia naturali che della rete fognaria
3. i risultati relativi all'estensione delle aree allagate rappresentano lo stato del fenomeno dopo un tempo teoricamente infinito, in questo caso non si possono considerare i pixel allagati per fenomeni di rigurgito
4. l'acqua si muove da una cella connessa all'altra secondo la regola di connessione D8

Il limite principale di questo approccio è che, essendo idrostatico, non consente di simulare i fenomeni fisici dinamici dell'allagamento costiero e non permette di avere informazioni sulla velocità di avanzamento del fronte di allagamento e simulare nel dettaglio fenomeni di overtopping delle difese costiere caratterizzati da allagamenti con volumi di acqua limitati.

Le simulazioni di allagamento con il modello Safer_COAST sono state ottenute adottando l'ipotesi di attenuazione della propagazione dell'allagamento introdotta considerando un piano inclinato con angolo pari a $\text{tang_alfa}=0,002$ rad (2 m di quota al km). Questa ipotesi corregge le quote dei pixel connessi al mare adottando il valore massimo tra la quota reale e le quote del piano inclinato virtuale. Si tratta di una ipotesi analoga a quanto adottato in [Perini et al 2106](#).

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	44	di	64	0			0	0		22	
				1			1	7			

4.1.8 ANALISI DEI RISULTATI – SCENARIO ANTE OPERAM

Analizzando le mappe per gli scenari di allagamento storico e proiettato al 2050 si rileva quanto segue.

Mareggiate con ESL pari a 1,23 m s.l.m. e tempo di ritorno RT 1 anno per condizioni attuali determinano impatti limitati sull'arenile senza interessare i manufatti attualmente presenti per il tratto sia di Rimini Nord che Rimini Sud. Si rilevano impatti non trascurabili per il tratto di arenile da Piazzale Kennedy a Piazzale Marvelli per la presenza di andamenti dei profili trasversali con depressioni e basse quote altimetriche. La propensione all'allagamento di questa area risulta essere confermata anche da recenti eventi.

Lo scenario con ESL pari a 1 a 1,44 m s.l.m. e tempo di ritorno RT 1 anno per condizioni future al 2050 determina impatti non trascurabili con allagamento di diverse aree attualmente interessate da manufatti turistici. Questo scenario non determina nessun interessamento dell'area a monte dell'arenile e anche le banchine del porto canale hanno quote superiori e non vengono allagate.

Per scenari attuali con RT 10 ed ESL pari a 1,44 m s.l.m. si hanno allagamenti con estensione e magnitudo simili allo scenario RT1 proiettato al 2050.

Gli scenari RT 10 al 2050 con ESL pari a 1,78 m s.l.m. determinano un consistente allagamento dell'arenile che tuttavia non risulta essere in grado di propagarsi verso monte ed allagare l'abitato. La maggiore criticità è rilevata nella zona di San Giuliano Mare dove le quote consentono alle mareggiate di allagare anche l'abitato a monte. Inoltre, le banchine del porto canale non sono in grado di regimare il mare e sono soggette ad allagamento facendo propagare esso all'interno dell'abitato.

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	45	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

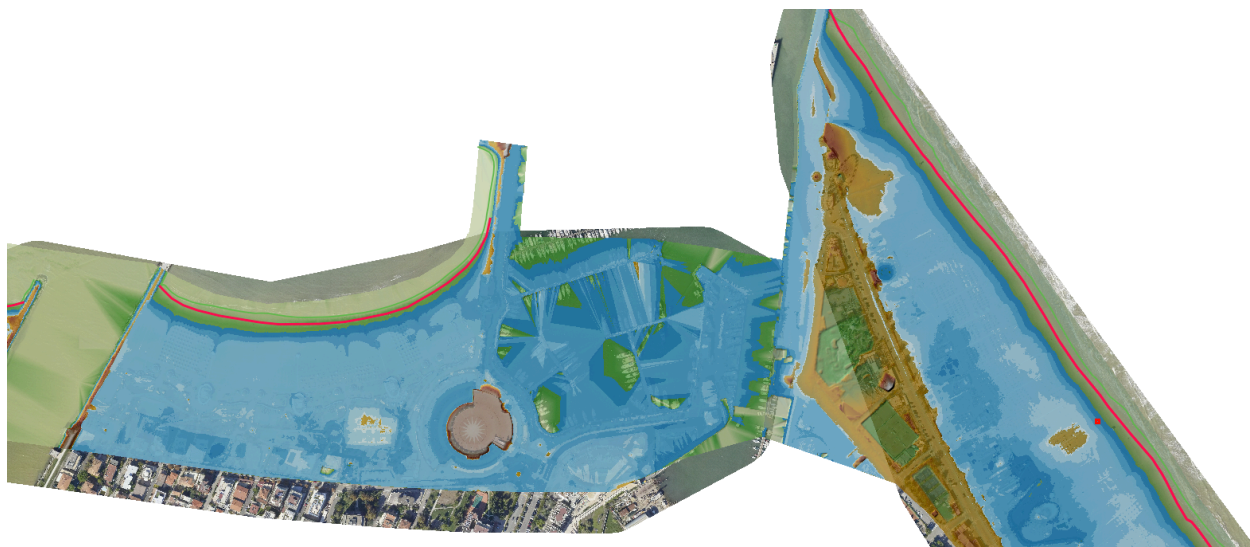


Figura 22 Mappa allagamento San Giuliano e Porto canale con ESL 1,78 m s.l.m. al 2050 RT 10 anni.

Infine, tutti gli scenari con RT 100, sia storici e proiettati al 2050, determinano il completo allagamento dell'arenile e la propagazione di essa anche a monte verso l'abitato dove non sia presente il Parco del Mare.

Analizzando i battenti di acqua che interessano l'arenile per scenari con RT100 si rilevano valori tra i 30 e 70 cm come riportato dai profili nelle figure che seguono.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	46	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

