Proponente:

"CALA CRAVIEU" Soc. Coop. a r.l.

Via Aurelia di ponente, 1/B - 17015 CELLE LIGURE (SV)

Oggetto:

INTERVENTI DI RIPRISTINO E RINFORZO DELLE OPERE DI DIFESA IN LOCALITA' "CALA CRAVIEU" A CELLE LIGURE (SV) DANNEGGIATE DALLA MAREGGIATA ECCEZIONALE DEL 29-30 OTTOBRE 2018

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato:

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Progettisti:



STUDIOGAGGERO

SAVONA Via Pia, 130R
Tel 019 829463 - Fax 019 8386702 - Cell 335/303133
Email ing.gaggero@libero.it

STUDIOELB Ingegneri Associati
Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova Tel. 010.5740568 - fax : 010.4211059
e-mail: inge@studioelb.it - PEC: studio@pec.studioelb.it - C.F. e P. I.V.A.: 01933110999

0	18.12.2019	PG	PG	Emissione
Revisione	Data	Redatto da:	Controllato da:	Descrizione

Data:	Scala:		
18.12.2019		B25	R01

SOMMARIO

1. PREMESSA 3

2. INQUADRAMENTO DELL'OPERA 5

2.1 PROPRIETÀ DELL'AREA - CONCESSIONE DEMANIALE MARITTIMA 6

3. INQUADRAMENTO URBANISTICO E PIANIFICATORIO 7

3.1 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PAESISTICO 7
3.2 PIANO DI BACINO - AMBITO 19 - SANDA 7
3.3 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO DELLA COSTA 10
3.4 P.U.C. DEL COMUNE DI CELLE LIGURE 13
3.5 PROGETTO DI UTILIZZO DELLE AREE DEMANIALI MARITTIME 15
3.6 COMPATIBILITÀ CON GLI STRUMENTI PROGRAMMATICI 15

4. OBIETTIVI PROGETTUALI 15

5. STUDI PROPEDEUTICI ALL'INDIVIDUAZIONE DELLE OPERE A PROGETTO 15

5.1 STUDIO METEOMARINO 16
5.2 STUDIO SPERIMENTALE SU MODELLO IN SCALA DI LABORATORIO 19

6. CONFIGURAZIONI PROGETTUALI INDIVIDUATE 21

6.1 ONDA DI PROGETTO 21
6.2 OPERA ANTISTANTE LO SPECCHIO ACQUEO 23
6.3 OPERE IN CORRISPONDENZA DEL PARCHEGGIO 25
6.4 VALUTAZIONI SULLA PORTATA MEDIA DI OVERTOPPING 28

7. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 28

7.1 AZIONI GIÀ REALIZZATE 28
7.2 INTERVENTI PREVISTI NEL PRESENTE PROGETTO 29

8. DIMENSIONAMENTO DEI NUOVI MASSI PER LA MANTELLATA 32

9. CANTIERIZZAZIONE E TEMPI DI COSTRUZIONE DELLE OPERE 34

ELENCO ELABORATI

Elaborati descrittivi

R01 – Relazione illustrativa
R02 – Relazione paesaggistica
R03 – Studio di compatibilità ambientale
R04 – Relazione geologica (a cura di Dott. Geol. Paolo Peirone)
R05 – Studio meteomarino (a cura di LABIMA - DICEA - Università degli Studi di Firenze)
R06 – Prove su modello fisico (a cura di LABIMA - DICEA - Università degli Studi di Firenze)
R07 – Relazione di calcolo
R08 – Elenco prezzi unitari
R09 – Stima dei lavori

Elaborati grafici

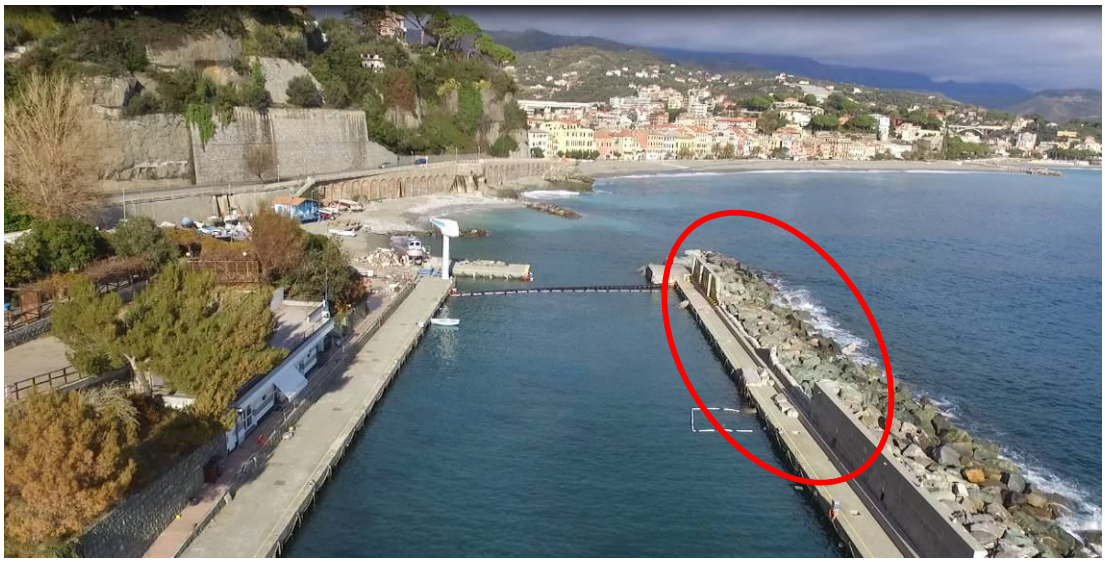
D01 – Planimetria generale – Stato attuale
D01.A - Rilievi batimetrici e topografici ad elevato dettaglio eseguiti da Drafinsub Survey s.r.l.
D02 – Planimetria generale – Stato di progetto
D03 – Planimetria generale – Raffronto stato attuale – stato di progetto
D04 – Sezioni trasversali- Stato attuale
D05 – Sezioni trasversali- Stato di progetto
D06 – Sezioni trasversali- Raffronto stato attuale – stato di progetto preparato
D07 – Sezioni tipo dell'intervento
D08 – Ripristino e rinforzo muro – Carpenteria e orditura
D09 – Fotoinserimenti

1. PREMESSA

Il litorale ligure è stato sconvolto dalla mareggiata eccezionale che nella giornata del 29 e nella notte tra il 29 e 30 ottobre 2018 ha investito la costa, portando distruzione alle opere di difesa ed alle strutture urbane retrostanti.

Il litorale di Celle Ligure non è sfuggito all'eccezionale forza dell'attacco ondoso che, rinforzato dal vento (manifestatosi con velocità ben superiori 100 km/h) e da un'insolita sopraelevazione del livello medio del mare (dell'ordine anche dei 100/120 cm), ha aggredito la costa con livelli energetici eccezionali.

Gli effetti sono stati devastanti. In particolare, nel tratto di ponente del litorale la struttura difensiva in concessione alla Cala Cravieu Soc. Coop. ha subito notevoli danni con crollo di diversi tratti.







Il progetto, di cui la presente relazione fa parte, prevede il ripristino dell’opera, con adeguamento e rinforzo della stessa per ottenere un ripristino della funzionalità e un miglioramento della capacità difensiva resosi opportuno alla luce degli eventi.

L’opera presentata ricade in un Comune compreso nell’elenco di cui all’allegato 1 al DCD 558 n. 2/2019 – Elenco dei comuni colpiti dall’evento del 29/30 ottobre 2018 relativo all’Ordinanza del capo della protezione Civile n. 558/2018.

Il Concessionario è stato ammesso ai benefici previsti e ai relativi contributi spettanti secondo le procedure contributive previste dai decreti commissariali 558 n. 11 e 12/2019.

2. INQUADRAMENTO DELL'OPERA

La località Cravieu è ubicata nella zona di litorale in Comune di Celle Ligure a ponente dell'abitato centrale, ai piedi della pineta Bottini, all'interno dell'unità fisiografica compresa tra Vado Ligure e Celle Ligure, nel paraggio compreso tra Punta Celle (alla quale è radicata l'opera di protezione dello specchio acqueo di "Cala Cravieu") e Punta dell'Aspera.



Figura 2.1 –Stralcio C.T.R Regione Liguria 1:10.000

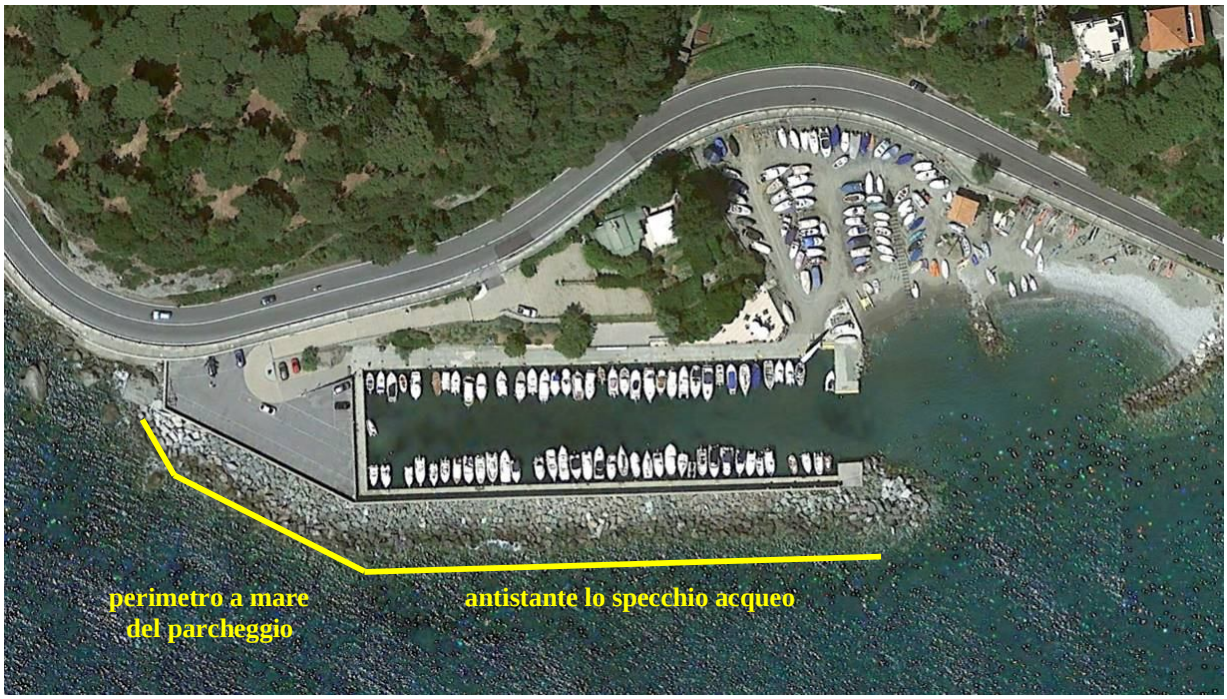
Tale tratto in origine era caratterizzato soltanto da una piccola insenatura costiera, sita all'estremità di ponente dell'abitato di Celle Ligure e priva di spiaggia.

