

COMUNE DI LOANO

(SV)

OPERE DI DIFESA DEL LITORALE DI PONENTE - PRIMO LOTTO	
Committente : COMUNE DI LOANO (SV) - Piazza Italia 2, 17025 Loano (SV) tel. 019-675694	
Coordinamento revisione progettuale e sicurezza :Dott. Ing. Alessandro Chini *Relazione Geologica : Geol. Flavio Saglietto* *Rilievi batimetrici : Co.L.Mar. Srl* *Rilievi topografici : Geom. Benedetto Domenico* *Collaborazione verifiche idrauliche e geotecniche: Dott. Ing. Massimiliano Sanna* *Progetto base approvato nel 2007 : Prof. Sandro Stura e Dott. Ing. Enrico Brizzolara* *RUP : Dott. Ing. Luciano Vicinanza*	DATA : Agosto 2020

INDICE

1. PREMESSE

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO ATTUALE

3. ANALISI DELLE VARIAZIONI DEL LIVELLO MEDIO

4. STIMA DELL'ALTEZZA D'ONDA DI PROGETTO

5. VALUTAZIONE DEI VALORI DI RUN-UP SUL TRATTO LITORANEO

6. VALUTAZIONE DEL DIAMETRO MEDIO DEI MASSI NATURALI DELLA SOGLIA SOMMERSA

7. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PROTEZIONE AL PIEDE DELLA TA

8. ANALISI GENERALE DELL'INTERVENTO DI RIPASCIMENTO

9. VERIFICHE GEOTECNICHE RELATIVE ALLA STABILITA' DELLA SOGLIA SOMMERSA

9.1 VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL FONDALE DI SOSTEGNO

9.2 ANALISI DELLA STABILITA' GLOBALE DELLA BARRIERA

10. CONCLUSIONI

ALLEGATO 1 - ANALISI EFFETTO DI DISTURBO DEL TRATTO DI PONENTE DELLA BARRIERA SOFFOLTA, NEI CONFRONTI DELL'AGITAZIONE ONDOSA PRESSO L'IMBOCCATURA DEL PORTO TURISTICO DEL COMUNE DI BORGHETTO SANTO SPIRITO (SV)

ALLEGATO 2 - ASPETTI NATURALISTICI E AMBIENTALI

ALLEGATO 3 - BATIMETRIE

1. PREMESSE

Il progetto della barriera sommersa e del ripascimento strutturale da realizzarsi nel tratto di ponente del fronte mare del Comune di Loano è stato redatto nel 2006 dal prof. Sandro Stura e dall'ing. Enrico Brizzolara. Nel 2007 il progetto è stato approvato in sede di conferenza di servizi con alcune disposizioni, tra le quali in particolare si escludeva la possibilità di realizzare un pontile.

L'intervento ricalcava il progetto già eseguito nel 2000÷ 2001 nel tratto centrale del litorale loanese. In quel caso la barriera soffolta venne realizzata "da terra" mediante piste provvisorie successivamente recuperate. A parte un modesto intervento manutentivo nel 2015 ed altri due modestissimi interventi nel 2019 e 2020, a seguito di fortissime mareggiate, la soffolta della zona centrale non ha avuto altri interventi manutentivi. In conseguenza delle mareggiate dell'ottobre 2018 e di quella del novembre 2019 gli arenili della zona già protetta dalla soffolta non sono arretrati segno della efficacia della barriera nell'assorbire la maggior parte della energia delle onde di maggiore altezza. Allo stesso tempo per la granulometria ed estensione l'arenile ha dimostrato una notevole resilienza dato che poco dopo il termine degli eventi meteomarini si è riformato naturalmente il profilo preesistente a differenza di quanto è avvenuto in gran parte delle coste liguri.

Nel 2007, per questioni di carenza di finanziamenti non fu possibile dare il via al progetto Stura-Brizzolara, progetto che è rimasto nei "cassetti" fin quando nel 2020 è stato possibile accedere a fondi regionali della Protezione Civile che consentiranno di realizzare sia la barriera sommersa che il ripascimento.

Il progetto è stato aggiornato andando a rifare i rilievi topografici e batimetrici nel luglio 2020 (seppure in ritardo rispetto alle previsioni causa Covid-19), da questi è emerso che a parte una regressione della linea di battigia , più marcata nella zona di ponente, la spiaggia sommersa e cioè la base su cui poserà la barriera è rimasta inalterata nelle quote. Questo consente di confermare le sezioni ed i volumi già previsti nel 2007.

Ad una verifica di calcolo , adottando formulazioni diverse, è risultata anche in questo caso la piena attualità nel dimensionamento delle opere previste nel progetto originario.

Le differenze consistono :

a) Nella necessità di iniziare dal lato di ponente procedendo verso levante piuttosto che , come nella versione originaria, da levante a ponente con il prolungamento della attuale barriera soffolta. Ciò a causa della necessità di porre in sicurezza quel tratto costiero che ha risentito maggiormente dell'azione del mare.
b) Nel dividere in più lotti le opere dato che i finanziamenti saranno concessi nell'arco di un biennio e non in una sola volta.
c) Nella scelta di realizzare le opere sommerse "da mare " e non con piste come per la prima barriera.
d) Infine altre ovvie differenze sono quelle legate alla applicazione di elenchi prezzi aggiornati al 2020 e ad elaborati amministrativi in linea con le attuali norme (capitolati; piani di sicurezza, ecc.)

La presente relazione ripercorre un calcolo delle opere che, come già accennato, porta alla conferma delle dimensioni indicate nel 2007 ed inoltre affronta l'aspetto relativo alla eventuale interferenza

delle opere stesse con l'Approdo turistico di Borghetto S. Spirito. Punto questo trascurato nella conferenza di servizi del 2007. Modificando in misura assolutamente minima la forma dell'attacco alle scogliere esistenti della nuova soffolta si eviteranno interferenze con la rotta di entrata/uscita dal porto ed allontanando le nuove opere dalla imboccatura portuale si prevede un comportamento pressoché neutro rispetto alla agitazione nello specchio acqueo interno all'approdo.

Per quanto riguarda le prescrizioni contenute nella procedura di VIA e quindi nei singoli pareri che erano alla base dell'autorizzazione in sede di deliberante della Conferenza di Servizi si riportano di seguito gli estratti di maggiore interesse e quindi il confronto con quanto previsto nel presente progetto aggiornato.

SCHEMA N..... 151554
DEL PROT. GEN. ANNO 2007
N. 3627
IN DATA 23/11/07

REGIONE LIGURIA - Giunta Regionale
Dipartimento Pianificazione Territoriale
Procedimenti Concertativi - Servizio

OGGETTO : Comune di Loano (SV) - Conferenza di Servizi ex art. 6 lr 13/99 s.m. e art. 14 L. 241/90 s.m.i. per approvazione progetto di completamento ristrutturazione litorale urbano compreso tra la stazione ferroviaria ed il confine di Borghetto S.S.

DOCUMENTI ALLEGATI COSTITUITI DAL NUMERO DI PAGINE A FIANCO DI CIASCUNO INDICATE

PER UN TOTALE COMPLESSIVO DI PAGINE N. 8

- **parere del Settore Valutazione di Impatto Ambientale espresso con nota n. 1649 del 23.11.2007;**
- **parere del Servizio Tutela del Paesaggio espresso con nota n. 4370 del 23.11.2007;**
- **parere dell'Ufficio Aree Demaniali Marittime espresso con nota n. 145 del 23.11.2007;**
- **parere del Settore Ecosistema Costiero espresso con nota n. 1554 del 23.11.2007**

Procedimenti concertativi
SEDE

Oggetto: screening DGR n. 1180/2005 - progetto di completamento del litorale urbano, tratto costiero di ponente, Loano

Con riferimento all'oggetto, si comunica che le modifiche che il progetto definitivo presenta rispetto al progetto preliminare (l'utilizzo di una quantità minore di materiale di ripascimento, 50000 m^3 contro 65000 m^3, che non viene più reperito esclusivamente in cava ma anche da dragaggi effettuati nei pressi del Porto di Loano) sono state adeguatamente argomentate e non presentano problematiche dal punto di vista ambientale. Del materiale proveniente dal dragaggio del nuovo porto è disponibile la caratterizzazione, ed esaminati i risultati e le particolari modalità di utilizzo (versamento in trincea opportunamente distante dalla battigia e successiva copertura con materiale a maggiore granulometria), si ritiene che sia idoneo all'uso specifico.

Si ritiene pertanto che le prescrizioni attinenti la fase di progettazione definitiva siano state ottemperate, si fanno salve eventuali modifiche che si ritenesse di apportare in sede di conferenza dei servizi, purché non sostanziali, e si ribadisce l'obbligo all'osservanza delle prescrizioni attinenti le fasi realizzative e gestionali.
Nello specifico il piano di monitoraggio dovrà essere attuato coordinandolo con quello previsto dai lotti precedenti; rimangono necessarie le caratterizzazioni previste dal protocollo Arpal per la verifica della compatibilità ambientale del materiale proveniente da cava, con soglia di pelite al 5%; dovranno essere prioritariamente riutilizzati i massi derivanti dallo smantellamento di opere esistenti e l'intervento dovrà essere realizzato da mare.

Cordiali saluti

Il Responsabile del Procedimento
(Annamaria Profili)

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
SERVIZIO TUTELA DEL PAESAGGIO

Genova, 23 NOV. 2007
Prot. n. 4370
Allegati:

Oggetto: Pratica n. 37.576 *(Conferenza di Servizi).*

Comune di LOANO (SV). Conferenza di Servizi ex art. 6 della l. n. 13/1999: progetto di completamento della ristruttura zione dei litorale urbano nel tratto compreso tra la testata della diga emersa antistante la stazione ferroviaraia ed il confine di Borghetto S.Spirito.

Al Servizio Procedimenti Concertativi

e p.c. Al Settore Pianificazione Territoriale e delle Aree Demaniali Marittime

SEDE

REGIONE LIGURIA
PROCEDIMENTO INFORMATICO
PERVENUTO IN DATA
23 NOV. 2007
PROT. N. 2916
ASSEGNATO A
IN DATA IL DIRIGEN

In merito alla richiesta in oggetto, trasmessa con nota n. 2629 del 29-10-2007 da codesto Servizio, si rappresenta che le opere di che trattasi risultano - come già indicato in casi similari - comunque di competenza dello scrivente Ufficio essendo afferibili alla fattispecie prevista dall'art. 1, punto 2, lettera "b" della l.r. n. 20/1991, quali grandi opere di sistemazione idraulica, in quanto gli interventi proposti, pur se non comprensivi di opere d'arte propriamente dette o opere a mare consistenti, risultano estremamente incidenti negli effetti, il ripascimento appunto, sia per le quantità di materiali utilizzati che per la loro incidenza geometrica.

Si fa al riguardo presente che l'intervento da attuare, ricompreso tra la testata della diga emersa antistante la stazione ferroviaraia ed il confine di Borghetto S.Spirito, è parte di un progetto generale di risistemazione del litorale urbano del comune di Loano.

Il Responsabile del Procedimento
(Ambientale)

Pratica n. 37.576

hanno una quota massima di mt. 1,80 tale non creare particolari impedimenti visivi sulla percezione dell'orizzonte dalla quota spiaggia, ed inoltre il ripascimento si configura come un mantenimento della spiaggia esistente.

Gli interventi in parola risultano quindi in termini generali non contrastanti con gli obiettivi di tutela del paesaggio che competono allo Scrivente Servizio, tenuto conto che tali interventi si configurano come un potenziamento delle opere di difesa esistenti e il mantenimento della spiaggia esistente senza modificare sostanzialmente la linea di costa.

Il progetto in esame si pone come una riqualificazione del litorale che, si concretizza con una maggiore stabilità della spiaggia stessa e un' ulteriore idonea protezione della zona urbanizzata a monte.

Per quanto sopra espresso, si ritengono quindi gli interventi prospettati sostanzialmente assentibili sotto il profilo paesistico-ambientale, alle condizioni sottoriportate:

- i pennelli n° 3 e 5, diversamente da quanto previsto abbiano forma e dimensioni planoaltimetriche analoghe ai pennelli n° 1 e 4;
- sia prevista una particolare ed appropriata cura nella scelta dei litotipi da utilizzare o da riutilizzarsi per i "pennelli" e la "soglia sommersa", litotipi che dovranno avere caratteristiche idonee, quali i porfiroidi e i calcari, che rientrano nelle unità tettoniche di riferimento caratterizzanti la zona stessa, evitando nel modo più assoluto l'utilizzo di tipi litologici che si differenziano per colorazione e struttura quali il marmo bianco di Carrara ed ect.;
- sia prevista una particolare cura nella scelta dei materiali da utilizzare per il ripascimento sia a livello di granulometria che di scelta cromatica per mantenere la continuità con le spiagge esistenti;

L'avvio dei lavori approvati dovrà essere subordinato alla verifica di coerenza dei materiali da impiegarsi in conformità alle prescrizioni sopra indicate, in particolare attraverso l'invio di una documentazione fotografica e di una certificazione che garantiscono il rispetto delle caratteristiche dei litotipi da utilizzarsi per la realizzazione dei "pennelli" e della "soglia sommersa".