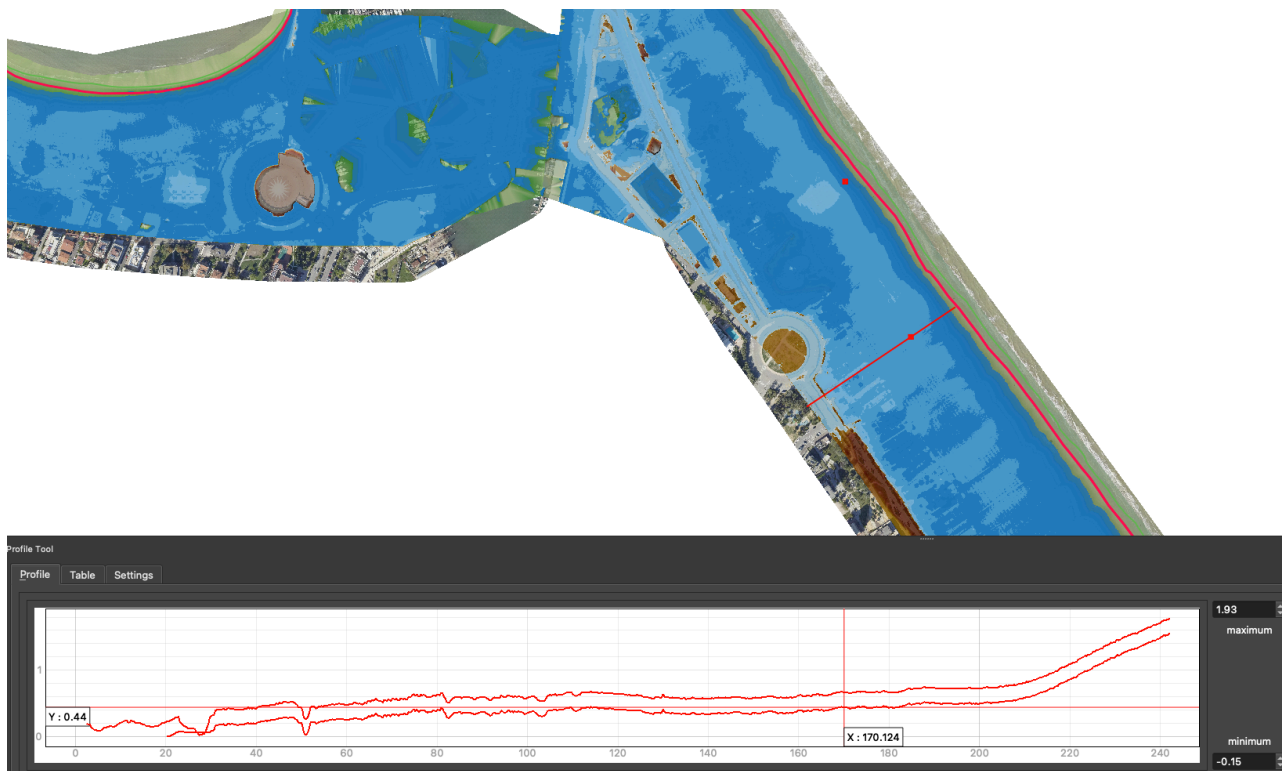


Figura 23 Mappa allagamento Bagno 8 Rimini Sud – valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni.

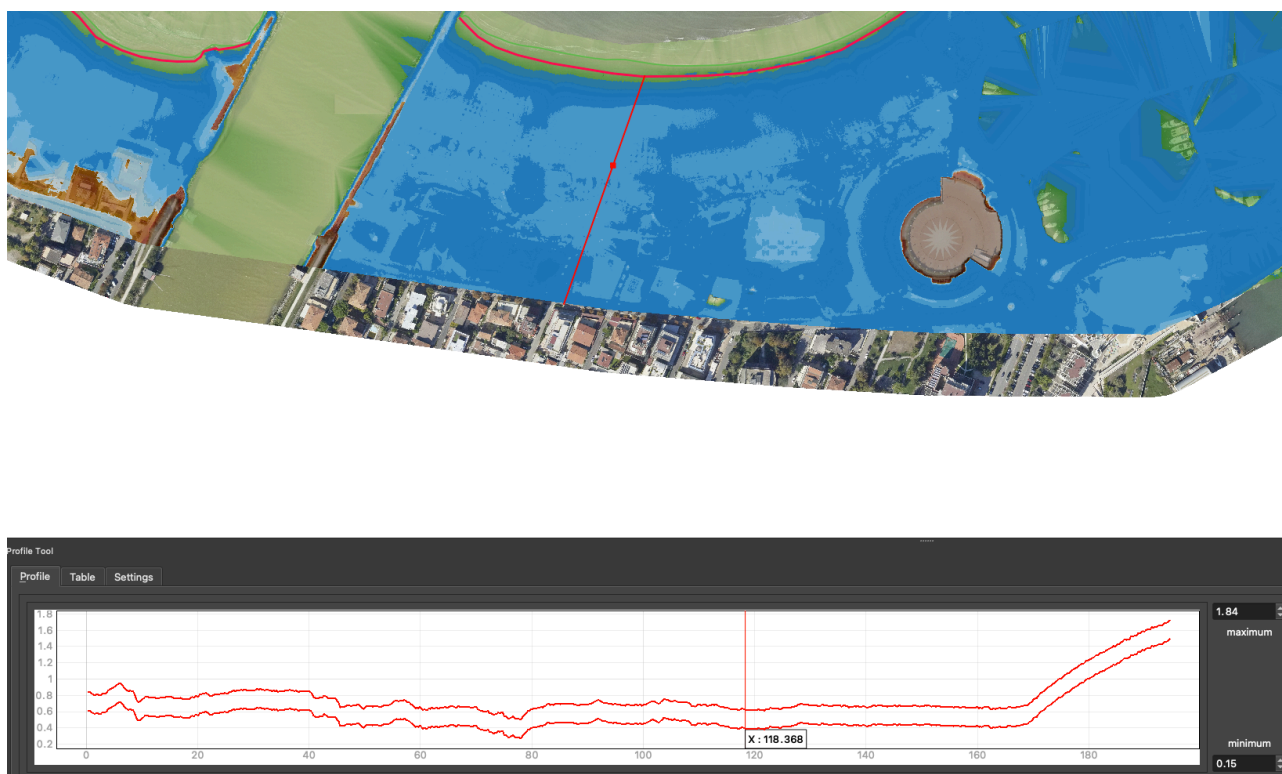


Figura 24 Mappa allagamento San Giuliano – valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	47	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

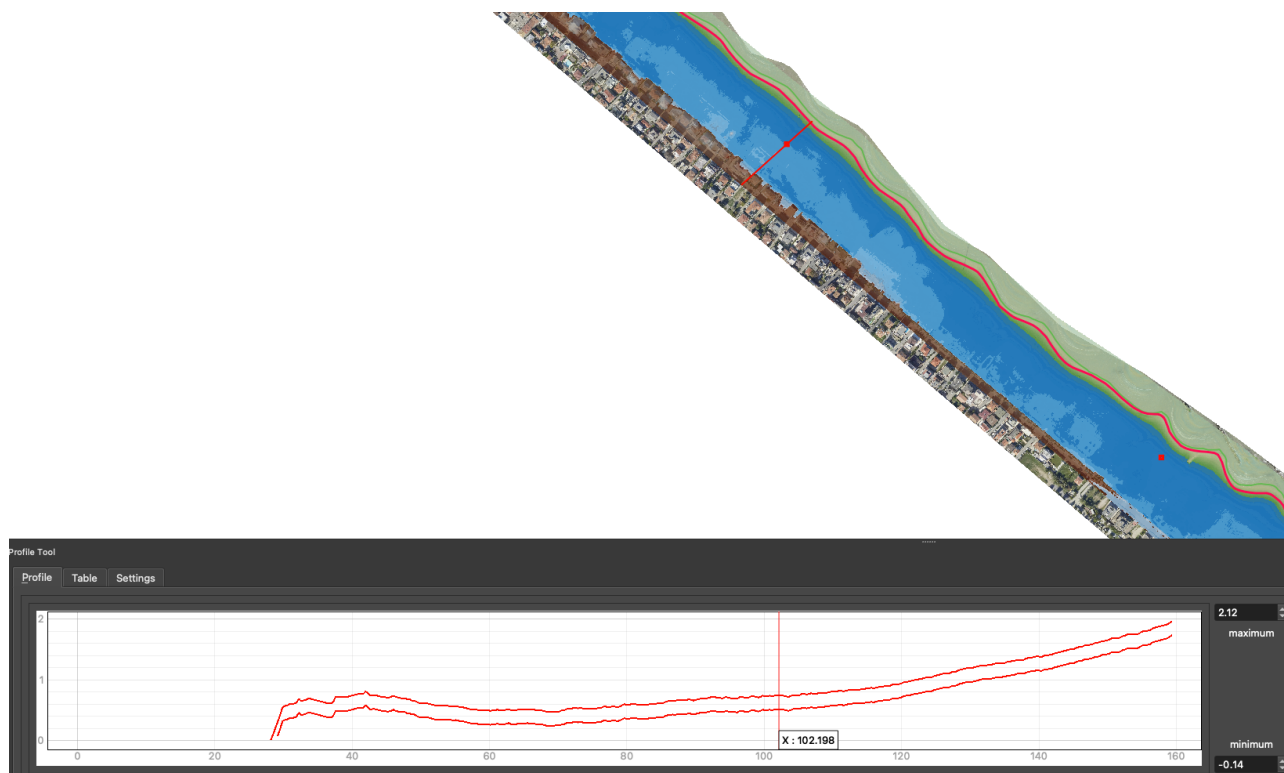


Figura 25 Mappa allagamento Rimini Sud – valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni.

