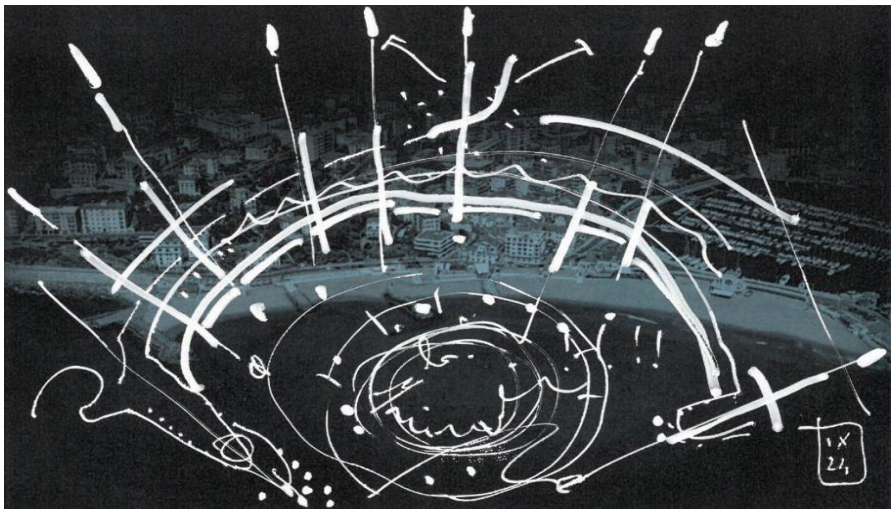
Comune di Imperia
Provincia di Imperia
Regione Liguria

Progetto masterplan per la sistemazione della fascia litoranea di Porto Maurizio



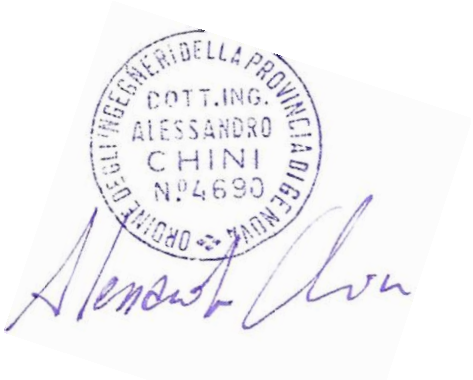
Committente: **Consorzio Stabilimenti Balneari Imperia-Porto Maurizio**
Via Bonfante, 29 18100 Imperia (IM)
Consorzio.stabilimenti.balneari@pec.it

Luogo: Marina di Porto Maurizio (IM)

ANALISI DEL MOTO ONDOSO NEL TRATTO DI COSTA DI PORTO MAURIZIO CON VALUTAZIONE DELLA RISALITA DELL'ONDA SULL'ARENILE

Aspetti Urbanistici : Arch. Mario Clemente Rossi

Agosto 2025



INDICE

Capitolo 1 - Premessa illustrativa

Capitolo 2 Studio di idraulica marittima

1. Premessa .....
2. Inquadramento territoriale dell'arenile .....
3. Analisi del clima ondoso al largo .....
4. Propagazione del moto ondoso dal largo verso riva .....
5. Aspetti geomorfologici e considerazioni sulla morfoevoluzione della spiaggia .....
6. Valutazione dell'intensità del moto ondoso incidente .....

6.1 Set-up d'onda .....

6.2 Set-up mareale .....

6.3 Set-up da vento .....

6.4 Sea level rise .....

6.5 Sovralzi complessivi medi sottocosta .....

6.6 Effetto diffrattivo sul moto ondoso sottocosta .....

6.7 Effetto delle basse profondità sul moto ondoso .....

6.8 Valutazione altezza d'onda al frangimento .....

7. Valutazione dei run-up presso la Spiaggia d'oro .....

7.1 Profili della spiaggia emersa .....

7.2 Approccio di calcolo .....

7.3 Modello di Van der Meer et al. (1992) – Van der Meer (1998) .....

7.4 Modello di R.A. Holman (1986) .....

7.5 Modello di H.F. Stockdon et al. (2006) .....

7.6 Stima run-up associati al 2% di probabilità di superamento .....

8. Stima dei battenti idrici e volumi specifici delle portate medie .....

8.1 Tabelle di sintesi dei valori stimati dei battenti idrici e delle portate medie di risalita dell'onda ..

9. Portata media di tracimazione e run-up Sez. 13 .....
10. Analisi dei risultati e rispettive conclusioni .....
11. Conclusioni .....
12. Bibliografia di riferimento

Appendice .....

Capitolo 3 - Opere di difesa

Capitolo 4 - Documentazione fotografica

Capitolo 1

Premesse

Per la redazione del presente studio di idraulica marittima è stato incaricato il sottoscritto ing. Alessandro Chini .
L'elaborato è sviluppato in base a quanto prevede la
" Delibera della Giunta Regionale della Liguria n. 291/2025 – "Regolamento Regionale per l'attuazione dei Piani di bacino distrettuali, anche stralcio, per le aree a pericolosità da alluvione fluviale e costiera" ed il relativo Regolamento Regionale "Disposizioni concernenti l'attuazione dei Piani di bacino distrettuali, anche stralcio, per le aree a pericolosità da alluvione fluviale e costiera in attuazione dell'articolo 91, comma 1 ter 2 della legge regionale 21 giugno 1999, n. 18 (Adeguamento delle discipline e conferimento delle funzioni agli enti locali in materia di ambiente, difesa del suolo ed energia)".
In pratica le verifiche idrauliche sono finalizzate a valutare la risalita delle onde sull'arenile in corrispondenza della " *spiaggia d'oro* " ubicata nella fascia costiera posta a ponente delle opere portuali di Porto Maurizio.
La presenza di stabilimenti balneari e spiagge libere molto frequentate nel periodo maggio ÷ settembre pone le strutture mobili, quelle fisse e le stesse persone in situazioni di rischio nel caso di mareggiate particolarmente forti.
E' pur vero che il sistema di allarme gestito dalla Regione Liguria attraverso l'ARPAL consente con un adeguato anticipo di porre in sicurezza le persone (come nel caso i bagnanti nel periodo estivo) e consente ai gestori degli stabilimenti di rimuovere ombrelloni, lettini ecc. Resta comunque il problema delle strutture fisse sia quelle stagionali (cabine) che quelle di difficile rimozione.
Lo studio è quindi mirato a stimare non solo le quote di risalita delle onde sull'arenile ma anche la portata della lama d'acqua e conseguentemente il livello di rischio per la stabilità delle opere fisse .
In particolare si è tenuto conto che il rapidissimo cambiamento climatico in atto ha in buona parte vanificato le statistiche sugli eventi estremi. Le varie normative, in base al tipo di opere da analizzare ed al grado di vulnerabilità delle stesse, impongono ancora l'assunzione di parametri climatici (ad esempio altezza delle onde) con periodi di ritorno di 50,100,200 o più anni. Quello a cui si assiste è che eventi estremi che nel recente passato si potevano effettivamente ripresentare con frequenze ultradecennali si verificano oggi con cadenze annuali o quasi. Ma non solo questo anche i periodi di accadimento degli eventi estremi non sono più circoscritti , sempre per le onde, tra la fine di settembre ed il mese di novembre ma possono presentarsi anche in piena estate .
In definitiva nelle valutazioni di cui al presente studio non si sono soltanto presi in esame i dati statistici costruiti dalle osservazioni estese a molte decine di anni ma anche e soprattutto i valori estremi registrati in tempi più recenti come ad esempio la mareggiata del 29-30 ottobre 2018 . Ciò detto si è ritenuto di applicare un adeguato coefficiente di sicurezza.
Lo studio si è basato su un rilievo topografico e batimetrico aggiornato ad agosto 2025.
Le verifiche idrauliche sono state impostate sulla situazione attuale , se in futuro sarà realizzato il prolungamento del pennello di ponente , come da progetto già sottoposto all'esame si prevede una riduzione significativa del rischio idraulico lungo la spiaggia d'oro. Quindi le proposte di manufatti provvisori atti a proteggere le strutture riducendo gli effetti del run-up dovranno essere riconsiderate ai fini di un prevedibile minor impatto delle onde.

Normativa
Con riferimento alla *Delibera della Giunta Regionale della Liguria n. 291/2025*

Articolo 3 *(definizioni)*

g) Aree di spiaggia: aree che comprendono la "spiaggia" e le "opere di difesa costiera", così come individuate nella cartografia pubblicata sul sito internet regionale. Per "spiaggia" si intende l'accumulo di sedimenti sciolti modellati dall'azione del moto ondoso, comprendente una spiaggia emersa ed una spiaggia sommersa, che costituiscono un'unica entità morfologica in quanto il sedimento passa naturalmente dall'una all'altra in funzione degli eventi meteomarini.
p) Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PGRA):è il Piano Stralcio di Bacino predisposto
dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale ai sensi della Direttiva 2007/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni;

y) Studio di compatibilità idraulica per le nuove infrastrutture: studio idraulico finalizzato a
valutare se l'intervento è compatibile con le condizioni dell'area, in termini di pericolosità e di rischio.

w) Run-up*:* la quota più alta raggiunta dall'acqua su una spiaggia o su un'opera di difesa costiera nel corso di una mareggiata;

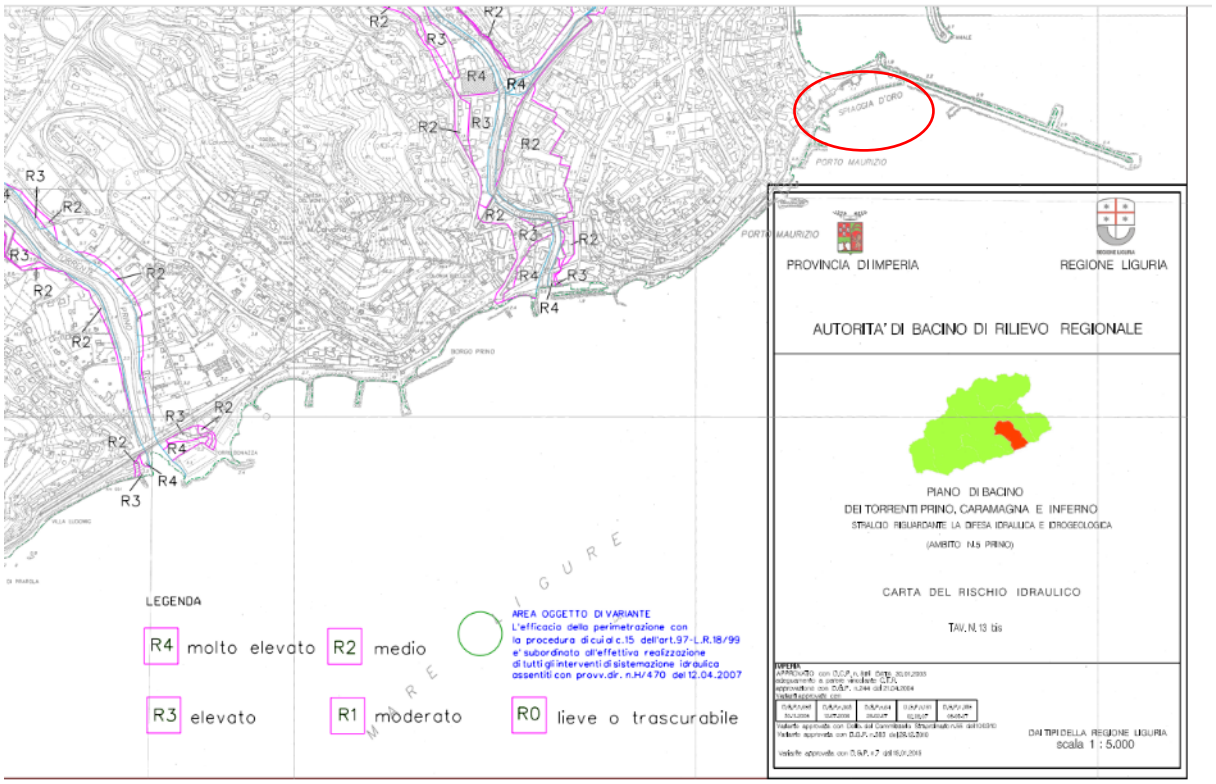
Articolo 9
(Aree a pericolosità da alluvione costiera media P2)

omissis …

2. Nelle aree P2 all'interno di aree di spiaggia, gli interventi di modifica di strutture esistenti sono consentiti, a condizione che sia diminuita la vulnerabilità delle medesime, attraverso l'adozione di misure od accorgimenti tecnico costruttivi così come esplicitato nell'allegato 1b.
omissis …
4. I cambi di destinazione d'uso sono ammessi nelle "aree non ricomprese nelle aree di spiaggia", se non comportano un aumento del carico insediativo, anche temporaneo, e se associati ad accorgimenti tecnico costruttivi ai sensi dell'allegato 1b.
5. Nel caso di interventi di demolizione con ricostruzione di edifici/manufatti esistenti deve essere assicurata la riduzione della vulnerabilità, anche attraverso la messa in opera degli accorgimenti e delle misure finalizzate a tutelare la pubblica incolumità, e purché risultino assunte le azioni previste dai piani comunali di protezione civile.
6. Relativamente alle attività elioterapiche negli stabilimenti balneari e nelle spiagge libere attrezzate, al di fuori della stagione balneare, i Comuni e le Autorità di sistema portuale interessati, ognuno per le aree di propria competenza, possono consentirne l'esercizio a condizione che vengano messi in opera gli accorgimenti e le misure finalizzate a tutelare la pubblica incolumità e purché risultino assunte le azioni previste dai piani comunali di protezione civile.
d) la cartografia relativa alle aree di spiaggia, comprensiva delle "spiagge" e delle "opere di

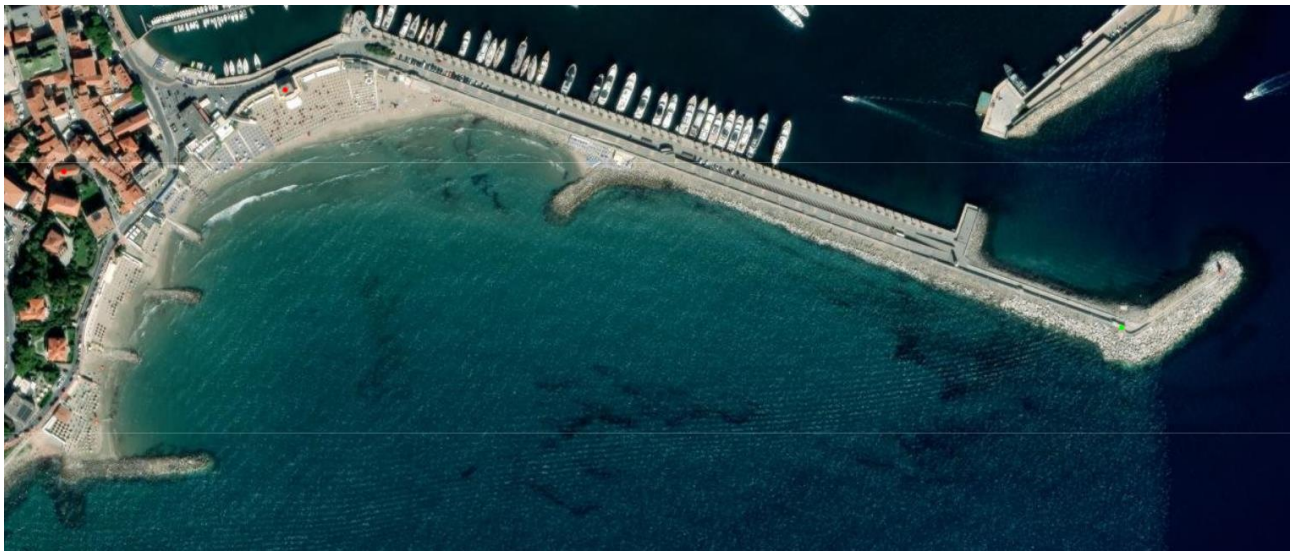
difesa costiera", ai fini dell'applicazione degli articoli 8, 9.

A far data dall'1/01/2024 i Piani di Bacino Stralcio sono superati dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per quanto riguarda la disciplina dell'assetto idraulico. Le mappe della pericolosità di riferimento sono le mappe del **PGRA.**

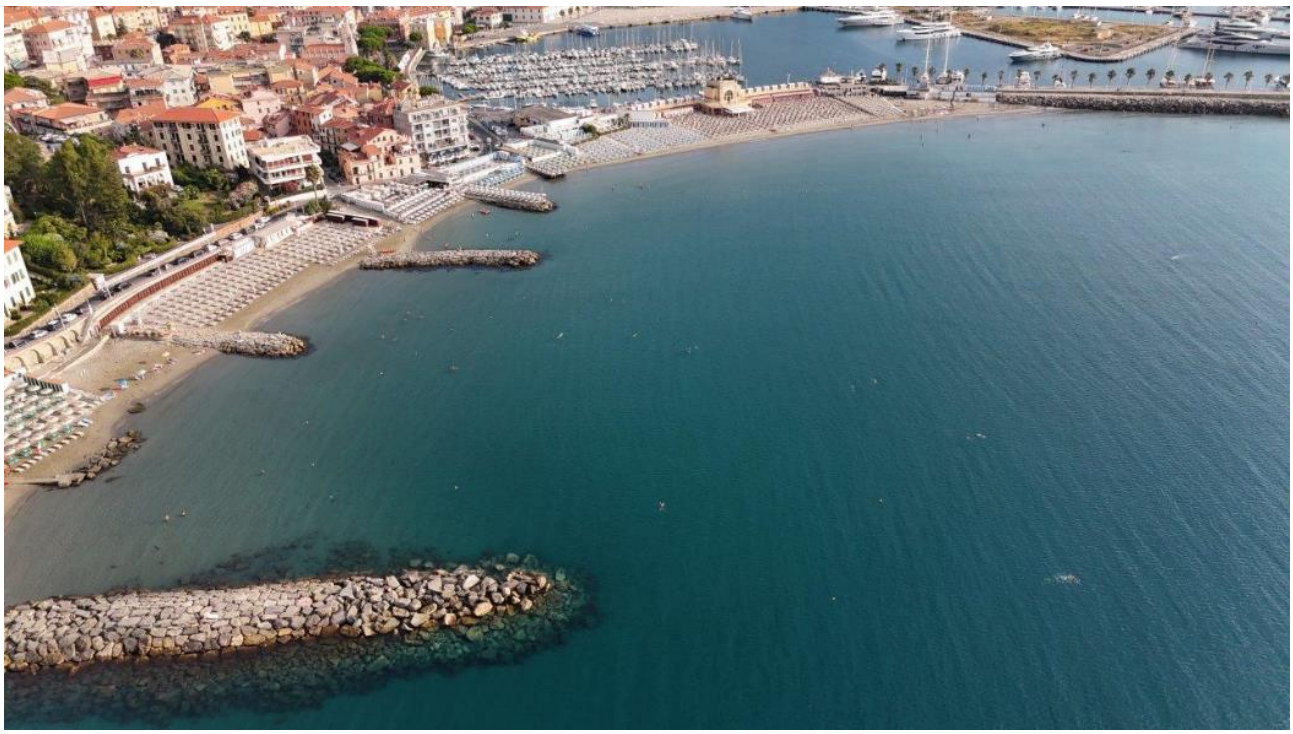


Piano di Bacino dei Torrenti Prino, Caramagna
L'area allo studio ricade fuori dalle zone a rischio idraulico dei 2 bacini torrentizi. Non sono presenti corsi d'acqua alle spalle della spiaggia che, in caso di piena, potrebbero sfociare sull'arenile. Resta quindi il solo rischio dovuto alle mareggiate.

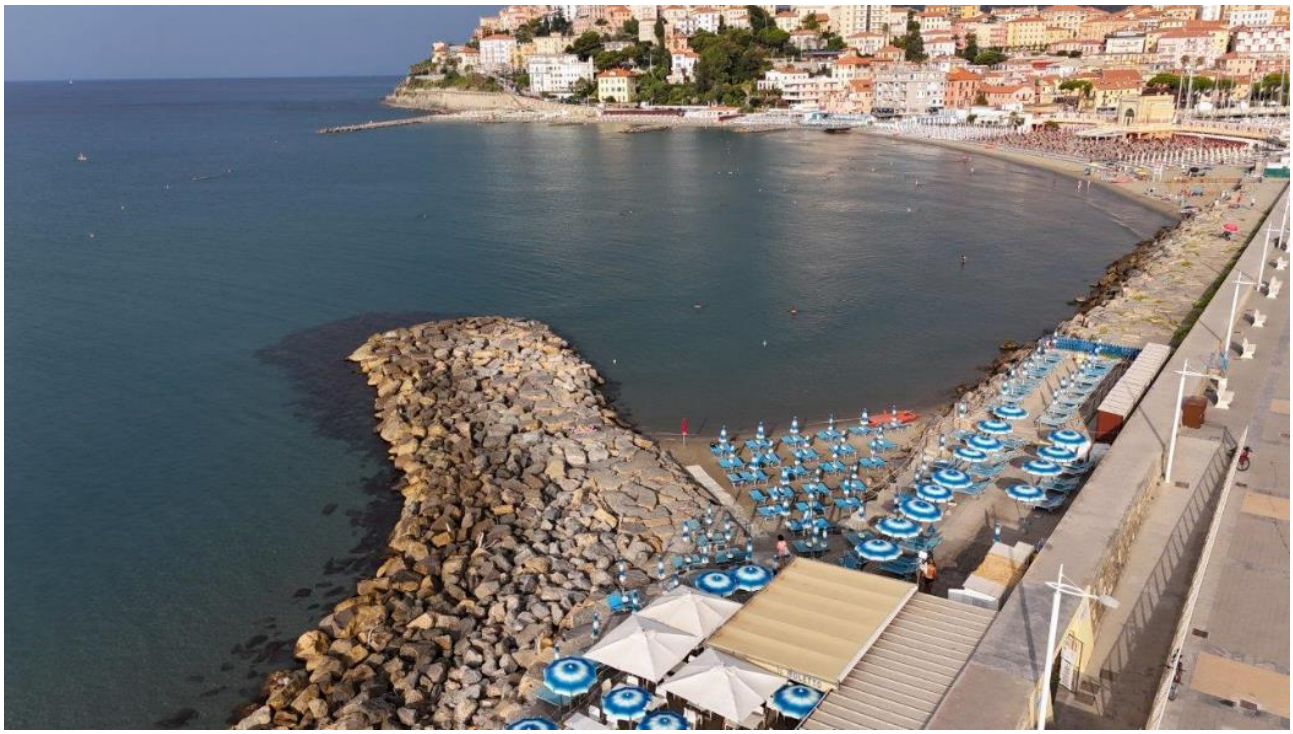
Localizzazione dell'area di studio



Panoramica da satellite della zona costiera interessata



Altra panoramica delle spiagge ripresa nel periodo balneare.