L'efficacia della presente autorizzazione è subordinata all'osservanza delle prescrizioni in essa contenute.

Distinti saluti.

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Geom. Massimo Fonnesu)

IL DIRIGENTE DEL SERVIZIO
(Dott. Arch. Giuliano Bernardini)

1724

Il Responsabile del Procedimento
(Dott. Ing. Sergio Rossi)

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

UFFICIO: AREE DEMANIALI MARITTIME

Genova, 23/nov/2007

Prot. n. 145
Allegati:

rif.to alla nota n. del

Al
Servizio Procedimenti Concertativi

REGIONE LIGURIA
PROCEDIMENTI CONCERTATIVI
PERVENUTO IN DATA
23 NOV 2007
PROT. N. 2912
ASSEGNATO A
IN DATA IL DIRIGENTE

Oggetto: Comune di Loano (SV) – conferenza di Servizi ex art. 6 l.r. 13/1999 e s.m. e art. 14 L. 241/1990 e s.m. e i per approvazione progetto di completamento della ristrutturazione del litorale urbano nel tratto compreso tra testata della diga emersa antistante la stazione ferroviaria ed il confine di Borghetto S. Spirito.

Si fa seguito alla nota di pari oggetto prot. n. 1289 del 23 luglio 2007 del Settore Pianificazione Territoriale e delle Aree Demaniali Marittime per esprimere il seguente parere che tiene conto anche della documentazione aggiunta inviata dal Comune di Loano il 25 luglio 2007 nonché dei chiarimenti verbalmente prodotti dal Comune stesso nelle riunioni nel frattempo intercorse:

- pontile: si prende atto della volontà del Comune di non procedere alla realizzazione del pontile per cui i riferimenti allo stesso dovranno essere stralciati dalla relazione;

- pennelli: siano uniformate le dimensioni dei vari pennelli (P1- P2 – P3 – P4 e P5) possibilmente portando l'asse del pennello alla dimensione trasversale di mt 6 e la testata dello stesso alla dimensione di mt 8.4 (così come rappresentato nelle sezioni A-A e B-B della tavola 4.10 presentata nella conferenza dei servizi del 20 giugno 2007).

- sistemazione del litorale dietro i pennelli P3 e P5: poiché le scogliere esistenti risulteranno inutili una volta che sia avanzata la linea di riva si chiede che le stesse vengano eliminate il più possibile al fine di ricostruire la continuità della spiaggia retrostante i nuovi pennelli.

Distinti saluti.

IL DIRIGENTE
(arch. Franco Lorenzani)

AFFARI GIUNTA
L'ISTRUTTORE
(Patrizia Dallasta)

LC\z\dip-7100\7150\demanio\Loano\Ristrutturazione litorale urbano confine Borghetto S. Spirito

Il Responsabile del Procedimento
(Ambiente Costiero)

REGIONE LIGURIA

DIPARTIMENTO AMBIENTE

SETTORE: Ecosistema Costiero

Genova, 23.11.2007

Prot. n. 1556

Allegati:

Al Servizio Procedimenti Concertativi
SEDE

REGIONE LIGURIA
PERVENUTO IN DATA
23 NOV 2007
PROT. N. 2918
ASSEGNATO A
IN DATA IL DIRI

OGGETTO: Comune di Loano (SV). Progetto di completamento del litorale urbano, tratto costiero di ponente.

Con riferimento alla pratica in oggetto, questo Ufficio ha eseguito una istruttoria finalizzata alla verifica di idoneità tecnica delle opere i cui risultati sono riportati nel seguito.

1. Descrizione del progetto.

L'intervento in oggetto prevede il completamento della ristrutturazione del litorale di Loano mediante la risistemazione del tratto di lunghezza di circa 700 m compreso tra la stazione ferroviaria ed il confine con il Comune di Borghetto S.Spirito. Nel dettaglio il progetto riguarda la realizzazione delle seguenti opere:

- versamento di 50000 m^3 di materiale di ripascimento, così suddiviso: 20500 m^3 di materiale proveniente dal dragaggio del porto e 29500 m^3 di materiale di cava;
- formazione di un plateau di materiale lapideo grossolano, tra il piede del ripascimento e la barriera, della lunghezza di 70 m e sommergenza di -2.30 m;
- realizzazione della soglia sommersa a quota –1.50 m, posizionata alla profondità di circa –3 m, con berma di lunghezza circa 10 m;
- rimodellamento e prolungamento sommerso delle sporgenze esistenti a divisione in celle dell'intervento;
- creazione di una canalizzazione a cielo aperto a partire dallo sbocco del Rio Gazzi verso il largo per una lunghezza pari ad oltre 30 m, protetta da spalle in blocchi di calcestruzzo rivestite con una mantellata di massi naturali;
- realizzazione di vasche di raccolta delle acque di prima pioggia di due rivi minori e condotte di allontanamento oltre la futura scogliera.

Il progetto definitivo presenta alcune modifiche rispetto al progetto preliminare, analizzato all'interno della procedura di verifica/screening; nella nuova versione, infatti, è previsto l'utilizzo di una quantità minore di materiale di ripascimento, 50000 m^3 contro 65000 m^3, che non viene più reperito esclusivamente in cava ma anche da dragaggi effettuati nei pressi del Porto di Loano.

2. Aspetti idraulico-marittimi

La documentazione progettuale riporta lo studio idraulico e sedimentologico per lo sviluppo del litorale di Loano, condotto dal Danish Hydraulic Institute, riferito nel dettaglio al primo stralcio di lavori, già realizzati negli anni 1999-2000, nella parte centrale del litorale.

AFFARI GIUNTA

Il Responsabile del Procedimento

2.1 Dimensionamento delle opere

Il dimensionamento della soglia sommersa è stato condotto utilizzando le relazioni di Van der Meer e Pilarczyk, per valori di altezza d'onda significativa pari a 4 m e periodo di picco di 12 s, che ha condotto ad una stima del peso dei massi compreso tra 500 e 4000 Kg.

2.2 Piano di monitoraggio

Il piano di monitoraggio prevede il rilievo batimetrico di tutta la zona di intervento tramite ecoscandaglio multibeam, con cadenza biennale (2, 4, 6 anni), oltre il rilievo di fine lavori.

Esito dell'istruttoria tecnica

All'interno della procedura di verifica/screening l'Ufficio scrivente ha espresso un parere positivo sul progetto in esame, ferme restando alcune prescrizioni da ottemperare in sede di progettazione definitiva. L'istruttoria svolta ha verificato che nella nuova versione sono state ottemperate tali prescrizioni.
In riferimento alle nuove modifiche rispetto al progetto preliminare, di cui si è accennato in precedenza nel paragrafo 1, si segnala che sono state adeguatamente argomentate e non presentano problematiche dal punto di vista tecnico.
Si ritiene opportuno, infine, fare una considerazione su quanto è riportato alla pagina 4 della Relazione Tecnica Generale Aggiornata: *"Successivi versamenti potranno ulteriormente ampliare la superficie di spiaggia"*. A tal proposito si segnala che nel caso si decidesse di utilizzare altri quantitativi di materiale dragato dal porto, dovrà essere prodotto un nuovo progetto.

Il piano di monitoraggio dovrà essere adeguatamente coordinato con quello previsto dai lotti precedenti.

3. Aspetti naturalistico-ambientali

Gli aspetti legati alle caratteristiche naturalistiche dei fondali sono già stati discussi nell'ambito dell'istruttoria di valutazione di impatto, ove non sono emerse criticità.
Riguardo alla qualità del pietrame e del tout-venant il progetto definitivo riporta, come richiesto in sede di progettazione preliminare, idonei criteri di accettazione.
Riguardo alla qualità dei materiali utilizzati per il ripascimento il progetto definitivo ha individuato due differenti fonti:

- per quanto riguarda il materiale proveniente da cava si conferma quanto già espresso a livello di progettazione preliminare e pertanto risultano necessarie le caratterizzazioni previste dal protocollo Arpal per la verifica della compatibilità ambientale: Arpal esprimerà in merito parere vincolante alla realizzazione dell'intervento; per quanto riguarda il valore soglia di pelite si dovrà fare riferimento al valore del 5%;
- per quanto riguarda il materiale proveniente dal dragaggio del nuovo porto, del quale è disponibile idonea caratterizzazione, esaminati i risultati e le particolari modalità di utilizzo (versamento in trincea opportunamente distante dalla battigia e successiva copertura con materiale a maggiore granulometria) , si esprime parere favorevole.

AFFARI GIUNTA

Il Responsabile del Procedimento
(Arch. Laura Tassi)

4. Conclusioni

In conclusione si ritiene di poter esprimere, per quanto di competenza, parere positivo sul progetto in esame, ferme restando le seguenti prescrizioni:

- il piano di monitoraggio dovrà essere adeguatamente coordinato con quello previsto dai lotti precedenti;
- dovrà essere data comunicazione preventiva, da parte del proponente, alla Capitaneria di Porto, all'ARPAL e allo scrivente Settore, della data di inizio lavori.

Nel caso si decida di utilizzare altri quantitativi di materiale dragato dal porto per successivi versamenti che potranno ulteriormente ampliare la superficie di spiaggia, dovrà essere prodotto un nuovo progetto nel quale dovranno essere seguite le modalità costruttive indicate nel progetto in esame (posizionamento del materiale…).

La presente costituisce altresì autorizzazione dell'intervento ai sensi dell'art. 109 del D.lgs. 152/06.

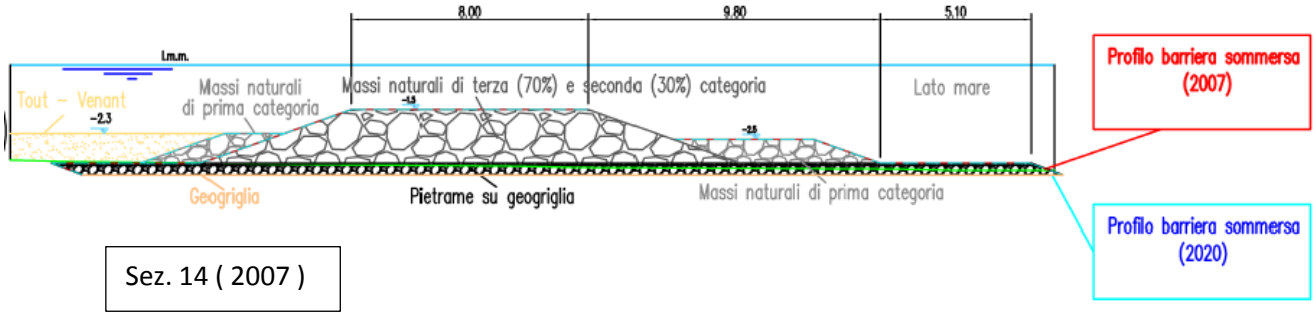
Distinti saluti

IL DIRIGENTE
(Dott.ssa Ilaria Fasce)

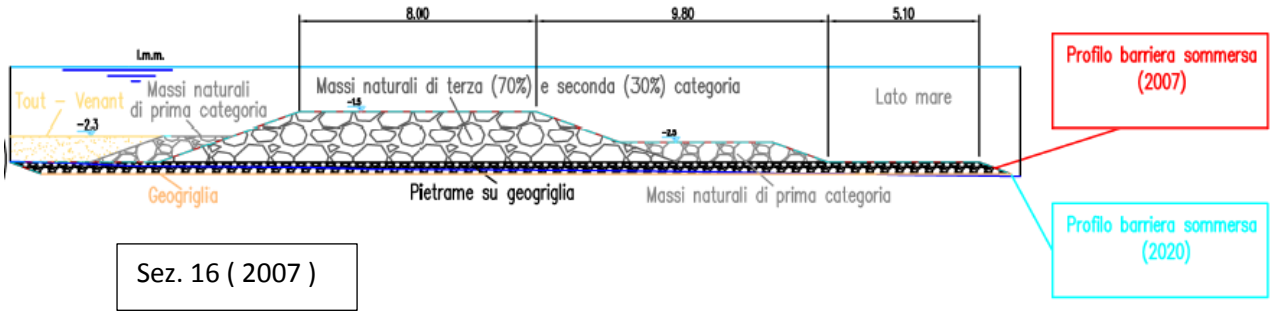
SASC/sasc

ATTESTO che la presente COPIA, ricavata su n. [illegible] pagine da me singolarmente firmate, È CONFORME ALL'ORIGINALE agli atti. 26/11/07
Genova, lì .....
L'ISTRUTTORE
(Patrizia Dellastra)

Dalle sezioni seguenti si è constatata la quasi perfetta coincidenza tra il progetto del 2007 e quello attuale. Una modesta differenza si può osservare dalla adozione di massi di 1^ categoria anche alla base del paramento interno della scogliera. Questo per rendere più stabile l'opera sotto l'azione delle onde in franamento dopo aver superato l'ostacolo costituito dalla barriera in massi naturali.



Sez. 14 (2007)



Sez. 16 (2007)

Vi era la richiesta di uniformare i pennelli ad una larghezza di 6 m. Nel presente progetto ci s è attenuti a questa prescrizione.