Dagli anni '50 del secolo scorso, con l'esecuzione delle opere di costruzione dell'autostrada e, successivamente, di quelle volte allo spostamento a monte della ferrovia, la collocazione in loco del materiale di risulta portò a riempire in buona parte l'insenatura, dando luogo ad una piana di terriccio e massi di varie dimensioni, il riempimento/discarica denominata Cravieu,

A partire dagli anni 80-90 sempre del secolo scorso, la Cala Cravieu Soc. Coop. chiese in concessione l'area della discarica, per trasformarla in una strutturata opera di difesa longitudinale, al ridosso della quale furono allestiti punti di ormeggio per piccole imbarcazioni e aree di lavoro su spiaggia La Società si è obbligata nell'atto concessorio pluriennale alla manutenzione dell'opera e di fatto è intervenuta più volte anche su ordinanze sindacali aventi ad oggetto ***l'esecuzione dei lavori di difesa costiera del tratto di litorale in Cala Cravieu***.
Pertanto, in esito al crollo parziale della struttura difensiva durante l'evento eccezionale del 29/30 ottobre 2018, la Cala Cravieu Soc. Coop. si è assunta l'onere di studiare, progettare e

realizzare il ripristino e potenziamento dell’opera di difesa. Quest’ultima, considerate le funzioni e la morfologia preesistente, può essere suddivisa in due tipologie base:

- opera di difesa antistante lo specchio acqueo - opera di difesa sul perimetro a mare del parcheggio.



Cala Cravieu - Opere di difesa

2.1 Proprietà dell’area - Concessione demaniale marittima

L’area di intervento è, dalla costruzione, in concessione demaniale marittima alla Soc. Cala Cravieu s.c.a.r.l.Tale concessione è stata formalizzata con Atto Pluriennale, sottoscritto con il Comune di Celle Ligure in data 26 maggio 2010).

3. INQUADRAMENTO URBANISTICO E PIANIFICATORIO

3.1 Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico

L'area interessata dagli interventi in progetto fa parte dell'Ambito Territoriale N. 48 "Celle Ligure-Varazze".

Assetto insediativo

Quasi tutta l'area in concessione ed in particolare l'opera di difesa ricade in area non mappata, antistante nella parte di piazzale ad una zona a parco urbana e nella parte della specchio acqueo ad una zona ad insediamento diffuso, soggetta a regime normativo di Mantenimento (ID-MA).

Nella zona non sono presenti aree carsiche.

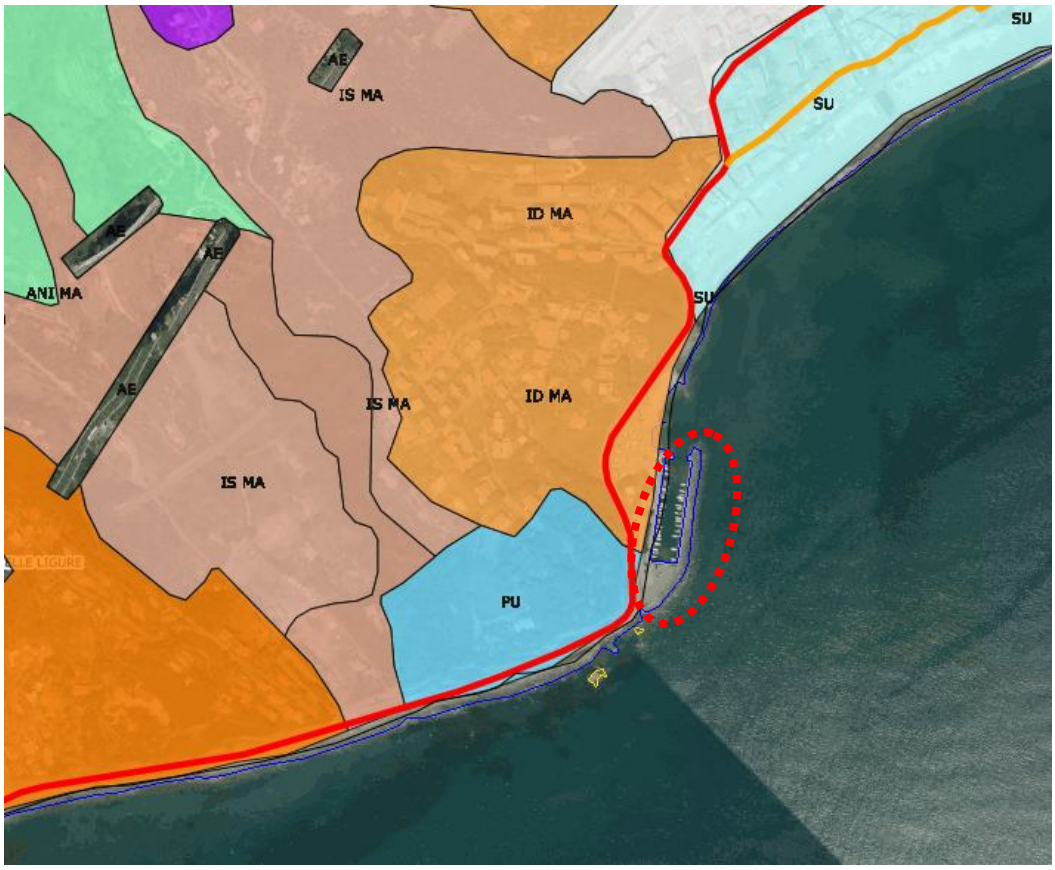
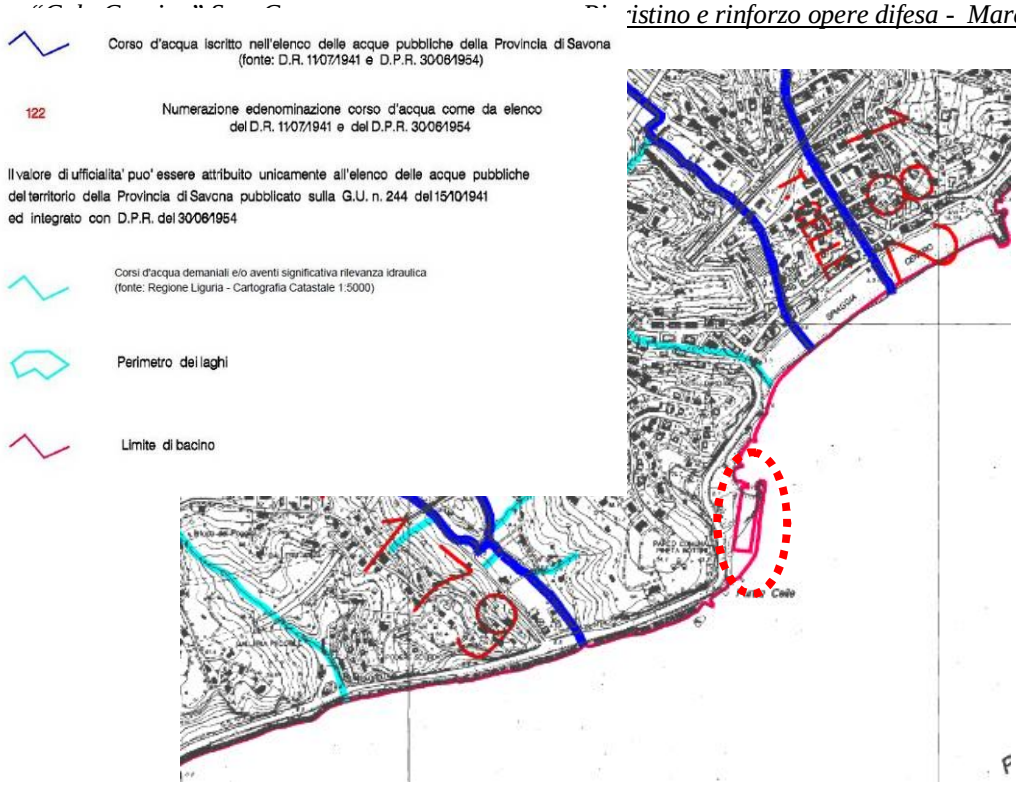


Figura 5.3 - P.T.C.P. della Regione Liguria: assetto insediativo ed aree carsiche

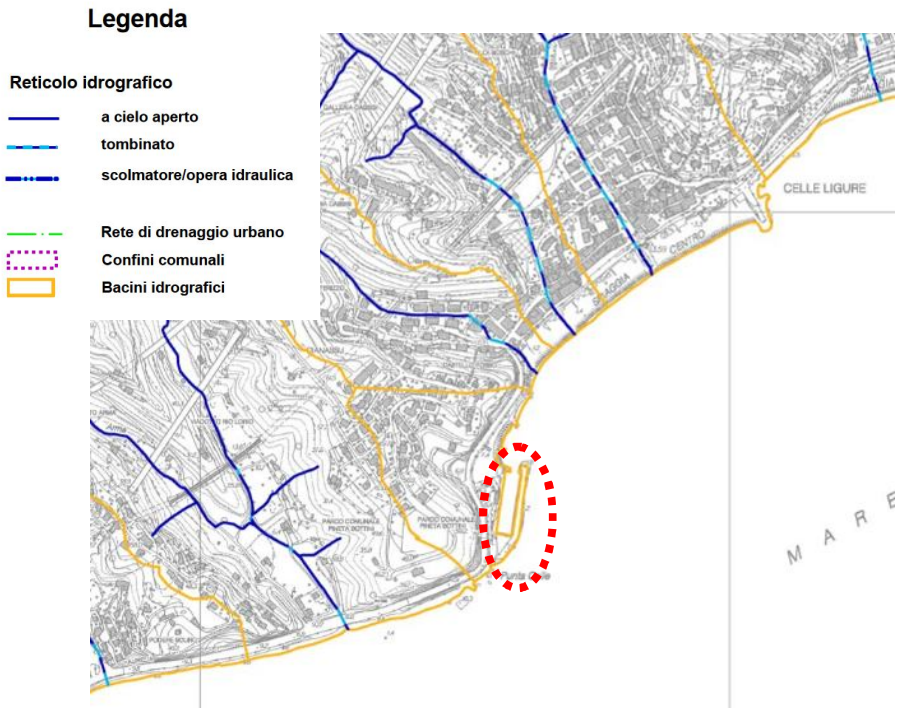
3.2 Piano di bacino - Ambito 19 - Sanda

L'area in esame ricade all'interno del Piano di Bacino – Ambito 19 Sanda, approvato con Delibera di Consiglio Provinciale di Savona n° 47 del 25.11.2003 e ss.mm.ii. (Ultima variante approvata: DDG n.6268 del 21 ottobre 2019).