La protezione del Parco del Mare con quota fissata a 2,84 m s.l.m. se fosse estesa con continuità su tutta la costa sarebbe in grado di proteggere l'abitato a monte anche per scenari futuri al 2050 con Tempi di Ritorno RT superiori ai 100 anni.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	48	di	64	0 1		0 1	0 7	22

4.1.9 ANALISI DEI RISULTATI – SCENARIO POST OPERAM

Lo scenario post-operam consiste nelle previsioni progettuali del piano spiaggia che dal punto di vista della sicurezza idraulica ipotizzano i seguenti interventi:

- Riposizionamento dei pubblici esercizi alla quota 1,91 m
- Innalzamento delle quote progettuali dei limiti dell'arenile
 - 2,14 m s.l.m.m per il tratto di Rimini Nord
 - 2,85 m s.l.m.m per il tratto di Rimini Sud a completamento del progetto del Parco del Mare

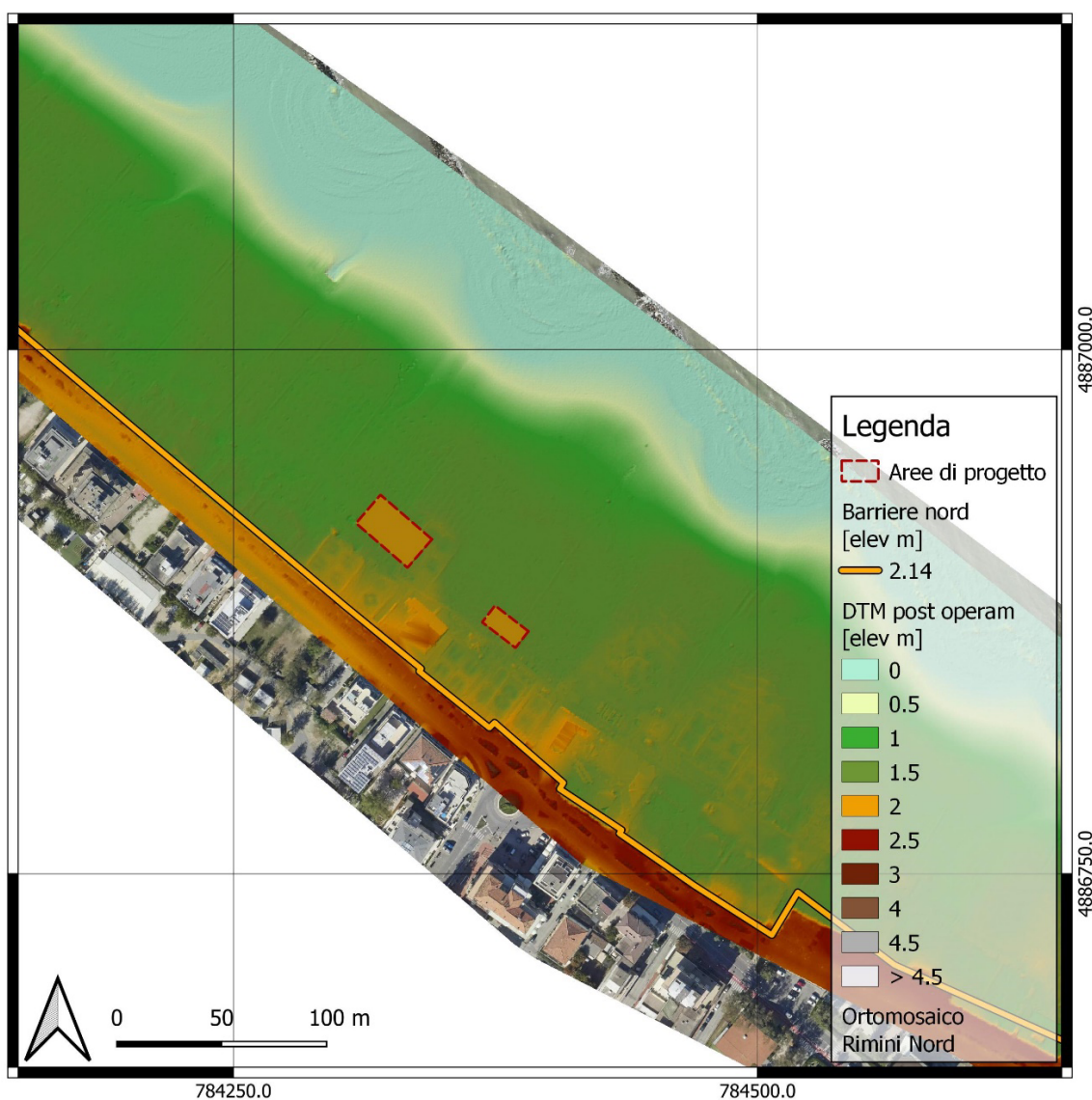


Figura 26 - Stralcio area Rimini nord con esempio aree di progetto a Q=1.91m e barriera a Q=2.14m

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	49	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

Nelle tavole di seguito elencate si riportano le simulazioni di allagamento in condizioni di progetto:

Post-operam	
B_QC.PA 01.14N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.14S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud
B_QC.PA 01.15N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.15S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.16N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.16S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.17N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.17S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud

Nelle seguenti immagini troviamo alcuni esempi delle aree di progetto con i transetti longitudinali con i valori dei battenti idrici per alcuni scenari.

° Documento:	Foglio			Rev.:					
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	50	di	64	0 1			0 1	0 7	22