Si era previsto un ripascimento con 29.500 mc di materiale di cava e di 20.500 mc di materiale proveniente da escavazione del Porto di Loano (in allora in fase di costruzione). Il materiale di dragaggio si prevedeva di riporlo in una trincea da scavare in vicinanza del muro di sostegno della passeggiata a mare e di utilizzare il materiale recuperato dalla trincea per il ripascimento in zona battigia.

Alla data attuale il Porto è stato completato da tempo e quindi non vi è materiale proveniente da dragaggi da poter utilizzare. Inoltre da una analisi di dettaglio eseguita nel corso del progetto commissionato dal Comune di Loano pe r la nuova passeggiata è risultato che il materiale che si sarebbe dovuto estrarre dalla trincea e riutilizzare pe r il ripascimento presenta una percentuale di pelite di molto superiore al 5% e quindi non è assolutamente possibile rimuoverlo ma piuttosto sarà bene coprirlo con nuovo materiale (di cava) con percentuale di fino ben al di sotto del 5%. Questo sarà possibile se si utilizzerà una ghiaia con diametro medio di 4 ÷ 5 mm che pertanto è possibile sottoporla ad un efficace lavaggio preventivo. A differenza di materiali sabbiosi (diam. Inferiore a 2 mm). Il ripascimento potrà avvenire in concomitanza con il 2° lotto di lavori quando l'arenile sarà stato protetto dalla soglia sommersa e sarà stato completato anche il plateau in tout-venant a quota – 2,3 m. Il diametro scelto consentirà di utlizzare un quantitativo inferiore di materiali da ripascimento in quanto si prevede risulti più stabile rispetto alle sabbie medie e fini. La posa di questo materiale potrà avvenire sono a stagione balneare conclusa e vi saranno i mesi autunnali- invernali e primaverili per arrotondare gli spigoli della ghiaia prima che la stessa venga calpestata nella successiva stagione balneare. Per le quantità si prevede, anche per favorire l'azione abrasiva originata dal moto ondoso, di riversare il materiale in tempi successivi monitorando gli effetti sia con rilievi topografici e batimetrici che con analisi granulometriche.

Infine per quanto riguarda il monitoraggio si richiama il fatto che appena al largo (circa 400 m oltre la soglia sommersa in progetto) è presente una sito SIC marino costituto da una prateria di posidojnie che, da quanto osservato, si presenta particolarmente in buono stato.



E' quindi essenziale monitorare l'habitat costiero poco prima di iniziare i lavori , alla fine degli stessi e con cadenza biennale. Il monitoraggio è previsto tra gli oneri a carico dell'appaltatore che si dovrà avvalere di tecnici specializzati (biologi-topografi ecc.) con provata esperienza. Il monitoraggio in effetti interesserà anche la natura dei materiali lapidei impiegati (rocce e ghiaie) prima che gli stessi vengano immersi in mare o per realizzare i pennelli emersi. Prima dell'inizio dei lavori si prevede di sottoporre un dettagliato programma di monitoraggio agli Uffici della Regione Liguria ed all'Arpal in modo da poter accogliere le prescrizioni particolari che saranno emesse.

La presente Relazione Tecnica è posta a supporto delle verifiche idrauliche finalizzate a quantificare l'entità del run-up dell'onda che interessa l'arenile antistante ad una porzione del tratto viario Lungomare Guglielmo Marconi sito nel Comune di Loano (SV) e compreso tra il confine comunale a Sud-Ovest e l'arenile in corrispondenza della zona della stazione ferroviaria di Loano.

La verifica è condotta sia con riferimento allo stato attuale, sia in presenza della prevista opera di difesa sommersa collocata davanti a tale spiaggia che sarà oggetto anche di un intervento di ripascimento. In particolare, l'elaborato è destinato ad accertare, sulla base dei rilievi topografici e batimetrici eseguiti nel mese di Luglio 2020, tenendo in conto le eventuali condizioni d'interferenza tra la risalita ondosa individuata nell'ambito dei due scenari e le opere a terra già realizzate o previste , tra cui gli accessi a mare che consentiranno di scendere sulla spiaggia dalla passeggiata retrostante (come previsti dal Progetto predisposto nel Dicembre 2019 dalla Società "SAB s.r.l. –" *Progetto definitivo della nuova passeggiata* ").

Inoltre lo studio si sviluppa analizzando la validità del dimensionamento della barriera soffolta ideata nel Luglio 2007 alla luce dei nuovi parametri relativi alle caratteristiche del moto ondoso, unitamente al rispettivo ripascimento dell'arenile a tergo di tale struttura sommersa, dai Progettisti Dott. Ing. E. Brizzolara e Prof. Ing. S. Stura, al fine di preservare il tratto costiero considerato ed il cui progetto definitivo, al quale si rimanda per maggiori dettagli in merito, è già stato oggetto di validazione da parte dalla Regione Liguria.

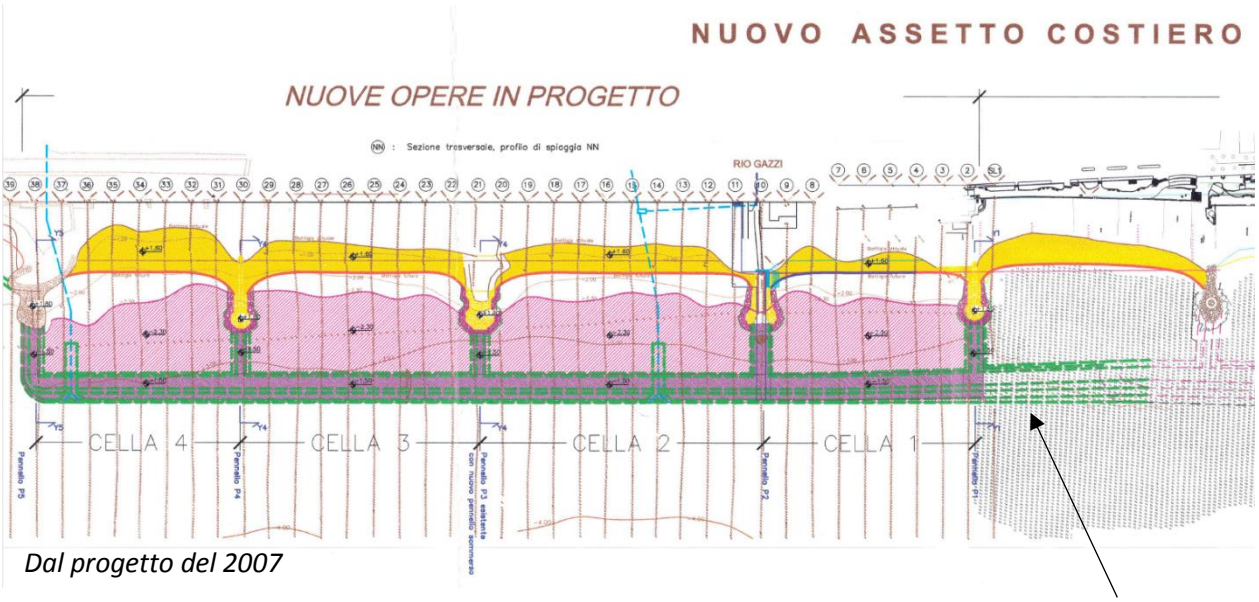
Dati gli anni trascorsi dal progetto del sistema difensivo soffolto l'Amministrazione del Comune di Loano (SV) ha ritenuto fosse necessaria una verifica della praticabilità di tale dimensionamento con l'intento di renderlo effettivo quanto prima, allo scopo di tutelare la spiaggia in esame dall'attacco dei marosi e dall'erosione litoranea.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E STATO ATTUALE

L'opera sommersa progettata nel 2007 è collegata a terra mediante diversi prolungamenti di pennelli attualmente presenti nell'arenile in questione ed anche attraverso moli realizzati ex novo ad integrazione di quelli già esistenti.

Detta struttura soffolta ha un'estensione lineare e rettilinea complessiva pari a circa 730 m (di cui un primo lotto di estensione equivalente a circa 365 m sarà iniziato nell'anno 2020 e la seconda restante porzione, posta a completamento della prima, sarà iniziata nel 2021) e si pone parallelamente al tratto costiero antistante a Via Lungomare Guglielmo Marconi a Loano (SV), delimitato a levante dal tombolo in vicinanza dello stabilimento balneare "Bagni Saitta" ed a ponente dal confine comunale, limitrofo all'approdo turistico sito nel Comune di Borghetto Santo Spirito (SV):