Vista della zona costiera ripresa da levante verso ponente.

Capitolo 2

1. Premessa allo studio di idraulica marittima

Il presente Studio ha la finalità di identificare i valori di run-up in corrispondenza della Spiaggia d'oro sita a Sud della località di Borgo Marina e, più precisamente, in radice a Ponente del molo di sopraflutto (cosiddetto Molo lungo) posto a difesa della Marina di Imperia (IM), stimandone altresì i corrispondenti battenti idrici e volumi specifici delle portate fluide che interessano le strutture più a mare degli stabilimenti balneari che sorgono presso l'arenile stesso. L'individuazione delle quote raggiunte durante la risalita dell'onda permette di stimare l'effettiva consistenza del fenomeno analizzato, in rapporto all'elevazione delle opere antropiche presenti sulla spiaggia.

Tali valutazioni di natura idraulica, condotte sui profili rilevati, sono finalizzate a definire l'esposizione dell'arenile al fenomeno del run-up dell'onda, tenendo in conto che, negli anni, le attività balneari che vi sorgono sono state più volte variamente danneggiate dalla rimonta delle onde incidenti. Si specifica, altresì, che le presenti valutazioni rappresentano una stima dell'effetto studiato, sebbene si ritenga che i dati forniti possano risultare di attendibile riferimento.

Le condizioni di moto ondoso assunte nell'ambito del presente Studio e sostanzialmente confermate da calcolazioni sviluppate nell'ambito dello stesso, provengono dalla D.G.R. n. 1616 del 19/12/2014 e rispettivi allegati con cui Regione Liguria ha completato l'analisi della pericolosità da inondazione marina in corrispondenza dei tratti costieri di competenza non trattati dal Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero (L.R. n. 20/2006).

2. Inquadramento territoriale dell'arenile

Il tratto litoraneo osservato ricade, in conformità alla ripartizione costiera di cui alla D.G.R. n. 1446/2009, nell'estremità di Levante dell'unità fisiografica cod. UF05 (i cui limiti sono rappresentati dalla Marina degli Aregai a Ovest e da Porto Maurizio ad Est) che è identificata dal paraggio cod. 02 "Porto Maurizio" e costituita dalle quattro celle litorali della cosiddetta "Spiaggia d'oro" (cod. 07) il cui sviluppo complessivo risulta pari a circa 420 m (a partire da Sud le celle litorali presentano la seguente codifica identificativa: UF_05020701, UF_05020702, UF_05020703 e UF_05020704). Nelle immagini successive da Fig. 1 a Fig. 5 comprese, estratte dalla cartografia regionale disponibile (fonte dati: https://srvcarto.regione.liguria.it/geoservices/apps/viewer/pages/apps/geoportale/?id=1266), si raffigura la distribuzione delle citate quattro celle litorali che compongono la spiaggia d'interesse:



Fig. 1: individuazione fisiografica del tratto costiero oggetto d'intervento.

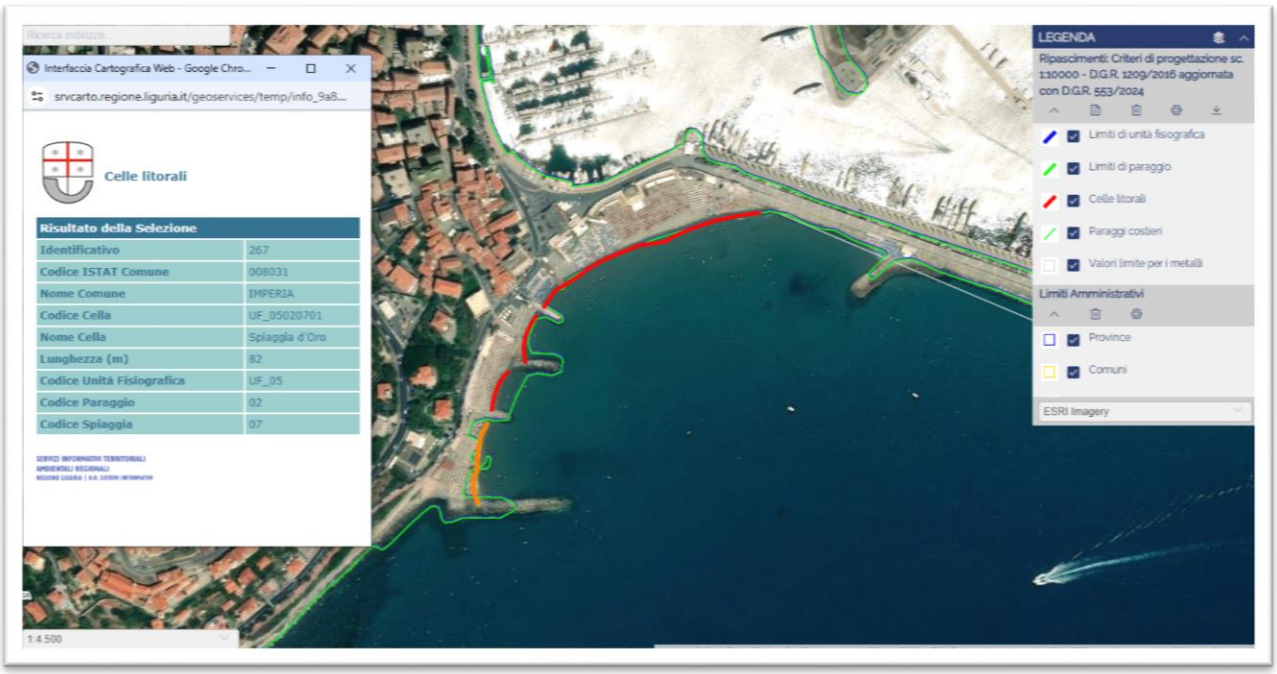


Fig. 2: raffigurazione d'evidenza della cella litorale cod. UF_05020701 di cui si compone la Spiaggia d'oro.



Fig. 3: raffigurazione d'evidenza della cella litorale cod. UF_05020702 di cui si compone la Spiaggia d'oro.



Fig. 4: raffigurazione d'evidenza della cella litorale cod. UF_05020703 di cui si compone la Spiaggia d'oro.



Fig. 5: raffigurazione d'evidenza della cella litorale cod. UF_05020704 di cui si compone la Spiaggia d'oro.

La zona, come si rileva dall'immagine seguente, è esposta a mari sviluppati da venti che derivano dai quadranti meridionali (da Scirocco a Libeccio). La presente relazione affronta, pertanto, anche gli aspetti di idraulica marittima in base ai quali sono stati definiti i ricercati valori di run-up dell'onda e di portate unitarie che risalgono la spiaggia:

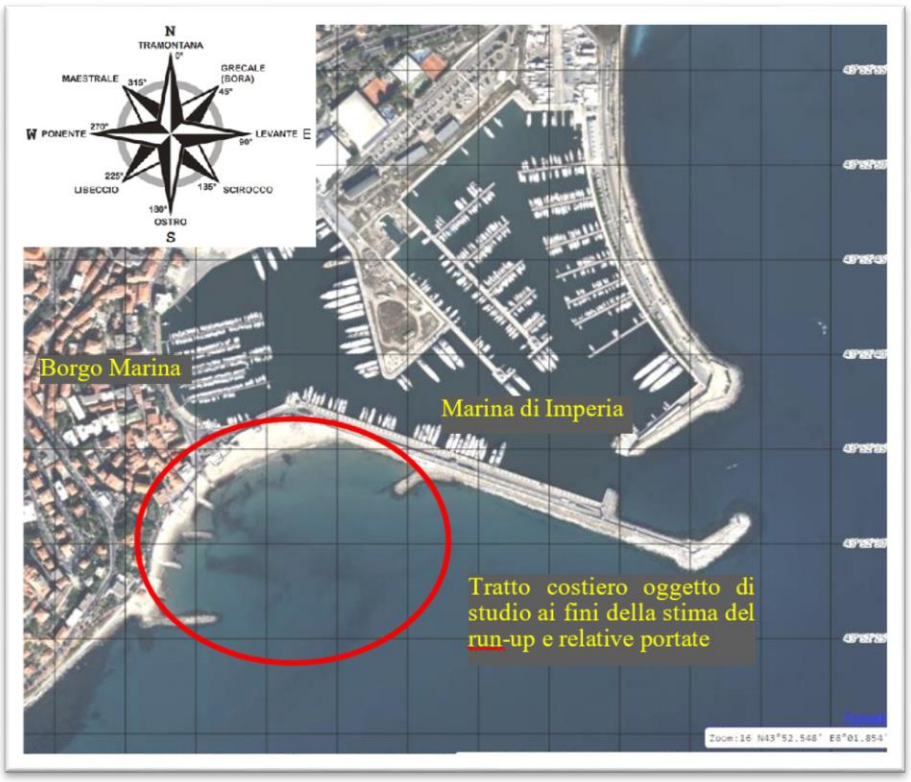


Fig. 6: localizzazione puntuale ed esposizione marina del sito.

Per completezza descrittiva, dal punto di vista sismico l'area è classificata, secondo l'All. 2 alla D.G.R. n. 962/2018, quale zona di classe 2 corrispondente ad una "peak ground acceleration" pari a 0.25g, come evidenziato dalla rispettiva cartografia seguente:

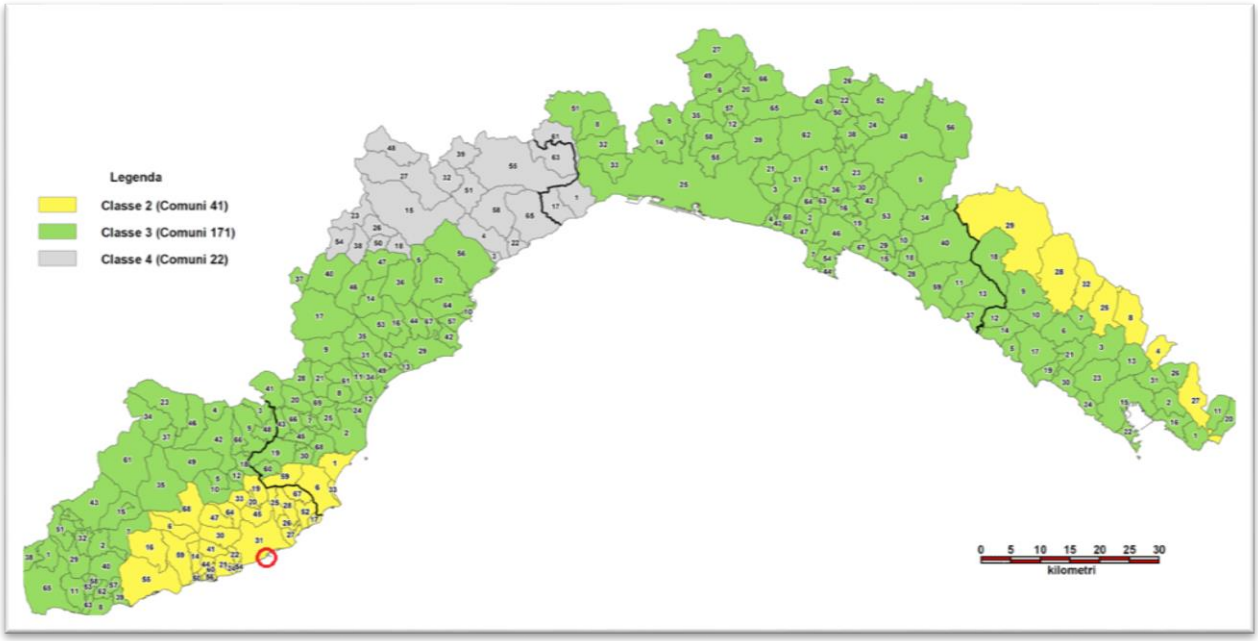


Fig. 7: classificazione sismica della zona d'interesse (evidenziata in figura).

L'arenile oggetto d'analisi non è interessato dalla rispettiva presenza nell'immediata vicinanza di Zone Speciali di Conservazione marine/terrestri, come si desume dalla consultazione della cartografia regionale di cui successivamente si riporta un estratto (si precisa, tuttavia, che a Sud ed in ambito marino esterno alla baia definita dai pennelli che delimitano le suddette quattro celle litorali, quindi, l'arenile trattato, sorge la Z.S.C. denominata "Fondali Porto Maurizio, S. Lorenzo al Mare, Torre dei Marmi" cod. IT1315971):

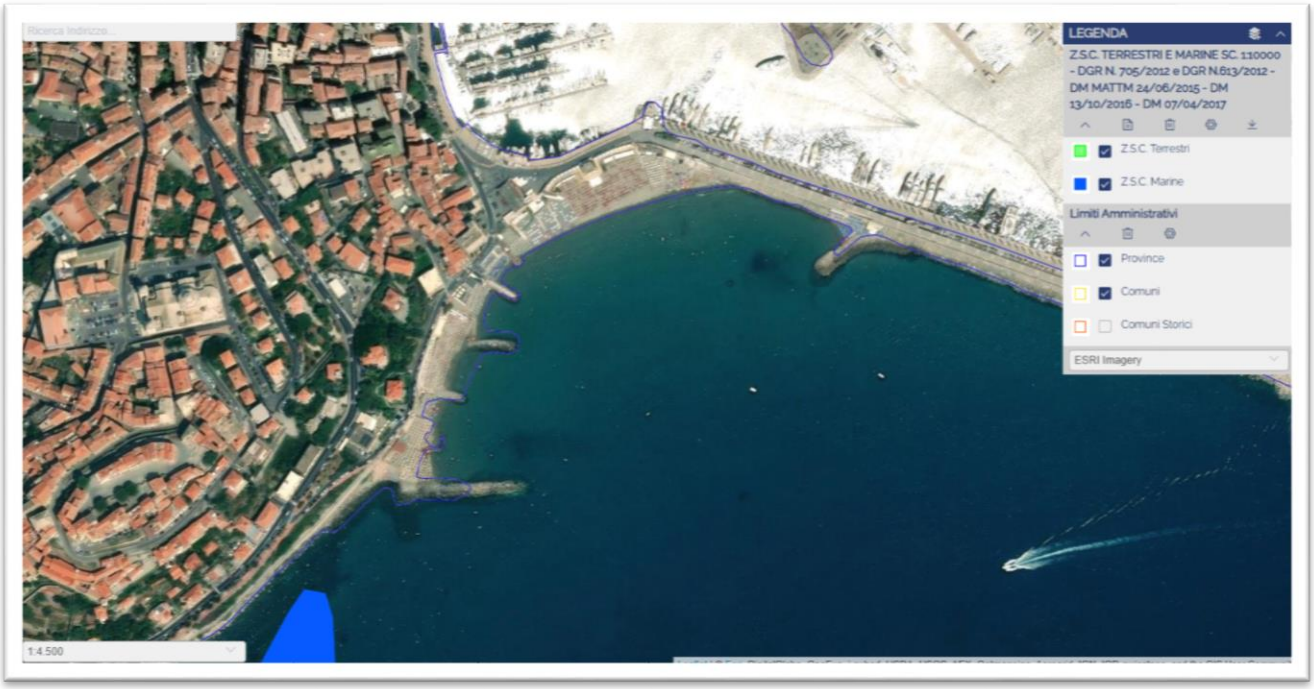


Fig. 8: raffigurazione dimostrante la non presenza di Z.S.C. marini/terrestri in corrispondenza dello specchio acqueo immediatamente antistante alla spiaggia.

3- Analisi del clima ondoso al largo

La conoscenza delle caratteristiche del moto ondoso che, associato a determinati periodi di ritorno, propaga dal largo verso riva, è fondamentale ai fini della definizione dei valori di risalita dell'onda presso l'arenile in esame ed in relazione ai quali è possibile, pertanto, stabilire l'entità della fascia dinamica della spiaggia emersa, ossia l'esposizione del tratto di costa considerato al fenomeno idraulico del run-up. L'individuazione del clima meteomarino al largo del tratto litoraneo oggetto di studio scaturisce dai dati elaborati dall'Università degli Studi di Genova (DICAT - 2008) e resi disponibili grazie alla D.G.R. n. 1616 del 19/12/2014 (Direttiva Europea n. 2007/60/CE del 23/10/2007) con la quale sono state approvate le mappature di pericolosità da inondazione marina sulla costa ligure elaborate per i tempi di ritorno pari a 50 e 100 anni ai sensi dell'art. 6 del D. Lgs n. 49/2010 e della relazione tecnica di "Descrizione del metodo di mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della Regione Liguria".

In particolare, tale strumento di pianificazione specifica le ondazioni al largo per l'intero tratto costiero ligure, suddividendo quest'ultimo in 4 zone omogenee e identificandone anche i valori che si riferiscono alla porzione litoranea denominata "zona 4" che comprende il sito d'interesse, come di seguito illustrato:

ZONA 4 DA CAPO MELE AL CONFINE FRANCESE **Settori di provenienza: grecale (al largo), levante, scirocco, mezzogiorno, libeccio**						
dir °N	TR (anni)					
	1		50		100	
	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)	H (m)	Tp (s)
45	2.6	6.9	4.9	9.4	5.2	9.7
90	1.6	5.4	3.1	7.6	3.4	7.8
135	1.1	4.4	2.9	7.2	3.1	7.5
180	1.2	4.6	3.1	7.5	3.4	7.9
225	3.8	8.3	6.7	11.0	7.2	11.4

Tabella 6: valori di altezza d'onda, periodo e direzione, associati ai diversi periodi di ritorno, derivati dallo studio UNIGE DICAT.

Nello specifico quindi la "zona 4" è ricompresa tra Capo Mele e il confine francese a Ponente, presentando un fetch geografico illimitato tra 180°N e 250°N, con traversia verso Est di circa 200 Km e verso Sud-Est pari a circa 150 Km. Tale area costiera risulta principalmente esposta ai mari da Sud-Ovest, Sud, Sud-Est ed in misura minoritaria anche ai mari da Est e da Nord-Est.

Le informazioni di moto ondoso al largo appena illustrate sono state ricavate sia da dati strumentali non direzionali corrispondenti a 7,5 anni di osservazioni orarie (1999-2006) ottenuti dalla stazione Meteomarina di METEOFRANCE al largo di Nizza (Francia) su profondità di oltre 2000 m, sia da dati esaorari direzionali ricostruiti nella posizione di coordinate geografiche lat. 43.6°N e long. 8.5°E (MEDATLAS-3) a profondità similare ma più esposta a mare aperto.

Per i mari direzionali sono stati utilizzati i valori di altezza d'onda e periodo dedotti dalle curve ottenute per settori di ampiezza di 30 gradi dei dati MEDATLAS-3, tenendo presente che la curva relativa allo Scirocco è valutata con fetch geografico sensibilmente ridotto rispetto al quale sarebbe esposta una boa virtuale posta su profondità di 100 m.

Il tratto costiero indagato sorge a circa 15 Km a Sud-Ovest dal limite di Ponente della "zona 4" rappresentato da Capo Mele, evidenziando così la pertinenza delle informazioni attinenti alle caratteristiche del moto ondoso su profondità cosiddetta infinita destinate alla presente analisi e tratte dall'Elaborato tecnico intitolato "Mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della Regione Liguria", che costituisce parte integrante dello Strumento di pianificazione suddetto al quale si rimanda per maggiori dettagli.

Successivamente si raffigura la posizione geografica della spiaggia tenuta in conto e situata presso il Comune di Imperia (IM), evidenziato contestualmente il limite a Nord-Est della citata "zona 4" di riferimento ai fini dell'individuazione delle agitazioni al largo:

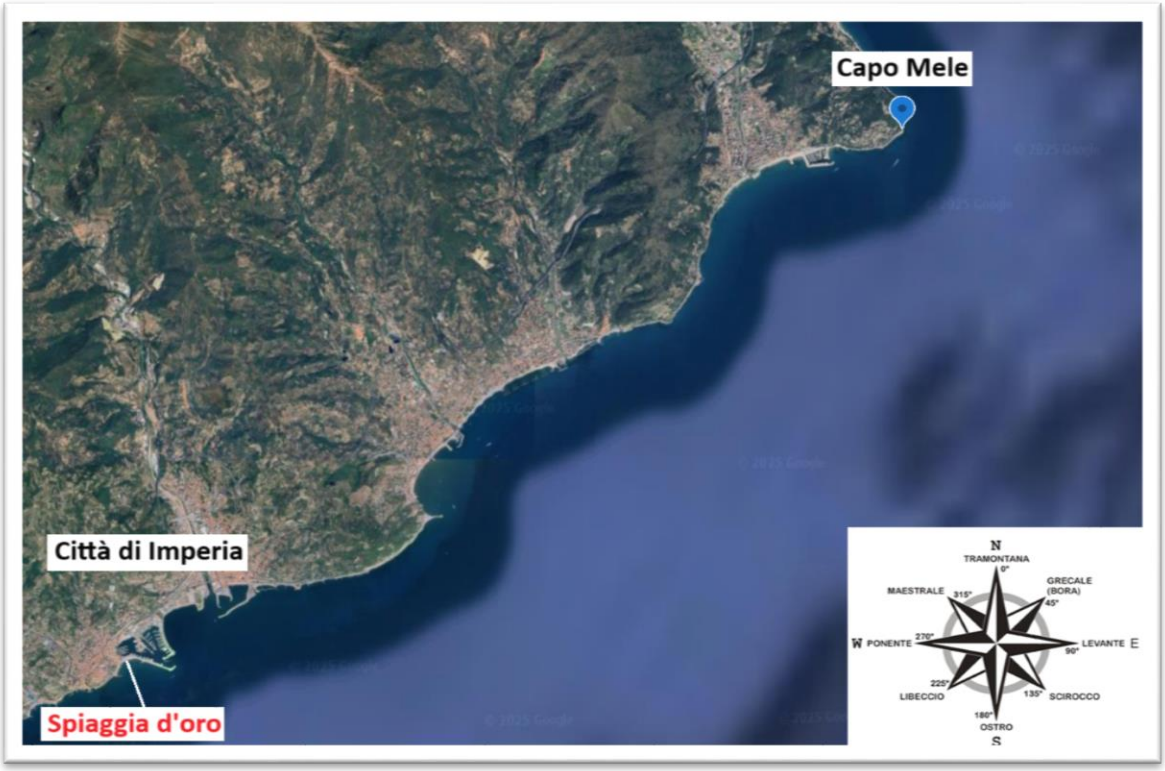


Fig. 9: localizzazione della Spiaggia d'oro rispetto al limite Nord-Ovest della zona 4 di riferimento per le ondazioni al largo tenute in conto.