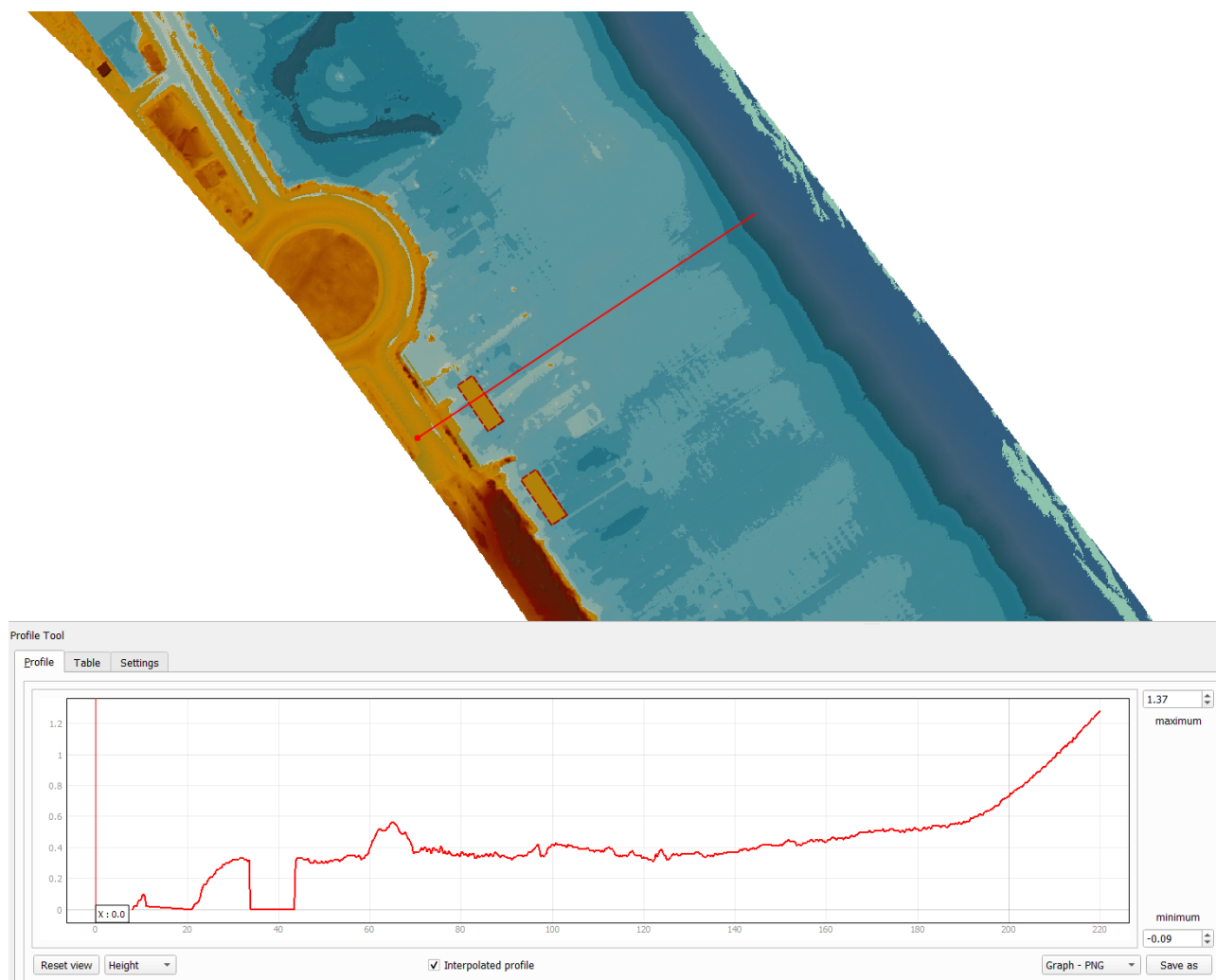


Figura 27 - Mappa allagamento Marina centro – valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	51	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

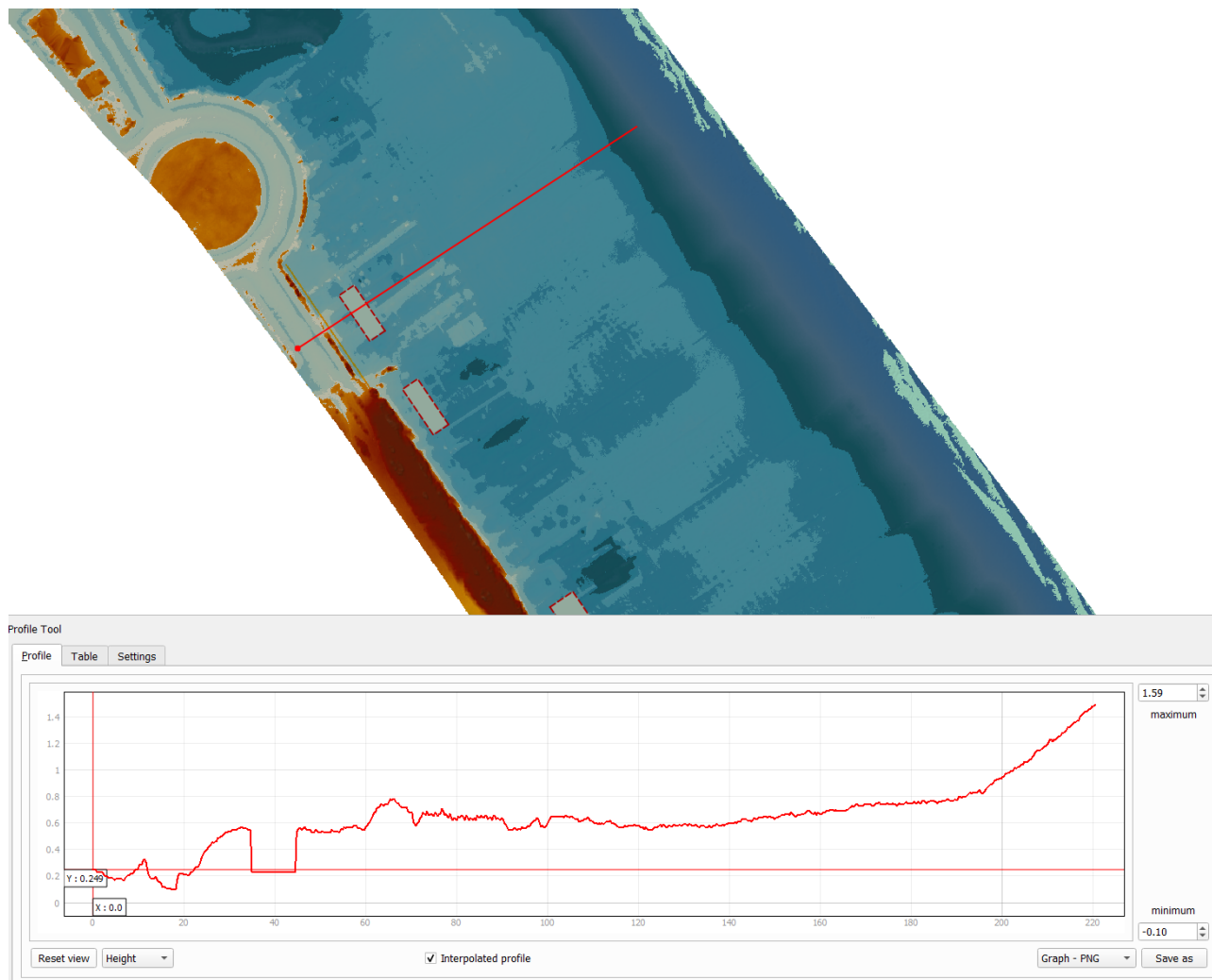


Figura 28 - Mappa allagamento Marina centro - valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni al 2050.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	52	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

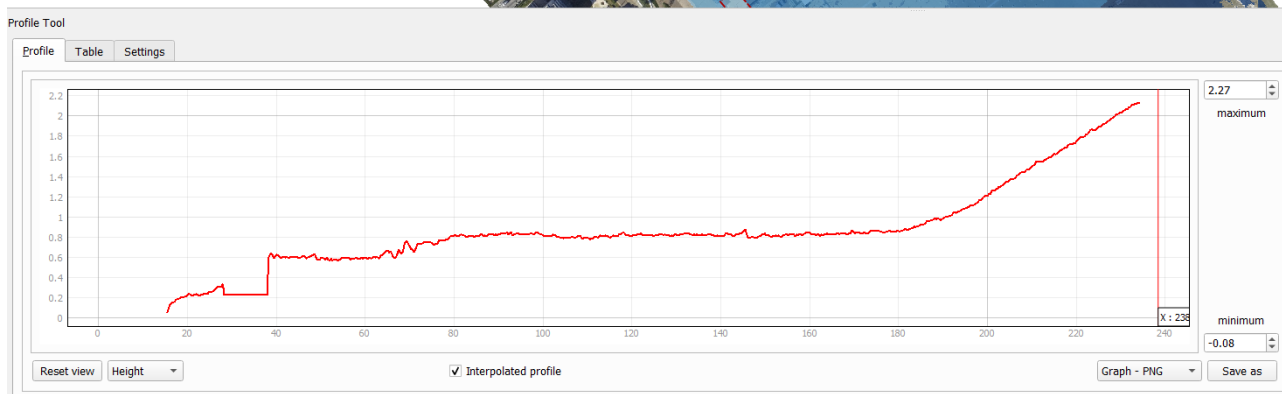
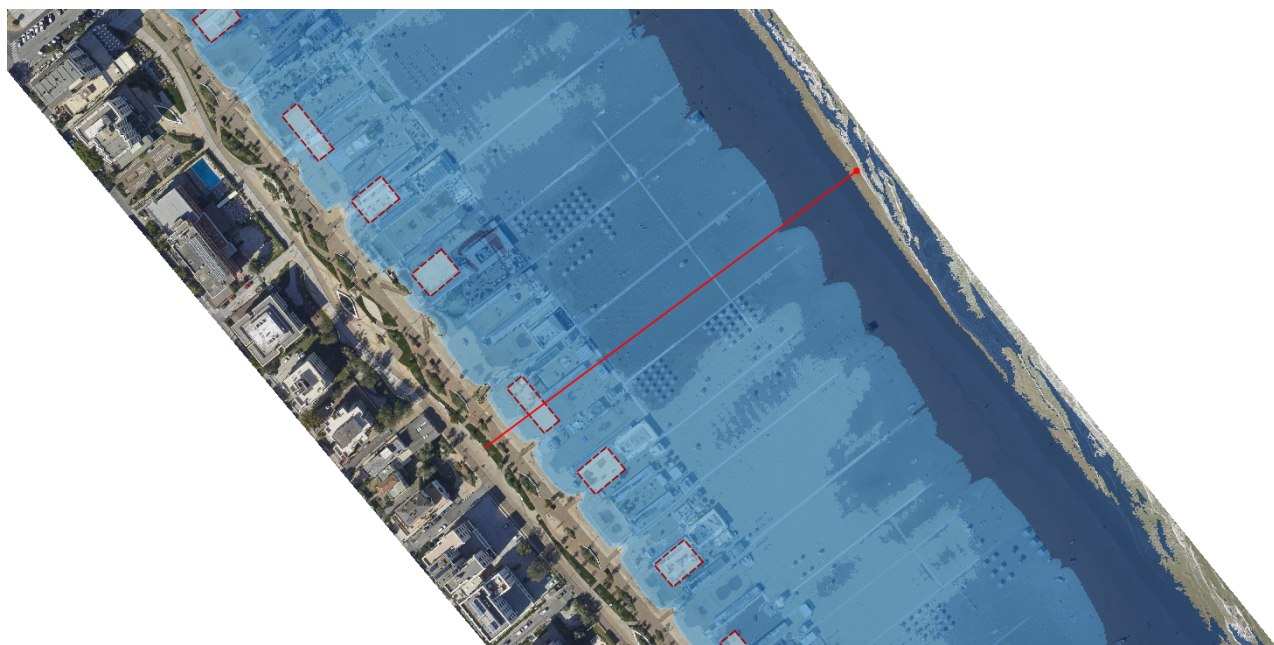