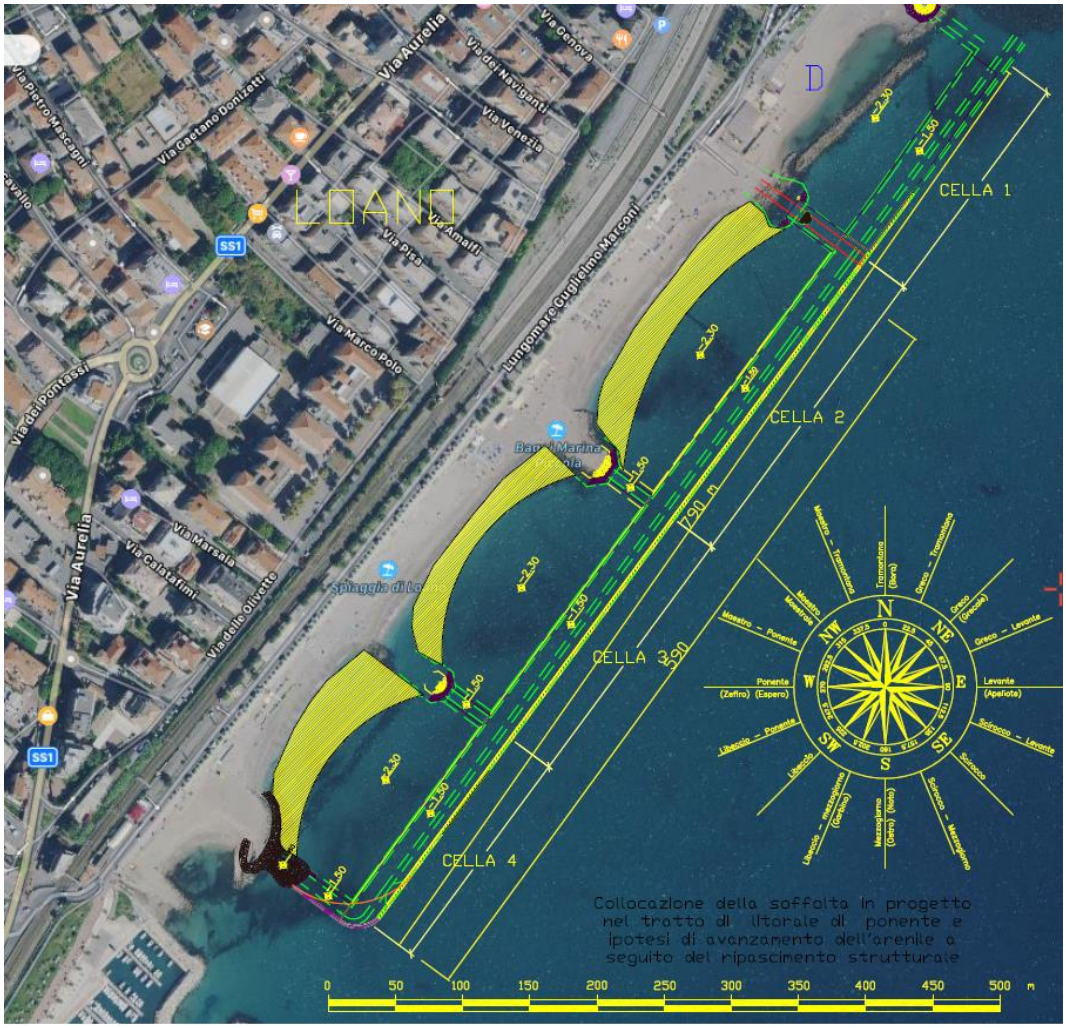




Dal progetto del 2007

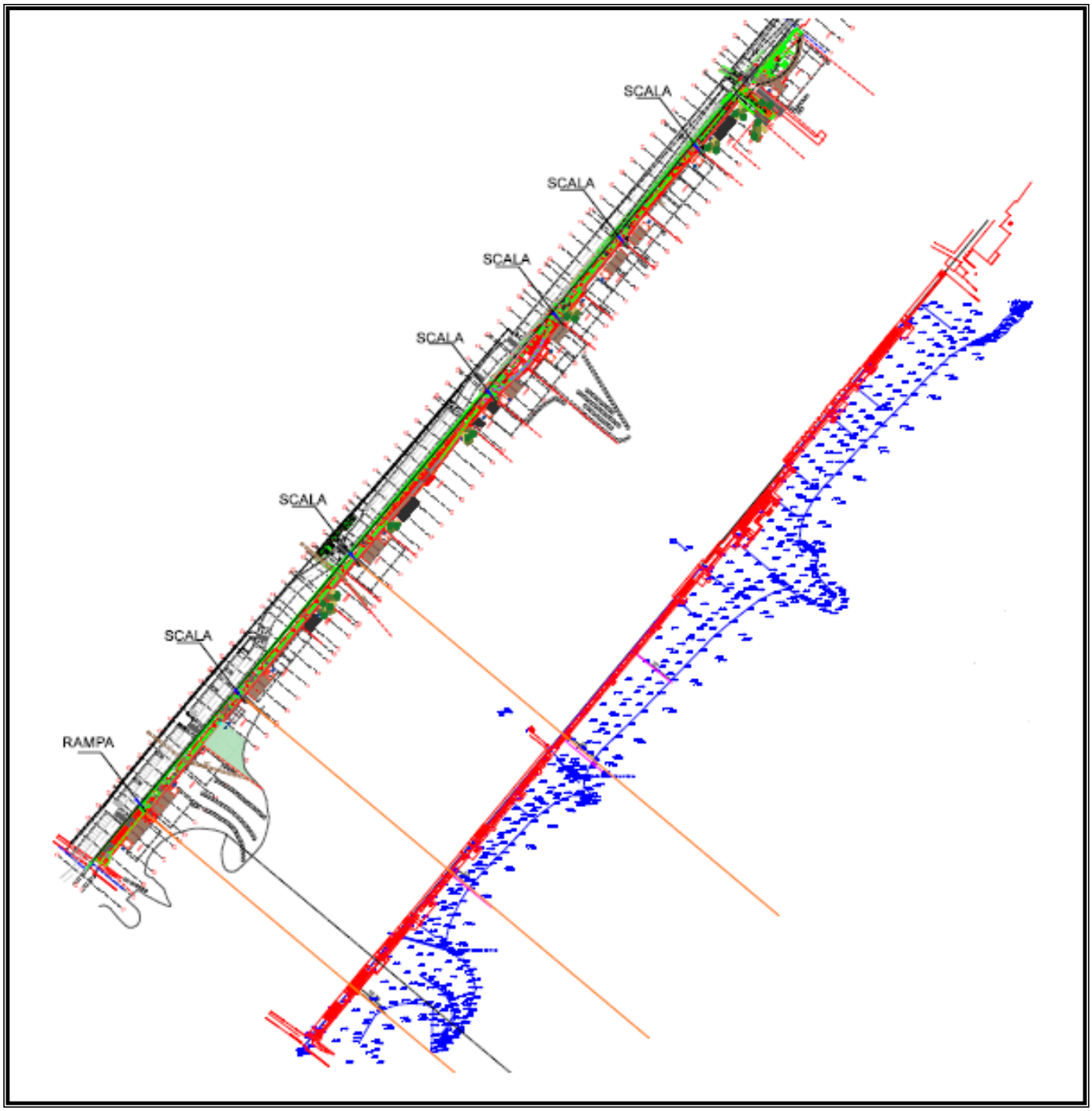
Soffolta esistente

(realizzata nel 200÷2001)


LOANO
Via Aurelia
Via Pietro Marconi
Via Gaetano Donizetti
Via dei Naviganti
Via Genova
Via Venezia
Via Amalfi
Via Pisa
Via Marco Polo
Lungomare Guglielmo Marconi
Via dei Pontassi
Via Marsala
Via Calatafimi
Via delle Olivette
SS1
D
CELLA 1
CELLA 2
CELLA 3
CELLA 4
790 m
Collocazione della soffolta in progetto nel tratto di litorale di ponente e ipotesi di avanzamento dell'arenile a seguito del ripascimento strutturale
0 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 m

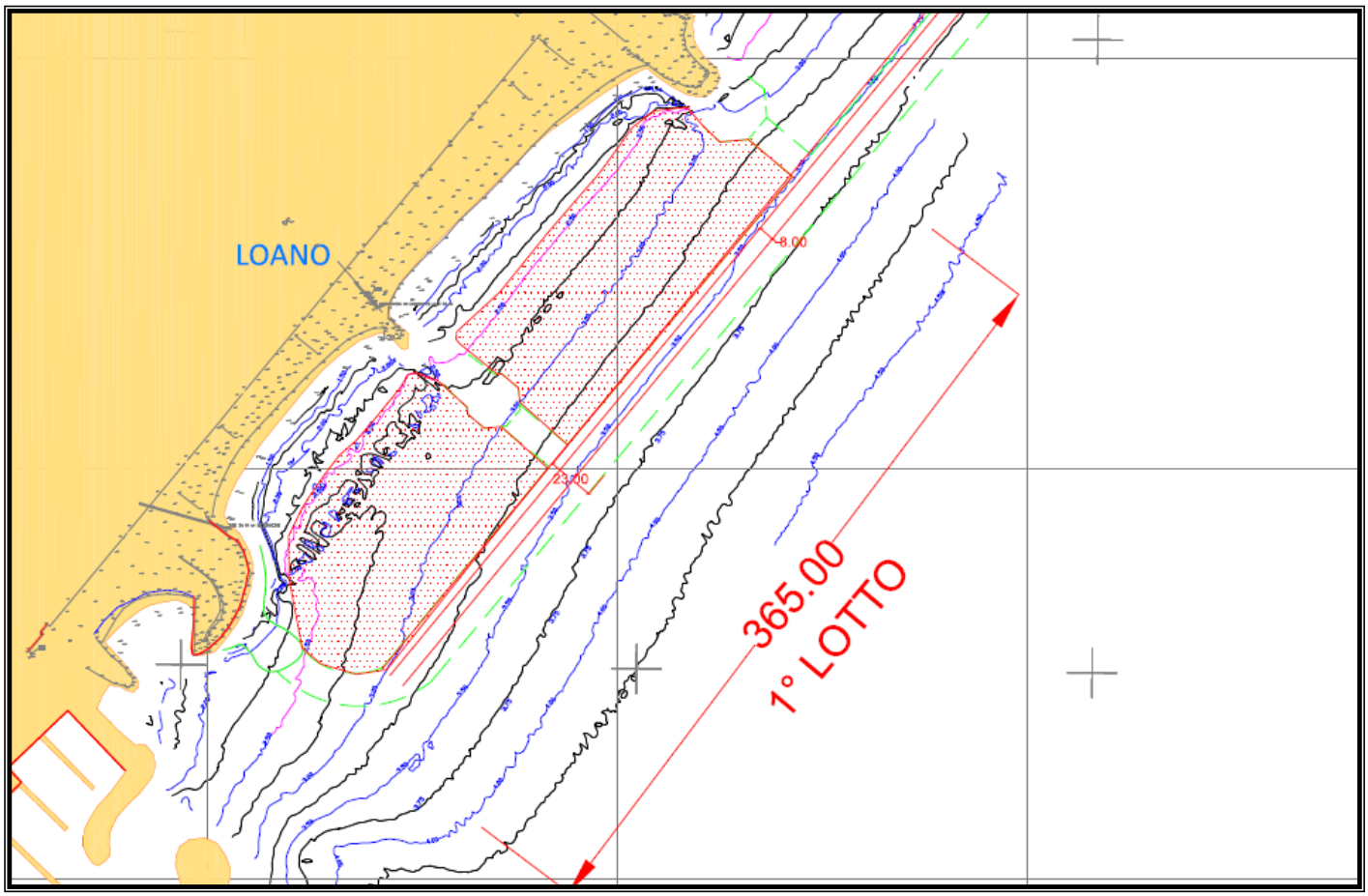
L’opera di difesa sommersa risulta orientata circa in direzione Sud-Ovest / Nord-Est, e si porrà in continuità con la diga sommersa esistente e collocata a tutela del tratto litoraneo nella zona centrale del fronte mare del Comune di Loano. La barriera soffolta è stata proposta con la funzione di preservazione della costa a tergo di essa ed in particolare, costituendo un intervento di protezione misto, ossia completato da un retrostante ripascimento dell’arenile. La soglia sommersa costituirà la protezione al piede del profilo emerso e sommerso della spiaggia preservando la stessa da erosioni dovute a correnti litoranee longitudinali e trasversali.

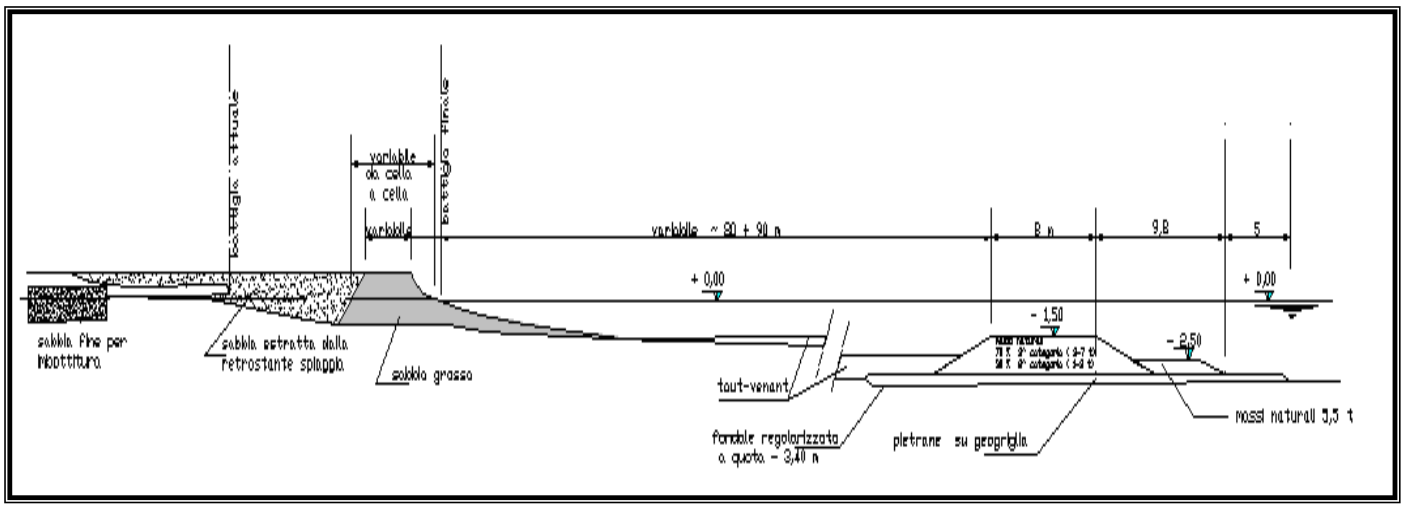
Al fine di conseguire una maggiore affidabilità alle valutazioni , analizzando l’attuale profilo del fondale coinvolto dalla prevista installazione , sono stati intrapresi nuovi rilievi topografici e batimetrici nel mese di Luglio 2020, che, come successivamente raffigurato in maniera schematica, hanno permesso di definire l’assetto trasversale della spiaggia considerata (compresa quella sommersa), rappresentando informazioni propedeutiche all’individuazione dei valori assegnati alla rimonta dell’onda incidente, la cui quantificazione è necessaria per comprendere l’efficacia della struttura di difesa, nell’impedire, tra l’altro, che il processo idraulico di run-up coinvolga anche le esistenti opere a terra e collocate a tergo dell’arenile in questione nonché le opere in previsone . Di seguito s’illustrano gli estratti planimetrici riportanti la posizione dei varchi d’ingresso e le quote misurate sulla spiaggia, rispetto alla quale sono stati identificati i valori del run-up (ovviamente si rimanda ai rispettivi Elaborati grafici a supporto del presente Documento, per informazioni più specifiche):