Nell'area in esame non confluisce alcun corso d'acqua con significativa rilevanza idraulica.



Piano di Bacino – Ambito 19 Sanda - Stralcio Tav. 13 – 229070 - Carta del reticolo idrografico principale

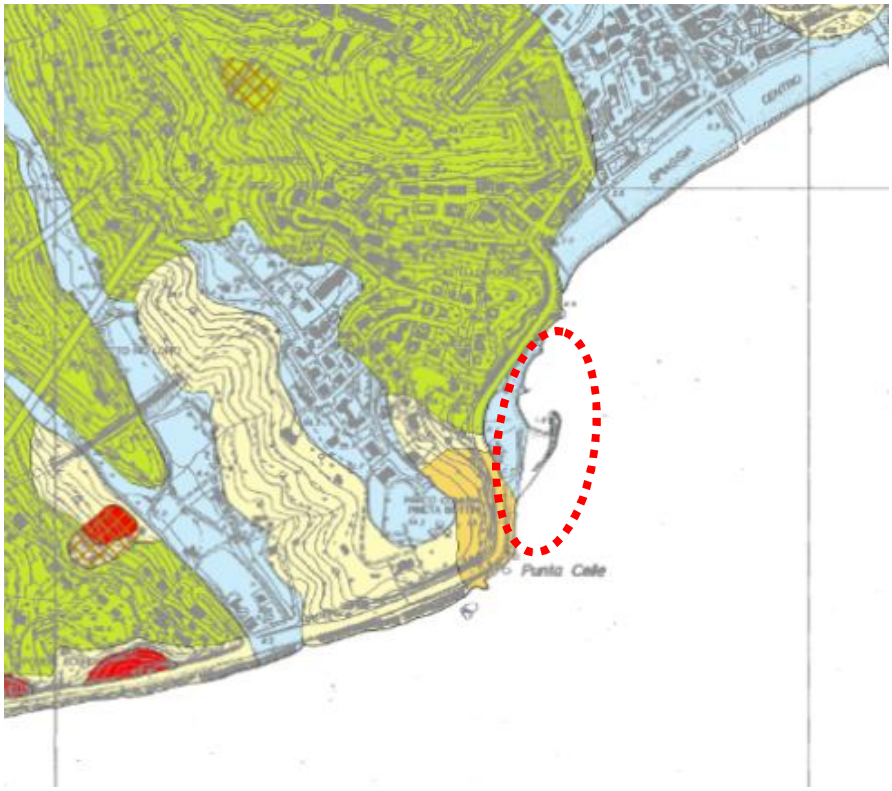


Stralcio carta Reticolo Idrografico – All. 1 alla DGR n. 507del 21/06/2019

Le opere di difesa oggetto dell'intervento ricadono in area non mappata.

E' infatti costituita da opere a mare realizzate negli anni 80-90.

L’area a terra retrostante risulta ricadere parzialmente in aree a suscettività al dissesto molto bassa e parzialmente in aree a suscettività al dissesto mappata come alta per area non di frana quiescente.



LEGENDA

- Pg4 - (Aree a suscettività MOLTO ALTA - aree in frana attiva)
- Pg3a - (Aree a suscettività ALTA - frane quiescenti)
- Pg3b - (Aree a suscettività ALTA - aree non di frana quiescente)
- Pg2 - (Aree a suscettività MEDIA)
- Pg1 - (Aree a suscettività BASSA)
- Pg0 - (Aree a suscettività MOLTO BASSA)
- A - (Aree speciali di tipo A - Cave attive, Miniere attive)
- A - (Aree speciali di tipo A - Discariche in esercizio)
- B1 - (Aree speciali di tipo B1 - Cave inattive, Miniere abbandonate)
- B2 - (Aree speciali di tipo B2 - Discariche dismesse e Riporti antropici)

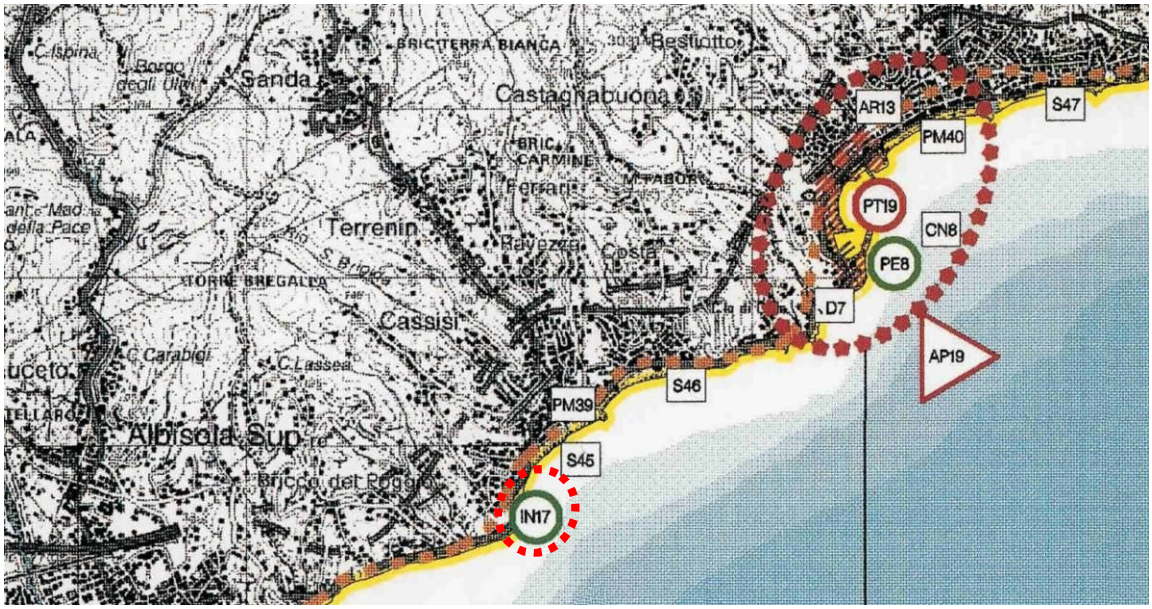
Piano di Bacino – Ambito 19 Sanda-
Stralcio Tav. 8 – 229070 - Carta della suscettività al dissesto

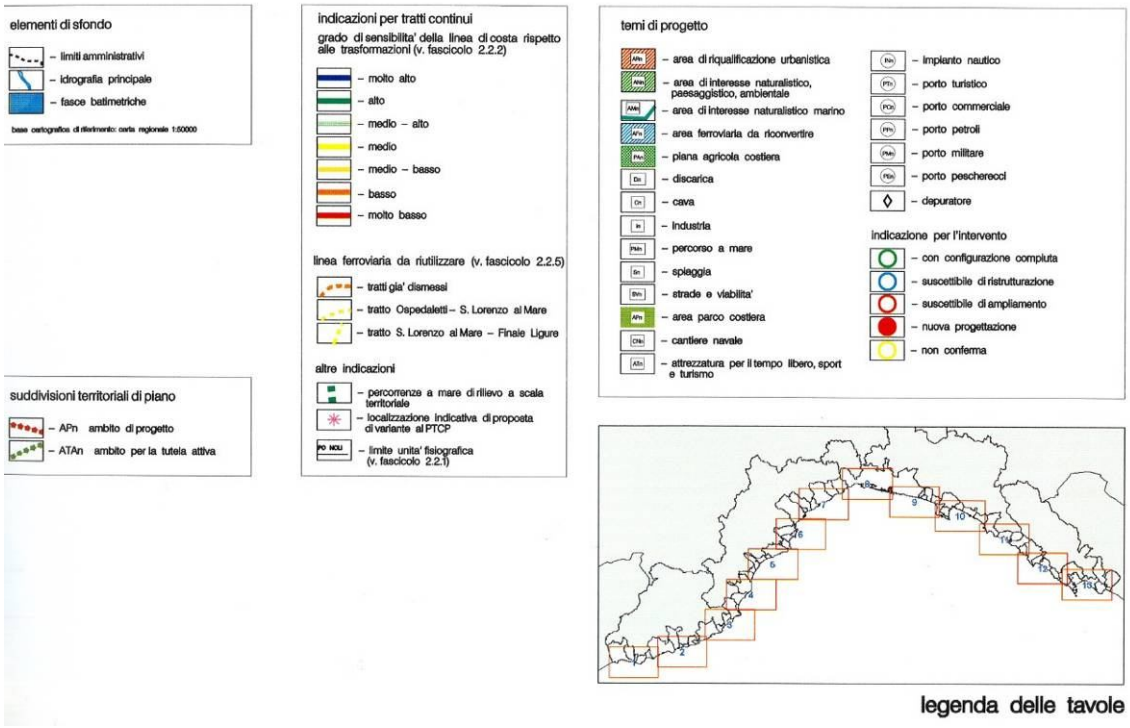
3.3 Piano Territoriale di Coordinamento della Costa

La Regione Liguria - Dipartimento Pianificazione Territoriale e Paesistica, ha predisposto il PTC della costa ligure, approvato con D.C.C. n. 64 del 29.12.2000 e aggiornato con variante approvata con D.C.R. n° 43 del 23.12.2015.

La fascia litoranea di Celle Ligure, in particolare la struttura di Cala Cravieu, ricade in un'area definita con configurazione IN17.