Figura 29 - Mappa allagamento a destra di piazza Marvelli, area di nuova costruzione del Parco del mare - valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni al 2050.

L'elevazione delle aree con destinazione a pubblico servizio consente di ridurre i battenti di acqua negli scenari che prevedono un ESL superiori a 1,91 m, mentre per gli altri scenari l'allagamento è escluso.

	TR100 al 2050 [m]	TR100 al 2100 [m]
Elevazione battente rispetto alle nuove aree di progetto in realizzazione a Q=1.91m.	0.229	0.86

Figura 30 - Battente per scenari di Progetto nelle aree a pubblico servizio

° Documento:	Foglio	Rev.:	
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	53 di 64	0 1 0 1 0 7 22	

L'innalzamento delle quote così come previsto negli elaborati progettuali non consente di limitare l'estensione delle aree allagate verso monte con conseguente allagamento del monte duna/parco del mare.

Si sottolinea come ai fini della protezione dell'abitato a monte dell'arenile, sia necessario prevedere in futuro la realizzazione di innalzamenti continui che proseguano lungo tutta la costa e si estendano anche all'interno del porto canale di Rimini.

Si sono eseguite pertanto delle simulazioni che ipotizzano questo ulteriore scenario di progetto che prevede una continuità del sistema delle barriere.

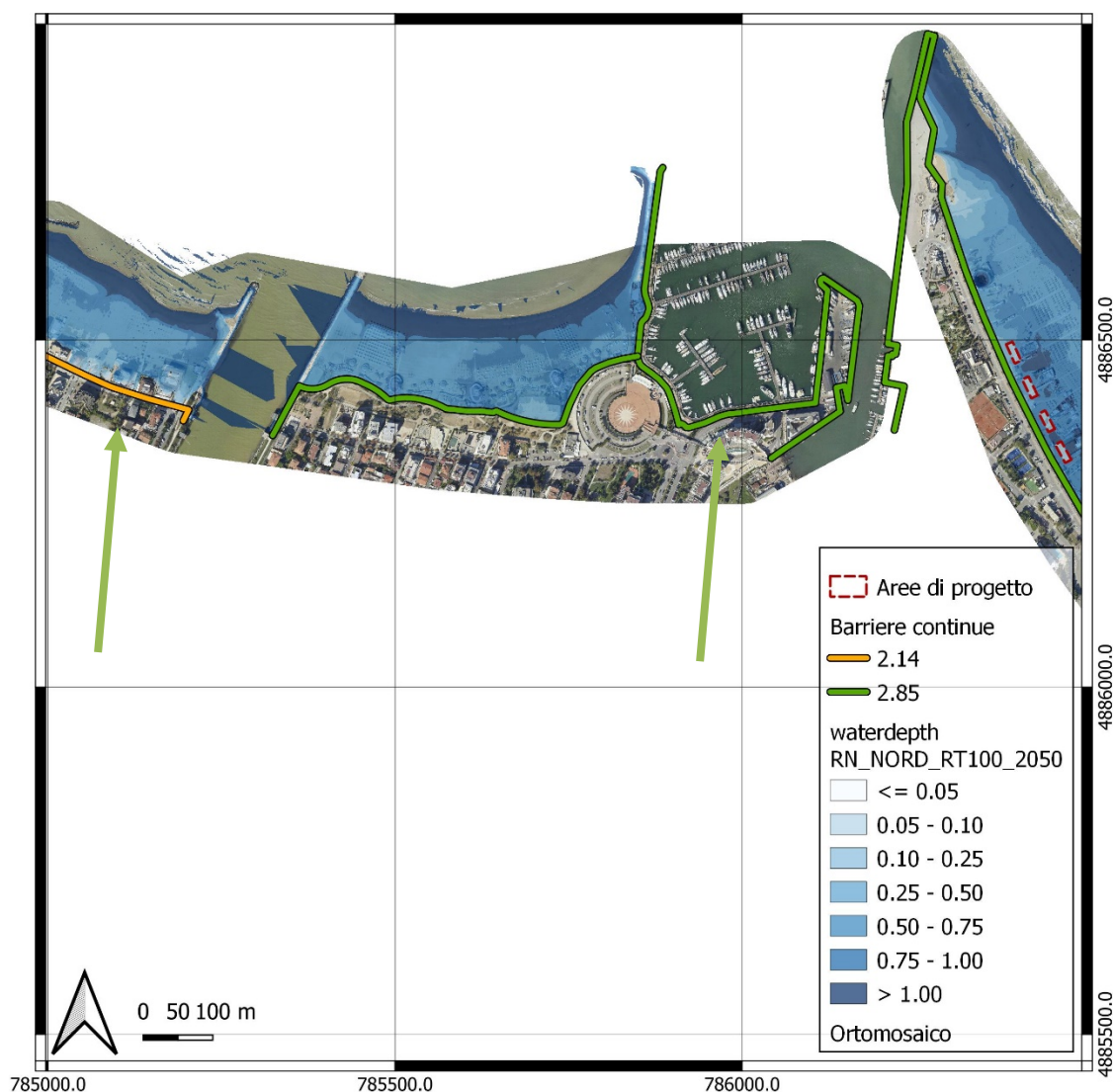


Figura 31 - Esempio barriere estese per mantenere continuità idraulica presso il portocanale di Rimini (freccia verde: barriera estesa)

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	54	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

Nelle tavole che seguono si riportano i risultati delle simulazioni in condizioni di progetto con barriere continue.