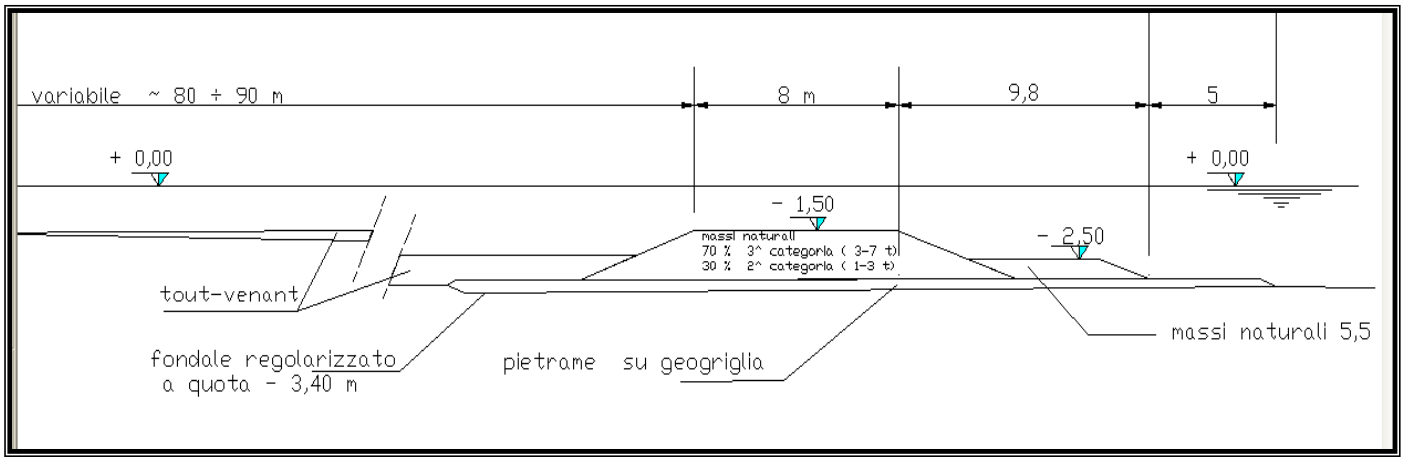


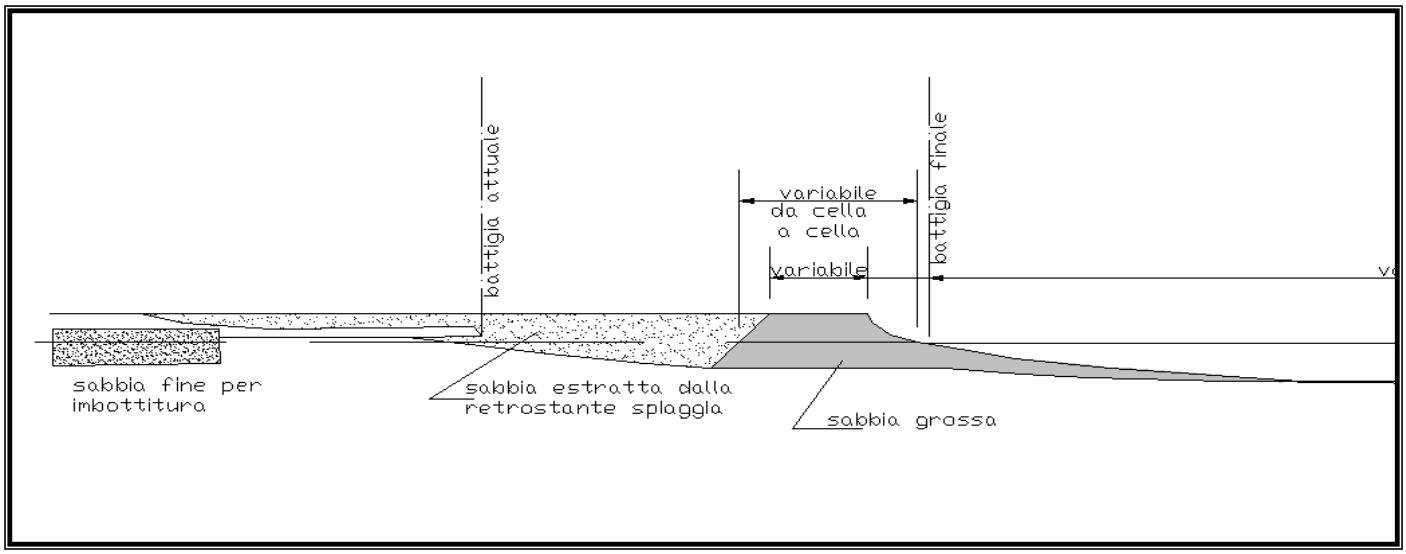
Richiamando i contenuti dei corrispondenti disegni risalenti al 2007 si evidenzia come le profondità del fondale in corrispondenza del quale saranno collocate le nuove opere protettive, siano rimaste sostanzialmente le stesse, rispetto a quanto definito dagli elaborati progettuali predisposti dal Dott. Ing. E. Brizzolara e dal Prof. Ing. S. Stura, tale per cui le verifiche seguenti potranno essere condotte assumendo una batimetria antistante alla gettata soffolta mediamente pari a -3.5 m (più specificatamente dall'esame del rilievo batimetrico eseguito nel Luglio 2020, presso la fascia costiera interessata dall'installazione della diga in questione, emerge come dette profondità vadano da -3.25 m a -3.75 m, sebbene sia doveroso sottolineare che l'adeguatezza delle verifiche condotte dal presente studio, ivi compreso il dimensionamento delle opere

di difesa, risulti valida nell'intervallo di queste batimetrie, e ciò anche perché si è riscontrata una modesta con una pendenza media del fondo su cui sarà installata la soffolta, pendenza pari a circa 1.15%.









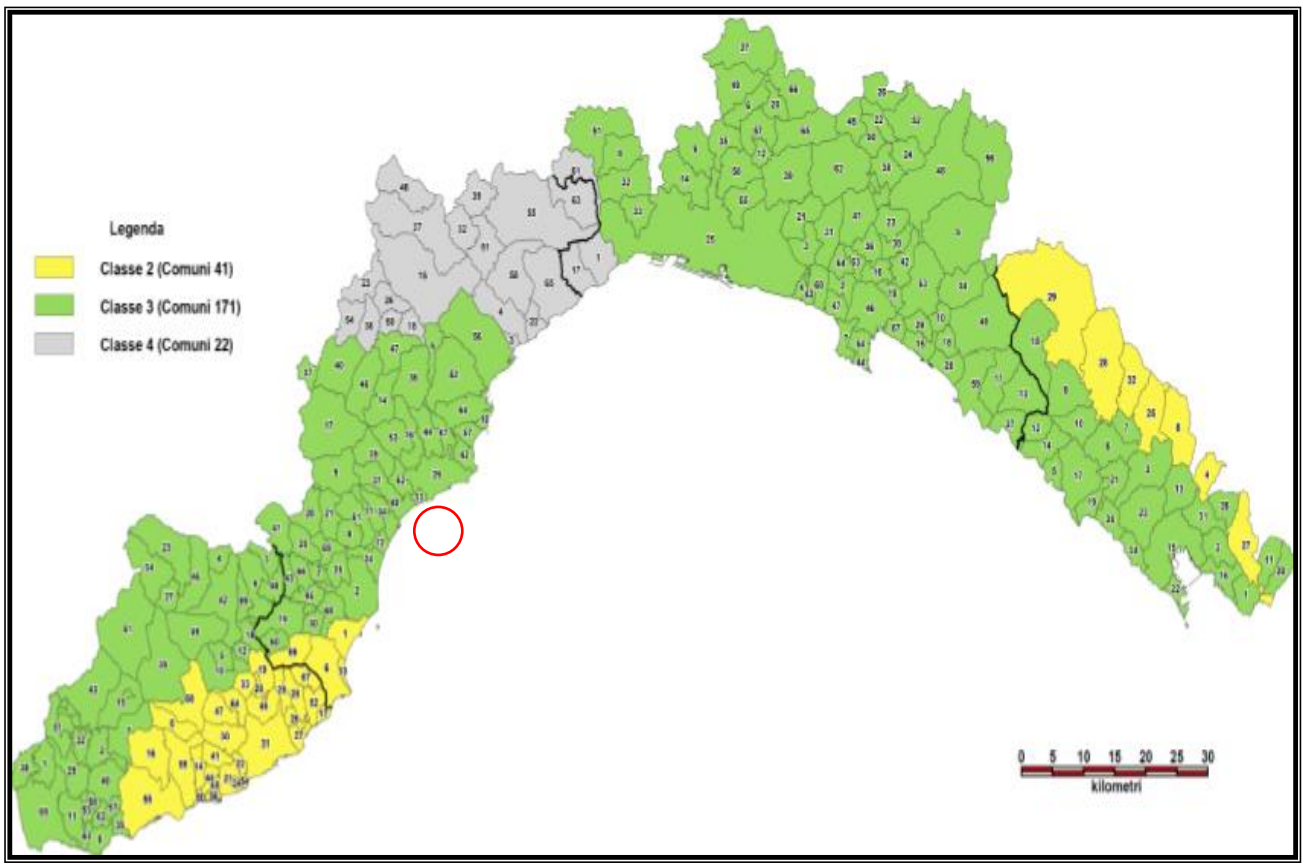
Nel ripascimento previsto nella elaborazione 2020 non sarà possibile la realizzazione della trincea in cui sversare la sabbia fine per imbottitura. Nel 2007 questo materiale si prevedeva di recuperarlo dalla escavazione del Porto di Loano oggi gli unici scavi eseguiti nel bacino portuale sono quelli nella zona dell'avamporto e sono utilizzati per il ripascimento stagionale della spiaggia retrostante.

Una parte di sabbia fine per l'imbottitura potrebbe essere ricavata dal periodico dragaggio dell'Approdo turistico di Borghetto S.S. ma , in condizioni normali, si tratterebbe di circa 1.000 mc/anno.

Dato il mantenimento, rispetto al progetto approvato nel 2007, sia della geometria trasversale e sia della predisposizione dei massi naturali che la compongono lungo l'intera estensione longitudinale, si precisa che ai fini dell'analisi di stabilità sviluppate dal presente elaborato sarà tenuta in conto la sezione tipo appena introdotta, che ben raffigura l'assetto medio previsto per tale opera di difesa, nella sua estensione longitudinale complessiva.

A completamento delle informazioni generali appena che consentono di definire le principali condizioni al contorno che contraddistinguono il sito

, è opportuno precisare che, sotto il profilo sismico, il Comune di Loano (SV) è classificato in zona 3 secondo il D.G.R. 962/2018 e quindi soggetto ad accelerazioni di picco al suolo (tipicamente indicate con l'acronimo anglosassone p.g.a., ossia espressione che assume il significato di "*peak ground acceleration*") comprese tra i valori limite pari al 5% ed il 15% dell'accelerazione gravitazionale. Di seguito s'introduce la raffigurazione che permette di identificare la posizione del sito in cui è prevista la realizzazione del manufatto citato e la rispettiva classificazione sismica, così come prevista dall'attuale Normativa regionale:



La definizione della categoria sismica dell'area in cui si deve operare, assume un ruolo di rilevanza nell'ambito delle valutazioni degli effetti indotti da un potenziale evento tellurico che, nei confronti della soglia sommersa posta in esame, potrebbe avere effetti destabilizzanti in grado di vanificarne l'efficacia e la funzione protettiva normalmente svolta nei confronti della spiaggia a tergo. Si rimanda all'elaborato geologico-tecnico per i dettagli su questo aspetto.

3. ANALISI DELLE VARIAZIONI DEL LIVELLO MEDIO MARINO

Dal punto di vista progettuale risulta fondamentale definire il sovralzo del livello medio del mare causato dal set-up dell'onda a seguito della propagazione verso riva oltre la fascia dei frangenti.

Ai fini di tale stima si richiamano i contenuti di cui al Documento pubblicato sul sito al link www.ambienteinliguria.it ed intitolato "Relazione Paraggio Borghetto S. Spirito – Loano da Capo Santo Spirito al porto di Loano" redatto ai sensi dell'art. 41 della L.R. n. 20/2006, relativamente alle unità fisiografiche Unità fisiografiche del Centa, Centa Sud e Maremola, ricadenti in ambito costiero n. 08.

In particolare, il Testo di riferimento prevede a riguardo della stima della risalita ondosa sull'arenile i successivi valori di elevazione del livello medio marino connessi ad altrettanti attacchi d'onda, questi ultimi riferiti a determinati periodi di ritorno, ossia:

- sovralzo pari a +0.8 m correlato ad incidenze ondose aventi un periodo di ritorno di 50 anni;
- sovralzo di +0.5 legato ad attacchi d'onda con periodo di ritorno pari a 1 anno.

Di seguito, pertanto, si esaminano separatamente i due differenti effetti correlati ai mutamenti della quota del livello medio del mare assunto ai fini della quantificazione delle corrispettive entità di run-up, nell'ambito dei due rispettivi scenari d'azione ondosa contemplati (ossia le circostanze contraddistinte dalla presenza o meno della barriera soffolta e del correlato intervento di ripascimento dell'arenile retrostante).

I sovralzi di set-up originati dal frangimento delle onde che evolvono verso il tratto costiero sono, pertanto, tenuti in conto nel calcolo dei valori della rimonta ondosa correlati ai due corrispondenti periodi di ritorno menzionati, mentre ai fini delle verifiche concernenti al dimensionamento del corpo principale della diga soffolta, la cui collocazione è prevista davanti alla spiaggia, nonché degli elementi inerti che la costituiscono nelle sue varie parti componenti, si sono contemplate entità di sovralzo dovute ad effetti mareali, barometrici correlati a fronti temporaleschi di bassa pressione e di eustatismo unito al fenomeno di subsidenza del fondale (queste ultime quantità derivano da una stima cautelativa, nonché conforme alla vita utile associata alle opere di difesa considerate ed assunta pari a 50 anni, ed in accordo alle indicazioni in merito fornite da J.S. Hoffman et al. (1983)), tali per cui il livello medio del mare subisce un innalzamento medio di quota pari a circa +0.8 m).

4. STIMA DELL'ALTEZZA DELL'ONDA DI PROGETTO

La presente sezione è dedicata all'individuazione della grandezza associata all'altezza dell'onda di progetto, l'entità della quale è desumibile, ai fini delle analisi delle entità di risalita ondosa sull'arenile in questione, dalle valutazioni di cui al Testo pubblicato sul già citato link www.ambienteinliguria.it ed intitolato "Relazione Paraggio Borghetto S. Spirito – Loano da Capo Santo Spirito al porto di Loano" redatto ai sensi dell'art. 41

della L.R. n. 20/2006, relativamente alle unità fisiografiche Unità fisiografiche del Centa, Centa Sud e Maremola, ricadenti in ambito costiero n. 08.

Da tale Elaborato tecnico di riferimento si desume come il tratto costiero sia stato oggetto di studio, in termini di esposizione ad eventi meteomarini espressi sinteticamente mediante valori di rischio costiero, mediante la corrispondenza della spiaggia alla sezione di calcolo classificata con la dicitura B129.