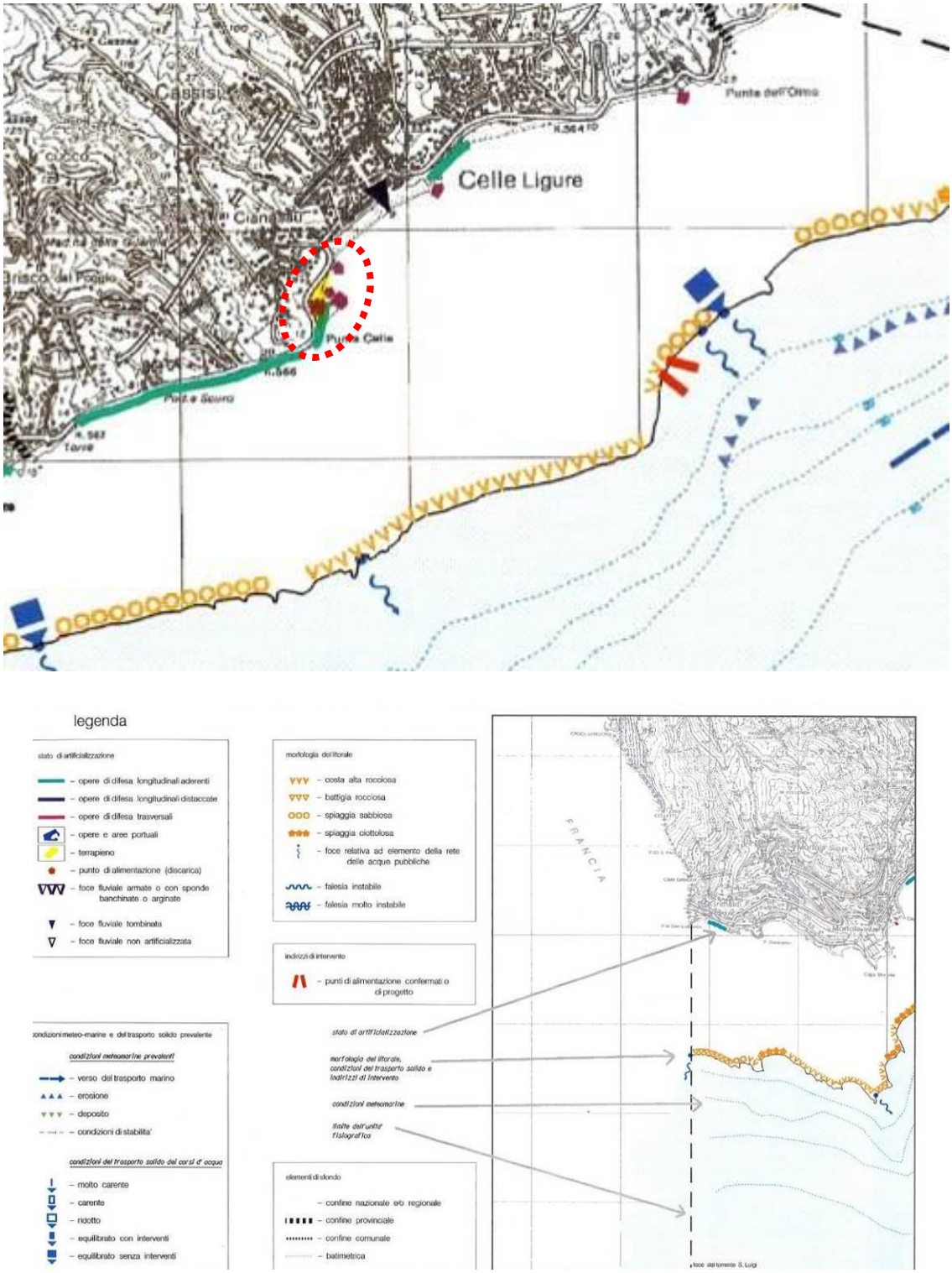
Il piano si limita ad esprimere un indirizzo a carattere generale favorevole allo sviluppo conseguibile attraverso il miglioramento e l'ampliamento delle strutture esistenti e la realizzazione di nuove infrastrutture in tutti i casi in cui ciò sia ambientalmente e urbanisticamente compatibile sulla scorta delle verifiche operate negli idonei strumenti urbanistici locali e nelle pertinenti procedure di V.I.A.





Stralcio P.T.C. della Regione Liguria – Indicazioni generali di piano
Stralcio Tav. 7 – Da Savona ad Arenzano

Nel fascicolo 2.2.1, in cui vengono analizzate le tematiche riguardanti la difesa costiera e il ripascimento delle spiagge, nella tav. 13 da punta S. Erasmo a punta dell'Aspera, di cui nel seguito si riporta uno stralcio, nell'area è indicata la presenza di difese rigide trasversali e longitudinali. Non è più confermata come punto di alimentazione la discarica degli inerti da smarino delle gallerie presente proprio a punta Craviolo.



Stralcio P.T.C. della Regione Liguria - Difesa costiera e ripascimento delle spiagge - Stralcio Tav. 13 – Da Punta S. Erasmo a punta dell'Aspera

3.4 P.U.C. del Comune di Celle Ligure

Il Piano urbanistico comunale (Puc) del Comune di Celle Ligure è stato approvato con D.G.R. 755 del 20/09/2017.

Come mostrato nella figura seguente tratta dalla carta di zonizzazione del Piano le aree a terra della Cala ricadono in zona FC di conservazione ossia in "parti del territorio destinate ad attrezzature, servizi di interesse generale e pinete" disciplinati dall'art. 61 delle Norme di conformità e congruenza ed in particolare nell'ambito "40 FC – Arenile Alaggio" per quasi la totalità delle aree e nell'ambito "38 FC – Arenile terzo" per la parte più a ponente del piazzale di ingresso.

Nella scheda prescrittiva ad esso relativa all'ambito 40FC per l'" *alaggio per barche da diporto*", in conformità al P.T.C. della costa, il Piano precisa che debba essere confermato lo stato di fatto "*escludendo ogni tipo di ampliamento*". Pone, tuttavia, come obiettivo degli interventi: favorire gli interventi di riqualificazione e fruizione ambientale".



Struttura del Piano Urbanistico Comunale

Ambiti FC di conservazione "Parti del territorio destinate ad attrezzature, servizi di interesse generale, pinete e arenili"

Stralcio tav. 24 SP/A – Struttura del Piano urbanistico Comunale variante 2014 su C.T.R.

Per quanto riguarda la disciplina il regime ID-MA di assetto insediativo del P.T.C.P. tende a mantenere i caratteri complessivi dell'area in quanto caratterizzato da un linguaggio coerente ed equilibrato con il contesto ambientale dell'arenile. Gli interventi consentiti, escludendo ogni forma di ampliamento volumetrico, devono essere rispettosi dei caratteri propri della zona (D.C.R. n. 6/1990 art. 44).

A livello normativo gli interventi ammessi sono quelli consentiti dall'art. 11 quinquies 1della L.r. 13/99 e ss.mm.ii. ferma restando la predisposizione di progetto d'insieme dell'ambito. "*Nel rispetto dei sopracitati riferimenti normativi, le proposte progettuali, conformi a quanto prescritto dal P.U.A.D. (Piano Utilizzo Aree Demaniali), devono essere finalizzate alla conservazione delle valenze naturalistiche dell'arenile, all'adeguamento e miglioramento dell'offerta degli stabilimenti destinati alla balneazione. Non è consentita l'apertura di nuovi tracciati veicolari, ma solo l'adeguamento di quelli esistenti al fine di migliorarne la funzionalità limitatamente all'accessibilità pedonale e ciclabile.*

Sul patrimonio edilizio esistente sono ammessi interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro e risanamento conservativo".

Nella scheda prescrittiva dell'ambito 38FC, non si parla direttamente della zona: l'ambito di conservazione, lungo l'arenile, comprende la striscia di scogliera sotto l'Aurelia, parzialmente in località Roglio e verso levante, sotto la Pineta Bottini (ambito 39FC).

"L'ambito è inedificabile e non consente alcun intervento salvo le opere necessarie alla conservazione dell'arenile e alla sua fruizione turistica."

Obiettivo degli interventi è favorire gli interventi di riqualificazione e fruizione ambientale della scogliera migliorando i percorsi e gli accessi dalla via Aurelia.

Nella disciplina paesaggistica (regime P.U. che tuttavia nel PTCP non comprende la zona del piazzale interessato) prevale l'esigenza di salvaguardia della consistenza e della qualità delle aree.

A livello normativo gli interventi ammessi sono quelli consentiti dall'art. 11 quinquies 1della L.r. 13/99 e ss.mm.ii. ferma restando la predisposizione di progetto d'insieme dell'ambito. Le proposte progettuali devono essere finalizzate alla conservazione delle valenze naturalistiche dell'arenile, all'adeguamento e miglioramento dell'offerta degli stabilimenti destinati alla balneazione.

L'opera di difesa sembra esclusa dalle zone mappate.

3.5 Progetto di utilizzo delle aree demaniali marittime

Il Progetto di utilizzo delle aree demaniali, redatto dal Comune di Celle Ligure, è stato approvato dalla Regione Liguria con Nulla Osta n. 2853 del 26.10.2009 (codice PUD 480).

L'area in esame è classificata sia nello stato attuale che nello stato di progetto AREA PER ATTIVITA' SPORTIVA E RICREATIVA .

Nelle norme di PUAD non sono inserite particolari previsioni di dettaglio per l'area.

3.6 Compatibilità con gli strumenti programmatici

Alla luce di quanto sopra esposto, l'intervento di ripristino e adeguamento dell'opera di difesa, non configurandosi né come ampliamento della struttura né come nuova costruzione ma come riqualificazione e rinforzo necessario in conseguenza dei danni subiti con la mareggiata dell'ottobre 2018, per la sua stessa finalità di consolidamento di un'opera di difesa esistente senza modifiche dei fini e degli obbiettivi della stessa e con un limitatissimo aumento di impronta complessiva del manufatto rispetto allo stato esistente, non risulta in contrasto né con la pianificazione vigente né con il regime vincolistico dell'area.

4. OBIETTIVI PROGETTUALI

L'obiettivo del presente progetto è il ripristino della funzionalità delle opere di difesa a mare di Cala Cravieu pesantemente danneggiate dall'evento meteomarino del 29 e 30 ottobre 2018 mediante la ricostruzione e l'adeguamento delle stesse.

Tale intervento permette sia il ritorno alla funzionalità della struttura che costituisce comunque un'eccellenza nell'ambito della fascia costiera comunale, sia di proteggere il litorale nell'area.

Per l'identificazione e la calibrazione degli interventi sono stati valutati differenti aspetti come da specifiche richieste della Committenza in rapporto agli obiettivi minimi e alle risorse economiche a disposizione, che risultano limitate dalla tipologia stessa della struttura e della Società cooperativa che lo gestisce.

5. STUDI PROPEDEUTICI ALL'INDIVIDUAZIONE DELLE OPERE A PROGETTO

Le attività progettuali per individuare le caratteristiche dell'intervento sono state calibrate sulla base di appositi studi meteomarini e prove su modello affidate all'Università di Firenze, LABIMA, sotto la responsabile guida del Prof. Lorenzo Cappietti.

Gli esiti di tali studi sono riportati nelle relative relazioni allegate alla progettazione ("R05 – Studio meteomarino" e "R06 – Prove su modello fisico").

Se ne riporta di seguito una breve sintesi.

5.1 Studio meteomarino

La zona al largo di Cala Cravieu è aperta ai moti ondosi provenienti da un settore di traversia ampio circa 80°, che parte dai 135°N e arriva fino ai 215°N. Questo settore può essere suddiviso in relazione all'intensità e alla frequenza dei moti ondosi che li caratterizzano in tre sotto settori:

1) 150°N-185°N, il settore di traversia principale;

2) 185°N-215°N,un primo settore di traversia secondario;

3) 135°N-150°N, un secondo settore di traversia secondario.