Post-Operam con barriera continua	
B_QC.PA 01.18N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.18S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud
B_QC.PA 01.19N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.19S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.20N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.20S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.21N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.21S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	55	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

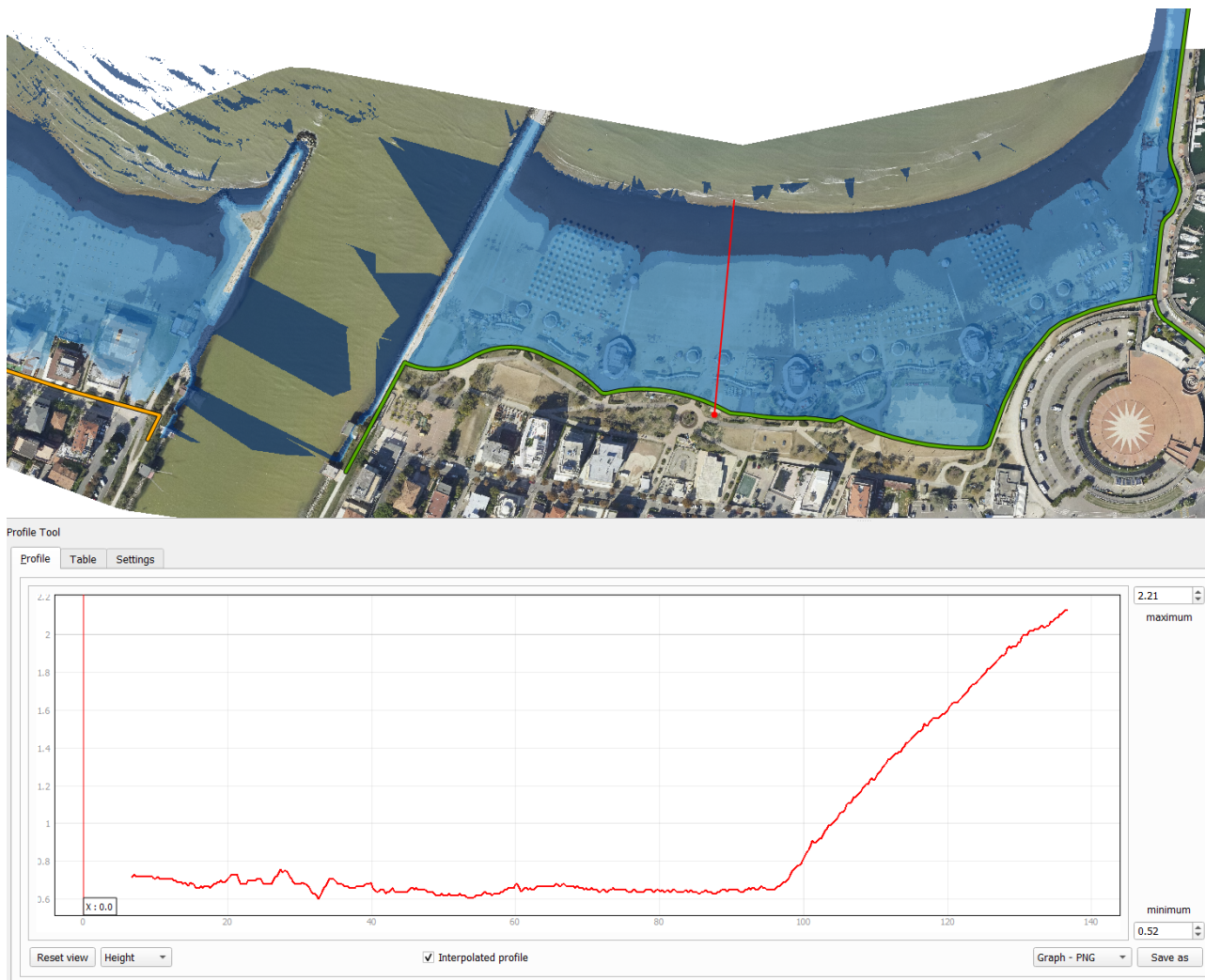


Figura 32 - Mappa allagamento San Giuliano mare - valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni al 2050.

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	56	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

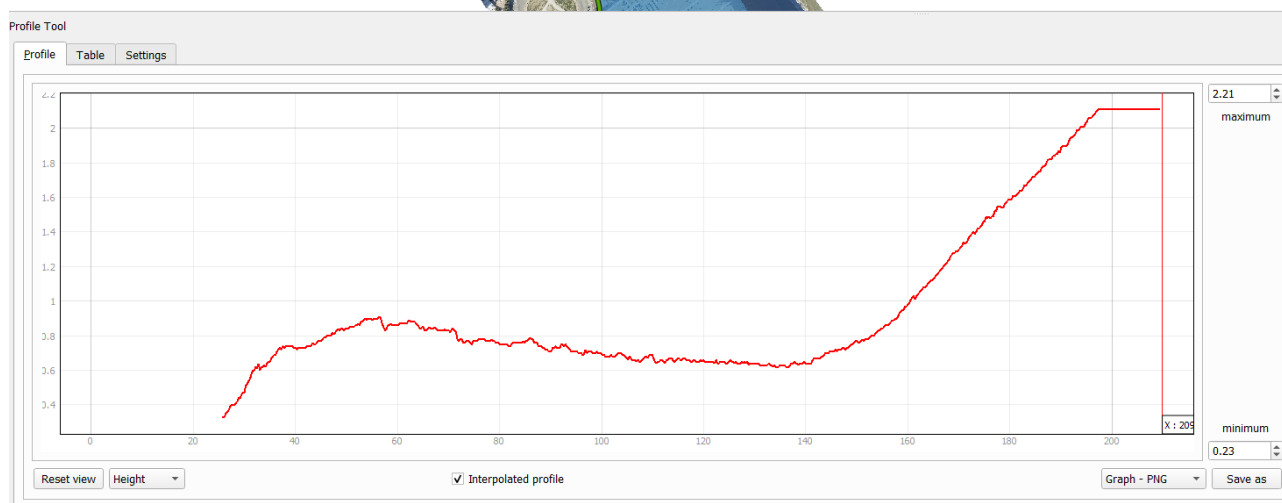


Figura 33 - Mappa allagamento Marina centro - valori dei battenti idrici per scenari con RT 100 anni al 2050.

Dalle mappe elencate si rileva come il completamento del Parco del Mare in tutta la zona Sud sia in gradi di proteggere la città di Rimini anche per lo scenario con RT 100 proiettato al 2100 e caratterizzato da un ESA pari a 2,77 m s.l.m.m.

Per la zona Nord l'elevazione completa alla quota pari a 2,14 m s.l.m.m consente di proteggere la città di Rimini nella zona nord solo per lo scenario con RT 100 proiettato al 2050.

Si rileva come questa protezione sia garantita solo se il sistema di elevazione o barriera (barriere fisse o mobili) sia continuo e si estenda anche all'interno del porto canale.

° Documento:	Foglio			Rev.:				
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	57	di	64	0		0	0	22
				1		1	7	

5 RISCHIO EROSIONE COSTIERA

L'ambiente costiero è un sistema altamente dinamico dove i fenomeni di erosione, e quindi di arretramento, o di avanzamento della linea di costa sono controllati da numerosi fattori meteorologici, geologici, biologici ed antropici. Sebbene in generale il "clima" sia da considerarsi come il principale motore degli agenti modificatori, localmente ciascuno degli altri parametri può assumere una prevalenza significativa. Si può in particolare pensare a:

- subsidenza naturale o indotta da estrazioni di fluidi dal sottosuolo;
- ruolo di difesa delle piane costiere da parte dei sistemi dunali;
- mancato apporto di sedimenti verso costa causato dall'alterazione dei cicli sedimentari per intervento antropico nei bacini idrografici (sbarramenti fluviali, regimazioni idrauliche, estrazioni di materiali alluvionali);
- influenza sulla dinamica litoranea dei sedimenti intercettati dalle opere marittime (opere portuali e di difesa) e delle infrastrutture viarie e urbanistiche costiere.³

Sulla base alla **Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai Cambiamenti Climatici (GIDAC) dell'Emilia-Romagna**⁴ vengono definiti diversi indicatori, di pressioni, di stato, di impatto e di risposta che possono essere a identificare il rischio di erosione a cui è sottoposta la costa riminese.