4- Propagazione del moto ondoso dal largo verso riva

A partire dalle onde su profondità infinite riferite alla cosiddetta "zona 4" e mediante calcolazioni che ne hanno modellato la rispettiva propagazione evolutiva dal largo verso riva, è stato possibile definire il moto ondoso sulla costa d'interesse associato sia a differenti periodi di ritorno (1 anno, 50 anni e 100 anni) e sia a corrispondenti diverse direzioni di provenienza. Ai fini della definizione del clima meteomarino sottocosta e della rispettiva valutazione delle altezze d'onda incidenti e periodi di picco associati ai suddetti periodi di ritorno, è stato anche fatto riferimento allo studio condotto dall'Università di Genova (DICAT – 2008), di cui alla relazione di mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della Regione Liguria richiamata dalla D.G.R. n. 1616/2014. Nell'ambito di tale evoluzione del moto ondoso dal largo verso riva, si è considerata una sostanziale invarianza del periodo d'onda con corrispondenti modifiche presentate dalle altezze e lunghezze delle onde che si approssimano alla riva della spiaggia considerata. In particolare, nell'analisi dello sviluppo del moto ondoso incidente sul litorale, si sono tenuti in conto gli effetti originati dai due processi idraulici di rifrazione e shoaling, di cui rispettivamente il primo effetto è legato alla variazione della velocità di propagazione dell'onda che dipende dalla conformazione del fondale con conseguente rotazione del fronte d'onda, che tende a disporsi parallelamente alle

batimetriche sottocosta (tale processo appena richiamato avviene poiché nello sviluppo di uno stesso fronte d'onda si hanno diverse profondità e quindi diverse celerità dell'onda stessa che assecondano l'allineamento citato), mentre il secondo fenomeno sopra menzionato, ossia lo shoaling, consiste nell'aumento della ripidità dell'onda, dovuta alla variazione batimetrica, che conduce, per il principio della conservazione dell'energia, ad una variazione dell'altezza d'onda corrispondente ad un altrettanto mutamento di quota del fondale. Nello studio dello sviluppo del moto ondoso dal largo verso riva e, quindi, ai fini della quantificazione dei valori di run-up ricercati, non è stato prudenzialmente considerato l'effetto riduttivo, peraltro di modesta entità nel caso in esame, prodotto dall'attrito del fondale sull'altezza dell'onda (tale processo d'attrito sul fondo da parte dell'onda ne determina, infatti, una diminuzione in altezza, causata dalla rispettiva dispersione energetica, con conseguente attenuazione dell'intensità della rimonta ondosa).

Inoltre, come osservato al vero, il pennello che demarca a Sud-Ovest l'arenile esaminato determina l'attivazione di un processo diffrattivo agente sul moto ondoso incidente, con conseguente laminazione dell'energia relativa alle onde che, provenienti dai quadranti meridionali, raggiungono la porzione di spiaggia indicativamente compresa tra la citata opera difensiva e lo Stabilimento balneare denominato "Bagni Mané" (tale effetto non sembra influenzare, invece, i fronti d'onda che, distaccati dal suddetto molo, raggiungono direttamente la restante parte d'arenile sviluppata verso Nord-Ovest).

Vale la pena di osservare che il pennello a Sud-Ovest della spiaggia è anche soggetto a tracimazione da parte del moto ondoso da Libeccio che vi incide quasi ortogonalmente (tale condizione contribuisce al fenomeno di rimonta dell'onda sui tratti d'arenile retrostanti).

Inoltre, si segnala l'incidenza da parte del moto ondoso da Scirocco che, per diffrazione causata dal molo di lunghezza pari a circa 70 m che sorge sul lato mare dell'opera di difesa denominata molo lungo e posta a protezione della Marina di Imperia, interviene, seppur con residua intensità, in corrispondenza della spiaggia immediatamente a tergo del pennello stesso. Quest'ultimo non sembra tuttavia avere effetti significativi sulle ondazioni che agiscono presso il tratto costiero in esame.

La traversia considerata è nel complesso formata prevalentemente dagli eventi ondosi al largo provenienti dal secondo e terzo quadrante, risultando compresa approssimativamente nell'intervallo 45° ÷ 225° N, nonché limitata a Nord-Est dal Capo Berta e a Sud-Ovest dalla protrusione di Prima Punta sita nel Comune di San Lorenzo al Mare. Si specifica comunque che la traversia principale, presso il sito in esame, è compresa indicativamente nel range 135° ÷ 225° N,

risultando così la traversia secondaria riconducibile all'intervallo 45° ÷ 135° con relative ondazioni di minore significatività.

Le risultanze ottenute dalle calcolazioni svolte e destinate all'individuazione dei principali parametri d'onda hanno dimostrato un soddisfacente accordo con le corrispondenti caratteristiche del moto ondoso valutato fino all'isobata di -15 m s.l.m.m. e indicate in allegato n. 1 alla suddetta D.G.R. n. 1616/2014. In particolare, quest'ultime analisi regionali di riferimento hanno valutato la propagazione del moto ondoso da largo verso riva mediante l'utilizzo del modello di calcolo numerico "Mike 21", con la collaborazione dell'ARPAL, tenendo in conto di aspetti tra cui i diversi valori di input delle altezze d'onda al largo, la differente esposizione dei tratti di costa ligure, le dimensioni delle griglie operative di calcolo, l'influenza della struttura fisica costiera limitrofa sul processo di rifrazione.

A tal fine, nell'ambito della schematizzazione regionale la costa ligure è stata suddivisa in 8 tratti con caratteristiche simili ai fini della modellazione, di cui quello d'interesse ricade nel settore costiero denominato "G" e compreso tra il Capo Santa Croce (sito a Nord di Capo Mele) e la Marina degli Aregai (situata presso il Comune di Santo Stefano al Mare (IM)). Le simulazioni di propagazione del moto ondoso, condotte nei modelli di calcolo di Regione Liguria, sono state effettuate attraverso l'utilizzo del modulo di calcolo Spectral Wave, propagando le onde di input su un reticolo a maglie triangolari, derivato dalle informazioni batimetriche dei fondali fornite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare. Nelle raffigurazioni che seguono si evidenzia la posizione di calcolo "Mike 21" n. 187 sita alla batimetrica di -15 m s.l.m.m. ed i cui parametri d'onda (altezza d'onda significativa H_s, periodo di picco T_p e direzione °N d'incidenza) risultano ben allineati a quelli desunti dalle calcolazioni eseguite nell'ambito del presente studio:

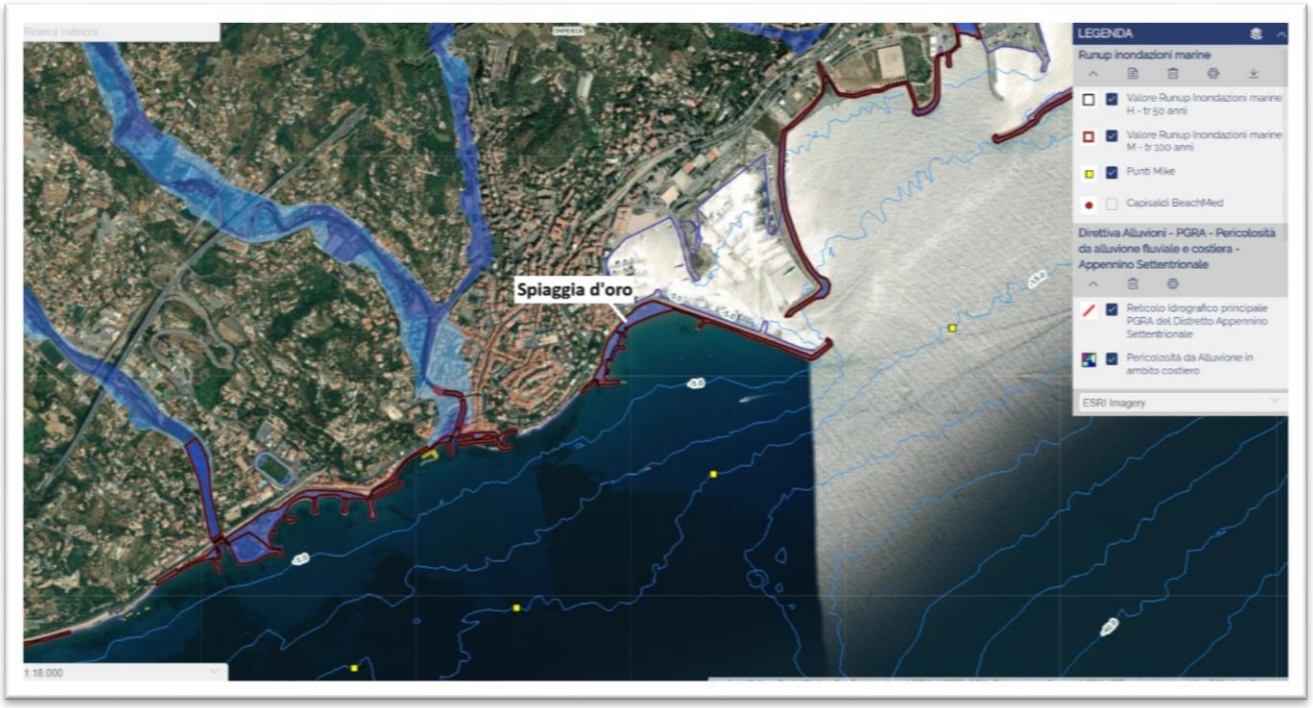


Fig. 10: visione d'insieme dei punti "Mike 21" individuati all'isobata di -15 m s.l.m.m. ed antistanti alla costa ove ricade l'arenile d'interesse.

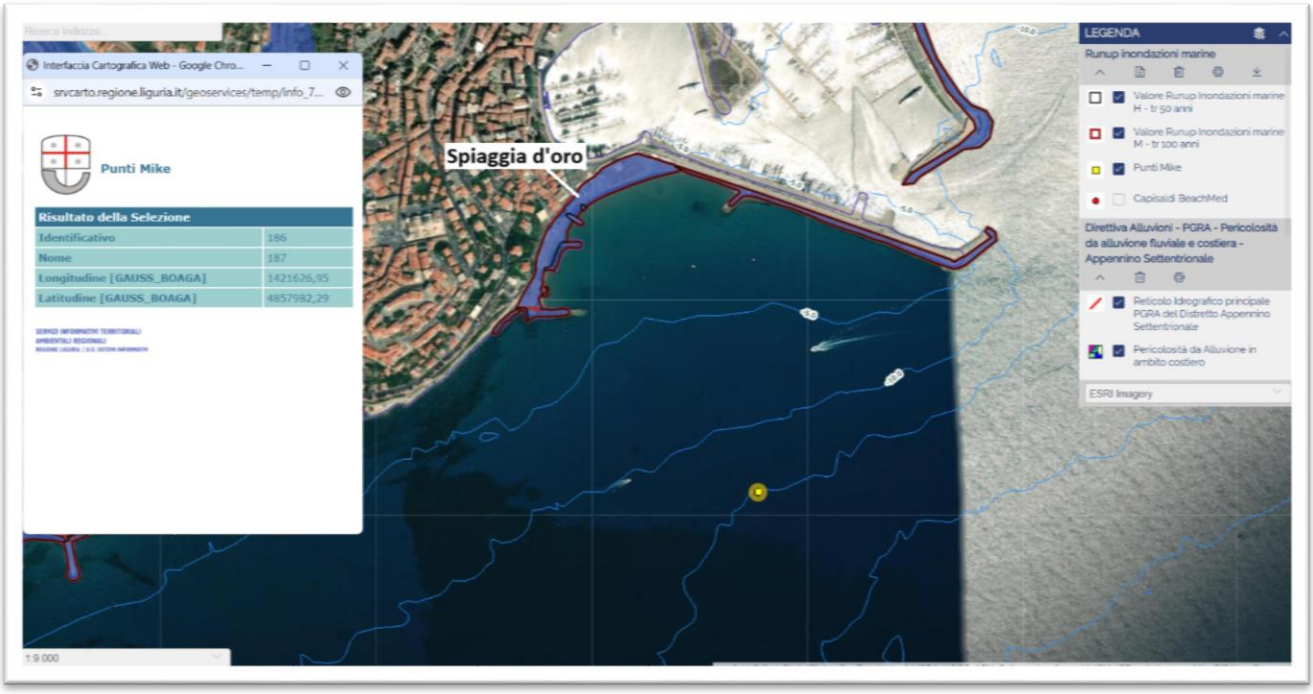


Fig. 11: localizzazione di dettaglio del punto "Mike 21" cod. 187 sito in posizione antistante alla Spiaggia d'oro.

Ritenendo, pertanto, validamente rappresentative le ondazioni definite dai calcoli condotti e rilevando la sostanziale congruità dei parametri idraulici associati alle stesse con i corrispondenti di moto ondoso all'isobata di -15 m s.l.m.m. di cui al suddetto allegato n. 1 alla D.G.R. n. 1616/2014,

tali valori computati e relativi alle onde incidenti sul litorale in esame sono stati impiegati ai fini della stima dell'entità dei correlati fenomeni di risalita sulla spiaggia d'interesse (si precisa che, come si vedrà nel seguito, una delle teorie adottate per la stima dei valori di rimonta dell'onda considera il moto ondoso al largo). A tale proposito, nella seguente tabella riepilogativa, si riportano le entità computate di altezze d'onda H_{sr15} e dei rispettivi periodi di picco T_{P15} (questi ultimi calcolati con la relazione matematica: $T_{P15} \cong 8.5 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{H_{sr15}}{4 \cdot g}}$, ove H_{sr15} corrisponde all'altezza dell'onda propagata per shoaling-rifrazione alla profondità di -15 m s.l.m.m.) individuate alla batimetrica di -15 m s.l.m.m. ed associate a periodi di ritorno significativi per le direzioni di propagazione ondosa selezionate:

Parametri dell'onda incidente calcolati alla batimetrica di -15 m s.l.m.m.						
Dir. °N	**Periodo di ritorno 1 anno**		**Periodo di ritorno 50 anni**		**Periodo di ritorno 100 anni**	
	H_{sr15} (m)	T_{P15} (s)	H_{sr15} (m)	T_{P15} (s)	H_{sr15} (m)	T_{P15} (s)
135	1.1	4.4	2.7	6.9	2.8	7.1
180	1.2	4.6	2.9	7.2	3.1	7.6
225	3.3	7.8	5.6	10.1	6.1	10.5

Ai fini della stima indicativa dei valori di battente idrico e rispettivi volumi specifici delle portate fluide, tali parametri di moto ondoso sono stati ulteriormente propagati a riva per l'identificazione delle condizioni di frangimento dell'onda, tenendo in conto dei processi idraulici sopra descritti e delle pendenze medie della spiaggia nei considerati profili invernale ed estivo.

5. Aspetti geomorfologici e considerazioni sulla morfoevoluzione della spiaggia

L'assetto geomorfologico litoraneo della Liguria è da attribuirsi ad una serie di eventi geodinamici dei periodi neogenico-quaternario che hanno visto la strutturazione dei margini ligure e Nord tirrenico. Tali fenomeni, ai quali si sono sovrapposti gli effetti della dinamica esogena (forzanti atmosferiche, ecc.) e dei condizionamenti paleoclimatici, hanno sostanzialmente impostato le caratteristiche fisiografiche attuali della fascia costiera ligure che è contraddistinta da una notevole variabilità dell'assetto costiero (U. Simeoni et al. 2012). Essa presenta infatti, una costa alta che racchiude, tra promontori aggettanti in mare, piccole spiagge ciottolose (pocket beaches), che costituiscono il fronte-mare di ridotte pianure costiere in cui sfociano corsi d'acqua a carattere torrentizio che nonostante le contenute portate liquide possono trasportare, specialmente in periodi di piena, notevoli quantità di sedimenti dalle catene montuose retrostanti. A Ponente si sviluppano le coste rocciose alpine che rappresentano, dal Pliocene medio in poi, un settore di

catena in sollevamento. In generale, quindi, le spiagge liguri sono rappresentate, con un'ampia variabilità, da pocket beaches le cui dimensioni sono da porsi in relazione più a condizionamenti strutturali che a processi sedimentari progradazionali (U. Simeoni et al. 2012).

Le cause dell'erosione delle spiagge liguri nel corso dell'ultimo secolo sono riconducibili essenzialmente alla carenza di trasporto solido da parte dei corsi d'acqua, determinata da due fattori principali: il primo climatico, il secondo antropico, dovuto cioè all'azione di regimazione dei versanti e soprattutto ai prelievi di materiale in alveo.

Tali prelievi hanno raggiunto quantitativi eccezionali nel secondo dopoguerra e solo alla fine del XX secolo scorso sono stati gradualmente vietati. Tali processi erosivi sono stati parzialmente compensati dall'apporto inerte a mare effettuate in occasione della costruzione di grandi opere strutturali, come la rete autostradale ed il raddoppio della ferrovia costiera. Come indicativamente rappresentato dalla raffigurazione seguente estratta dal sito SICoast della Regione Liguria (link del sito: https://srvcarto.regione.liguria.it/geoservices/apps/viewer/pages/apps/sicoast/), la spiaggia complessivamente denota negli ultimi anni una certa tendenza erosiva (ben evidente nel periodo 2013 ÷ 2019) nel tratto Sud compreso tra il pennello d'estremità e il molo antistante allo Stabilimento balneare denominato "Spinnaker" ed una sostanziale invarianza della linea di costa nella restante porzione Nord, con una correlata lieve rotazione in senso orario sperimentata nel tempo dalla riva dell'arenile trattato (soprattutto rilevabile dal 2003 al 2019).

Tale condizione dimostra e conferma, tenendo in conto della condizione erosiva sottoflutto al pennello Sud, una maggiore sensibilità morfologica della porzione costiera indagata ad incidenze ondose correlate a mari sospinti da Venti di Libeccio, i quali peraltro sono associati a fetches più estesi rispetto a quelli attribuiti ai mari sviluppati da Venti di Scirocco ed Ostro. La spiaggia non appare in equilibrio con le condizioni idrodinamiche che ne influenzano l'assetto, per cui, in concomitanza di eventi meteomarini più intensi, le ondazioni che giungono all'arenile stesso possono non incidervi ortogonalmente alla rispettiva linea di riva (non è esclusa, inoltre, la presenza di deboli correnti provocate dal gradiente longshore dell'altezza d'onda e di puntuali rip currents di limitata intensità, quest'ultime favorite anche dalla presenza di opere trasversali presenti in corrispondenza della porzione Sud del tratto litoraneo considerato).



Fig. 12: indicazione dell'evoluzione morfologica dal 2003 al 2022 della linea costiera presso la Spiaggia d'oro.

Si osserva, altresì, che la porzione litoranea immediatamente a Sud-Ovest del tratto studiato è stata oggetto di una serie di interventi di ripascimento stagionale di cui l'ultimo più recente pare risalga al 2007, come da cartografia regionale successivamente riportata:

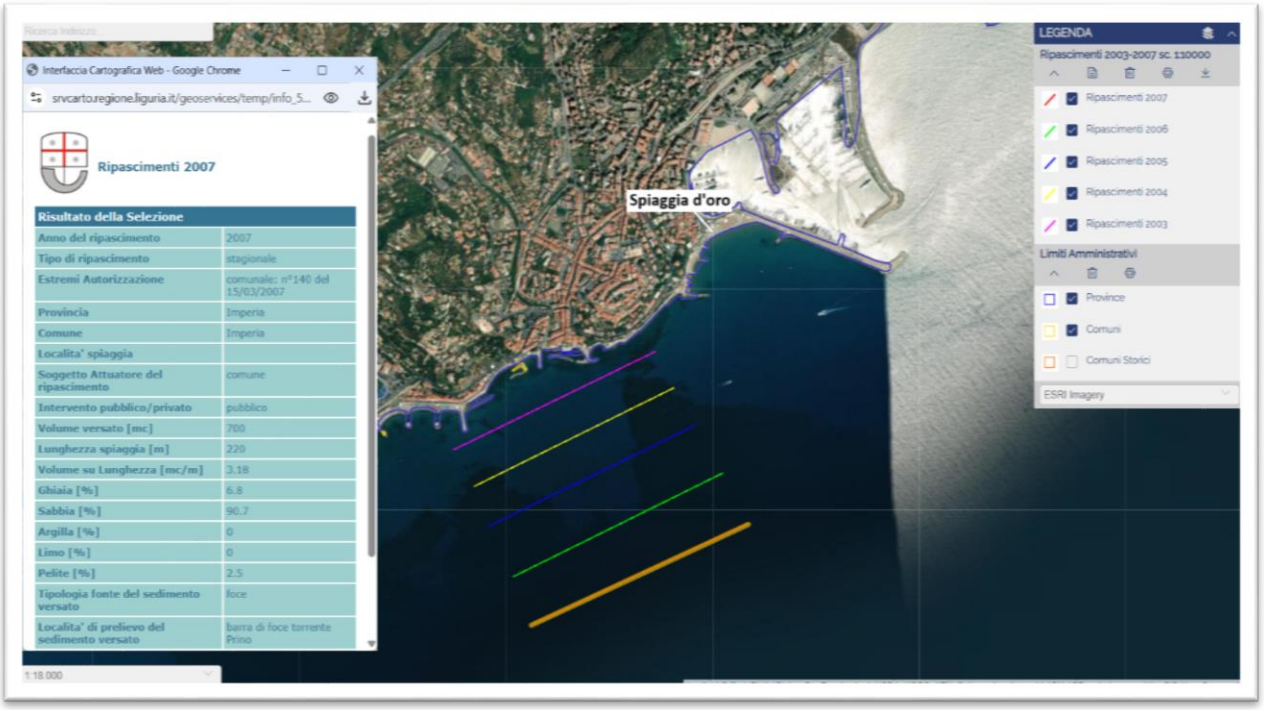


Fig. 13: serie di interventi di ripascimento stagionale relativi al tratto costiero a Sud-Ovest della Spiaggia d'oro.