L'analisi del clima meteomarino al largo è stata condotta con riferimento ad un punto al largo di Celle, situato ad una distanza dalla costa di circa 4 km, su un fondale con profondità di circa 100 m.

Il clima ondoso in tale punto stato caratterizzato tramite l'applicazione del modello WW3-DICEA che ha permesso di ottenere dati orari di altezze d'onda significative(Hm0), direzione di provenienza delle onde (Dir), periodo Tm-1,0, e periodo di picco Tp relativi al periodo 2000-2018.

I moti ondosi più intensi provengono dal settore di traversia principale 150°N-185°N; in maggior dettaglio i moti ondosi più frequenti provengono dal settore di apertura 30° centrato sui 180°N e dal settore di apertura 30° centrato sui 150°N.Onde con altezza significativa maggiore di 4 m provengono soltanto da questi due settori da cui . i moti ondosi più intensi possono superare i 5m di altezza significativa (con periodi di picco Tp compresi fra 10 e 12s).

Inoltre, dai settori centrati sui 120°N, 150°N, 180°N e 210°N possono provenire anche moti ondosi con altezza significativa di circa 4m e periodidi picco fino a 12s(Tabella 5, Tabella 6e Tabella 7). Moto ondosi con periodi così lunghi possono determinare condizioni particolarmente critiche nei confronti della tracimazione delle opere marittime.

Propagando verso costa la serie storica di dati orari dei moti ondosi al largo relativi al periodo 2000-2018 è stata poi ricostruito con il modello MIKE21-SW (che consente di tener conto dei processi trasformazione dell'onda nella propagazione a costa dovuti a rifrazione, abbattimento dell'altezza d'onda per effetto del frangimento e attrito al fondo., il moto ondoso in due punti: uno situato su un fondale di 10 m, ad una distanza di circa 200 m dall'opera di difesa e uno su un su un fondale di circa 6 m, posto in prossimità del piede dell'opera di difesa.

Il moto ondoso nei fondali a profondità 10 m antistanti la diga ha provenienza principale dal settore 135-165°N (centrato sui 150°N), dal quale le onde provengono per oltre il 95% del tempo circa.

La simulazione della propagazione dei moti ondosi dal largo a costa rivela l'effetto di marcati fenomeni di rifrazione che intervengono prima che le onde raggiungano Cala Cravieu; gli effetti congiunti di rifrazione, frangimento e attrito al fondo determinano inoltre un abbassamento considerevole dell'altezza d'onda rispetto ai valori al largo. Sui fondali aventi profondità di circa 10m le massime altezze d'onda significative per il periodo in esame risultano di circa 4.5m.

Il moto ondoso propagato fino ai fondali con profondità 6 m, al piede della scogliera, mostra un ulteriore rotazione verso est dei fronti d'onda rispetto a quanto osservato sui fondali di 10 m. Complessivamente, sul fondale di 6 m, i moti ondosi hanno provenienza principale dal settore centrato sui 150°N, dal quale le onde provengono per oltre l'89% del tempo. Tale direzione risulta inclinata di 30°-60° rispetto alla direzione perpendicolare alla foranea stessa. Le massime altezze d'onda significative per il periodo in esame, sulla profondità di 6 m, risultano di circa 4 m.

La serie temporale dei dati d'onda propagata fino al fondale di 6 m è stata analizzata anche tenendo conto della stagionalità: in inverno e in autunno la direzione prevalente delle onde si conferma essere dal settore 130-160°N con massime altezze significative registrate di circa 4m. In primavera e in estate le onde provengono dal settore 130-160°N con frequenza superiore al 90%; le massime altezze significative sono inferiori ai 3 m.

I livelli del mare, registrati dal mareografo di Genova, nel periodo in esame, hanno raggiunto un valore minimo ed uno massimo rispettivamente di +68cm e -49cm rispetto al medio mare locale; le pressioni registrate presso la stazione mareografica di Genova nel periodo 2000-2018 hanno mostrato un minimo ed un massimo barico di, rispettivamente, 978mbar e 1036mbar.

E' stata poi condotta l'analisi degli eventi estremi al largo e a costa prima della mareggiata di ottobre 2018 sia per l'intero settore sia che per i sotto settori.

Al largo considerando l'intero settore 135-215°N, l'altezza d'onda significativa con tempo di ritorno 50 anni è pari a Hs=4.4m con la distribuzione di Gumbel e ad Hs=4,8m con quella di Weibull. L'onda con tempo di ritorno pari a 100 anni ha Hs=4,7m con la distribuzione di Gumbel Hs=5,1m con quella di Weibull. Le onde con altezza significativa maggiore di 4 m si sono presentate con periodi di picco Tp compresi fra 9 e 12. Nel caso di onde minori di 3 m si osserva la presenza di periodi di picco Tp fino ai 16s.

Relativamente agli eventi con direzione di provenienza, al largo, dall'intero settore di traversia, l'analisi statistica a costa ha mostrato, sui fondali profondi 10m antistanti la diga, un valore di

altezza d'onda significativa con tempo di ritorno 50 anni pari a Hs=3,4m(Gumbel) o Hs=3,6m(Weibull) e con tempo di ritorno pari a 100 anni di altezza significativa Hs=3,6m (Gumbel) o Hs=3,9m (Weibull) e su fondali profondi 6 m al piede della scogliera altezza d'onda significativa con tempo di ritorno 50 anni pari a Hs=3,4 m (Gumbel) o Hs=3,6 m (Weibull), e altezza significativa con tempo di ritorno pari a 100 anni pari a Hs=3,6 m (Gumbel) o Hs=3,9 m (Weibull).

E' stato quindi analizzato l'evento del 29 ottobre ed è stata ricostruita localmente la mareggiata mediante modelli numerici.

Confrontando i risultati ottenuti dalla ricostruzione della mareggiata al largo con i risultati dell'analisi statistica degli eventi estremi pre mareggiatta è stato possibile osservare che la massima altezza d'onda significativa raggiunta durante la mareggiata (Hs=5,6m), è associata ad un tempo di ritorno superiore ai 100 anni, a prescindere dalla direzione di provenienza del moto ondoso e che, escludendo la mareggiata, non si sono registrate altezze d'onda significative superiori ai 5m nel punto offshore di Cala Cravieu.

La durata complessiva della mareggiata, con valori sopra la soglia dei 2m per oltre 30 ore consecutive, ha costituito un ulteriore tratto di eccezionalità: l'analisi degli eventi passati ha infatti rivelato come, nel periodo 2000-2018, mareggiate con durata di 30 ore si siano presentate con una frequenza relativa del 3% circa.

In relazione all'analisi degli eventi estremi condotta per il moto ondoso propagato a costa sui fondali antistanti la diga di Cala Cravieu, la massima altezza significativa raggiunta durante la mareggiata sui fondali di 10m (Hs=4.7m) ha un tempo di ritorno superiore ai 100 anni su quegli stessi fondali.

Sui fondali a profondità di circa 6 m quali, in prima approssimazione, quelli al piede della diga foranea di Cala Cravieu, intervengono marcati fenomeni di frangimento che portano le massime altezze d'onda significative ad essere di poco inferiori ai 4 m durante la mareggiata.

La statistica degli eventi estremi è stata, infine, aggiornata per includere l'evento del 29 ottobre 2018.

Includendo la mareggiata del 29/10/2018 negli eventi analizzati nel punto al largo di Cala Cravieu, e considerando eventi provenienti dall'intero settore 135-215°N:

- l'altezza d'onda significativa al largo con tempo di ritorno 50 anni aumenta a Hs=4,9m(Gumbel) o Hs=5,3m(Weibull) e l'altezza d'onda significativa al largo con tempo di ritorno 100 anni aumenta a Hs=5,2 m(Gumbel) o Hs=5,7m(Weibull)
- l'altezza d'onda significativa a costa a profondità 10m (con un set-up di 0,7 m) con tempo di ritorno 50 anni aumenta a Hs=3,9m(Gumbel) o Hs=4,2m(Weibull) e l'altezza d'onda

significativa al largo con tempo di ritorno 100 anni aumenta a Hs=4,2 m(Gumbel) o Hs=4,6m(Weibull)

- l'altezza d'onda significativa a costa a profondità 6m (con un set-up di 0,7 m) con tempo di ritorno 50 anni aumenta a Hs=3,6m(Gumbel) o Hs=3,9m(Weibull) e l'altezza d'onda significativa al largo con tempo di ritorno 100 anni aumenta a Hs=3,8 m(Gumbel) o Hs=4,1m(Weibull)

Conducendo l'analisi statistica sulle singole stagioni, sui fondali di 6 m con 0.7 m di set-up, l'altezza d'onda significativa a costa con tempo di ritorno 100 anni assume un valore di:

- Hs=4,1m (Weibull) in autunno;
- Hs=4,0 m (Weibull) in inverno;
- Hs=2,8 m (Weibull) in primavera;
- Hs=2,6 m (Weibull) in estate.

5.2 Studio sperimentale su modello in scala di laboratorio

Sulla base dei dati ondosi sono state condotte, presso il Laboratorio di Ingegneria Marittima dell'Università di Firenze prove su modello fisico in scala di laboratorio per la verifica della stabilità e dell'efficienza idraulica degli interventi previsti con i seguenti principali obiettivi:

• verifica della stabilità dei massi naturali della mantellata,

• misura della portata di tracimazione trasmessa oltre il muro paraonde,

• misura delle sollecitazioni d'onda sul muro paraonde.

Sono state testate diverse configurazioni concordate con la Committenza, in relazione alle tracimazioni osservate in corso di prova, alle sollecitazioni misurate e alle risorse economiche a disposizione della Committenza.

In particolare sono state testate le seguenti configurazioni.

Configurazione	Descrizione
C0	"Stato Attuale": sezione scogliera come da rilievo fornito dal Committente, coronamento muro paraonde pari a +4.50 m s.l.m.m.
C1*	Sezione scogliera come da rilievo fornito dal Committente, coronamento muro paraonde pari a +5.00m s.l.m.m.
C2	Sezione scogliera come da rilievo fornito dal Committente, coronamento muro paraonde pari a +6.00m s.l.m.m.
C3*	Aggiunta di uno strato di massi naturali di IV categoria al di sopra della scogliera esistente fino ad una profondità di chiusura di circa -3.00m s.l.m.m.; estradosso della berma emersa pari a +3.80m s.l.m.m.; coronamento muro paraonde pari a +5.00m s.l.m.m..
C4	Come la configurazione C3 con l'aggiunta di un prolungamento al piede della struttura, con quota di estradosso alla -1.5m s.l.m.m. e larghezza di 4.2m.
C5*	Sezione scogliera come da rilievo fornito dal Committente, coronamento muro paraonde pari a +5.00m s.l.m.m; aggiunta di massi di IV categoria solo in corrispondenza della berma emersa (4 file).