Un indicatore di pressione sono le opere trasversali lungo costa che interferiscono con la dinamica costiera, in questo caso i moli del porto canale di Rimini, e la darsena situata a ridosso del molo di ponente. Questi moli hanno un grado 2 di interazione con il trasporto solido (slem2018), la spiaggia a sud dei moli è 320 m avanti rispetto a quella a nord.

³ ISPRA, <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/rischio-ad-evoluzione-lenta/erosione-costiera>

⁴ Regione Emilia-Romagna, Strategia di Gestione Integrata per la Difesa e l'Adattamento della Costa ai Cambiamenti Climatici (GIDAC) <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/argomenti/difesa-della-costa/gidac>

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	58	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

Tra gli **indicatori di stato**, l'indicatore ASE (Accumulo Stabile Erosione) permette di mettere in risalto l'efficacia delle politiche di difesa condotte dalla Regione sulla costa, dando un'immagine del litorale a valle delle azioni di protezione messe in atto e distingue i tratti costieri stabili, in accumulo e in erosione. Dal confronto dello stato del 2018 rispetto al 2012, secondo l'indicatore ASE quindi in seguito anche agli interventi di ripascimento, di prelievo e di riassetto del sistema di difesa rigido, nessuna cella litoranea nel 2018 risulta in erosione rispetto al 2012.

L'indicatore ASPE (Accumulo Stabile equilibrio Precario Erosione) permette di distinguere i tratti costieri stabili o in accumulo, quindi in buono stato, dai tratti costieri critici, considerati tali perché in erosione o perché caratterizzati da un equilibrio solo apparente dovuto a interventi di protezione. Dal confronto dello stato del 2018 rispetto al 2012, secondo l'indicatore ASPE, quindi in assenza degli interventi di ripascimento e prelievo e di riassetto delle opere, il comune di Rimini non si trova in condizioni critiche (erosione o equilibrio precario). Sono in erosione Cattolica Nord (C4), Misano Pennelli (C12), Riccione Sud (C14) e Igea Marina Sud (C37) e Igea Marina Zona Sperimentale (C38). Per quanto riguarda la pericolosità all'inondazione marina, il comune di Rimini si trova nel settore centro-settentrionale della regione, che è maggiormente suscettibile a tale fenomeno, come emerge dalle Mappe di Pericolosità all'inondazione marina (2013 e 2019) elaborate ai sensi della Direttiva Alluvioni 2007/60. In particolare, sulla base della nuova cartografia della Direttiva Alluvioni scenario P1 (Tr >>100 anni), Rimini si trova in classe 2 dell'indicatore SARapp, che è stato elaborato per comprendere meglio l'incidenza del fenomeno nei diversi comuni ed è ottenuto dal rapporto tra la Superficie allagabile (per scenario P1) e la lunghezza lineare della costa, un'indicazione diretta del livello di potenziale pericolosità. La classe CL 1 esprime un rapporto <2; la CL 2, tra 2-4; la CL 3, tra 4 e 6; la CL 4>6.

L'indicatore "Numero impatti da mareggiata" (NIM), calcolato relativamente al periodo 2007-2020, esprime il numero totale degli impatti da mareggiata che sono stati registrati nelle località costiere maggiormente critiche della regione e rappresenta la somma di tutti gli impatti rilevati, che possono essere in numero da 1 a 5 nell'ambito di uno stesso evento di mareggiata, facendo riferimento alle seguenti categorie: erosione dei litorali e/o della duna, inondazione marina,

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	59	di	64	0			0	0	22	
				1			1	7		

tracimazione di fiumi e canali, danneggiamento opere di difesa (anche temporanee) e danneggiamento delle strutture balneari. Per il comune di Rimini, l'Indicatore Numero di Impatti (2011-2020) assume un valore inferiore a 10.

Uno degli **indicatori di risposta** è rappresentato dai volumi di sabbia portati a ripascimento delle coste. Le celle del comune di Rimini oggetto di ripascimento solo la 28, 30, 32, 34, 35, 36, mentre quelle oggetto di prelievo delle sabbie sono la 24 e 30.

Infine, da un'analisi dei **tratti critici**, emerge che Rimini non rientra tra le zone critiche per erosione e/o inondazione, le quali sono comunque limitate anche grazie alla manutenzione puntuale condotta negli anni. L'analisi si basa sull'integrazione dei seguenti dati:

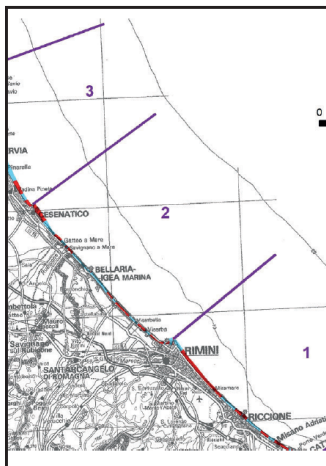
- dati di 'susceptibilità alla costa ai fenomeni di erosione e inondazione'. Le classi di SU sono: non determinata (ND); Alto (A); Medio (M); Basso (B)
- dell'attuale stato del litorale rispetto al fenomeno dell'erosione (classificazione ASPE e ASE)
- gli scenari attesi di peggioramento del rischio di inondazione marina: SA: scenari attesi: Stabile (S)-Peggioramento lieve PL-Peggioramento sensibili (PS)
- i dati osservativi riportati dai servizi di area

Si riporta di seguito la scheda riassuntiva sugli indicatori caratteristici dell'intero tratto costiero della provincia riminese (GIDAC).

° Documento:	Foglio			Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	60	di	64	0			0	0	22		
				1			1	7			

Provincia di RIMINI

celle 1-41 34,7 KM 31% costa naturale 64% costa protetta 5% costa fittizia



MACROCELLA 1 E 2

Unità fisiografica secondaria

costa riminese-cesenate: stretta piana costiera rettilinea occupata con continuità da aree urbanizzate

Assetto morfologico

stretta piana costiera (ampia circa 1 km); depositi litorali (emersi e sepolti) interposti tra i sistemi di conoide alluvionali appenninici e il mare Adriatico. Le dune sono pressoché assenti, o sepolte e l'unica morfologia costiera è la spiaggia, emersa e sommersa. Le quote altimetriche sono generalmente > 2 metri

Evoluzione millenaria

piana costiera e linea di riva sono relativamente stabili nell'ultimo millennio

Evoluzione decennale/secolare

Settore mediamente stabile, il settore più critico tra Misano e Riccione, dove i tassi di arretramento medi dal 1943 ad oggi raggiungono punte di 7 m/a.