Inoltre, detto arenile è prevalentemente esposto ad un moto ondoso incidente generato da venti di Scirocco (Direzione d'origine Sud-Est) ed avente una direzione al largo compresa nel settore 45°N ÷ 210°N ed individuata, coerentemente con il Testo tecnico appena citato, in 150 °N su profondità cosiddetta infinita, tradotta in fronti d'onda che tendono, per effetto del processo fisico di rifrazione dell'onda, a disporsi ortogonalmente alla linea di riva, a causa dell'influenza del fondo che agisce in misura direttamente proporzionale sull'orientamento dei marosi, via via che essi propagano verso riva.

Va osservato, inoltre, che gli stati di mare di maggiore intensità che intervengono in corrispondenza della costa ligure risultano prevalentemente originati da venti di Libeccio che soffiano da una direzione Sud-Ovest e su un tratto di mare più esteso rispetto alla posizione del litorale in esame.

L'altezza d'onda è stata definita dalle analisi precedentemente svolte nei suoi rispettivi valori estremi, quindi gli effetti delle condizioni di frangimento in corrispondenza delle profondità rilevate al piede della soglia sommersa in esame.

In particolare ai fini della definizione della entità del run-up connessa ad incidenze d'onda aventi periodi di ritorno pari ad 1 anno e a 50 anni, parallelamente con quanto sviluppato a riguardo dal citato Documento della Regione Liguria, valutata l'ubicazione della spiaggia e l'appartenenza alla stessa della sezione di calcolo identificata come B129, si è contemplata, in una logica assolutamente prudenziale, un'altezza d'onda significativa al frangimento $H_{progetto_run\text{-}up}$ pari a 4.6 m per un tempo di ritorno equivalente a 50 anni, ed un'elevazione ondosa in condizioni di frangimento eguale a 1.8 m associata ad un periodo di ritorno di un anno. L'approccio cautelativo appena menzionato è correlato al fatto che si suppone, a favore di sicurezza, un trasferimento dell'energia d'onda dalla fascia dei frangenti fino alla riva, pressochè esente da fenomeni dissipativi e, conseguentemente, non riducenti idealmente l'altezza del moto ondoso che provoca la rimonta dell'onda sull'arenile esaminato (tipicamente questo non accade nella realtà, ove, nella cosiddetta "surf-zone" si sperimentano effetti di dispersione energetica, tali per cui le onde frante normalmente diminuiscono la loro altezza media e, conseguentemente, la loro capacità di risalire la spiaggia sulla quale si abbattono, via via che propagano verso riva).

L'altra tematica affrontata dal presente lavoro compete la verifica del dimensionamento della struttura soffolta e dei massi naturali che la compongono, tenendo in conto, ovviamente, della conformazione geometrica del manufatto, provvisto alla base della scarpata direttamente soggetta all'azione ondosa di una

berma dal profilo piuttosto esteso ed avente una duplice funzione: quella di proteggere il piede della scogliera sommersa da fenomeni erosivi di scalzamento e quella di dissipare l'energia posseduta dalle ondazioni più elevate che possono colpire il corpo principale della struttura in questione, riducendone l'effetto destabilizzante nei confronti dei blocchi lapidei che la formano. Alla luce dell'assetto della soglia sommersa si valutano le seguenti altezze d'onda correlate ad un tempo di ritorno eguale a 50 anni, in coerenza con il livello di sicurezza richiesto per opere marittime così come definito al paragrafo n. 2.1.4.5 di cui al Testo di riferimento "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" del Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici che permettono di identificare la vita utile dell'infrastruttura in relazione alla tipologia di opera, come di seguito schematizzato:

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

Da quanto appena illustrato si deduce che il livello di sicurezza assegnato all'opera di difesa esaminata sia individuabile in un valore pari a 2, a cui è attribuita una vita utile della soglia sommersa pari a 50 anni. È previsto, quindi, che la funzionalità della barriera considerata sia conservata per una durata nel tempo compatibile con le esigenze di sicurezza appena espresse.

Il tempo di ritorno T_R definito in accordo con il Testo tecnico di riferimento è dedotto dalla seguente relazione:

$$T_R = \frac{T_V}{\left(-\ln\left(1-p_f\right)\right)}$$

nella quale T_v rappresenta la durata minima dell'opera determinata in relazione alle sue caratteristiche funzionali ed al livello di sicurezza richiesto e p_f rappresenta la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita dell'opera.

Per la valutazione del danno ammissibile è stata considerata, come successivamente schematizzato, la probabilità relativa alle condizioni di danneggiamento incipiente essendo la tipologia di opera di difesa trattata costituita da strutture flessibili e riparabili.

La tabella di seguito rappresentata e tratta dal Documento tecnico sopra richiamato, riporta un valore della probabilità di danneggiamento p_f pari a 0.5, per un rischio moderato per la vita umana, per un livello di danneggiamento incipiente e per una ripercussione economica assunta di entità piuttosto bassa ed afferente ad interventi manutentivi riguardanti la riparazione dell'eventuale danno:

Danneggiamento incipiente	**Rischio per la vita umana**	
Ripercussione economica	**Limitato**	**Elevato**
Bassa	0.5	0.3
Media	0.3	0.2
Alta	0.25	0.15

Sulla base dei parametri selezionati, il tempo di ritorno di progetto dell'opera risulta pari a circa 73 anni. Tale entità, normalmente approssimata per eccesso (ossia a 100 anni) nell'ambito del dimensionamento di strutture di difesa, risulta di valore superiore ai periodi di ritorno associati, come sopra richiamato, alle onde incidenti estreme e quindi in condizioni di frangimento, agenti in corrispondenza delle sezioni d'interesse.

Questa circostanza evidenzia come la soglia soffolta in esame non sia pertanto soggetta, nell'ambito delle analisi sviluppate, ad ondazioni che possano comprometterne irrimediabilmente la funzionalità alla quale essa è destinata.

Assumendo la geometria sopra indicata della gettata sommersa oggetto d'approfondimento, si valutano le seguenti elevazioni d'onda, finalizzate all'accertamento del corretto proporzionamento dimensionale della

barriera sommersa e dei blocchi inerti che la compongono, identificate anche sulla scorta degli aspetti appena richiamati e tenendo in conto della preponderanza, alla profondità d'installazione dell'opera difensiva stessa, degli effetti mareali di sovralzo del livello medio marino, rispetto all'influenza su tale medesimo innalzamento, proveniente dai fenomeni barometrici e di subsidenza unita all'eustatismo, come già richiamati nel capitolo precedente:

- Altezza d'onda di progetto $H_{progetto_berma}$ calcolata pari a 4.6 m e dedotta dalla seguente relazione sperimentale proposta da J. W. Kamphuis (2020) che, validata da svariate prove di laboratorio simulanti onde irregolari ed i cui parametri sono stati tarati sulla base del lavoro di ricerca svolto, contempla l'elevazione Hs_f dell'onda di shoaling e rifrazione che frange al largo, quest'ultima grandezza espressa in congruenza ai rispettivi contenuti di cui al Documento regionale di riferimento denominato "Relazione Paraggio Borghetto S. Spirito – Loano da Capo Santo Spirito al porto di Loano":

$$H_{progetto_berma} = K_{\max} \cdot \left(d_{struttura} + 0.1 \cdot H_{sf} + sovralzo\right) \cdot 0.56 \cdot \exp^{(3.5 \cdot m)} =$$

$$= 1.5 \cdot \left(d_{struttura} + 0.1 \cdot H_{sf} + sovralzo\right) \cdot 0.56 \cdot \exp^{(3.5 \cdot m)}$$

$$\text{con } K_{\max} = 1.5$$

È interessante notare come tale valore d'altezza d'onda risulti uguale alla elevazione del moto ondoso presso la fascia di frangimento come esplicitato dall'Elaborato tecnico sopra richiamato, per la sezione di calcolo di riferimento B129.

L'elevazione ondosa dipende anche dalla pendenza media *m* del fondale antistante la soglia soffolta (equiparata a circa 1.15%) e dalla batimetria $d_{struttura}$ alla quale essa è collocata pari mediamente a -3.5 m, risulta, pertanto, associabile ad eventi d'onda connessi ad un tempo di ritorno pari a 50 anni, in coerenza con i rispettivi contenuti desumibili dal Documento regionale di cui al punto che precede.

I massi naturali e lo sviluppo trasversale della berma energeticamente dispersiva, nonché situata al piede del corpo principale dell'ammasso poroso in questione, sono stati verificati e proporzionati, quindi, in considerazione dell'altezza d'onda di progetto $H_{progetto_berma}$.

Sulla base di quanto appena descritto, appare evidente come l'elevazione ondosa incidente $H_{progetto_berma}$ valutata in condizioni di frangimento e ricavata secondo l'equazione empirica appena introdotta, risulti dipendente dalla pendenza del fondale antistante all'ammasso lapideo considerato e dalla profondità al piede della soglia sommersa, entrambi analizzati come fattori non

significativamente alterati rispetto al passato, come ricavato dalle indagini batimetriche sopra menzionate e sviluppate nel mese di Luglio 2020 presso il sito in esame, tale per cui dette profondità possono ritenersi sostanzialmente mantenute per l'intero tratto di mare in cui è presente la barriera sommersa oggetto d'analisi;

- L'elevazione ondosa $H_{progetto_soffolta}$ destinata a supportare le verifiche di stabilità delle unità lapidee componenti la porzione principale della gettata sommersa è stata valutata considerando gli effetti dissipativi dell'energia ondosa indotti dalla berma posizionata alla base lato mare del corpo della diga soffolta, nei riguardi dell'altezza delle ondazioni che vi giungono e tenendo in conto che detta porzione al piede possiede un profilo orizzontale piuttosto esteso, tale per cui detta elevazione d'onda definita $H_{progetto_soffolta}$ è stata dedotta, in condizioni di frangimento, dalla formulazione derivante dalla Teoria dell'onda solitaria propagante su fondi non pendenti e proposta da J. McCowan (1891) e W. H. Munk (1949), come successivamente introdotta:

$$H_{progetto_soffolta} = 0.78 \cdot \left(d_{struttura} + sovralzo\right)$$

Questo valore dell'elevazione ondosa $H_{progetto_soffolta}$ dedotta pari a 3.35 m dai termini di entità già nota, ed incidente sulla parte principale della scogliera sommersa, risulta inferiore all'altezza d'onda $H_{progetto_berma}$ di cui al punto che precede, ancorchè correlata ad essa, a causa dei suddetti effetti energeticamente dispersivi che il moto ondoso sopraggiungente sulla berma già citata, subisce in occasione dell'azione d'impatto dell'onda stessa sul corpo della soglia soffolta in questione.

A tale proposito e considerato il sopralzo dovuto anche agli effetti mareali già illustrati, nell'ambito della valutazione delle caratteristiche del moto ondoso incidente in corrispondenza della barriera sommersa esaminata, si osservano le batimetrie $d_{struttura}$ antistanti al piede di tale struttura di difesa (assunte prudenzialmente così come ricavato dai rispettivi dati acquisiti ed in coerenza con quanto definito precedentemente nell'ambito delle analisi di stabilità sviluppate ai fini dell'originario dimensionamento dei blocchi lapidei costituenti il manufatto protettivo, pari in media a circa -3.5 m rispetto al livello medio marino) e, cautelativamente, si valutano, date le ridotte profondità alle quali è collocata questa stessa barriera, i valori estremi delle ondazioni in condizioni di frangimento, da utilizzare nel calcolo di stabilità propedeutico alla definizione delle caratteristiche dimensionali medie dei massi naturali impiegati per comporre la diga soffolta, analizzando, al contempo, le caratteristiche geometriche di quest'ultima.

È doveroso puntualizzare, altresì, come gli attacchi ondosi sopra descritti e modellati ai fini del dimensionamento del sistema di difesa esaminato siano, in maniera cautelativa, diretti frontalmente sulla barriera sommersa in esame, tale per cui il proporzionamento delle varie parti di tale stesso impianto protettivo avviene nell'ambito delle condizioni di massima azione d'impatto da parte delle onde incidenti e ciò anche in coerenza con l'assetto del fondale che risulta trasversalmente regolare e sostanzialmente allineato all'asse principale del manufatto in questione (qualora, invece, si riscontrasse un intervento ondoso obliquo sull'opera difensiva trattata, esso determinerebbe sollecitazioni sicuramente di entità inferiore a quelle assunte dalla presente analisi).

5. VALUTAZIONE DEI VALORI DI RUN-UP SUL TRATTO LITORANEO

A partire dai dati afferenti all'altezza dei flutti di progetto, variabili in funzione del periodo di ritorno a cui essi si riferiscono, è possibile stimare i corrispondenti valori della risalita dell'onda in corrispondenza dell'arenile in questione e nell'ambito dei due scenari di azione del fenomeno sul quale agisce il processo di sovralzo, come esplicitato, in base al tempo di ritorno. Dette circostanze nelle quali si riscontra il run-up, così come valutato dalla presente relazione, sono rappresentate sia dalla spiaggia la cui configurazione trasversale è quella attualmente conosciuta e derivata dai rilievi topografici effettuati nel mese di Luglio 2020 e sia dal medesimo arenile protetto dalla soglia soffolta e rispettivo intervento di ripascimento retrostante a quest'ultima, previsti nella geometria individuata dal Progetto predisposto nel 2007.