Le configurazioni C1, C3 e C5 sono state testate anche ricostruendo la sezione secondo in allineamento inclinato di 30° gradi rispetto alla direzione ortogonale all'asse longitudinale dell'opera, in modo da simulare un attacco dell'onda inclinata di 30° circa rispetto alla direzione perpendicolare all'opera di difesa; dallo studio meteomarino è emerso infatti come la maggior parte delle mareggiate osservate impattino l'opera di difesa con un angolo di incidenza compreso tra 30° e 60° (per il 90% del tempo circa).

In canale sono stati simulati un totale di 6 attacchi ondosi irregolari individuati anche sulla base delle risultanze dello "Studio meteomarino al largo e propagazione a costa per la determinazione delle azioni di progetto della diga marittima di Cala Cravieu."

In particolare, in considerazione dell'interazione dei moti ondosi con i bassi fondali antistanti l'opera di difesa (circa 5,5 metri), è stato scelto di eseguire prove con l'onda con tempo di ritorno Tr=100 anni, l'onda con tempo di ritorno Tr=50 anni e con moti ondosi di intensità via via decrescente, come mostrato nella tabella seguente, fino e quello meno energetico che comunque dava luogo a tracimazioni dell'opera.

Test n°	Descrizione	Livello [m s.l.m.m.]	H_s [m]	T_p [s]
1	Onda 1 (o Tr100)	+1.00	4.1	12.0
2	Onda 2 (o Tr50)	+1.00	3.9	12.0
3	Onda 3	+1.00	3.5	12.0
4	Onda 4	+1.00	3.5	10.0
5	Onda 5	+1.00	3.0	13.0
6	Onda 6	+1.00	3.0	10.0

Il moto ondoso relativo alla mareggiata del 29 Ottobre 2018 è risultato avere altezza significativa, sui fondali al piede della scogliera, praticamente pari a quella dei moti ondosi con Tr=100 anni. I moti ondosi 100-ennali e 50-ennali che si formano davanti all'opera sono tipo "broken waves" e per questo hanno altezza significativa praticamente uguale e pari alla massima possibile sui fondali antistanti l'opera. Inoltre, in questa condizione di fondali relativamente bassi, anche se i moti ondosi al largo avessero una maggiore altezza significativa questi si ridurrebbero sempre ai valori uguali a quelli dell'evento con tempo di ritorno 50-ennale o 100-ennale e per questo non è risultato necessario provare condizioni di moto ondoso al largo ancora più energetiche.

Gli attacchi ondosi sono stati riprodotti su un livello di sovralzo del mare pari a 1m al fine di tenere conto dei fenomeni di sovralzo barico, sovralzo di marea e wind surge. Il wave set-up, invece, avviene nel modello analogamente a quanto accade nella realtà ed è stato misurato durante i test.

Per poter confrontare l'efficienza idraulica, in termini di portate medie di overtopping, e la riduzione delle forze di impatto agenti sul muro paraonde di tutte le configurazioni testate si rimanda alle tabelle riportate nella specifica relazione "R06 – Prove su modello fisico" allegata al progetto.

Nei paragrafi seguenti si riportano solo le risultanze delle configurazioni progettuali scelte.

6. CONFIGURAZIONI PROGETTUALI INDIVIDUATE

6.1 Onda di progetto

Le caratteristiche dell'onda di progetto vanno determinate stabilendo un certo livello di rischio, ossia la probabilità di superamento di tali caratteristiche durante la vita presunta dell'opera marittima, da valutare in base alla funzionalità dell'opera stessa.

Nelle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime", approvate dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 Settembre 1994 n. 156 sono riportati i criteri per determinare il tempo di ritorno dell'evento di progetto.

Tale tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} e fornito dalla combinazione del tempo di vita dell'opera e della probabilità di danneggiamento secondo la relazione:

$$T_{rp} = T_v / [- \ln(1-P_f)]$$

La vita utile viene stabilita in base al tipo di opera (infrastruttura di uso generale e infrastrutture di uso specifico) e al livello di sicurezza richiesto che varia da 1 a 3 secondo la tabella sotto riportata.

Tabella 1. Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo (T_V).

Tipo dell'opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto (anni)		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Poiché l'opera di difesa protegge anche lo specchio acqueo di ormeggio di imbarcazioni, per la definizione del tempo di ritorno dell'evento di progetto viene fatto riferimento ad opere portuali.

Le opere portuali e di difesa costiera sono classificate come infrastrutture ad uso specifico.

Ne deriva quindi una vita dell'opera Tv pari a 15 anni per le opere in porti minori e di 25 anni per le opere in porti maggiori.

Il livello di sicurezza è pari a 1 per opere o installazioni di interesse locale che comportano un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso; il livello di sicurezza 2 è relativo ad opere o installazioni di interesse generale che comportano un rischio moderato di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso; il livello di sicurezza 3 è relativo ad opere od installazioni per la protezione dalle inondazioni ed ad opere in genere che comportano un rischio elevato di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso.

La massima probabilità di danneggiamento ammissibile durante la vita dell'opera dipende da vari fattori alla distinzione tra danneggiamento incipiente e distruzione totale: la prima situazione si ha per i moli a scogliera, la seconda per le strutture rigide come le dighe a parete verticale. Per entrambi i casi si considera poi se la ripercussione economica è bassa, media o alta e se il rischio per la vita umana è limitato o elevato.

Per le opere di difesa come quella in esame si può fare in genere riferimento ad un rischio per la vita umana limitato e a una ripercussione economica bassa.

Tabella 2. Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera (P_f).

Danneggiamento incipiente		
	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Assumendo quindi, come consigliato in letteratura, durata minima di vita dell'opera pari a Tv = 15 anni e come massima probabilità di danneggiamento dell'opera a scogliera la probabilità di danneggiamento incipiente con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa (P_f = 0,50) il tempo di ritorno dell'evento di progetto risulta pari a 22 anni.

Per i calcoli progetto si assume comunque un tempo di ritorno pari a 50 anni.
I livelli di sicurezza sono stati calibrati da una valutazione costi-benefici eseguita di concerto con la Committenza, in relazione sia alla tipologia di opera preesistente, sia alle risorse disponibili, sia alle tempistiche richieste.

6.2 Opera antistante lo specchio acqueo

Considerate le caratteristiche dell'intero compendio litoraneo e le finalità difensive dell'opera, oltre che le esigenze della Committenza in termini economici e di tempistiche, per l'opera di difesa antistante lo specchio acqueo è stata scelta la configurazione progettuale identificata nell'ambito delle prove con la lettera C3, che presenta un coronamento del muro paraonde pari a 5.0m s.l.m.m. e un rinforzo della mantellata esistente ottenuto con la sovrapposizione di uno strato di massi naturali di IV categoria.
Tale configurazione è infatti quella che meglio soddisfa contemporaneamente i requisiti di efficienza idraulica e di riduzione delle forza sulla struttura.

CONFIGURAZIONE C3: sezione tipo della terza ipotesi d'intervento





- Coronamento muro paraonde → +5.00m s.l.m.
- Quota del piano della berma emersa → +3.80m s.l.m.
- Pendenza del paramento lato mare della scogliera → 1:3
- Piede della scogliera → -5.50m s.l.m.

In tale configurazione la forza di impatto dell'ondazione di mareggiata sul paramento del muro risulta:

	F_{max}	F_3	F_{10}
TR 100			
Forze d'impatto (t/m)	17,7	13,3	9,4
Centro di applicazione relativo (m)	2,4	2,4	2,3
TR 50			
Forze d'impatto (t/m)	20,8	16,3	9,6
Centro di applicazione relativo (m)	2,4	2,4	2,3

Come si può rilevare dal prospetto sopra riportato (estratto dal volume R06- Prove su modello di LABIMA) le forze agenti risultano, in esito ai processi statistici, maggiori per TR 50 rispetto a TR 100.

Il valore della portata media di overtopping risulta, per le ondazioni con tempo di ritorno centennale e cinquantennale rispettivamente pari a q= 1,7 l/s/m e q= 0,9 l/s/m

Per quanto riguarda la sottospinta alla base delle opere, il valore di tale azione è stato calcolato sulla base delle condizioni congruenti alle precedenti con l'algoritmo indicato da Pedersen (1996).

Dati input onda (C3-hp senza piede)						
Tempo di ritorno	T_R =	50	anni			
Altezza d'onda	H_s =	3,90	m			
Periodo di picco	T_p =	12,00	s			
Sopraelevazione	s =	1,00	m			
Dati muro						
Quota testa muro	$Q_{t,m}$ =	5,00	m	rispetto a quote assolute		
Quota base elevazione	$Q_{b,e}$ =	1,00	m			
Quota fondazione coronamento	$Q_{fond,c}$ =	0,15	m			
Quota fondazione totale	Q_{fond} =	-2,75	m			
Altezza elevazione	h_{elev} =	4,00	m			
Spessore fondazione coronamento	t_{fond} =	0,85	m			
Altezza blocchi inferiori	$h_{bl,inf}$ =	2,90	m			
Larghezza fondazione	b_{fond} =	3,50	m			
Peso specifico cls	γ_{cls} =	24,00	kN/mc			
Peso specifico acqua di mare	γ_{H20} =	10,10	kN/mc			
Coefficiente di attrito	f =	0,60				
Dati scogliera						
Quota testa muro	$Q_{t,s}$ =	3,80	m	rispetto a quote assolute		
Larghezza berma	L_b =	5,00	m			
Inclinazione paramento scogliera	α =	18,40	°			
Calcolo forze resistenti						
Pressione idrostatica interna (lato darsena)	$P_{i,int}$=	37,88	kN/mq	NON USATA SE SI CONSIDERA PESO SPE		
Calcolo sottospinta idraulica (Pedersen)						
Periodo medio	T_m =	10,43	s			
Lunghezza d'onda periodo medio	L_{0m} =	170,00	m			
	ξ_m =	2,20				
Run up 0,1%	$R_{up,01\%}$ =	8,06	m			
Altezza scogliera rispetto a inn. medio mare	$R_{c,a}$ =	2,80	m			
Superficie scogliera	S_1 =	25,76	mq			
Superficie di costruzione	S_2 =	476,20	mq			
Parametro di superficie	S =	1,00				
Pressione di sottospinta idraulica	p_b=	53,08	kN/mq			
Sottospinta idraulica	**S_{sid} =**	**92,89**	**kN**			
braccio sottospinta idraulica	b_{Ssid} =	2,33	m			

L'altezza d'onda considerata nel calcolo è stata assunta pari al valore risultante dallo studio meteomarino al piede dell'opera come sopra descritto e riportato in dattaglio all'elaborato "R05 – Studio meteomarino" (distribuzione di Weibull):

H_S = 3,90 m

Tp= 12 s

6.3 Opere in corrispondenza del parcheggio

Per l'opera di difesa sul perimetro a mare del parcheggio, in cui le problematiche legate alla verifica della struttura alle azioni agenti sul muro sono limitate dalla presenza del terrapieno, è stata adottata una sezione tipologica differente tesa a minimizzare le opere sia in termini di costi che di tempistiche. Per l'individuazione delle portate di tracimazione e delle forze sulla struttura sono stati utilizzati i risultati della modellazione sviluppata sulla sezione dell'opera antistante lo specchio acqueo, con i seguenti presupposti metodologici.