Data l'attuale conformazione della spiaggia delimitata da due strutture artificiali che ne definiscono l'estensione a Ponente e a Levante, l'arenile stesso è definibile quale pocket beach antropico poiché, ancorché racchiuso tra opere difensive aggettanti, l'andamento planimetrico generale e l'evoluzione della linea di riva a breve termine sono analoghi a quelli di pocket beaches naturali (U. Simeoni et al. 2012).

Inoltre, il tratto litoraneo analizzato risulta, peraltro, contraddistinto da un valore di embayment pari a circa 175 m, ossia una lunghezza della linea immaginaria che congiunge il punto di massima curvatura dell'arenile esaminato, con la corrispondente linea di apertura unente le sue rispettive estremità, come riportato da A. H. da F. Klein et al. (2002).

Da analisi fotografiche condotte anche con l'ausilio di droni aerei e tenendo in conto anche della conformazione della spiaggia in esame, in linea di massima sembrerebbe che quest'ultima non sia interessata dalla formazione di rilevanti accumuli di sedimenti localizzati tali da evidenziare variazioni sostanziali delle profilazioni stagionali.

6.Valutazione dell'intensità del moto ondoso incidente

Precisando come, in generale, l'incidenza ondosa provocata da mari sospinti da Venti di Libeccio, questi ultimi provenienti da Sud-Ovest, siano associati ad un moto ondoso tradizionalmente ben sviluppato, data la rilevanza del rispettivo fetch efficace ed al quale corrispondono forzanti d'onda di elevata intensità, ai fini della presente analisi è essenziale definire l'innalzamento del livello medio del mare causato sia dal fenomeno di frangimento scaturente dalla propagazione verso riva presso la fascia dei frangenti, sia dagli effetti sia mareali astronomici e sia provocati dal vento che interviene presso il tratto costiero osservato. In considerazione dei tempi di ritorno associati alle ondazioni a riva e conseguentemente ai valori di run-up, è necessario aggiungere agli effetti di sovralzo appena citati anche quello generato dall'innalzamento dei mari provocato dal riscaldamento globale (cosiddetto sea level rise).

Si precisa che, in una logica del tutto cautelativa che denota il presente calcolo dei valori di run-up, le entità complessive d'innalzamento del mare S comprensive degli apporti appena richiamati, sono associate, in funzione dei rispettivi tempi di ritorno presi in esame, ai corrispondenti sopralzi di marea astronomica, attribuendo, quindi, un accadimento simultaneo a questi stessi processi idraulici appena citati, che si assume agiscano contemporaneamente nel determinare il fenomeno analizzato di rimonta dell'onda.

Successivamente si riportano le valutazioni eseguite al fine di quantificare i parametri del moto ondoso che origina il fenomeno di risalita studiato.

6.1 Set-up d'onda

Il sovralzo generato dal moto ondoso S_w che, in condizioni di frangimento, raggiunge la costa è stimabile a partire dalle condizioni di moto ondoso al largo secondo la seguente relazione empirica proposta da H.F. Stockdon et al. (2006):

$$S_w = 0.35\ tan(\beta_f)\ \sqrt{H_0 L_{0p}}$$

ove $tan(\beta_f)$ rappresenta la pendenza della faccia della spiaggia, H_0 rappresenta l'altezza d'onda al largo corrispondente alla direzione d'attacco e al periodo di ritorno presi a riferimento e L_{0p} è la corrispondente lunghezza d'onda su profondità infinita calcolata applicando la seguente relazione che considera il relativo periodo di picco T_p: $L_{0p} = \frac{gT_p^2}{2\pi}$ (come precedentemente indicato, sia H_0 e sia T_p sono parametri forniti da Regione Liguria ai sensi della D.G.R. n. 1616/2014).

I valori di innalzamento da moto ondoso ricavati mediante la sopraindicata formulazione non considerano gli effetti di sovralzo generati dal surriscaldamento terrestre di cui si è tenuto in conto separatamente, come successivamente illustrato.

6.2 Set-up mareale

Il dato di marea astronomica tenuto in conto nell'ambito della presente analisi è stato ricavato dalle acquisizioni disponibili effettuate dalla stazione mareometrica della Rete Mareografica Nazionale (Istituto I.S.P.R.A.) di cui alla scheda sotto raffigurata che ne evidenzia l'ubicazione nella Marina di Imperia presso il Molo Corto (Lat. 43° 52' 42.02" Long. 08° 01' 07.91"):

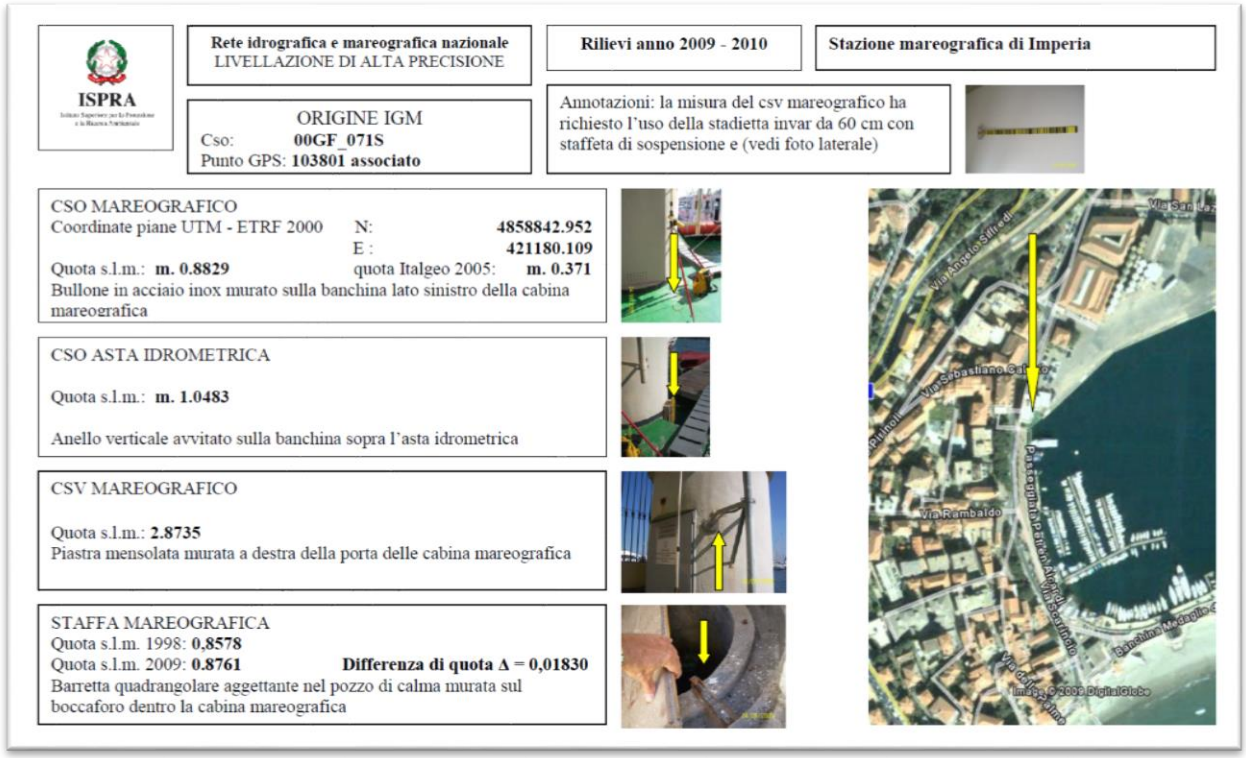


Fig. 14: scheda identificativa della stazione mareometrica di riferimento sita presso la Marina di Imperia.

Dall'estrazione dei dati a disposizione forniti dallo strumento da inizio rilevazioni ad oggi è stato possibile rilevare un valore massimale di innalzamento mareale S_{marea} pari a +0.7 m s.l.m.m., considerato nelle calcolazioni di risalita d'onda sviluppate.

6.3 Set-up da vento

È possibile esprimere l'effetto di sovralzo riconducibile al vento S_{wind} mediante la seguente relazione sperimentale proposta dal U.S. Army Corps of Engineers , con la quale si è prudenzialmente tenuto in conto di una direzione di propagazione del moto ondoso concorde a quella del vento stesso:

$$S_{wind} = \frac{0.00375 \cdot \rho_{aria} \cdot V_{vento}^2 \cdot F}{\rho_{acqua} \cdot g \cdot d}$$

nella quale V_{vento} rappresenta la velocità del vento considerata in condizioni associate ai rispettivi tempi di ritorno valutati, ρ_{aria} è la densità dell'aria assunta pari a 1.25 Kg/m3, ρ_{acqua} rappresenta la densità dell'acqua marina equiparata a 1030 Kg/m3, F è il fetch efficace valutato in m e d corrisponde alla profondità in m alla quale il livello marino non risente dell'effetto di set-up analizzato.

6.4 Sea level rise

A partire dai dati previsionali resi disponibili dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (I.P.C.C.) e tenendo in conto sia i periodi di ritorno di riferimento per il calcolo dei valori di run-up sia di una media tra gli scenari previsionali RCP2.6 (condizione maggiormente ottimistica) e RCP8.5 (condizione maggiormente pessimistica), è stato possibile stimare, rispetto allo stato attuale, le entità dell'innalzamento marino medio causato dal surriscaldamento globale (A. Vecchio et al. 2024).

Data la statistica degli eventi d'onda considerati, l'assunzione d'accadimento concomitante del sea level rise è assolutamente a favore di sicurezza.

Successivamente si riporta, a titolo esemplificativo, un grafico che descrive qualitativamente gli andamenti previsionali appena richiamati:

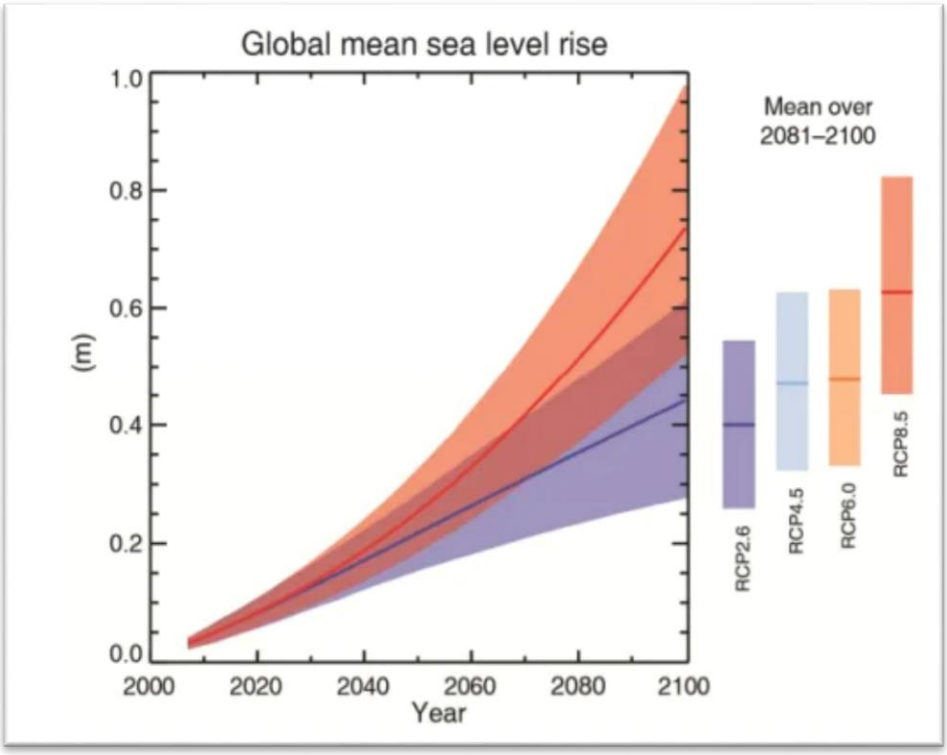


Fig. 15: andamento qualitativo delle curve previsionali relative al sovralzo medio del mare provocato dal riscaldamento globale (sea level rise).

6.5 Sovralzi complessivi medi sottocosta

Sulla base delle valutazioni effettuate è, quindi, possibile stabilire i corrispondenti valori di innalzamento medio sottocosta associati agli effetti di set-up d'onda, set-up da vento e sea level rise (escludendo, a favore di sicurezza, locali influenze diffrattive), ai quali sarà successivamente aggiunto, in sede di calcolo dei run-up e dell'altezza d'onda al frangimento H_f, il suddetto sovralzo

mareale. I valori complessivi stimati di set-up S_{tot} sono dipesi anche dalla pendenza trasversale del profilo di spiaggia considerato e variano, per eventi centennali, da 1.5 m a 2.4 m sottocosta, mentre per incidenze annuali sono risultati sempre minori di 1 m.

6.6 Effetto diffrattivo sul moto ondoso sottocosta

Come precedentemente richiamato, l'incidenza d'onda per mari da Libeccio a Scirocco è parzialmente influenzata dalla presenza del pennello che a Sud-Ovest demarca lo sviluppo planimetrico complessivo della spiaggia. Come anche da osservazioni al vero, tale opera genera un effetto diffrattivo sulle ondazioni che, raggiungendo il tratto costiero d'interesse, vi si trovano in diretta e ravvicinata interazione. Questo disturbo del moto ondoso che raggiunge la riva risulta operare in misura maggiore sulle ondazioni da Libeccio ed in maniera meno marcata sul moto ondoso da Sud-Est, divenendo pressoché inconsistente per i rispettivi fronti d'onda maggiormente distaccati dalla citata struttura difensiva e che raggiungono l'arenile a partire dalla porzione d'arenile su cui insistono i "Bagni Mané". Ai fini della stima dei valori di run-up presso la porzione di spiaggia dei "Bagni Oneglio" e del tratto a libera balneazione limitrofo è stato considerato l'ulteriore processo diffrattivo indotto dal piccolo pennello di lunghezza pari a circa 40 m sulle ondazioni che propagano presso tale tratto d'arenile.

Il piccolo pennello che sorge sul lato mare del molo lungo a protezione della Marina di Imperia non produce effetti diffrattivi di significativa entità sulle ondazioni che raggiungono la Spiaggia d'oro, ma condiziona minimamente i mari da Scirocco che, ruotando in testata all'opera, intervengono così in modo del tutto attenuato presso la piccola insenatura sita a tergo della struttura difensiva stessa.

Il presente studio ha tenuto in conto i suddetti processi dissipativi mediante la definizione di opportuni coefficienti di diffrazione ricavabili da tabulazioni di cui al Manuale tecnico di riferimento Shore Protection Manual Vol. I (1984) e che consentono di modellare la riduzione d'energia, quindi di altezza d'onda, sperimentata dal moto ondoso che giunge alla spiaggia interagendo direttamente con le opere trasversali che ne contraddistinguono il rispettivo assetto morfologico.

6.7 Effetto delle basse profondità sul moto ondoso

Tenendo in conto dell'atteso verificarsi del processo di frangimento prima del raggiungimento della spiaggia d'interesse da parte delle onde incidenti, come da calcoli eseguiti e supportati da osservazioni in sito, le analisi sviluppate considerano l'effetto indotto dalle basse profondità sul moto ondoso che approccia all'arenile, incrementandone prudenzialmente i valori di run-up e valutando che le rispettive maggiori altezze d'onda non sono più inquadrabili secondo la distribuzione di Rayleigh assegnabile ad ondazioni al largo (J.W. Van der Meer et al. 1992).

6.8 Valutazione altezza d'onda al frangimento

La conoscenza dei parametri d'onda relativi al moto ondoso che, soggetto a diffrazione laddove vi sia interazione con le presenti opere protettive, raggiunge in condizioni di frangimento la spiaggia in questione, permette di supportare la valutazione delle massime velocità di risalita v_{max} dei volumi d'acqua che risalgono l'arenile stesso nell'ambito dei fenomeni di run-up, in funzione delle direzioni d'attacco d'onda e dei rispettivi periodi di ritorno considerati dal presente studio. In generale, la celerità con la quale avviene il fenomeno della rimonta dell'onda sulla spiaggia è influenzata dai processi di frangimento e di impatto del moto ondoso sul tratto costiero d'interesse. Inoltre, la conoscenza dell'elevazione d'onda al piede dell'arenile (in questo caso l'altezza del moto ondoso al frangimento H_f) è utilizzata in uno dei modelli empirici adottati ai fini della stima della corrispondente rimonta sulla spiaggia.

È possibile quantificare le entità dell'elevazioni ondose al frangimento H_f presso il tratto di litorale in esame, adottando la trattazione empirica sviluppata da J.W. Kamphuis (2020), come da rispettiva relazione sperimentale di seguito riportata, nonché ricavata per onde irregolari alle basse profondità e verificata attraverso svariate prove di laboratorio che ne confermano la validità per casistiche quali quella affrontata:

$$H_f = \left(S_{tot} + S_{marea} + 0.1 \cdot H_{sf}\right) \cdot 0.56 \cdot exp(3.5 \cdot m)$$

nella quale, unitamente al termine dell'innalzamento medio complessivo sottocosta S_{tot} già definito, il sopralzo mareale è considerato rispettivamente pari ai valori +0.7 m s.l.m.m., il parametro m rappresenta la pendenza media del fondale antistante la spiaggia nei rispettivi periodi invernale ed estivo, ed infine l'elemento H_{sf} denota l'elevazione dell'onda di shoaling e rifrazione che frange nella fascia più al largo, come quantificata nell'ambito del presente Studio mediante calcolazioni al primo ordine di approssimazione1.

Nello schema di sintesi successivamente rappresentato, si riportano i valori dell'altezza d'onda al frangimento stimate al piede del tratto litoraneo in esame e corrispondenti ai periodi di ritorno tenuti in conto, nonché alle pendenze m del fondale antistante alla spiaggia:

NOTA 1: tale termine permette di considerare le complicate interazioni non lineari d'incidenza di onde di mare vivo e onde swell, gli effetti riflessivi del moto ondoso incidente e le rispettivi fluttuazioni verso riva del l.m.m..

Altezze d'onda al frangimento H_f verso riva [m]					
Periodi di ritorno [anni]	**Sezioni**	**Pendenze medie fondale m valutata fino all'isobata di circa -5 m s.l.m.m.**	**Libeccio**	**Ostro**	**Scirocco**
1	1	1,47%	0,73	0,72	0,82
	2	2,49%	0,81	0,76	0,87
	3	2,11%	0,85	0,77	0,88
	4	1,76%	0,88	0,77	0,91
	5	1,58%	0,90	0,77	0,91
	6	1,57%	0,89	0,77	0,89
	7	1,46%	0,88	0,77	0,90
	8	1,65%	1,10	0,85	0,94
	9	1,69%	1,01	0,82	0,90
	10	1,73%	0,97	0,81	0,89
	11	1,71%	0,96	0,81	0,89
	12	1,20%	0,98	0,80	0,84
50	1	1,47%	1,07	1,00	1,23
	2	2,49%	1,19	1,07	1,32
	3	2,11%	1,28	1,11	1,37
	4	1,76%	1,33	1,13	1,43
	5	1,58%	1,35	1,14	1,44
	6	1,57%	1,34	1,13	1,40
	7	1,46%	1,32	1,12	1,43

Altezze d'onda al frangimento H_f verso riva [m]					
Periodi di ritorno [anni]	**Sezioni**	**Pendenze medie fondale m valutata fino all'isobata di circa -5 m s.l.m.m.**	**Libeccio**	**Ostro**	**Scirocco**
		1,65%	1,70	1,32	1,55
		1,69%	1,51	1,25	1,44
	10	1,73%	1,46	1,21	1,40
	11	1,71%	1,46	1,21	1,39
	12	8	1,49	1,21	1,28
100	1	9	1,39	1,35	1,51
	2	2,49%	1,53	1,44	1,61
	3	2,11%	1,62	1,47	1,65
	4	1,76%	1,68	1,49	1,72
	5	1,58%	1,70	1,50	1,73
	6	1,57%	1,68	1,50	1,68
	7	1,46%	1,66	1,48	1,71
	8	1,65%	2,05	1,69	1,84
	9	1,69%	1,86	1,61	1,72
	10	1,73%	1,81	1,58	1,68
	11	1,71%	1,81	1,58	1,67
	12	1,20%	1,84	1,58	1,56

7. Valutazione dei run-up presso la Spiaggia d'oro

Secondo R.M. Sorensen (2006) la rimonta dell'onda su una struttura ovvero in corrispondenza di una spiaggia, può generalmente essere definita come l'elevazione verticale misurata dal livello di quiete e raggiunta dalla massa d'acqua risalente sul versante della struttura o dell'arenile, presso cui avviene l'incidenza ondosa.