Si evidenzia nuovamente che le pendenze del profilo della spiaggia emersa, impiegate nel calcolo del run-up, sono state tratte dalle misure topografiche effettuate nel Luglio 2020.

Rammentando la nota definizione della rimonta dell'onda su un litorale, ovvero, in generale, su di una scarpata inclinata, individuato nella quota verticale raggiunta dalla lama d'acqua sospinta dall'attacco ondoso sul versante stesso ed associando a detto termine dimensionale un significato statistico correlato ad una probabilità di superamento del 2% (ossia ci si riferisce alla risalita dell'onda classificata quale $R_{u2\%}$), è possibile stimare detto valore avvalendosi della successiva relazione sperimentale proposta da J. W. Van der Meer et al. (1992) e richiamata dallo stesso autore (1998), quale prudenzialmente comprensiva della deviazione standard riguardante i risultati ottenuti in laboratorio, che hanno a loro volta permesso di estrapolare l'equazione seguente. La validità progettuale dell'espressione empirica seguente è riconosciuta dagli autori appena citati, dato il fatto che tale medesima formulazione permette di comprendere, nei valori

di rimonta ondosa da essa restituiti, l'incertezza insita in questa determinazione e nei dati di partenza propedeutici alla stima in oggetto:

$$\frac{R_{u2\%}}{H_{progetto_run-up}} = 1.61 \cdot \gamma \cdot \xi_{0p}$$

valida per ripidità del versante inferiori a 1:2.5, come nel caso della spiaggia emersa in esame

nella quale, oltre ai termini di significato già noto, il coefficiente adimensionale ξ_{0p} indica il parametro numerico di Iribarren dedotto grazie alla conoscenza sia della pendenza media dell'arenile in questione e coinvolto nel processo di rimonta dell'onda, sia della lunghezza dell'onda al largo calcolata con il periodo di picco T_P, ossia $L_{0p} = \frac{g \cdot T_p^2}{2 \cdot \pi}$. È importante puntualizzare come, nella relazione empirica appena introdotta, i fattori riduttivi γ correlati singolarmente alla rugosità della superficie della spiaggia su cui avviene la risalita dell'onda, all'obliquità dell'incidenza ondosa e ad un eventuale presenza di una berma collocata sul profilo dell'arenile in questione, siano tutti equiparati cautelativamente all'unità, come da indicazioni in merito da parte della Regione Liguria ed in accordo ad una logica cautelativa afferente alla valutazione del run-up.

Successivamente, sulla base delle informazioni assunte ed applicando l'equazione sperimentale appena illustrata ai fini della stima della risalita ondosa $R_{u2\%}$ presso la spiaggia in esame, si riportano le rispettive entità attribuite a tale stessa grandezza idraulica, nonché valutate nell'ambito dei due differenti scenari di spiaggia allo stato attualmente rilevato e del medesimo arenile interessato da un intervento di ripascimento protetto al piede dalla struttura sommersa anzidetta, tenendo in conto dei valori di sovralzo già definiti e corrispondenti ai tempi di ritorno già specificati.

Esclusivamente in tale ultima condizione, data la presenza della diga soffolta antistante un arenile, integrato da un'opera di ripascimento, l'onda che si abbatte sulla riva in esame possiede un'energia dissipata dalla soglia sommersa e denota, conseguentemente, un'elevazione ondosa diminuita rispetto alla circostanza in cui detta struttura sommersa, come avviene attualmente, non è collocata a difesa del tratto costiero indagato.

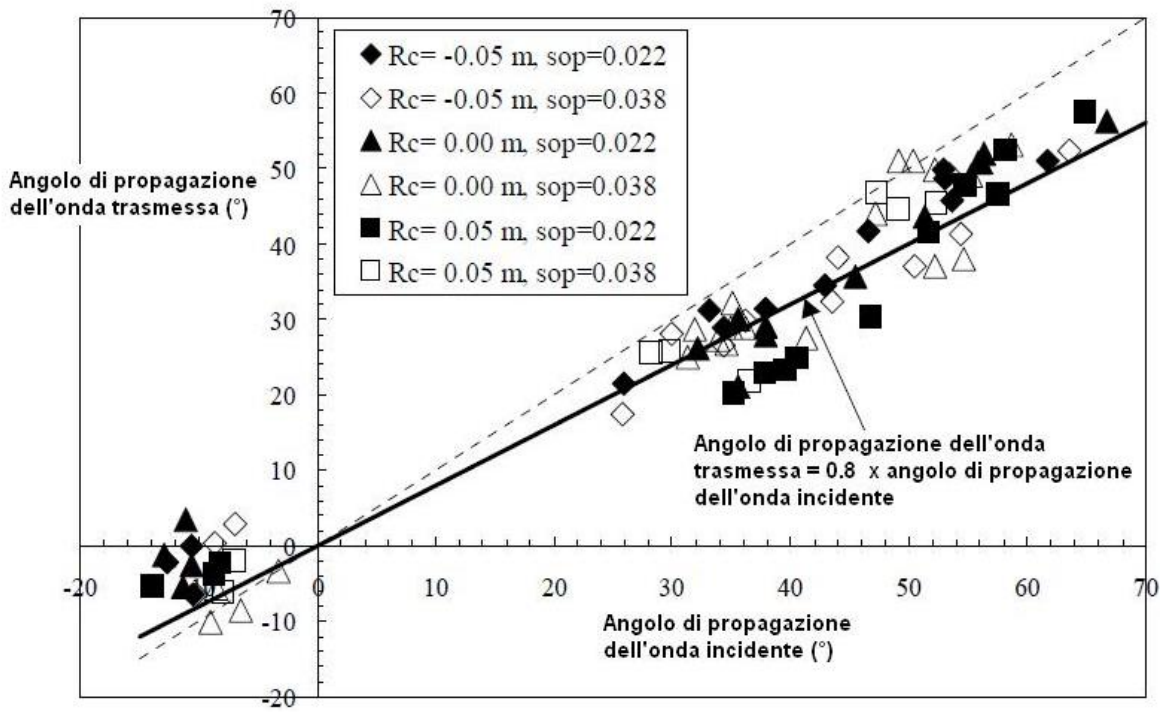
Alla luce di ciò, si è proceduto identificando l'altezza H_t del moto ondoso trasmesso a tergo del manufatto soffolto, mediante la formulazione empirica richiamata da J. W. Van der Meer et al. (2004) che, sulla base di approfondimenti sperimentali, propongono la seguente relazione empirica in grado di contemplare un ulteriore fattore che contribuisce alla determinazione del coefficiente di trasmissione K_t e costituito dall'estensione B della berma di sommità della soglia sommersa considerata.

Precisando come la relazione empirica di seguito introdotta risulti valida per barriere permeabili e composte da elementi lapidei, nonché richiamando il già definito parametro di Iribarren ξ_{0p} quantificato come suindicato e mediante anche la conoscenza dell'inclinazione della scarpata della barriera sommersa, assunta equivalente a circa 19.5 gradi sessadecimali sull'orizzontale, presso il lato direttamente esposto all'onda incidente, la cui altezza al piede della struttura trattata è definita con il termine $H_{progetto_run\text{-}up}$ ed associata ad i periodi di ritorno anzidetti, si è adottata la successiva relazione sperimentale proposta da J.W. Van der Meer et al. (2004), per il rispettivo campo di validità, in merito all'individuazione del valore da attribuire al parametro di trasmissione K_t per opere a gettata quali quella considerata dal presente studio:

$$K_t = -0.4 \cdot \frac{R_c}{H_{progetto_run-up}} + 0.64 \cdot \left(\frac{B}{H_{progetto_run-up}} \right)^{-0.31} \cdot \left(1 - \exp^{-0.5 \cdot \xi_{0p}}\right) \text{ valida per } \frac{B}{H_s} < 10$$

in cui, i termini introdotti assumono il significato ormai noto e l'immersione dell'opera di difesa esaminata R_c che misura la distanza tra la cresta della scogliera soffolta e la quota associata al livello medio del mare assunto, risulta assunta pari a -1.5 m nel caso di specie, mentre l'ampiezza trasversale della berma sommitale della diga in questione è equivalente a 8 m, valori identici a quelli previsti dal Progetto redatto dal Dott. Ing. E. Brizzolara e dal Prof. Ing. S. Stura, come sopra richiamato.

J.W. Van der Meer et al. (2004) hanno verificato anche l'effetto sul coefficiente di trasmissione K_t dell'angolo d'incidenza del moto ondoso in corrispondenza della tipologie di dighe a gettata , ma tale approfondimento, per le opere di difesa permeabili e costituite da blocchi naturali, non ha evidenziato, come raffigurato dall'immagine successiva, una sostanziale dipendenza del parametro trasmissivo K_t rispetto alla direzione di propagazione dell'onda che interviene presso la barriera protettiva in esame. Nello specifico, infatti, l'angolo β_i rispetto all'ortogonale all'asse principale dell'opera di difesa e rappresentante la direzione d'attacco del moto ondoso incidente su quest'ultima è posto in correlazione al corrispondente angolo β_t afferente alla propagazione della medesima onda trasmessa oltre questa struttura, secondo la seguente espressione di derivazione sperimentale: $\beta_t = 0.8 \cdot \beta_i$, evidenziando come l'orientamento dell'attacco del moto ondoso in corrispondenza della soglia soffolta trattata, non sia completamente diverso dalla direzione dell'onda che prosegue la sua evoluzione oltre l'infrastruttura medesima e verso riva.



Alla luce delle considerazioni finora illustrate in merito all'identificazione delle entità della risalita ondosa $R_{u2\%}$ ricercata (si puntualizza come i sovralzi sotto indicati e compresi nelle valutazioni intraprese ai fini della definizione del run-up, siano stati dedotti in conformità ai contenuti di cui al Documento tecnico predisposto dalla Regione Liguria, come già precedentemente menzionato), di seguito si mostrano i principali risultati delle analisi eseguite a riguardo, evidenziando l'assoluta necessità delle opere di difesa previste, al fine di conferire un'adeguata protezione al tratto litoraneo oggetto d'approfondimento, nei confronti dei marosi che vi sopraggiungono, ossia:

VALORI DI RUN-UP CALCOLATI IN ASSENZA DI STRUTTURA DIFENSIVA E IN ASSENZA DI RIPASCIMENTO				
Tempo di ritorno (anni)	**$H_{progetto_runup}$ (m)**	**Sovralzo (m)**	**γ**	**$R_{u2\%}$ (m)**
1	1.8	0.5	1	2.11
50	4.6	0.8	1	4.92

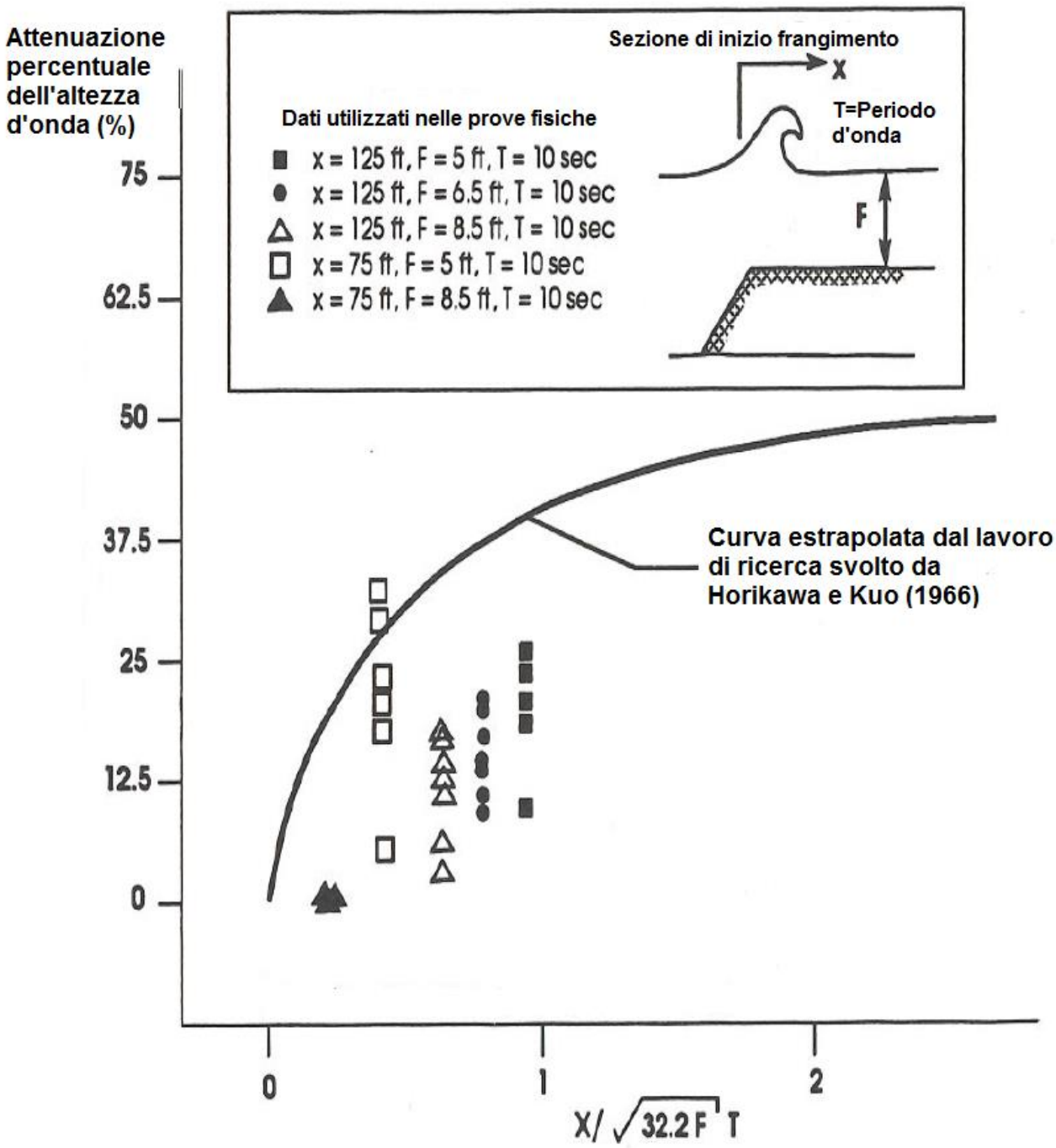
VALORI DI RUN-UP CALCOLATI IN PRESENZA DI STRUTTURA DIFENSIVA E RIPASCIMENTO						
Tempo di ritorno (anni)	**$H_{progetto_runup}$ (m)**	**Sovralzo (m)**	**γ**	**Coefficiente di trasmissione Kt**	**$R_{u2\%}$ (m)**	**Riduzione percentuale del run-up rispetto alla condizione d'assenza dei manufatti protettivi**
1	1.8	0.5	1	0.54	0.79	62%
50	4.6	0.8	1	0.37	1.32	73%