Sono state assunte come rappresentative le configurazioni catalogate identificate nell'ambito delle prove su modello fisico con le lettere C1 e C2, ossia alle prove connotate solo

dall'innalzamento del muro rispettivamente alla quota di 5,00 m e 6,00 m s.l.m.m.. Sui valori determinati da LABIMA relativamente alle due configurazioni è stata valutata la media, previa verifica del metodo, evidentemente approssimato, con il prof. Cappietti.

CONFIGURAZIONE C1: sezione tipo della prima ipotesi d'intervento





- Coronamento muro paraonde → +5.00m s.l.m.
- Quota dle piano della berma emersa → +2.40m s.l.m.
- Pendenza del apramento lato mare della scogliera → 1:3
- Piede della scogliera → -5.50m s.l.m.

CONFIGURAZIONE C2: sezione tipo della seconda ipotesi d'intervento





- Coronamento muro paraonde → +6.00m s.l.m.
- Quota del piano della berma emersa → +2.40m s.l.m.
- Pendenza del paramento lato mare della scogliera → 1:3
- Piede della scogliera → -5.50m s.l.m.

In tale configurazioni le forze di impatto dell'ondazione di mareggiata sul paramento del muro risultano:

	F_{max}	F_3	F_{10}
C1 - TR 50			
Forze d'impatto (t/m)	36,4	32,0	23,3
Centro di applicazione relativo (m)	2,4	2,2	2,0
C2- TR 50			
Forze d'impatto (t/m)	33,9	29,4	22,6
Centro di applicazione relativo (m)	1,8	1,8	2,0

I valori di tracimazione risultano i seguenti:

	C0	**C1**
altezza su l.m.m. (ml)	**5,00**	**6,00**
Portata media di overtopping l/sec*ml T_R 100	**2,6**	**0,3**
Portata media di overtopping l/sec*ml T_R 50	**1,3**	**0,2**

I valori medi adottabili risultano pertanto:

$$\mathbf{H} = \frac{5{,}00 + 6{,}00}{2} = 5{,}50 \text{ ml}$$

$$\mathbf{Portata\ media\ di\ overtopping\ T_R\ 100} = \frac{2{,}6 + 0{,}3}{2} = 1{,}5 \text{ l/sec*ml}$$

$$\mathbf{Portata\ media\ di\ overtopping\ T_R\ 50} = \frac{1{,}3 + 0{,}2}{2} = 0{,}8 \text{ l/sec*ml}$$

$$\mathbf{F_{max}\ T_R\ 50} = \frac{36{,}4 + 33{,}9}{2} = 35{,}2 \text{ ton/ml}$$

$$\mathbf{B_R\ F_{max}\ T_R\ 50} = \frac{2{,}4 + 1{,}8}{2} = 2{,}1 \text{ ml}$$

$$\mathbf{F_{10}\ T_R\ 50} = \frac{23{,}3 + 22{,}6}{2} = 23{,}0 \text{ ton/ml}$$

$$\mathbf{B_R\ F_{10}\ T_R\ 50} = \frac{2{,}00 + 2{,}00}{2} = 2{,}00 \text{ ml}$$

La sottospinta può essere calcolata analogamente al caso precedente.

Le due tipologie di opera di difesa sono state successivamente sottoposte ad un procedimento di progettazione/verifica statica, sviluppato secondo i principi delle NTC-2018 e contenuto nell'elaborato *"R07-Relazione di calcolo"* a cui si rimanda, fondato anche sulle risultanze dell'indagine e relazione geologica sviluppata a cura del Dott. Geol. Andrea Peirone (elaborato "*R04-Relazione geologica"*), incaricato dalla Cala Cravieu Soc. Coop. a r.l.

Lo sviluppo della relazione di calcolo ha condotto alla definizione delle sezioni di progetto descritte nei paragrafi successivi.

6.4 Valutazioni sulla portata media di overtopping

Entrambe le configurazioni tipologiche di progetto conducono per tutte le ondazioni testate ad una marcata riduzione della portata media di tracimazione.

Tali portate nel caso di Tr= 50 anni si riducono a valori inferiori a 1 l/s/m.

Per la definizione dei limiti di accettabilità delle portate di tracimazione si è fatto essenzialmente riferimento alle linee guida del manuale EurOtop (2018).

In particolare, le portate limite di tracimazione, in relazione alle condizioni critiche per il normale esercizio della struttura (imbarcazioni ormeggiate dietro al muro paraonde nel tratto in corrispondenza dello specchio acqueo e veicoli nel parcheggio retrostante il muro paraonde).

Tipo di rischio	***Portata media di overtopping q (l/s/m)***
Pericoloso per pedoni coscienti con chiara visione del mare, su camminamenti ampi	0,3
Pericoloso per macchine a tergo del muro H = 3 m	5
Danneggiamento delle imbarcazioni di piccole dimensioni ormeggiate nei 5-10 m dal muro paraonde con; H = 3-5 m	1
Danneggiamento delle imbarcazioni di medie-grandi; H >5 m dimensioni ormeggiate a tergo del muro paraonde	5

7. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

7.1 Azioni già realizzate

Nell'immediatezza dell'evento gli interventi realizzati dalla Cala Cravieu Soc. Coop. a r.l. sono stati orientati al ripristino della funzionalità del compendio demaniale, quanto più possibile per restituire capacità di rendere servizio agli utenti. Evidentemente non si è potuta ripristinare la capacità di ormeggio in assenza dell'opera di difesa, che, come già evidenziato, costituisce

l'oggetto principale della presente relazione. Peraltro alcune importati azioni sono già state attuate; tra esse:

- ripristino del fabbricato servizi
- salpamento e smaltimento dei residui delle imbarcazioni danneggiate o affondate
- salpamento e smaltimento degli elementi strutturali crollati
- ripristino dei parapetti e dei passaggi interni
- ripristino degli impianti generali e di sicurezza della navigazione (fanali).

Ai fini del presente progetto è stato anche affidato un rilievo dei fondali marini antistanti l'opera di difesa e di questa stessa alla ditta Drafinsub Survey s.r.l., che lo ha eseguito mediante apparecchiatura multibeam e laser scanner.

7.2 Interventi previsti nel presente progetto

Gli interventi previsti, rappresentati negli elaborati grafici progettuali, sono sinteticamente:

- potenziamento della mantellata in scogliera in modo da allontanare l'azione diretta del mare sulle strutture e da ridurre la tracimazione in caso di eventi meteomarini estremi;
- ricostruzione del muro paraonde e adeguamento dello stesso alle azioni indotte dal moto ondoso

Contestualmente e è previsto anche ripristino degli impianti e degli arredi di banchina e della regimazione delle acque.

Per l'identificazione e la calibrazione degli interventi sono stati valutati differenti aspetti come da specifiche richieste della Committenza in rapporto agli obiettivi minimi e alle risorse economiche a disposizione, che risultano limitate dalla tipologia stessa della struttura e della Società cooperativa che lo gestisce.

Tali opere sono le minime per consentire un ripristino della funzionalità della struttura.

In corrispondenza della darsena (tra le sezioni 4 bis e 10), dove la struttura preesistente era costituita da una banchina in parte a cassoncini e in parte a massi sovrapposti sormontata da un muro paraonde di limitato spessore e protetta da una scogliera con nucleo in tout venant e massi di I categoria e mantellata in massi naturali di II e IV categoria e peso compreso tra 5 e 10 t, con berma di lunghezza 4,50 m a quota +2,40 m s.l.m.m. e scarpata 1 su 3, sono previsti:

- risagomatura della mantellata mediante posa di uno strato di massi naturali alla rinfusa di IV categoria e peso compreso tra 7 e 10 t con berma emersa a quota +3,80 m s.l.m.m. di lunghezza a circa 5 m, pendenza della scarpata lato mare confermata 1 su 3 e potenziamento

dell'unghia sommersa a formare una sorta di risberma sommersa (soprastante la scogliera sagomata dalle mareggiate) di lunghezza pari a circa 8,50 m e profondità compresa tra -1,50 m e -2.20 m s.l.m.m. Tale risagomatura prevede un limitato ampliamento verso mare della sagoma della scogliera emersa quantificabile mediamente in 4-5 m.

- demolizione dei tratti di muro ancora integri e ricostruzione della struttura in elevazione del muro con innalzamento fino a 5 m s.l.m.m. (50 cm rispetto al muro preesistente) con sezione più massiccia rispetto a quella preesistente, di larghezza 1.40 ml per i primi 3.10 ml di elevazione, rastremata di 40 cm negli ultimi 90 cm di sviluppo in elevazione. All'interno del corpo del muro, lato specchio acqueo protetto, sarà ricavata una nicchia di profondità 20 cm, corrente lungo tutto il paramento, destinata ad accogliere opere d'arte murali in pittura e bassorilievo.

  L'intera struttura sarà stabilizzata mediante posa di duplice fila di micropali F220 di lunghezza 15,00 ml, con interasse 1,00 ml lato specchio acqueo protetto e 2,00 ml lato mare aperto. Si prevede altresì di ulteriormente chiodare il nuovo paramento murario alla banchina esistente mediante una fila di micropali F220 di lunghezza 2,50 ml ed interasse 1,00 ml. Ogni micropalo sarà armato con armatura tubolare avente F139,70 e spessore 8 mm.

Tale sezione tipo è prevista per tutta la lunghezza della banchina della darsena pari a circa 120 m e verrà raccordata con la zona di testata esistente mediante rifiorimenti ed adeguamenti localizzati, al fine di non modificare la parte sommersa del riccio di testata verso l'interno e non ridurre l'imboccatura.

In corrispondenza del parcheggio presente alla radice dell'opera di difesa (tra la sezione 3 e la sezione 2 e l'angolo sud est del rilevato), dove la struttura preesistente era costituita da un muro paraonde di limitato spessore realizzato nell'ambito del terrapieno a quota + 3 m s.l.m.m. e protetto da una scogliera con nucleo in tout venant e massi di I categoria e mantellata in massi naturali di II e IV categoria e peso compreso tra 5 e 10 t, con berma di lunghezza 4,50 m a quota +2,40 m s.l.m.m. e scarpata 1 su 3, sono previsti:

- manutenzione della mantellata emersa mediante rifiorimenti localizzati con mantenimento della sezione autorizzata con berma emersa a quota media paria +2,40 m s.l.m.m. di lunghezza a circa 4,50 m e pendenza della scarpata lato mare 1 su 3 e potenziamento della base della scogliera sommersa mediante unghia soprastante la scogliera sagomata dalle mareggiate di lunghezza pari a circa 7 m e profondità compresa tra -3,00 m e -3,50 m s.l.m.m.