Successivamente si raffigura una rappresentazione schematica del fenomeno idraulico appena definito, così come ripresa da R.M. Sorensen (2006):

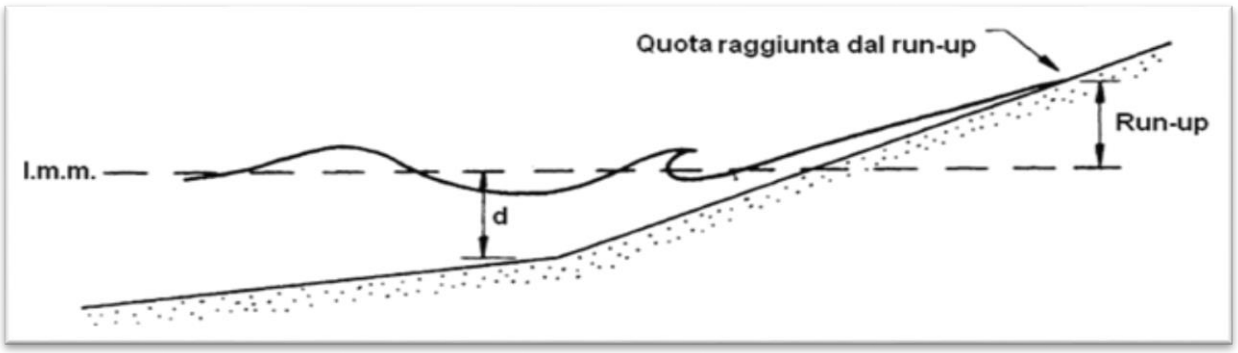


Fig. 16: schema grafico rappresentante il significato del run-up.

7.1 Profili della spiaggia emersa

Le calcolazioni eseguite per definire i valori ricercati di rimonta dell'onda sono anche basate sull'individuazione delle pendenze medie associate alle porzioni emerse della spiaggia nelle varie sezioni in esame, così come acquisite nell'ambito di una recente campagna d'indagine topografica eseguita nel luglio 2025[2]:

	PENDENZE MEDIE DELLA SPIAGGIA EMERSA
Sezione 1	2,88%
Sezione 2	3,96%
Sezione 3	5,24%
Sezione 4	5,98%
Sezione 5	6,20%
Sezione 6	6,89%
Sezione 7	6,59%
Sezione 8	9,24%
Sezione 9	5,68%

NOTA 2: la quantificazione delle pendenze medie presentata dalla parte emersa dell'arenile, consente di analizzare la variabilità del fenomeno idraulico in esame che risulta proporzionale sia alla ripidità trasversale della spiaggia, sia al periodo dell'onda responsabile del processo di risalita studiato.

	PENDENZE MEDIE DELLA SPIAGGIA EMERSA
Sezione 10	4,40%
Sezione 11	4,28%
Sezione 12	5,24%

Dalle informazioni acquisite anche da osservazioni in sito, sembra che l'arenile non sia generalmente interessato da significative variazioni stagionali delle pendenze trasversali, fatte salve locali alterazioni cronologicamente circoscritte.

Tale condizione è anche supportata dalla ripidità del fondale antistante alla spiaggia che si presenta con un'acclività media inferiore al 2%.

7.2 Approccio di calcolo

A tutte le entità di risalite ondose valutate dal presente studio, in coerenza con una logica di calcolo assolutamente prudenziale ed al fine di tenere in conto le incertezze correlate alla definizione delle grandezze fisiche considerate nella stima dei valori di run-up, è stato sempre applicato un coefficiente numerico di amplificazione dell'intensità del fenomeno idraulico analizzato.

Questo termine moltiplicativo assunto pari a 1.2 ha permesso di comprendere gli effetti generati sul moto ondoso dalle basse profondità antistanti al tratto costiero osservato e la deviazione standard associata al calcolo progettuale di risalita dell'onda previsto dal Manuale di riferimento EurOtop del 2018 intitolato "EurOtop - Manual on wave overtopping of sea defences and related structures".

Inoltre, pur tenendo in conto dei processi diffrattivi indotti dalle opere poste a difesa dell'arenile sul moto ondoso che vi si approssima, si precisa come ai fini della stima dell'entità di run-up sono state cautelativamente tenute in conto incidenze d'onda ortogonali alla linea di riva, presso le varie sezioni analizzate.

Precisando come, in conformità alla Letteratura tecnica di riferimento, tutti i valori di run-up calcolati e indicati con $R_{u2\%}$ siano associati ad una probabilità di superamento del 2%, nei successivi paragrafi si presentano i modelli sperimentali impiegati dal presente studio per definire le entità ricercate di rimonta dell'onda.

L'impiego di svariati schemi di calcolo empirici finalizzati alla stima dei run-up consente di traguardare una maggiore definizione del processo idraulico indagato, esaminando sia l'affidabilità delle formulazioni stesse, sia la loro rispettiva adattabilità al caso analizzato.

7.3 Modello di Van der Meer et al. (1992) – Van der Meer (1998)

L'espressione sperimentale proposta da J.W. Van der Meer et al. (1992) – J.W. Van der Meer (1998) per il calcolo del run-up $R_{u2\%}$ e richiamata in Letteratura, comprende la deviazione standard riguardante i risultati ottenuti in laboratorio, che hanno a loro volta permesso di estrapolare questa stessa equazione successivamente indicata:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_f} = 1.61 \cdot \xi_{0p}$$

valida per pendenze trasversali inferiori a 1:2.5, come nel caso della spiaggia emersa in esame.
In tale relazione empirica i termini riportati assumono i seguenti rispettivi significati:

- H_f rappresenta l'altezza d'onda al frangimento come precisata dal precedente § 6.8;
- $\xi_{0p} = \frac{tg(\beta_f)}{\sqrt{\frac{H_f}{L_{0p}}}}$, ove $tg(\beta_f)$ rappresenta la ripidità media della porzione emersa della spiaggia (come indicato anche dal Coastal Engineering Manual - Part. II - 2003), nelle varie sezioni rilevate e $L_{0p} = \frac{gT_p^2}{2\pi}$ denota la lunghezza d'onda calcolata con il periodo di picco $T_p \cong 8.5\pi\sqrt{\frac{H_f}{4g}}$ nella fascia di frangimento alla base della spiaggia.

7.4 Modello di R.A. Holman (1986)

La metodologia di valutazione della risalita dell'onda $R_{u2\%}$ suggerita da R.A. Holman (1986) deriva da dati raccolti in campo mediante rilevazioni video (Duck, N.C. - U.S.A.) ed elaborati statisticamente.
La formulazione proposta da R.A. Holman (1986) per il calcolo del run-up $R_{u2\%}$ è successivamente illustrata:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{sr15}} = 0.83 \cdot \xi_{0p} + 0.2$$

nella quale, oltre ai termini di noto significato, si ha che $\xi_{0p} = 6.33\ tan(\beta_f)$, ricavata a partire dalla considerazione che per maggiori tempeste la ripidità dell'onda è approssimativamente pari a 0.025, come suffragato anche da J.A. Battjes (1970).
L'espressione suggerita da R.A. Holman (1986) per la stima dei valori di run-up $R_{u2\%}$ sembra fornire risultati apprezzabili per $\xi_{0p} < 1.5$, come nella casistica esaminata.
L'espressione appena presentata è del tutto analoga, sebbene con alcune variazioni dei valori assegnati ai parametri numerici, a quella di natura sperimentale proposta da H. Mase (1989) per la valutazione della rimonta ondosa $R_{u2\%}$ su superfici piane, impermeabili nonché soggette all'attacco di ondazioni irregolari.

7.5 Modello di H.F. Stockdon et al. (2006)

Lo schema empirico di calcolo suggerito da H.F. Stockdon et al. (2006) per la stima dell'entità della risalita dell'onda $R_{u2\%}$ deriva dalla raccolta di dati rilevati in campo.

Gli Autori della ricerca, distinguendo le spiagge tra dissipative ($\xi_{0P} < 0.3$), intermedie e riflettenti ($\xi_{0P} > 1.25$) sulla base dei valori assunti dal coefficiente ξ_{0p}, propongono le seguenti formulazioni sperimentali:

$$R_{u2\%} = 0.043\sqrt{H_0 L_{0p}}$$

valida per $\xi_{0P} < 0.3$, come in svariati casi analizzati

$$R_{u2\%} = 1.1 \cdot \left\{0.35 \cdot tan(\beta_f) \cdot (H_0 \cdot L_{0P})^{0.5} + 0.5 \cdot (H_0 \cdot L_{0P})^{0.5} \cdot \left[0.563 \cdot tan^2(\beta_f) + 0.004\right]^{0.5}\right\}$$

valida per $\xi_{0P} > 0.3$, come in diversi casi studiati

nelle quali, oltre alla pendenza media della faccia della spiaggia $\tan(\beta_f)$, H_0 indica l'altezza d'onda al largo assunta in accordo alla "Mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della Regione Liguria" richiamata dalla D.G.R. n. 1616/2014 e $L_{0p} = \frac{gT_p^2}{2\pi}$ denota la lunghezza d'onda al largo calcolata con il periodo di picco $T_p \cong 8.5\pi\sqrt{\frac{H_0}{4g}}$, anch'esso fornito dal riferimento normativo citato.

Si osservi come H.F. Stockdon et al. (2006) abbiano formulato le suddette relazioni sperimentali che permettono di ricavare i valori di run-up $R_{u2\%}$ a partire dalla somma dei contributi di cui all'ultima relazione empirica sopra riportata e indotti dai seguenti distinti processi idraulici che si verificano sottocosta:

- Wave set-up attribuibile al primo addendo in parentesi;
- Swash dovuto all'incidenza del moto ondoso sull'arenile associabile al secondo addendo in parentesi;
- Swash attribuibile al terzo addendo in parentesi (0.004) e causato dall'interazione delle onde infragravitazionali (ondazioni con periodo tipicamente compreso nell'intervallo 25 s ÷ 300 s, come indicato dal Coastal Engineering Manual - Part II - 2008).

Nella suindicata prima formulazione matematica proposta da H.F. Stockdon et al. (2006) e valida per $\xi_{0P} < 0.3$, il run-up è sostanzialmente generato dall'interazione con il tratto di costa da parte del moto ondoso infragravitazionale.

7.6 Stima run-up associati al 2% di probabilità di superamento

Rammentando come nei valori di run-up $R_{u2\%}$ successivamente indicati, siano compresi, in base ai corrispondenti periodi di ritorno, gli effetti di set-up dovuti sia al vento e sia al moto ondoso (quest'ultimo non tenuto in conto nell'applicare la formulazione di H.F. Stockdon et al. (2006) dato che già implicitamente considerato nelle relative espressioni empiriche presentate), valutati mediante le rispettive relazioni precedentemente riportate, nonché gli altrettanti apporti mareali astronomici al processo idraulico oggetto di valutazione, gli effetti del sea level rise (si specifica come tutti questi contributi alla rimonta dell'onda, siano assunti prudenzialmente simultanei nell'ambito del fenomeno analizzato che essi concorrono a generare) e i processi diffrattivi sul moto ondoso interagente con la spiaggia, di seguito s'illustrano gli schemi che riepilogano l'entità di risalita ondosa associate ai vari periodi di ritorno tenuti in conto e ottenute applicando le corrispondenti teorie sperimentali considerate ad ognuna delle sezioni trasversali del tratto costiero d'interesse.

Si precisa che l'accertata presenza di opere correlate alle attività turistiche presenti in corrispondenza della gran parte dell'arenile, allo stato attuale costituisce elemento di contrasto al fenomeno di risalita dell'onda che, quindi, diviene meno rilevante laddove il battente idrico valutato alla quota d'imposta della struttura non ne superi la relativa altezza.

La condizione limitativa al processo di rimonta appena richiamata è posta in evidenza nelle schematizzazioni successive ove si distinguono le risalite dell'onda interagenti con ostacoli presenti in spiaggia, dalle circostanze in cui i processi di run-up non sono interferiti dagli stabilimenti balneari. In quest'ultimo caso, i valori di rimonta dell'onda indicati derivano da una media tra i corrispondenti forniti dai suddetti modelli teorici adottati nelle calcolazioni eseguite[3]:

NOTA 3: tale assunzione scaturisce dal fatto che le entità di risalita del moto ondoso ottenute dall'applicazione delle teorie empiriche assunte sono risultate in sostanziale reciproco accordo e non hanno evidenziato difformità negli esiti.

Sezione 1 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,1 *(presenza ostacolo)*	1,1 *(presenza ostacolo)*	1,2 *(presenza ostacolo)*
50	1,36 *(presenza ostacolo)*	1,33 *(presenza ostacolo)*	1,55 *(presenza ostacolo)*
100	3,38 *(presenza terrapieno stradale)*	3,02 *(presenza terrapieno stradale)*	3,36 *(presenza terrapieno stradale)*

Sezione 2 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,1 *(presenza ostacolo)*	1,08 *(presenza ostacolo)*	1,18 *(presenza ostacolo)*
50	2,84 *(presenza terrapieno stradale)*	2,35 *(presenza base cabine)*	2,89 *(presenza terrapieno stradale)*
100	3,55 *(presenza terrapieno stradale)*	3,10 (presenza terrapieno stradale)	3,49 *(presenza terrapieno stradale)*

Sezione 3 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,42 *(presenza ostacolo)*	1,36 *(presenza ostacolo)*	1,51 *(presenza ostacolo)*
50	1,76 *(presenza ostacolo)*	1,64 *(presenza ostacolo)*	1,91 *(presenza ostacolo)*
100	3,79 *(presenza terrapieno stradale)*	1,94 *(presenza ostacolo)*	3,71 *(presenza terrapieno stradale)*

Sezione 4 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,91 *(presenza ostacolo)*	1,91 *(presenza ostacolo)*	2,05 *(presenza ostacolo)*
50	2,23 *(presenza ostacolo)*	2,08 *(presenza ostacolo)*	3,66 *(presenza terrapieno stradale)*
100	4,32 *(presenza terrapieno stradale)*	2,39 *(presenza ostacolo)*	4,31 *(presenza terrapieno stradale)*

Sezione 5 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	2,33 *(presenza terrapieno stradale)*	1,74 *(attuale base cabine)*	2,28 *(presenza terrapieno stradale)*
50	3,62 *(presenza terrapieno stradale)*	2,74 *(presenza terrapieno stradale)*	3,78 *(presenza terrapieno stradale)*
100	4,42 *(presenza terrapieno stradale)*	3,54 *(presenza terrapieno stradale)*	4,45 *(presenza terrapieno stradale)*

Sezione 6 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	2,25 *(spiaggia)*	1,72 *(spiaggia)*	2,09 *(spiaggia)*
50	3,51 *(infrastruttura stradale)*	2,69 *(spiaggia)*	3,44 *(infrastruttura stradale)*
100	4,27 *(infrastruttura stradale)*	3,48 *(infrastruttura stradale)*	4,11 *(infrastruttura stradale)*

Sezione 7 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,32 *(presenza ostacolo)*	1,24 *(presenza ostacolo)*	1,51 *(presenza ostacolo)*
50	1,67 *(presenza ostacolo)*	1,53 *(presenza ostacolo)*	3,68 *(infrastruttura stradale)*
100	4,23 *(infrastruttura stradale)*	3,46 *(infrastruttura stradale)*	4,34 *(infrastruttura stradale)*

Sezione 8 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,92 *(presenza ostacolo)*	1,75 *(presenza ostacolo)*	1,92 *(presenza ostacolo)*
50	2,42 *(presenza ostacolo)*	2,15 *(presenza ostacolo)*	2,52 *(presenza ostacolo)*
100	2,73 *(presenza ostacolo)*	2,50 *(presenza ostacolo)*	5,14 *(strutture)*

Sezione 9 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	2,84 *(strutture)*	1,99 *(strutture)*	2,16 *(strutture)*
50	4,31 *(strutture)*	3,26 *(strutture)*	3,69 *(strutture)*
100	5,13 *(strutture)*	4,10 *(strutture)*	4,35 *(strutture)*

Sezione 10 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	2,53 *(strutture)*	1,92 *(strutture)*	2,07 *(strutture)*
50	3,86 *(strutture)*	2,97 *(strutture)*	3,36 *(strutture)*
100	4,66 *(strutture)*	3,79 *(strutture)*	3,99 *(strutture)*

Sezione 11 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	2,24 *(presenza ostacolo)*	2,24 *(presenza ostacolo)*	2,24 *(presenza ostacolo)*
50	2,51 *(presenza ostacolo)*	2,40 *(presenza ostacolo)*	2,60 *(presenza ostacolo)*
100	4,65 *(strutture)*	3,78 *(strutture)*	3,97 *(strutture)*

Sezione 12 $R_{u2\%}$ [m]			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	1,56 *(presenza ostacolo)*	1,47 *(presenza ostacolo)*	1,41 *(presenza ostacolo)*
50	4,08 *(strutture)*	3,07 *(strutture)*	2,87 *(strutture)*
100	4,91 *(strutture)*	3,91 *(strutture)*	3,47 *(strutture)*

Di seguito s'illustrano schematicamente i valori di run-up $R_{u2\%}$ generati da eventi d'onda annuali (stati di mare stagionali) e stimati in corrispondenza delle varie sezioni di calcolo (indicate con linee di colore giallo), per mari da Libeccio, Ostro e Scirocco:

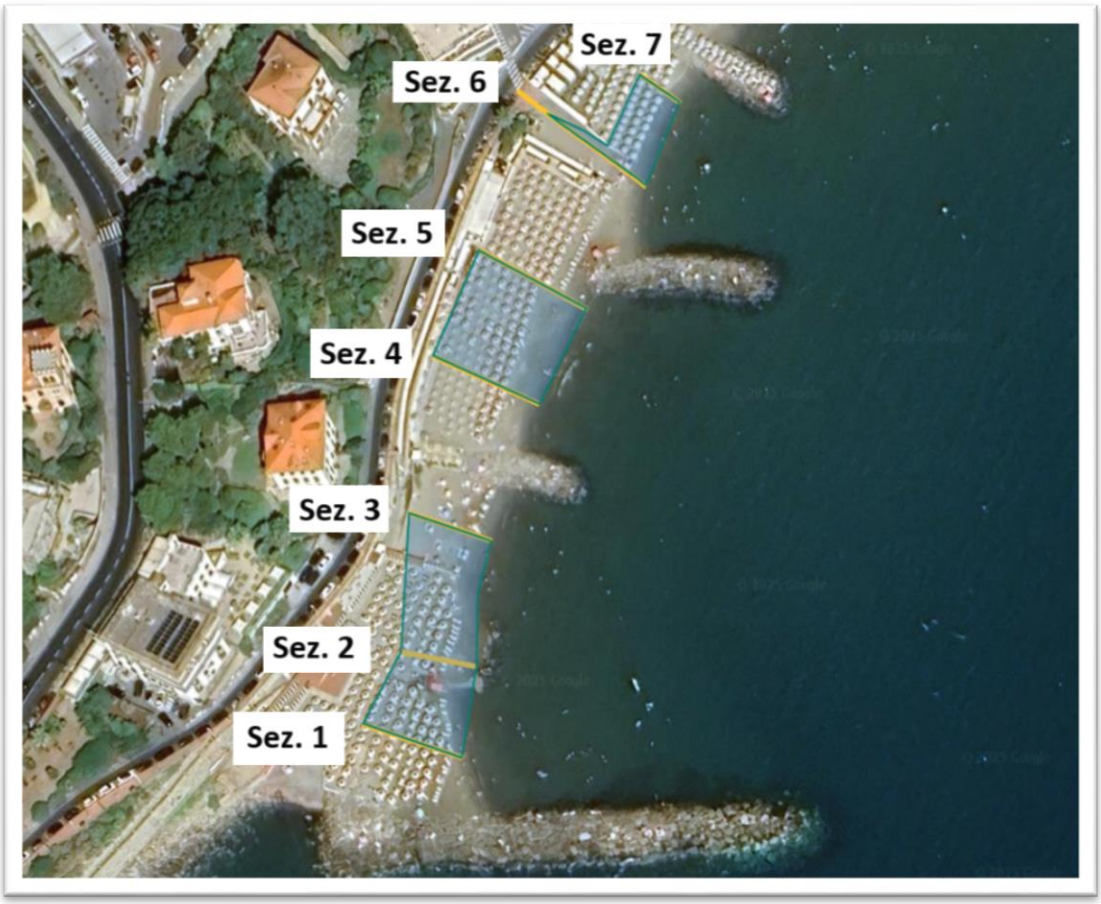


Fig. 17: schema risultanze run-up 2% Sez.1 – Sez. 7 (Libeccio TR 1 anno).

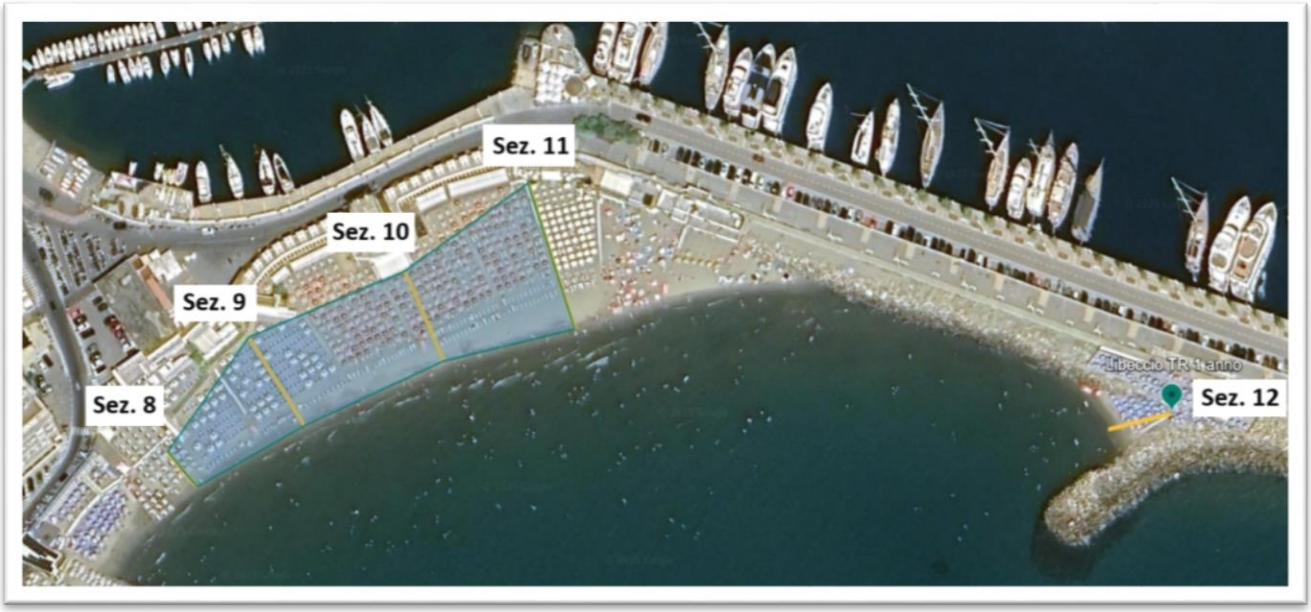


Fig. 18: schema risultanze run-up 2% Sez.8 – Sez. 12 (Libeccio TR 1 anno).