Processi sedimentari dominanti

importante riduzione dell'apporto sedimentario dei fiumi e lungo costa

Uso suolo

centri urbani in continuità – aree verdi quasi esclusivamente urbane

Pressione antropica

0-10%: 0,2 km | 10-30%: 2,2 km | 30-60%: 9,0 km
60-80%: 15,3 km | 80-100%: 6,0 km

ampiezza spiaggia emersa

inferiore a 30 m = 8%
da 30 m a 50 m = 13%
da 50 m a 70 m = 22%
da 70 m a 100 m = 26%
maggiore di 100 m = 26%
fittizia = 5%

quota media spiaggia

inferiore a 1 m = 0%
da 1 m a 1,5 m = 42%
da 1,5 m a 2 m = 52%
maggiore di 2 m = 1%
fittizia = 5%

stato dosso costiero

ottimo = 2%
buono = 32%
medio = 59%
scadente = 5%
assente = 2%

quota di chiusura

inferiore a 1,5 m = 15%
da 1,5 m a 2 m = 51%
da 2 m a 2,5 m = 25%
maggiore di 2,5 m = 4%
fittizia = 5%

ASPE 46 11 29 14
% accumulo stabile precario erosione

ASE 45 55 0
% accumulo stabile erosione

Subsidenza 2006-2011: 4-6 mm/a
Subsidenza 2011-2016: 3-4 mm/a

Indicatore Numero di Impatti (2011-2020) max e località
NIM>20 Riccione sud
10<NIM<20 Misano nord; Riccione Alba; Porto Verde; Cattolica

pericolosità massima da inondazione marina

Comune	P1 (ha)	Lunghezza costa (hm)	SArapp
Cattolica	36.52	24.50	1.49
Misano Adriatico	53.32	32.02	1.67
Riccione	84.89	61.98	1.37
Rimini	373.46	151.02	2.47
Bellaria-Igea Marina	218.13	66.92	3.26

° Documento:	Foglio	Rev.:	
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	61 di 64	0 1 0 1 0 7 22	

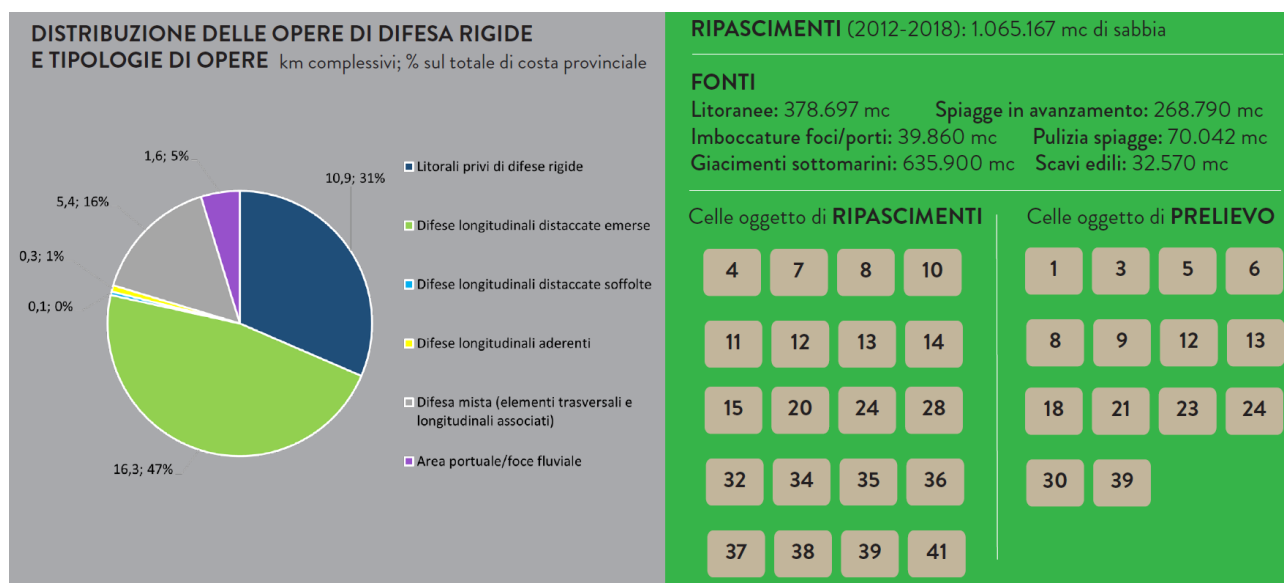


Figura 34 - Scheda riassuntiva degli indicatori per il tratto costiero della provincia di Rimini (GIDAC)

6 MAPPATURA DEL RISCHIO IDRAULICO COSTIERO E CO-IDEAZIONE DELLE NORME DI PIANO

Dalla pericolosità (mappe di allagamento costiero per gli scenari individuati) si passerà a definire il rischio in funzione del valore economico degli asset presenti sull'arenile allo stato attuale e per lo scenario di fruizione futura.

Le mappe di danno e rischio verranno categorizzate in classi (basso, medio ed alto) secondo criteri definiti in accordo con i tecnici del Comune.

Le zonizzazioni così ottenute saranno la base per supportare i tecnici del Comune di Rimini nella predisposizione delle norme del piano dell'arenile per quanto riguarda la riduzione del rischio idraulico.

A tal fine verranno identificate e discusse ipotesi normative volte sia alla "disclosure" del rischio residuo (informazione all'utenza per l'adozione, ad esempio, di misure passive quali coperture assicurative) che alla riduzione diretta dell'esposizione per nuovi interventi o in occasione di.

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	62	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		

riqualificazione-ristrutturazione dell'esistente (in questo caso sono applicabili diverse misure di mitigazione quali ad esempio 5 e 6 che possono essere promosse tramite le norme urbanistiche).

7 SUPPORTO ALLA DEFINIZIONE DI STRATEGIE NORMATIVE E OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO COSTIERO

I risultati delle simulazioni modellistiche saranno utilizzati per supportare i tecnici del Comune di Rimini nella predisposizione delle norme del piano dell'arenile per quanto riguarda la riduzione del rischio idraulico e la definizione di strategie di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici.

8 ELENCO TAVOLE

Codice	Descrizione
B_QC.PA 01.1N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Ortofoto Rimini Nord
B_QC.PA 01.1S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Ortofoto Rimini Sud
B_QC.PA 01.2N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – LIDAR Rimini Nord
B_QC.PA 01.2S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – LIDAR Rimini Sud
B_QC.PA 01.3N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Linea di Costa 2022 Rimini Nord
B_QC.PA 01.3S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Linea di Costa 2022 Rimini Sud
B_QC.PA 01.4N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Evoluzione Linea di Costa 1943-2022 Rimini Nord
B_QC.PA 01.4S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – Evoluzione Linea di Costa 1943-2022 Rimini Sud
B_QC.PA 01.5N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero - Transetti confronto alluvionamento costiero Rimini Nord
B_QC.PA 01.5S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero - Transetti confronto alluvionamento costiero Rimini Sud

⁵<http://www.bostonplans.org/getattachment/d1114318-1b95-487c-bc36-682f8594e8b2>

⁶https://www.fema.gov/media-library-data/1404150030143-cd3760624f61032d097df173e7f18355/FEMA_P312_Chap_7.pdf

° Documento:	Foglio	Rev.:							
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	63	di	64	0	1	0	1	0	22

B_QC.PA 01.6N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero - Transetti LIDAR Rimini Nord
B_QC.PA 01.6S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero - Transetti LIDAR Rimini Sud
ANTE-OPERAM	
B_QC.PA 01.7N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 Rimini Nord
B_QC.PA 01.7S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 Rimini Sud
B_QC.PA 01.8N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.8S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 1 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.9N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 Rimini Nord
B_QC.PA 01.9S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 Rimini Sud
B_QC.PA 01.10N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.10S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.11N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.11S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud
B_QC.PA 01.12N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.12S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.13N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.13S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud
POST-OPERAM	
B_QC.PA 01.14N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.14S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud
B_QC.PA 01.15N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.15S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.16N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.16S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.17N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.17S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud
POST-OPERAM BARRIERE CONTINUE	
B_QC.PA 01.18N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.18S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 Rimini Sud
B_QC.PA 01.19N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.19S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 10 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.20N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Nord
B_QC.PA 01.20S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2050 Rimini Sud
B_QC.PA 01.21N	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Nord
B_QC.PA 01.21S	Studio idraulico e rischio alluvionamento costiero – RT 100 2100 Rimini Sud

° Documento:	Foglio			Rev.:						
Analisi Idrauliche Piano dell'Arenile	64	di	64	0			0	0		22
				1			1	7		