- ricostruzione e potenziamento della struttura in elevazione del muro con innalzamento fino a 5,50 m s.l.m.m. (1 m rispetto al muro preesistente) con sezione più massiccia rispetto a

quella preesistente , di spessore costante pari a 80 cm. Dalla quota attuale del parcheggio, la larghezza del muro aumenta linearmente di 130 cm in corrispondenza del primo metro di approfondimento diventando cosi 210 cm, valore mantenuto per un ulteriore metro a formazione di un dado al piede.

L'intera struttura sarà stabilizzata mediante posa di duplice fila di micropali F220 di lunghezza 12.00 ml, con interasse 1.50 ml, armati con armatura tubolare avente F139.70 e spessore 8 mm.

Tale sezione tipo è prevista per il tratto in corrispondenza del parcheggio dove il muro è stabilizzato anche dalla presenza del terrapieno retrostante, per una lunghezza pari a circa 50 m compresi tra il raccordo con la sezione prevista in corrispondenza della darsena (tra le sezioni 4 bis e 3) e l'angolo sud est del parcheggio dove sono presenti alcuni massi e affioramenti.

Nel tratto perpendicolare alla Statale Aurelia è previsto solo l'innalzamento del muro in quanto sono presenti nell'area diversi affioramenti di grandi dimensioni che limitano le azioni sollecitanti.

In corrispondenza del parcheggio i tratti di muro esistente, qualora integri, verranno conglobati nella nuova sezione.

Nell'ambito del parcheggio saranno eseguite opere di regimazione delle acque, canalette di scolo e limitate rettifiche del piano di campagna (comprese in una tolleranza di circa 50 cm).

Contestualmente all'adeguamento dell'opera di difesa saranno ripristinati i sistemi di ormeggio e gli impianti elettrico, idrico ed antincendio. Verranno posizionate 20 nuove colonnine in sostituzione di quelle danneggiate, punti di illuminazione di banchina, anelli di ormeggio, il tutto della stessa tipologia di quelli preesistenti. Prima dell'installazione, se del caso, dette forniture saranno campionate e sottoposte al parere degli uffici regionali.

Verranno mantenuti i segnalamenti marittimi prescritti prima dell'evento.

Contemporaneamente, ai lavori a progetto, considerando la presenza del mezzo marittimo in loco verrà eseguita anche la manutenzione dei sistemi di ormeggio.

Potrebbe essere necessario realizzare in fase di cantiere una pista per i mezzi di lavoro in adiacenza lato mare al costruendo muro della darsena.

Tale pista verrà realizzata nell'ambito della scogliera dopo il salpamento, per la minima larghezza necessaria al transito, dell'ultimo strato di massi della berma sommitale e la stesa di apposito geotessuto, mediante posa di circa 600 mc di materiale scelto di cava con caratteristiche conformi ai "Criteri generali da osservarsi nella progettazione degli interventi

stagionali di ripascimento degli arenili aggiornati con D.G.R.n.1209 del 20 gennaio 2016 e con D.G.R. n.95 del 8 febbraio 2017 con percentuale massima di pelite pari al 5%.

Al termine dell'utilizzo verrà per quanto possibile rimossa e ricoperta con i massi salpati e momentaneamente posizionati a difesa della stessa lato mare e con lo strato di nuovi massi tra 7 e 10 t previsti per l'adeguamento della scogliera, in modo da non alterare in maniera significativa la porosità della mantellata.

8. DIMENSIONAMENTO DEI NUOVI MASSI PER LA MANTELLATA

Per la verifica della stabilità dei massi della mantellata dell'opera di difesa si sono utilizzate le formule di Van der Meer, ricavate portando in conto l'azione di onde irregolari; esse consentono di tenere in conto anche della permeabilità del complesso mantellata - strati filtro-nucleo, della durata della mareggiata e del periodo dell'onda.

La profondità media di imbasamento della scogliera è pari a circa 5,5 m. E' stata assunta, pertanto, come onda di progetto l'onda su 6 m di profondità, corrispondente allo stato di mare più gravoso per il paraggio con T= 50 anni, calcolata nello studio meteomarino eseguito da Labima e di cui ai paragrafi precedenti (elaborato "R05- studio meteomarino"), come se attaccasse frontalmente la scogliera.

Tale onda presenta le seguenti caratteristiche:

Hs = 3,9 m

Ts = 12 s

Formule di Van Der Meer

Per onda frangente tipo plunging ($\xi_m < 2.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}$$

Per onda frangente tipo surging ($\xi_m > 3.5$):

$$\frac{H_S}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha}\ \xi_m^P$$

in cui:

H_s = altezza d'onda significativa al piede della scogliera

ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio $\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_S}{g T_m^2}}}$

$T_z \approx T_m$ = periodo d'onda medio (s)

α = pendenza della mantellata (°)

$\Delta = (\gamma_m/\gamma_w - 1)$ = massa relativa del masso

γ_w = peso specifico dell'acqua marina (1023 Kg/m³)

γ_m = peso specifico del masso (2650 Kg/ m³)

D_{n50}= diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50}/\gamma m)^{1/3}$ (m)

W_{50}= valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kg)

P = coefficiente di permeabilità della struttura

S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A/(D_{n50})^2$ (crf. tabella seguente)

A = area erosa nella sezione

N = numero di onde (tipicamente tra 1000 e 5000).

ξ_{mc} = numero di Iribarren critico - è calcolato come

$$\xi_{mc} = \left[6.2\,P^{0.31}\sqrt{\tan\alpha}\right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

Mentre per pendenze lievi ($\cot\alpha > 3$) è pari a:

$$\xi_{mc} = \left[3.58\,P^{0.31}\right]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori dell'indice di danneggiamento S, definito come rapporto tra l'area interessata dal dislocamento e il quadrato del diametro nominale del masso, in funzione della pendenza.

Pendenza	Livello di danno S		
	Danno iniziale	Danno intermedio	Danno totale
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Tabella 2: Livelli di danno per mantellate in doppio strato in funzione della pendenza

Si osserva che per opere a scogliera a debole pendenza è previsto danno iniziale con s= 2, danno moderato a partire da S pari a circa 6 e danno grave (esposizione dello strato filtro) per S=12.

Dati

$\rho 0$ =	1.023,00	kg/mc	densità acqua di mare
ρ =	2.650,00	kg/mc	densità scogli
Δ =	1,59		$\rho / \rho 0$ - 1
p*=	0,40		permeabilità (tra 0,1 e 0,6)
cotg (α) =	3,00		pendenza mantellata (1 su …)
tg (α) =	0,33		1 / pendenza della mantellata
h =	6,00	m	profondità al piede
H_s =	3,90	m	H onda significativa
g =	9,81	m/s^2	accelerazione gravità
T_p =	12,00	s	periodo di picco
T_s=	12,00	s	periodo significativo
T_m =	10,43	s	periodo medio
$L_{0\ m}$	169,78	m	lunghezza d'onda al largo riferita al Tm
ξ m =	**2,199**		parametro di Iribarren
ξ mc =	3,008		parametro di Iribarren critico
S =	2,00		livello di danneggiamento
N =	5.000,00		numero onde presenti nella mareggiata (da 1000 a 5000)
Pers =	14,49	ore	durata della mareggiata
R_c=	3,80	m	altezza della mantellata sul l.m.m.

FORMULA DI VAN DER MEER

- Calcolo del parametro Ns

ξ m $\leq 2,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	**1,74**	frangimento tipo plunging
$2,5 \leq \xi$ m $\leq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	--	-
ξ m $\geq 3,5$ --->	Hs/(D*Dn50)=	**--**	-
	Ns = Hs/(D*Dn50)=	***1,74***	

D_{n50}	**1,41**	**m**	**diametro nominale medio**
W_{50}	**7.449**	**kg**	**peso medio del singolo masso di progetto**

Considerando che, nella buona pratica, vengono utilizzati massi di pezzatura compresa tra 0,75 e 1,25 volte il peso del masso di progetto e che sulla scogliera sono già in opera massi compreso tra 5 e 8 t, è stato assunto come peso dei nuovi massi da mettere in opera un range di massi compresi tra 7 e 10 t. Ciò anche in relazione alle necessità costruttive e di efficienza idraulica dell'opera.

Tale valutazione è stata suffragata dalle prove su modello fisico, nell'ambito delle quali è stata verificata anche la stabilità dei massi della mantellata attraverso una analisi comparativa mediante foto realizzate prima e dopo gli attacchi ondosi, che non ha mostrato particolari problematiche né nella configurazione di progetto né nella configurazione attuale.

9. CANTIERIZZAZIONE E TEMPI DI COSTRUZIONE DELLE OPERE

La realizzazione del progetto prevede l'esecuzione di lavori marittimi, da eseguirsi in parte via terra e in parte via mare con passaggio di mezzi sulla viabilità esistente.

Il progetto verrà cantierato non appena ottenute le autorizzazioni (presumibilmente prima dell’estate) necessarie ed eseguito nel minore tempo consentito, con possibile contemporaneità delle lavorazioni da terra e da mare.

Preliminarmente si prevedono tempistiche di realizzazione dell’intervento pari a circa 3-4 mesi, condizioni meteomarine permettendo.

Le aree necessarie in loco saranno limitate alle aree interne al compendio in concessione, in particolare alla banchina dell’opera di difesa e all’area del parcheggio con possibilità di utilizzo da parte delle autopompe anche della banchina di riva in occasione dei getti.

Potranno essere utilizzate anche aree di carico del mezzo marittimo non in loco che verranno individuate in fase di appalto.

Per minimizzare gli impatti dei mezzi utilizzati per gli approvvigionamenti dei materiali (autocarri e betoniere), che dovranno transitare per la viabilità ordinaria dal casello autostradale fino alla località Cravieu, saranno evitate le fasce orarie maggiormente trafficate e se ritenuto necessario dai competenti Uffici Comunali prima dell’avvio dei lavori saranno presi opportuni accordi con il comando di Polizia Municipale per le valutazioni di competenza.

I mezzi di cantiere utilizzati saranno quelli tipici dei lavori in ambito marittimo e portuale, considerando sia l’operatività da terra che da mare e la particolarità delle lavorazioni: camion trasportatori, betoniere e betonpompe, pontoni autopropulsi o con rimorchiatore, macchine palificatrici.

Tali mezzi saranno conformi alle più recenti normative in vigore e sottoposti ad adeguata manutenzione al fine di tenere sotto controllo le emissioni gassose e sonore e eventuali eventi di sversamento accidentale di olii o idrocarburi.