Fig. 19: schema risultanze run-up 2% Sez.1 – Sez. 7 (Ostro TR 1 anno).

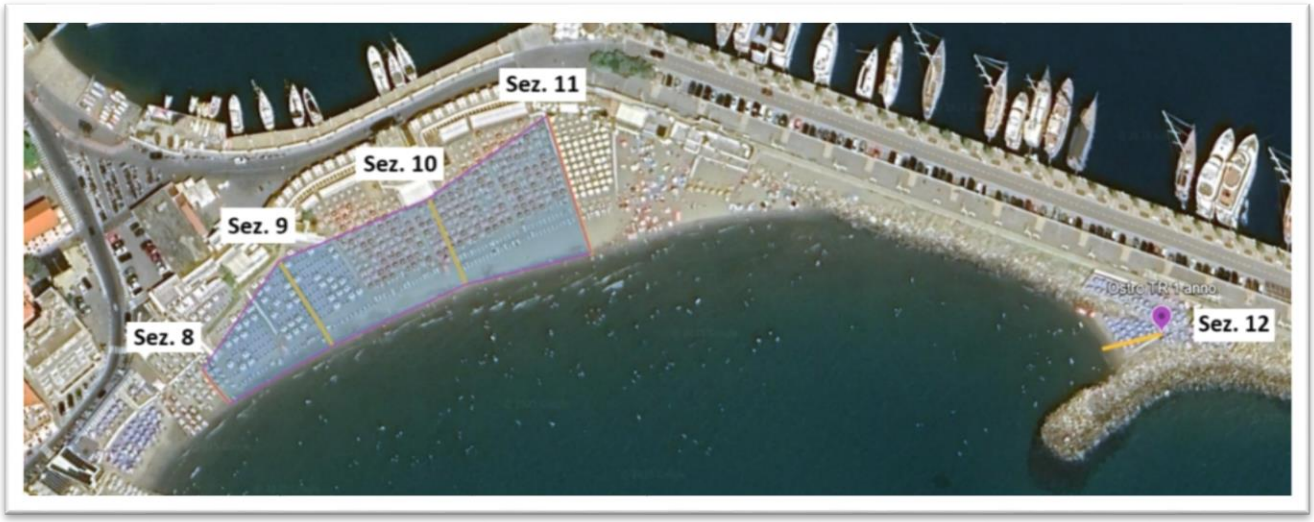


Fig. 20: schema risultanze run-up 2% Sez.8 – Sez. 12 (Ostro TR 1 anno).

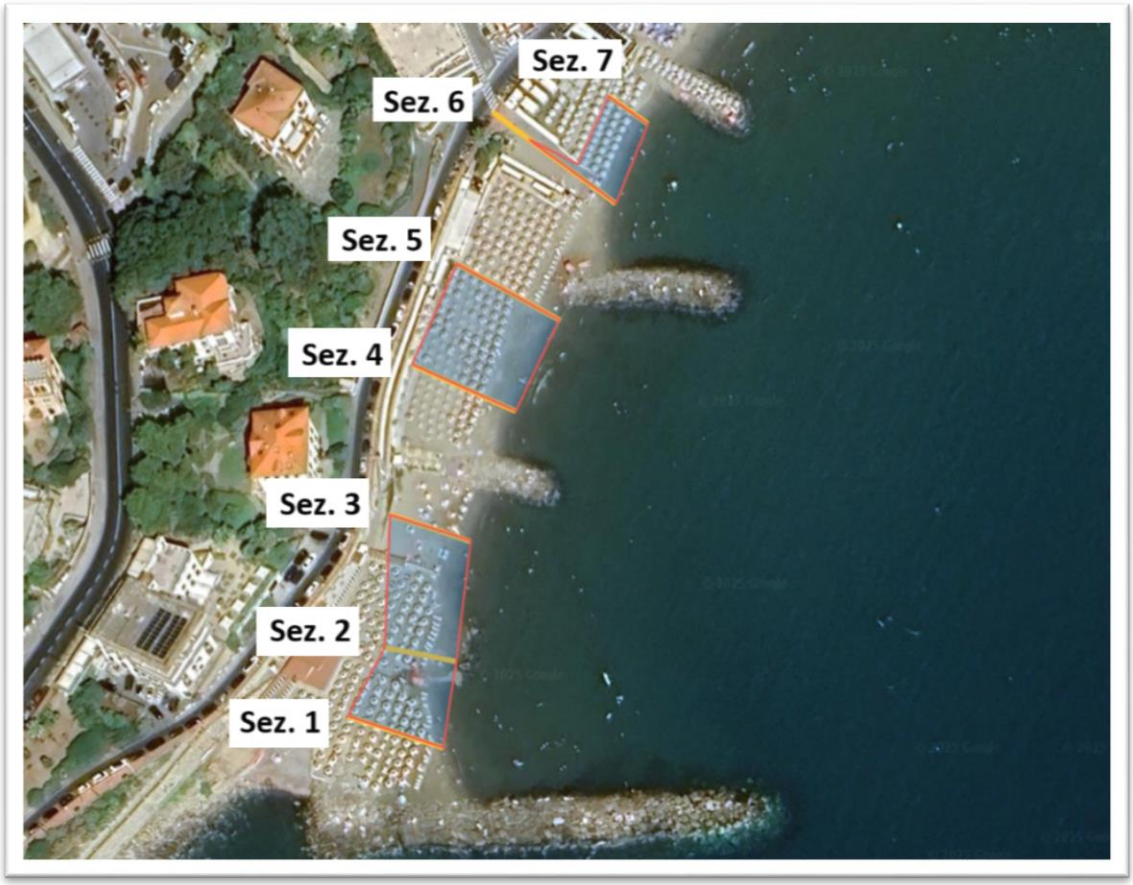


Fig. 21: schema risultanze run-up 2% Sez.1 – Sez. 7 (Scirocco TR 1 anno).



Fig. 22: schema risultanze run-up 2% Sez.8 – Sez. 12 (Scirocco TR 1 anno).

8. Stima dei battenti idrici e volumi specifici delle portate medie

La valutazione indicativa dei battenti idrici e delle rispettive portate medie correlati ai processi di rimonta dell'onda stimati è basata sulle indicazioni tecniche di cui al Manuale di riferimento EurOtop del 2018 intitolato "EurOtop - Manual on wave overtopping of sea defences and related structures". Tale approccio deriva dalle esperienze in laboratorio ed in campo eseguite da J.W. Van der Meer (2011) e fornisce risultati in sostanziale accordo con quelli desumibili dal Modello proposto da J.G. Hills et al. (1997) per il calcolo del battente idrico corrispondente ad una determinata distanza dalla riva, come riportato dalla "Mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della Regione Liguria" richiamata dalla D.G.R. n. 1616/2014.

In particolare, a partire dalle quote z misurate rispetto al l.m.m. (informazione ricavabile dalle rilevazioni topografiche della spiaggia emersa effettuate nel luglio 2025) alle quali sorgono le strutture balneari presenti presso l'arenile in esame, successivamente si riportano le espressioni sperimentalmente supportate e suggerite da J.W. Van der Meer (2011), nonché richiamate dal Testo tecnico EurOtop del 2018, ai fini della quantificazione dei valori ricercati di battente idrico e di relative portate medie dovuti al fenomeno di run-up $R_{u2\%}$ in corrispondenza del primo ostacolo antropico raggiunto in fase di risalita dell'onda presso le varie sezioni indagate:

- Battente idrico $h_{2\%}$ associato ad una probabilità di superamento del 2%:

$$h_{2\%} = c_{h2\%}(R_{u2\%} - z),$$

  ove $c_{h2\%}$ è un coefficiente numerico inversamente proporzionale alla pendenza trasversale media della sezione d'interesse.

- Portata media associata ad una probabilità di superamento del 2% $Q_{2\%} = v_{2\%}h_{2\%}$, espressa a m di sviluppo della spiaggia, nonché correlata alla velocità di risalita $v_{2\%}$ della lama d'acqua che rimonta sul fronte dell'arenile alla suddetta quota z ed alla quale è assegnata il medesimo significato statistico:

$$v_{2\%} = c_{v2\%}\sqrt{g(R_{u2\%} - z)}$$

  in cui $c_{v2\%}$ rappresenta un parametro numerico inversamente proporzionale alla pendenza trasversale media della sezione d'interesse.

  La massima celerità di risalita sulla spiaggia[4] v_{max} che differisce dalla già menzionata velocità $v_{2\%}$ espressa in una determinata posizione è calcolabile mediante la seguente relazione empirica:

NOTA 4: l'espressione empirica che fornisce i valori di v_{max} (maximum up-rush velocity) è stata desunta da J.W. Van der Meer (2011) e descrive la tendenza delineata dalla curva di cui al grafico riportato in Appendice che illustra i risultati dei test condotti in laboratorio (questi ultimi dati sono utili per verificare l'effettiva attendibilità dei valori ottenuti di celerità e massima di risalita dell'onda v_{max}, in rapporto all'altezza d'onda al frangimento H_f). Le risultanze sperimentali (J.W.

$$v_{max} = \sqrt{gH_f}c_u\sqrt{\frac{R_{u2\%}}{H_f}}$$

ove c_u rappresenta un parametro numerico cautelativamente assunto pari a 1.25 in accordo a J.W. Van der Meer (2011) e H_f denota l'altezza d'onda al frangimento in corrispondenza della spiaggia considerata.

L'impiego di tale formulazione per la stima della velocità massima di up-rush v_{max} è a favore di sicurezza, poiché le prove sperimentali che ne hanno consentito la definizione sono state eseguite da J.W. Van der Meer (2011) su superfici piane ed impermeabili, minimizzando così eventuali effetti dissipativi che sono, pertanto, risultati sostanzialmente di natura gravitativa.

La celerità massima di rimonta v_{max} ha consentito di accertare, sebbene con un certo grado di approssimazione e nell'ambito di determinate condizioni al contorno, la soddisfacente attendibilità dei risultati ottenuti in termini di portate medie di risalita $Q_{2\%}$, attraverso un confronto con i rispettivi valori di riferimento della velocità $v_{2\%}$.

8.1 Tabelle di sintesi dei valori stimati dei battenti idrici e delle portate medie di risalita dell'onda

Applicando il modello empirico proposto da J.W. Van der Meer (2011) e da J.W. Van der Meer et al. (2018) ai fini della stima, presso le varie sezioni trattate, dei valori attribuibili ai battenti idrici $h_{2\%}$ ed alle rispettive portate medie $Q_{2\%}$ è possibile pervenire alle risultanze sintetizzate nei seguenti prospetti:

[Legenda con riferimento alle tabelle seguenti, esempio : $h_{2\%}$ = 0,27 m è l'altezza del flusso d'acqua in corrispondenza della Sezione 1 ; $Q_{2\%}$ = 1,06 m³/(sm) è la portata espressa come metri cubi al secondo per ogni metro di fronte della spiaggia]

Van der Meer 2011) mostrerebbero sia il verificarsi di tali picchi di velocità di risalita v_{max} tra il 15% e il 75% del corrispondente valore di run-up $R_{u2\%}$ sia la sostanziale invarianza di tale valore v_{max} in questo stesso intervallo di riferimento (le osservazioni empiriche evidenziano mediamente come la massima velocità di rimonta v_{max} sia raggiunta a circa il 30%÷40% del rispettivo run-up $R_{u2\%}$).

Sezione 1 z = 0,83 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,27 m $Q_{2\%}$ = 1,06 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,27 m $Q_{2\%}$ = 1,08 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,37 m $Q_{2\%}$ = 1,72 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,53 m $Q_{2\%}$ = 2,98 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,5 m $Q_{2\%}$ = 2,75 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,72 m $Q_{2\%}$ = 4,65 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,81 m $Q_{2\%}$ = 5,59 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,81 m $Q_{2\%}$ = 5,57 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,96 m $Q_{2\%}$ = 7,20 m^3/(sm)

Sezione 2 z = 0,77 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,33 m $Q_{2\%}$ = 1,48 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,31 m $Q_{2\%}$ = 1,32 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,41 m $Q_{2\%}$ = 2,04 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,63 m $Q_{2\%}$ = 3,84 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,56 m $Q_{2\%}$ = 3,21 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,79 m $Q_{2\%}$ = 5,40 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,91 m $Q_{2\%}$ = 6,69 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,86 m $Q_{2\%}$ = 6,16 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,04 m $Q_{2\%}$ = 8,15 m^3/(sm)

Sezione 3 z = 1,23 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,19 m $Q_{2\%}$ = 0,66 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,13 m $Q_{2\%}$ = 0,38 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,28 m $Q_{2\%}$ = 1,17 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,53 m $Q_{2\%}$ = 3,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,41 m $Q_{2\%}$ = 2,02 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,68 m $Q_{2\%}$ = 4,41 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,82 m $Q_{2\%}$ = 5,73 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,71 m $Q_{2\%}$ = 4,66 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,94 m $Q_{2\%}$ = 7,08 m^3/(sm)

Sezione 4 z = 1,91 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,14 m $Q_{2\%}$ = 0,42 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,32 m $Q_{2\%}$ = 1,41 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,17 m $Q_{2\%}$ = 0,55 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,59 m $Q_{2\%}$ = 3,57 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,61 m $Q_{2\%}$ = 3,75 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,48 m $Q_{2\%}$ = 2,61 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,87 m $Q_{2\%}$ = 6,40 m^3/(sm)

Sezione 5 z = 1,88 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,18 m $Q_{2\%}$ = 0,59 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,36 m $Q_{2\%}$ = 1,67 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,21 m $Q_{2\%}$ = 0,74 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,65 m $Q_{2\%}$ = 4,15 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,65 m $Q_{2\%}$ = 4,15 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,52 m $Q_{2\%}$ = 2,93 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,95 m $Q_{2\%}$ = 7,25 m^3/(sm)

Sezione 6 z = 2,97 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,08 m $Q_{2\%}$ = 0,18 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,19 m $Q_{2\%}$ = 0,67 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,06 m $Q_{2\%}$ = 0,12 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,35 m $Q_{2\%}$ = 1,65 m^3/(sm)

Sezione 7 z = 1,01 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,31 m $Q_{2\%}$ = 1,38 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,23 m $Q_{2\%}$ = 0,89 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,50 m $Q_{2\%}$ = 2,74 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,66 m $Q_{2\%}$ = 4,24 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,52 m $Q_{2\%}$ = 2,94 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,94 m $Q_{2\%}$ = 7,22 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,94 m $Q_{2\%}$ = 7,16 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,82 m $Q_{2\%}$ = 5,81 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,22 m $Q_{2\%}$ = 10,63 m^3/(sm)

Sezione 8 z = 1,49 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,43 m $Q_{2\%}$ = 2,30 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,26 m $Q_{2\%}$ = 1,07 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,43 m $Q_{2\%}$ = 2,30 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,93 m $Q_{2\%}$ = 7,17 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,66 m $Q_{2\%}$ = 4,28 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,03 m $Q_{2\%}$ = 8,34 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 1,24 m $Q_{2\%}$ = 11,03 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,01 m $Q_{2\%}$ = 8,19 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,34 m $Q_{2\%}$ = 12,51 m^3/(sm)

Sezione 9 z = 1,94 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,11 m $Q_{2\%}$ = 0,29 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,03 m $Q_{2\%}$ = 0,04 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,12 m $Q_{2\%}$ = 0,31 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,51 m $Q_{2\%}$ = 2,82 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,37 m $Q_{2\%}$ = 1,78 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,60 m $Q_{2\%}$ = 3,59 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,83 m $Q_{2\%}$ = 5,93 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,73 m $Q_{2\%}$ = 4,87 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,89 m $Q_{2\%}$ = 6,52 m^3/(sm)

Sezione 10 z = 1,48 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,22 m $Q_{2\%}$ = 0,79 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,16 m $Q_{2\%}$ = 0,51 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,24 m $Q_{2\%}$ = 0,94 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,59 m $Q_{2\%}$ = 3,52 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,48 m $Q_{2\%}$ = 2,55 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,68 m $Q_{2\%}$ = 4,33 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,92 m $Q_{2\%}$ = 6,81 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,83 m $Q_{2\%}$ = 5,90 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,96 m $Q_{2\%}$ = 7,27 m^3/(sm)

Sezione 11 z = 2,24 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,00 m $Q_{2\%}$ = 0,00 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,27 m $Q_{2\%}$ = 1,08 m^3/(sm))	$h_{2\%}$ = 0,16 m $Q_{2\%}$ = 0,50 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,36 m $Q_{2\%}$ = 1,67 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 0,60 m $Q_{2\%}$ = 3,58 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,52 m $Q_{2\%}$ = 2,88 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,64 m $Q_{2\%}$ = 3,94 m^3/(sm)

Sezione 12 z = 1,17 m			
Periodo di ritorno [anni]	**Venti di Libeccio**	**Venti di Ostro**	**Venti di Scirocco**
1	$h_{2\%}$ = 0,39 m $Q_{2\%}$ = 1,93 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,30 m $Q_{2\%}$ = 1,31 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,24 m $Q_{2\%}$ = 0,93 m^3/(sm)
50	$h_{2\%}$ = 0,81 m $Q_{2\%}$ = 5,67 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,65 m $Q_{2\%}$ = 4,07 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,62 m $Q_{2\%}$ = 3,77 m^3/(sm)
100	$h_{2\%}$ = 1,15 m $Q_{2\%}$ = 9,59 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 1,01 m $Q_{2\%}$ = 7,94 m^3/(sm)	$h_{2\%}$ = 0,85 m $Q_{2\%}$ = 6,16 m^3/(sm)

9. Portata media di tracimazione e run-up Sez. 13

Le analisi condotte sono state completate con il calcolo della portata media di tracimazione q e del correlato valore di run-up $R_{u2\%}$ presso la Sezione n. 13 che interessa la radice del tratto esterno del pennello che si protrae per circa 70 m dal lato mare del molo lungo posto a protezione della Marina di Imperia.

In particolare, considerando la profondità al piede del tratto di struttura considerato pari a circa 1 m e constatate le rispettive condizioni di frangimento per le ondazioni incidenti da Ostro che vi giungono con tempi di ritorno di 1 anno, 50 anni e 100 anni (il parametro di frangimento $\xi_{m-1,0} = \frac{tg\alpha}{\sqrt{\frac{H_f}{L_{m-1,0}}}}$ è risultato, infatti, minore di 1,8 con $tg\alpha$ che indica la pendenza media della scogliera nella posizione osservata, H_f che denota l'altezza d'onda al frangimento antistante alla Sez. 13 valutata secondo la metodologia di cui al § 6.8 e $L_{m-1,0} = \frac{gT_{m-1,0}^2}{2\pi} = \frac{g(T_p/1,1)^2}{2\pi}$ che rappresenta la lunghezza d'onda spettrale al largo), si è proceduto alla stima delle grandezze idrauliche ricercate mediante l'approccio progettuale suggerito dal Manuale di riferimento EurOtop del 2018 ed impiegando le seguenti formulazioni empiriche:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_f} = 1{,}75\gamma_f\xi_{m-1,0}$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_f^3}} = \frac{0{,}026}{\sqrt{tg\alpha}}\xi_{m-1,0}exp\left[-\left(2{,}5\frac{R_{c*}}{\xi_{m-1,0}H_f\gamma_f}\right)^{1,3}\right]$$

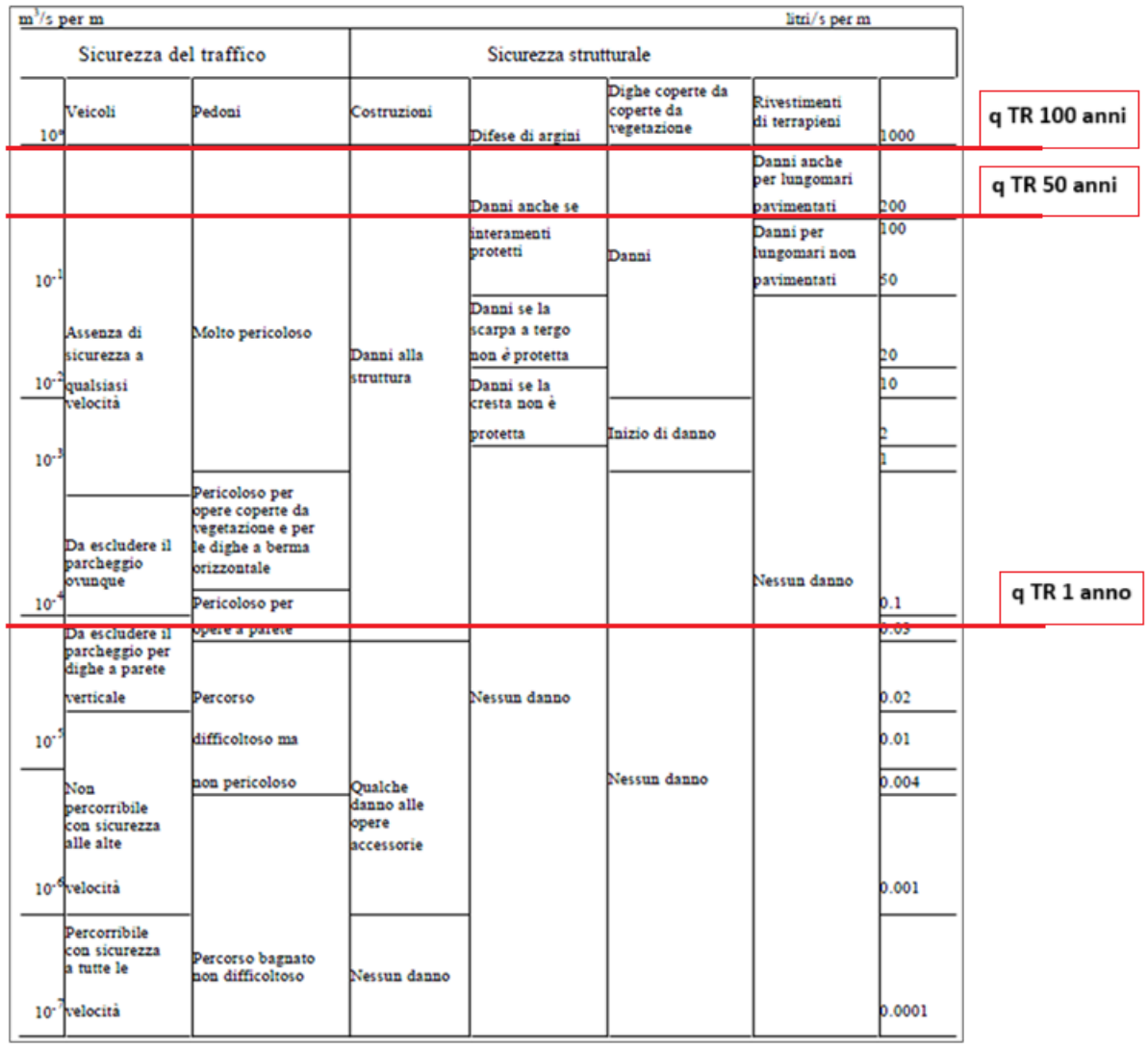
nelle quali, oltre ai parametri di noto significato, γ_f è il coefficiente di scabrezza assunto pari a 0,4 ed associato alla tipologia di scogliera costituente il pennello osservato, mentre R_{c*} corrisponde alla quota sommitale dell'opera e delle strutture rilevate (elevazione misurata pari a circa 3,45 m s.l.m.m.), depurata del sovralzo complessivo calcolato tenendo in conto degli effetti mareale, di set-up (onda e vento) e di sea level rise per i suddetti periodi di ritorno.

A fronte dei passaggi appena descritti si è pervenuti alle corrispondenti risultanze di seguito sintetizzate valide per incidenze di mari da Ostro (sono stati assunti attacchi d'onda allineati con il tracciato della Sezione n. 13, valutati come maggiormente gravosi rispetto ai fenomeni analizzati):

Periodo di ritorno [anni]	$R_{u2\%}$ [m]	q [m^3/(sm)]	q [l/(sm)]
1	3,07	0,0001	0,0577
50	4,71	0,1252	125,15
100	5,70	0,9901	990,11

Dai risultati ottenuti e relativi ad un attacco di mari da Ostro, considerato maggiormente gravoso per la Sezione n. 13 poiché con incidenza frontale, si desume come il sormonto del pennello in tale tratto avvenga per stati di mare associati a periodi di ritorno di 50 anni e di 100 anni.

Le valutazioni appena espresse per la Sezione n. 13 si riassumono nello schema di seguito illustrato e riportante indicazioni riguardanti il livello di sicurezza strutturale e di fruibilità dell'opera:



10. Analisi dei risultati e rispettive conclusioni

L'approccio adottato nell'ambito delle analisi sviluppate è cautelativo data l'incertezza correlata sia ai parametri assunti nelle calcolazioni e sia ai modelli empirici impiegati, le cui risultanze ricavate

evidenziano una condizione di sostanziale reciproco accordo, con valori di run-up che riflettono le svariate osservazioni al vero.

Inoltre, da un confronto tra i valori di risalita ottenuti e le entità di rimonta dell'onda calcolate secondo l'approccio empirico suggerito da H. Mase (1989), si osserva come queste ultime risultino mediamente maggiori di circa il 50% rispetto ai valori di riferimento assunti nella presente analisi. Tale circostanza sembra confermare, come in altri casi analoghi, che le relazioni sperimentali proposte da H. Mase (1989) probabilmente costituiscono una sovrastima dei valori medi, sebbene evidenzino la possibilità di attendersi, per eventi estremi, risalite d'onda superiori a quelle riportate.

L'intensità del fenomeno idraulico studiato è fortemente influenzata dalla presenza di strutture in corrispondenza della Spiaggia d'oro, tale per cui si è reso necessario approntare una stima dei battenti idrici, nonché delle relative portate medie unitarie, per accertarne l'effettiva capacità di rimonta in corrispondenza dell'arenile.

Tale valutazione è stata condotta in accordo alla metodologia conservativa prevista dal Manuale di riferimento EurOtop del 2018 che, prudenzialmente, non considera effetti dissipativi dovuti a locali irregolarità dell'arenile.

Il tratto costiero indagato è maggiormente soggetto ad eventi di run-up correlati a stati di mare da Libeccio (questi ultimi tipicamente di intensità maggiore in Liguria), come evidenziato in corrispondenza della Sezione n. 6 che risulta priva di strutture interferenti con il processo di risalita.

I valori di run-up che oltrepassano le quote sommitali delle prime strutture incontrate in fase di rimonta sono del tutto indicativi, poiché non descrivono l'effettiva interazione dei volumi d'acqua tracimanti con le opere poste in sommità all'arenile (una maggiore conoscenza di questo processo è desumibile da prove empiriche).

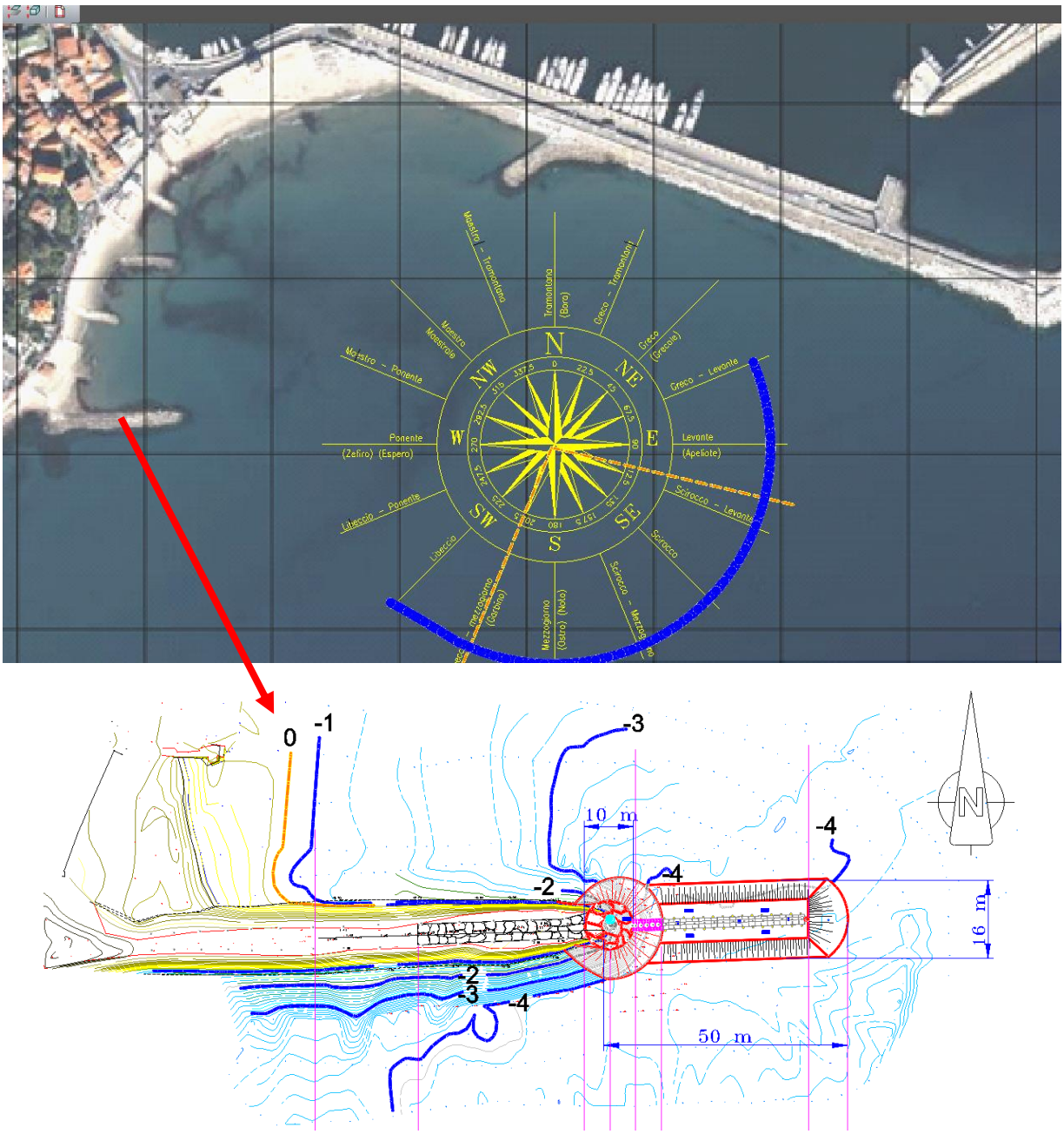
I valori attribuiti a tali entità di run-up sono stati comunque riportati per fornire un'informazione di massima dell'intensità del fenomeno idraulico osservato.

Il pennello che delimita a Sud-Ovest il tratto litoraneo d'interesse offre un certo grado di protezione alla spiaggia fino allo Stabilimento balneare denominato "Bagni Mané", generando effetti diffrattivi, quindi di dissipazione energetica espressa in elevazione dell'onda incidente, al moto ondoso che interagisce con la testata di tale stessa struttura.

A questo proposito, è del tutto evidente come un prolungamento soffolto di quest'opera di protezione consentirebbe di accentuare gli effetti diffrattivi indotti dalla stessa, con conseguente aumento del grado di protezione offerto all'arenile dall'attacco delle maggiori ondazioni comprese, in particolare, quelle che vi giungono da Sud-Ovest (all'attenuazione ondosa prevista in quest'ipotesi

ne consegue una minore intensità della correlata risalita dell'onda su una maggiore porzione della spiaggia in esame, rispetto a quella attualmente difesa dalla struttura citata).

Infine, si rileva che nel corso delle più severe mareggiate da Libeccio, il suddetto molo a Sud-Ovest è interessato da importante tracimazione da parte delle onde incidenti, con relativa necessità di provvederne il rispettivo rifiorimento, fatte salve eventuali diverse soluzioni progettuali di contrasto al fenomeno citato (quest'ultimo, infatti, può influire mediante il processo di trasmissione dell'onda ad una maggiore agitazione dello specchio acqueo a tergo ed antistante all'arenile in questione, con conseguenti riflessi sul rispettivo run-up).



Dal progetto del prolungamento di circa 50 m del pennello a ponente della spiaggia d'oro

11 Conclusioni

Dall'analisi del moto ondoso rapportato con la configurazione media dell' arenile è risultato che anche con mari aventi tempi di ritorno di un anno (*rif. libeccio*) la risalita delle onde interessa quasi l'intero arenile fino alla strada o ad opere fisse, seppure con uno spessore e quindi una portata della lama d'acqua limitato. A maggior ragione il run-up è consistente (in termini di portata della massa d'acqua in risalita ed impattante sulle opere fisse) se si prendono in esame condizioni di mare più gravose, cioè quelle con tempi di ritorno ultradecennali. Nel Capitolo 3 della presente relazione sono proposte alcune opere di **difesa passiva** che , in occasioni delle mareggiate autunnali e invernali attenuano gli effetti sulle opere fisse siano queste in legno , metallo o muratura.

Per passare ad una **difesa attiva** occorre che il pennello di ponente (oltre i bagni Buraxen) venga prolungato . A tale proposito è stato elaborato un progetto che comprende un suo allungamento per circa 50 m con un'opera soffolta. Questa struttura consentirebbe di intercettare una parte importante dell' energia del moto ondoso proveniente da libeccio. Ne consegue che verrebbero ridotti i valori di run-up stimati nella configurazione attuale della costa. Le opere di difesa passiva risulterebbero a quel punto o non indispensabili o, se realizzate, dotate di maggiore efficienza.

I calcoli hanno tenuto conto della presenza di ostacoli quali rilevabili dalla documentazione fotografica e dalle sezioni del rilievo topografico. Per quanto riguarda la sezione n° 13 (zona Bagni il Moletto) la portata di tracimazione della scogliera, in caso di mareggiata, è tale da rendere incompatibile la presenza di manufatti. Si tratta del punto maggiormente critico dell'intero arco costiero esaminato. Criticità che potrebbe essere attenuata se si dovesse intervenire con un rafforzamento della scogliera , ad esempio con una berma soffolta al piede.

12 Bibliografia di riferimento

- *Battjes, J.A. (1970) "Een oude golfoploopformule bezien in het licht van moderne theorieën" Bouw en Waterbouwkunde, 12: B169-B172*
- *Criteri per la determinazione del clima ondoso al largo della costa ligure Contratto di ricerca Università degli studi di Genova – Facoltà di ingegneria DICAT - anno 2008*
- *EM 1110-2-1100 (Part II) "Coastal Engineering Manual – Part II – Chapter 4" 31 July 2003 (Change 1)*
- *EM 1110-2-1100 (Part II) "Coastal Engineering Manual – Part II – Chapter 7" 1 August 2008 (Change 2)*
- *Hills J.G. et al. (1997) "Tsunami Producede by the Impact of Small Asteroids"; Annals of the New York Academy of Sciences;*
- *Holman R.A. (1986) "Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach" Coastal Engineering, 9 (1986) 527—544 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam -- Printed in The Netherland*
- *Kamphuis J.W. (2020) "Introduction to Coastal Engineering and Management" 3rd Edition, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 48, pp. 505*
- *Klein A. H. da F., Benedet Filho L. e Schumacher D. H. (2002) "Short-Term Beach Rotation Processes in Distinct Headland Bay Beach Systems" Journal of Coastal Research, 18 (3), pp. 442-458*
- *Mase H. (1989) "Random Wave Runup Height on Gentle Slope" Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol 115, No. 5, pp 649-661*
- *Shore Protection Manual Volume I (1984) Coastal Engineering Research Center DEPARTMENT OF THE ARMY Waterways Experiment Station, Corps of Engineers PC Box 631 Vicksburg, Mississippi 39180 Prepared for DEPARTMENT OF THE ARMY US Army Corps of Engineers Washington, DC 20314*
- *Simeoni U. et al. (2012) "Le pocket beach – Dinamica e gestione delle piccolo spiagge" ed. Franco Angeli s.r.l.*
- *Sorensen R.M. (2006) "Basic Coastal Engineering" 3rd Edition, Department of Civil and Environmental Engineering Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania*
- *Stockdon H.F., Holman R.A., Howd P.A. e Sallenger Jr. A.H. (2006) "Empirical Parameterization of setup, swash and runup" Coastal Engineering Vol. 53, pp. 573-588*

- *U.S. Army Corps of Engineers (1952) "Wind Set-up and waves in shallow water" Beach erosion board office of the chief of engineers, Department of Army Corps of Engineers, Technical Memorandum n. 27*
- *Van der Meer J.W. e J.P. De Waal (1992) "Wave runup and overtopping on coastal structures" Coastal structures overtopping pp. 1758-1771, Chapter 134, Delft Hydraulics, P.O. Box 152, 8300 AD Emmelord, The Netherlands*
- *Van der Meer J.W. (1998) "Wave run-up and overtopping" Infram, P.O. Box 688, 7500 AR Enschede, pp. 1-8, Chapter 8*
- *Van der Meer J.W. (2011) "The Wave Run-up Simulator Idea, necessity, theoretical background and design" Project number: vdm11355 Version: Date: 1.1 12 February 2011*
- *Van der Meer J.W. et al. (2018) "EurOtop - Manual on wave overtopping of sea defences and related structures" seconda edizione*
- *Vecchio A. et al. (2024) "Sea level rise projections up to 2150 in the northern Mediterranean coasts" Environ. Res. Lett. 19 (2024) 014050 https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad127e IOP Publishing*

Appendice

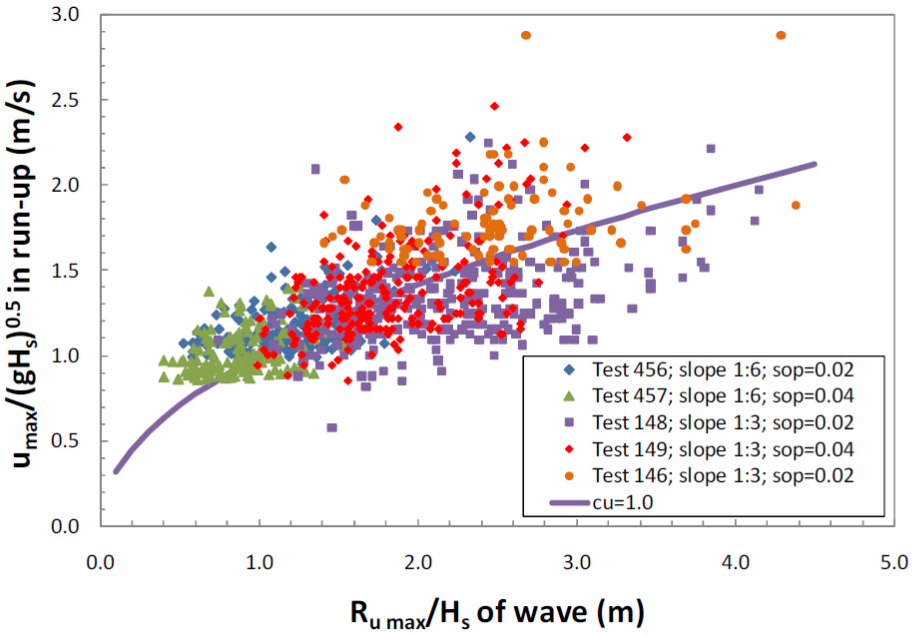


Figure 5.19. Relative maximum velocity versus relative run-up on the slope; all tests.

Grafico tratto dal lavoro di J.W. Van der Meer (2011) e ripreso dal Manuale di riferimento EurOtop del 2018.

Le foto seguenti illustrano gli arenili nel corso di una mareggiata da libeccio (2024). I bassi fondali determinano il frangimento delle onde che seppur ridotte di una quota della loro energia riescono comunque a risalire fino a lambire le strutture fisse.







Altre foto che illustrano il run-up durante una mareggiata da libeccio (2024)



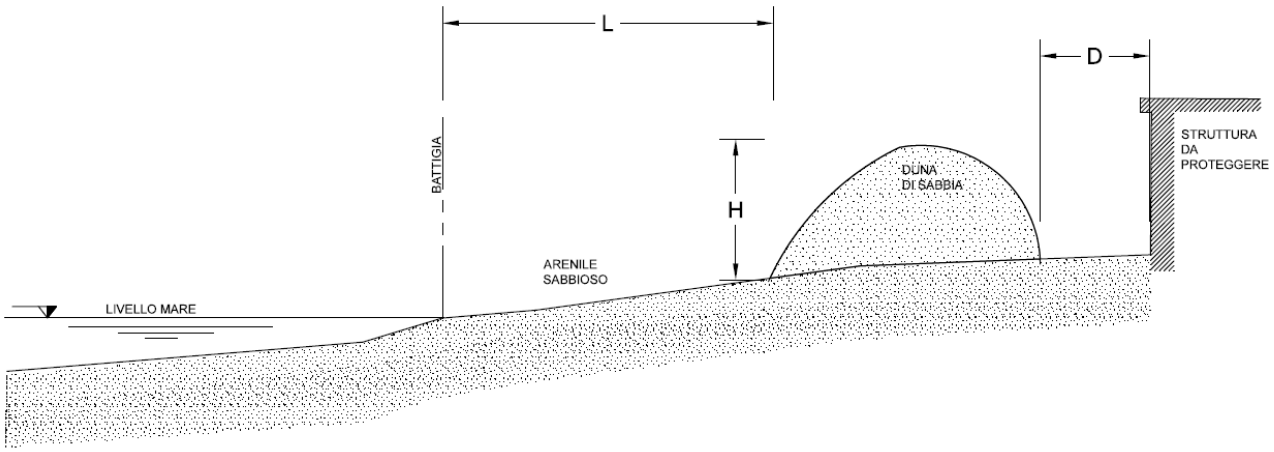


Foto ricavate dal web e relative alla mareggiata del 08-11-2011 in corrispondenza del Bagni spiaggia d’oro

CAPITOLO 3

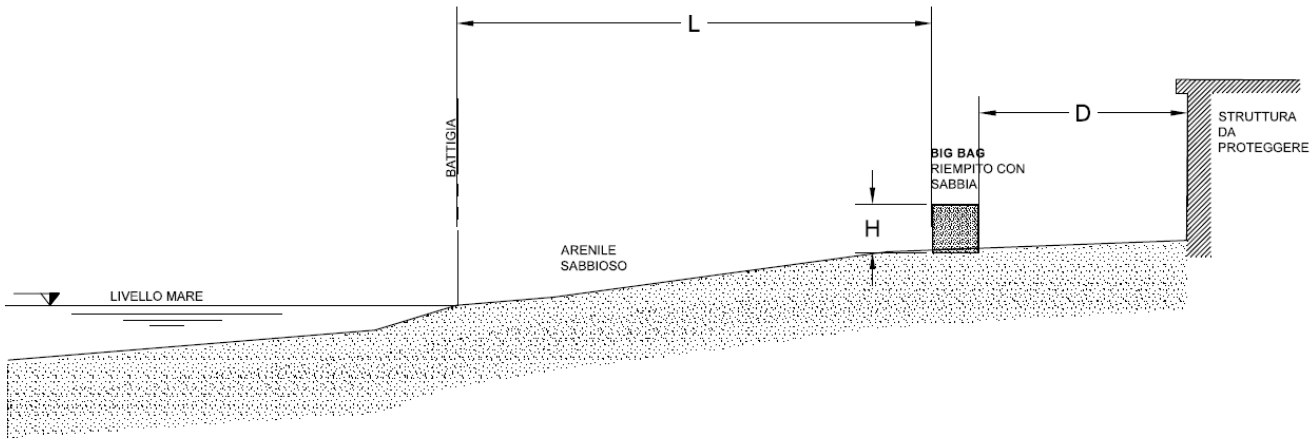
Opere di difesa

Come risulta dalle verifiche idrauliche il run-up e le portate idriche possono raggiungere anche le strutture fisse. Le cabine in primis e i manufatti in c.a. , questi ultimi solitamente più arretrati. In corrispondenza di alcune sezioni (spiagge libere) la lama d'acqua si spinge fino ad invadere la strada comunale. Ne consegue che, permanendo la situazione attuale per quanto concerne le opere a mare (pennelli), si dovranno prevedere opere di difesa tali da mitigare l'impatto del moto ondoso in risalita sull'arenile.
In estrema sintesi le principali soluzioni adottate nella riviera ligure di ponente sono quelle riportate negli schemi seguenti.

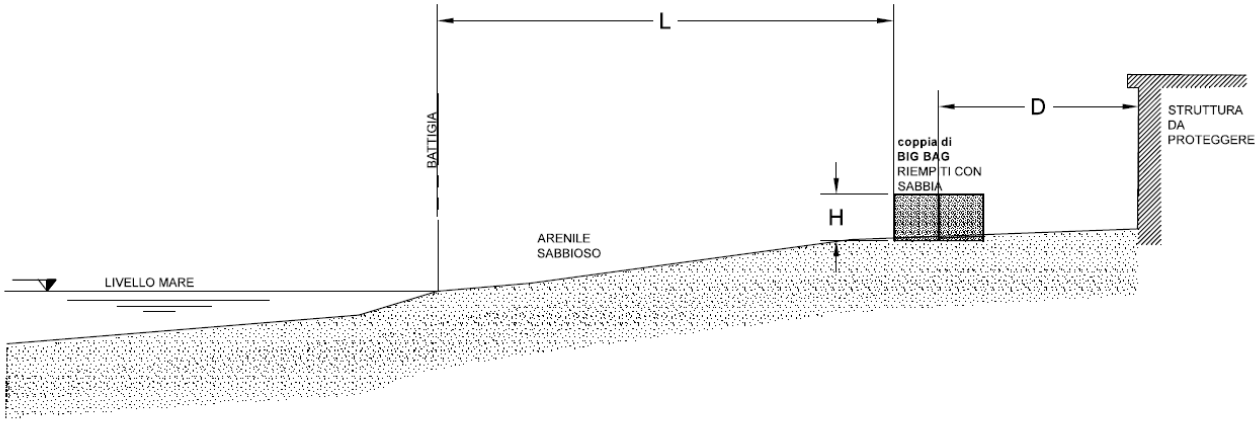


La duna di sabbia viene realizzata a fine settembre utilizzando parte delle sabbie dell'arenile. Ad inizio delle successiva stagione balneare la sabbia viene spianata nuovamente sull'arenile con pale meccaniche . Le dimensioni della duna sono in funzione delle dimensioni della struttura da proteggere ed alla distanza dalla battigia. Le onde in risalita (run-up) nel corso delle mareggiate potranno erodere in parte la duna lato mare . In base al danno arrecato potrebbe essere necessario ricostruire in parte la duna.

Una seconda soluzione praticata nel ponente ligure è quella di utilizzare i big-bags , cioè sacchi delle dimensioni di circa 1 metro cubo riempiti con sabbia , prelevata dall'arenile antistante gli stabilimenti balneari, e allineati l'uno accanto all'altro per formare una sorta di muro per ostacolare l'impatto delle onde sulle strutture fisse. Ad inizio della stagione successiva i sacchi vengono svuotati e la sabbia nuovamente distribuita sull'arenile.

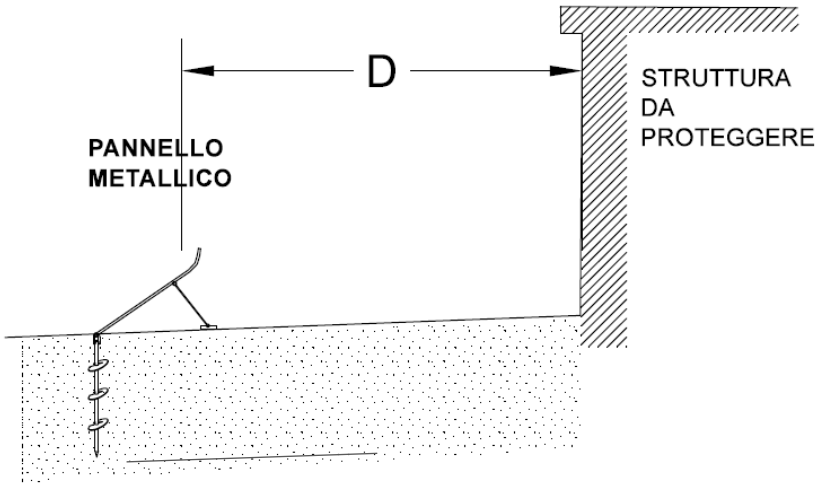


In casi particolari, come quando la distanza L è ridotta, possono essere impiegati 2 file di big-bags come da seguente figura.

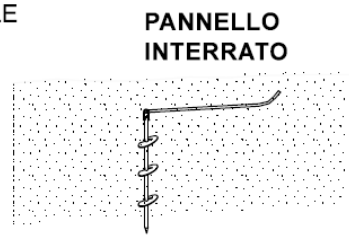


I sistemi illustrati richiedono interventi di pale meccaniche e mano d'opera per 2 volte l'anno o più nel caso di interventi di ripristino a seguito di mareggiate particolarmente forti.

La soluzione seguente prevede invece un impianto fisso che, nella stagione estiva, può essere lasciato sotto sabbia e quindi non visibile. A fronte di un costo iniziale maggiore di quello da sostenere con le dune o i big-bags si contrappone una riduzione di mano d'opera nel corso degli anni successivi alla prima installazione. Altro elemento da considerare è quello che il seguente sistema di protezione può essere rimesso in funzione in poche ore nel caso in cui si dovesse annunciare una fortissima mareggiata nel pieno della stagione balneare.

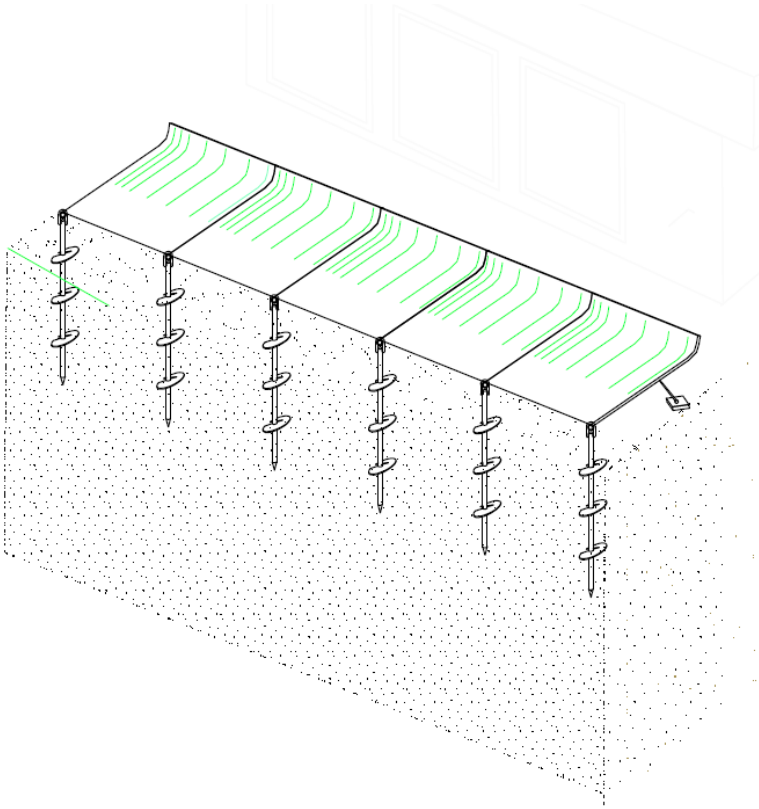


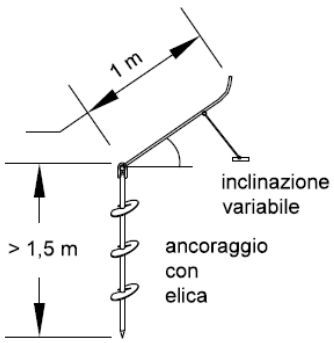
SCHEMA
STAGIONE
INVERNALE



SCHEMA
STAGIONE
BALNEARE

L’interramento è ottenuto con riporto di sabbia.





CAPITOLO 4 - Documentazione fotografica

FOTO-SEZIONI



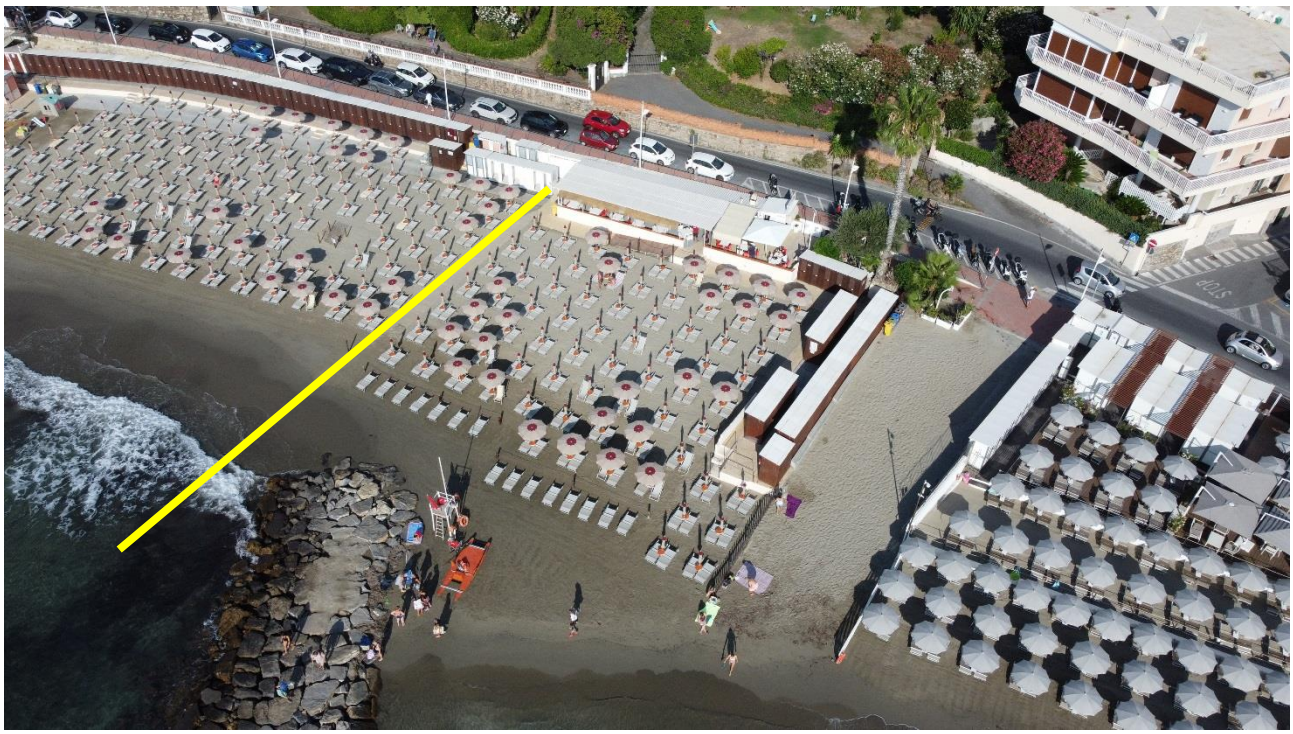
Sez. 1 e Sez. 2



Sez. 3



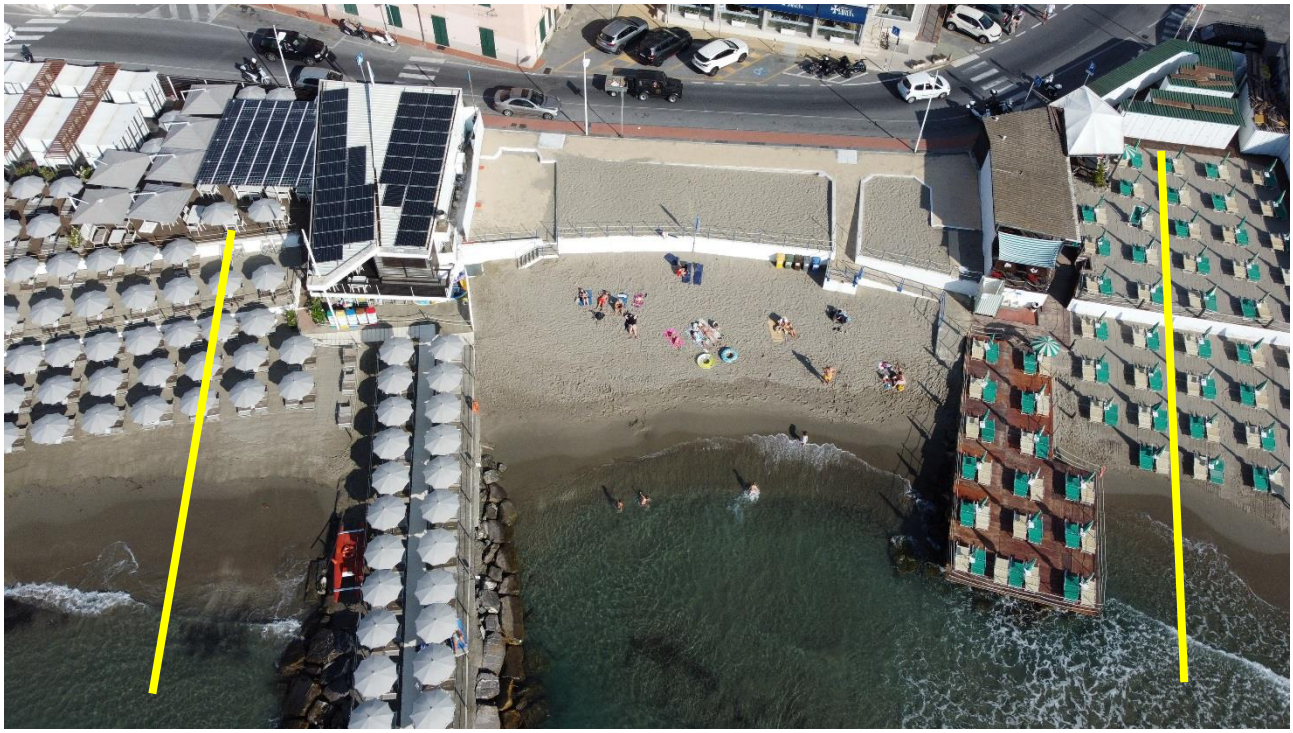
Sez. 4



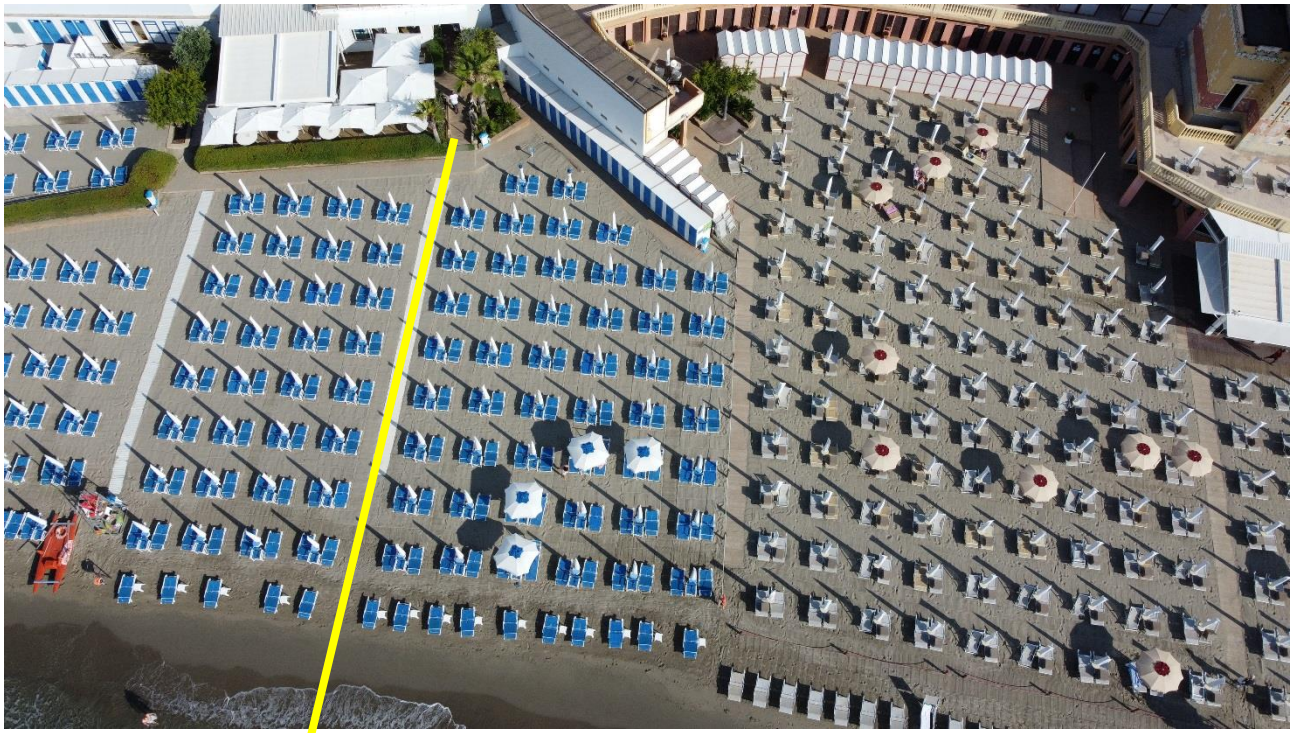
Sez. 5



Sez. 6



Sez. 7 e Sez. 8



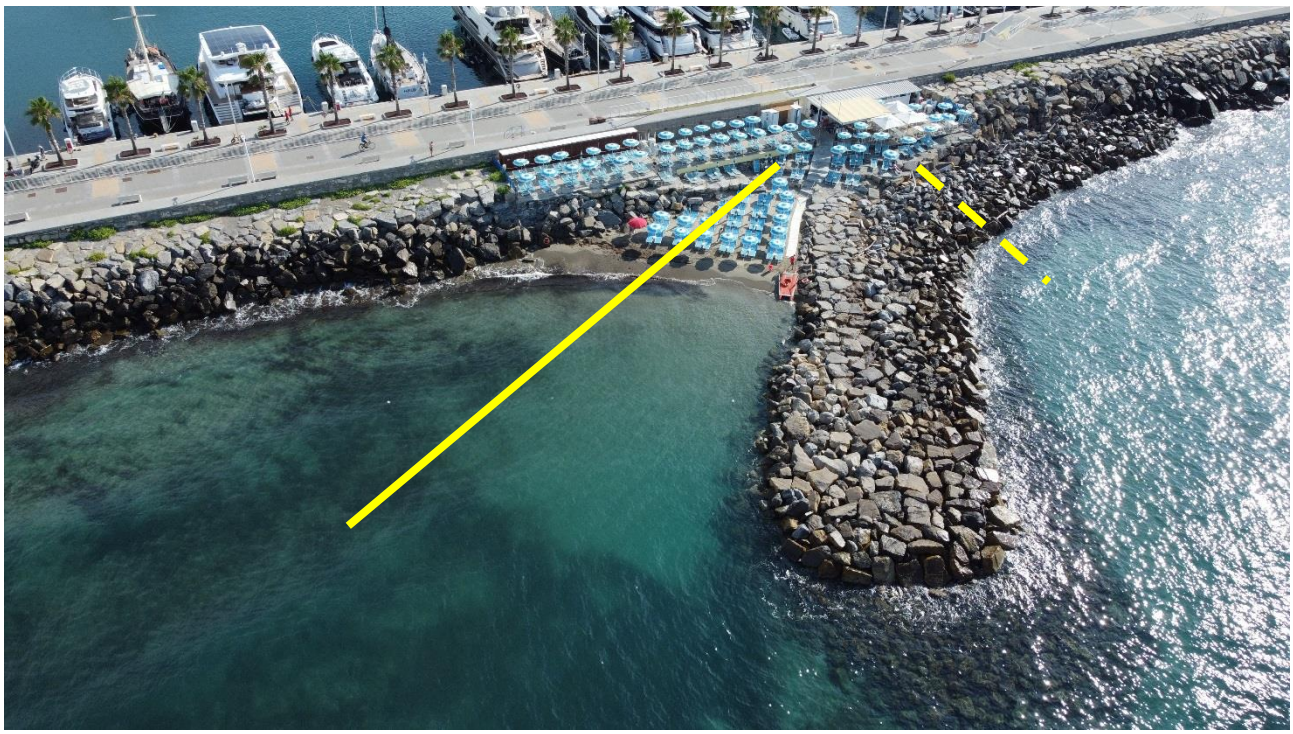
Sez. 9



Sez. 10



Sez. 11



Sez. 12 e sez. 13

Firmato digitalmente da
mario clemente rossi
C = IT