Come appena illustrato, risulta evidente l'incompatibilità dell'assetto attuale dell'arenile in questione e sprovvisto, a differenza del tratto costiero immediatamente limitrofo e situato a Levante, di sistemi protettivi, in riferimento alle entità di rimonta dell'onda appena esplicitate e ricavate come sopra, tale per cui anche per eventi ondosi aventi una frequenza annuale si prospetta una condizione di inutilizzabilità della spiaggia ed anche dei suddetti manufatti di accesso alla stessa dalla passeggiata sovrastante. A tale proposito ed in considerazione dei valori di risalita ondosa appena desunti, si sconsiglia, al momento, fruizione dei varchi di passaggio che permettono l'ingresso all'arenile in questione, dalla rispettiva via pedonale sopraelevata, tenuto in conto che l'entità del run-up $R_{u2\%}$ attribuito alla circostanza attuale in cui versa la spiaggia in esame, corrisponde a quote raggiunte dalla lama d'acqua rimontante sul profilo dell'arenile d'interesse, spesso maggiori delle posizioni altimetriche assegnate alla base di tali costruzioni di passaggio (scale e rampa più a Sud-Ovest), tale per cui si propone l'interdizione di questi stessi varchi di transito- ovviamente in condizioni di mare agitato- , fino a quando dette opere difensive non saranno definitivamente completate e nei periodi autunnali ed invernali di maggiore esposizione del paraggio considerato ad incidenze d'onda d'intensità più marcata.

A conferma della logica prudenziale adottata al fine del calcolo del run-up $R_{u2\%}$ anche in presenza dell'intervento di ripascimento stabilizzato al piede dalla soglia sommersa prevista nella conformazione geometrica di progetto, si precisa come l'elevazione ondosa contemplata in detto computo sia stata assunta pari a quella immediatamente retrostante alla diga soffolta, evitando di contemplare gli esistenti effetti energeticamente dispersivi che influenzano l'altezza d'onda trasmessa, durante la sua evoluzione verso riva e dato il distacco trasversale pari in media a circa 85 m tra la struttura protettiva sommersa e la spiaggia a tergo di essa.

Infatti, riguardo a quanto appena evidenziato, appare utile fare riferimento al grafico sottostante di natura empirica che, fornito da K. Horikawa e O. Kuo (1966), fornisce una stima sufficientemente affidabile della riduzione percentuale dell'altezza d'onda incidente e successivamente trasferita a tergo della gettata

sommersa considerata, durante la sua evoluzione verso l'arenile retrostante. In particolare, dal diagramma riportato di seguito, appare evidente come all'aumentare del grado di attenuazione dell'altezza d'onda che interviene, peraltro in condizioni di frangimento, in corrispondenza della barriera in esame, si verifichi un incremento della distanza dalla sezione iniziale, ossia proprio quella in cui l'onda risulta impattare. D'altra parte, vi sono altri parametri che, secondo l'analisi di cui si tiene in conto, contribuiscono nel definire il comportamento del moto ondoso presso la soglia soffolta trattata e nello specifico si ha che, se il periodo dell'onda incidente T sperimenta un aumento in corrispondenza della struttura protettiva considerata, vi è una riduzione, a parità di altri parametri trattati, dell'altezza dell'onda incidente riscontrabile alla medesima distanza X dalla sezione iniziale d'interesse, ove si ha un moto ondoso frangente, quindi, di maggiore intensità.



Considerata, pertanto, la distanza rispetto alla riva della scogliera sommersa in questione e valutata, secondo le indicazioni progettuali di riferimento fornite dagli elaborati prodotti nel progetto del 2007, pari a circa 93 m in coincidenza con la sezione iniziale da cui origina la coordinata X raffigurata nello schema grafico appena mostrato, nonché tenendo in conto delle entità sia del periodo d'onda medio T relativo al moto ondoso trasmesso oltre l'ammasso soffolto e sia dell'immersione F di questa stessa struttura protettiva (tale ultima grandezza è assunta equivalente a -1.5 m, come previsto dal Progetto svolto dai Tecnici appena citati), è possibile determinare il valore numerico del rapporto $\frac{X}{\sqrt{32.2 \cdot F} \cdot T}$ inserito in ascissa nel diagramma osservato e ricavato pari a circa 2.9, corrispondente ad un'attenuazione dell'elevazione appartenente

all'onda trasmessa, a fronte di eventi ondosi contraddistinti da periodi di ritorno eguali sia ad 1 anno e sia a 50 anni, oltre l'impianto protettivo sommerso, stimabile in circa il 50% in corrispondenza della linea di costa già coinvolta dall'intervento di ripascimento.

Tale condizione evidenzia sia l'efficacia della diga soffolta e rispettivo ripascimento a tergo previsti a salvaguardia del tratto litoraneo indagato, sottolineandone al contempo l'esigenza costruttiva da intraprendere quanto prima, al fine di preservare la spiaggia considerata dal presente

studio, sia il grado di cautela adottato allo scopo di quantificare le entità della rimonta dell'onda, in presenza del manufatto sommerso e corrispondente ripascimento a tergo di esso . A tale proposito ed ai fini della stima dei valori di run-up suindicati, si tenga anche in considerazione il fatto che le celle costiere create dall'installazione della barriera soffolta e rispettive connessioni a terra, quest'ultime costituite da pennelli perpendicolari alla linea di riva, come previsto nel progetto del 2007 e ripreso nella versione 2020, non si ritiene possano risultare oggetto di fenomeni di trasporto solido erosivo, potenzialmente capace di mutare il profilo dell'arenile esaminato, anche incrementandone la pendenza ed aggravando, così, l'efficacia della risposta idraulica in termini di rimonta ondosa, restituita dalla spiaggia trattata.

Alla luce di quanto sopra , emerge chiaramente come l'opera protettiva soffolta ed il corrispondente volume di ripascimento retrostante, offrano insieme un importante contributo nel contrastare l'energia dell'onda incidente su questo tratto litoraneo, conferendo a quest'ultimo una maggiore durata e resilienza nel tempo, rispetto agli attacchi ondosi che su di esso si abbattono ed ai quali è normalmente esposto il paraggio trattato.

6. VALUTAZIONE DEL DIAMETRO NOMINALE MEDIO DEI MASSI NATURALI DELLA SOGLIA SOMMERSA

A partire dalla sostanziale invarianza attuale, rispetto al profilo di riferimento tenuto in conto dal Progetto elaborato nel 2007, delle batimetrie e della conformazione geometrica, come appurato nel corso dell'indagine strumentale effttuata nel Luglio 2020, nonché delle caratteristiche geotecniche riguardanti il fondale presso cui è prevista l'installazione della struttura sommersa e del volume di ripascimento granulare, ai fini dell'individuazione del diametro nominale medio D_{n50} della barriera soffolta in esame ed oggetto dell'intervento previsto, si è prudenzialmente adottata (come riportato dal rispettivo grafico riportato di seguito) la relazione empirica proposta da M. M. Kramer e altri (2003, 2006) utilizzabile per ammassi lapidei formati da blocchi naturali ed installati a profondità come quelle del progetto di cui trattasi. Precisando come l'elevazione dell'ondazione introdotta nei calcoli finalizzati al proporzionamento della dimensione nominale medio D_{n50} sia equiparata a $H_{progetto_soffolta}$, come già definita e dato l'effetto energeticamente dispersivo provocato dalla berma appositamente creata a questo scopo, nonché collocata in posizione antistante al

corpo principale della scogliera sommersa; in sostanza, quindi, ed a tale proposito, si precisa che il meccanismo dissipativo dell'energia ondosa generato dai massi naturali ubicati lato mare davanti al corpo principale della soglia soffolta, consiste nell'indurre i marosi che raggiungono la struttura sommersa ad assumere i rispettivi profili di frangimento, riducendo conseguentemente la propria altezza e in misura corrispondente anche il proprio potere destabilizzante nei confronti degli elementi inerti che compongono il manufatto difensivo sul quale essi si abbattono:

$$\frac{H_{progetto_soffolta}}{\Delta \cdot D_{n50}} = 0.06 \cdot \left(\frac{R_c}{D_{n50}} \right)^2 - 0.23 \cdot \frac{R_c}{D_{n50}} + 1.36$$

$$\text{valida per } -3 \le {R_c}/{D_{n50}} < 2$$

nella quale l'elevazione dell'onda di progetto $H_{progetto_soffolta}$ assume il valore già introdotto pari a 3.35 m, comprensiva del valore di sovralzo pari a 0.8 m e corrispondente ad un periodo di ritorno eguale a 50 anni, in conformità alle rispettive indicazioni in merito fornite dalla Regione Liguria : Coerentemente con ciò che è stato appena specificato in merito, si sono considerate le condizioni d'attacco rappresentate da un moto ondoso al frangimento, sicuramente più gravose rispetto ad onde non ancora frangenti oppure già frante, il parametro Δ è ricavato dalla relazione $\Delta = S - 1$ dove S è il rapporto tra la densità ρ_r degli elementi lapidei considerati (tale termine è assunto pari a 2650 Kg/m^3 per massi naturali caratterizzati da porosità intrinseca pressoché nulla) e la densità ρ_a dell'acqua di mare assunta pari a circa 1030 Kg/m^3. Ossia si ha che il termine adimensionale Δ è pari a circa 1.57 e dedotto dall'espressione $\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_a} - 1 \right)$, nonostante la formulazione sperimentale introdotta da M. M. Kramer et al. (2003, 2006) possa essere ritenuta valida anche per valori differenti di densità del materiale inerte roccioso.

In ogni caso, comunque, sebbene non sussistano limitazioni o vincoli relativi alla forma delle unità naturali destinate a comporre l'infrastruttura considerata, è consigliabile rispettare una gradazione del diametro corrispondente a tali singoli elementi così come definita dal rapporto di classificazione granulometrica dei blocchi lapidei utilizzati per lo strato più esterno della scogliera soffolta (come suggerito da M. M. Kramer et al. (2003, 2006)): $\frac{D_{85}}{D_{15}} < 2.5$ (ove D_{85} e D_{15} rappresentano i diametri dei setacci che consentono il passaggio rispettivamente delle percentuali pari a 85% e 15% dell'aggregato lapideo considerato, così come desumibili dalle corrispondenti curve granulometriche del materiale roccioso vagliato).

Va sottolineato anche come il Progetto predisposto nel 2007 preveda, come meglio precisato successivamente, la formazione della gettata sommersa mediante l'impiego di blocchi inerti aventi geometria differente e sistemati in maniera non progressivamente stratificata, data la geometria dell'impianto protettivo stesso ed anche al fine di conferire a quest'ultimo una minore porosità ossia, pertanto, un'accresciuta capacità di contrasto alle spinte idrauliche destabilizzanti prodotte dal moto ondoso incidente. A tale riguardo, si evidenzia come conferendo un ridotto indice dei vuoti alla scogliera soffolta in esame, si attenui l'esposizione della stessa a potenziali flussi interstiziali attivati dalle onde impattanti, diminuendo, così, l'effetto disequilibrante prodotto da tali forze idrodinamiche interne all'ammasso lapideo oggetto d'approfondimento, incrementando la resistenza e l'efficace funzionalità nel tempo di quest'ultimo.

Il fattore dimensionale R_c denota la quota della cresta di sommità della soglia sommersa considerata e tale stesso termine, nel caso in esame, assume il valore predetto pari a -1.5 m, garantendo la minima circolazione d'acqua marina presso lo specchio acqueo preservato e retrostante all'apparato marittimo previsto, assicurando così la salubrità ed il ricircolo delle acque difese.

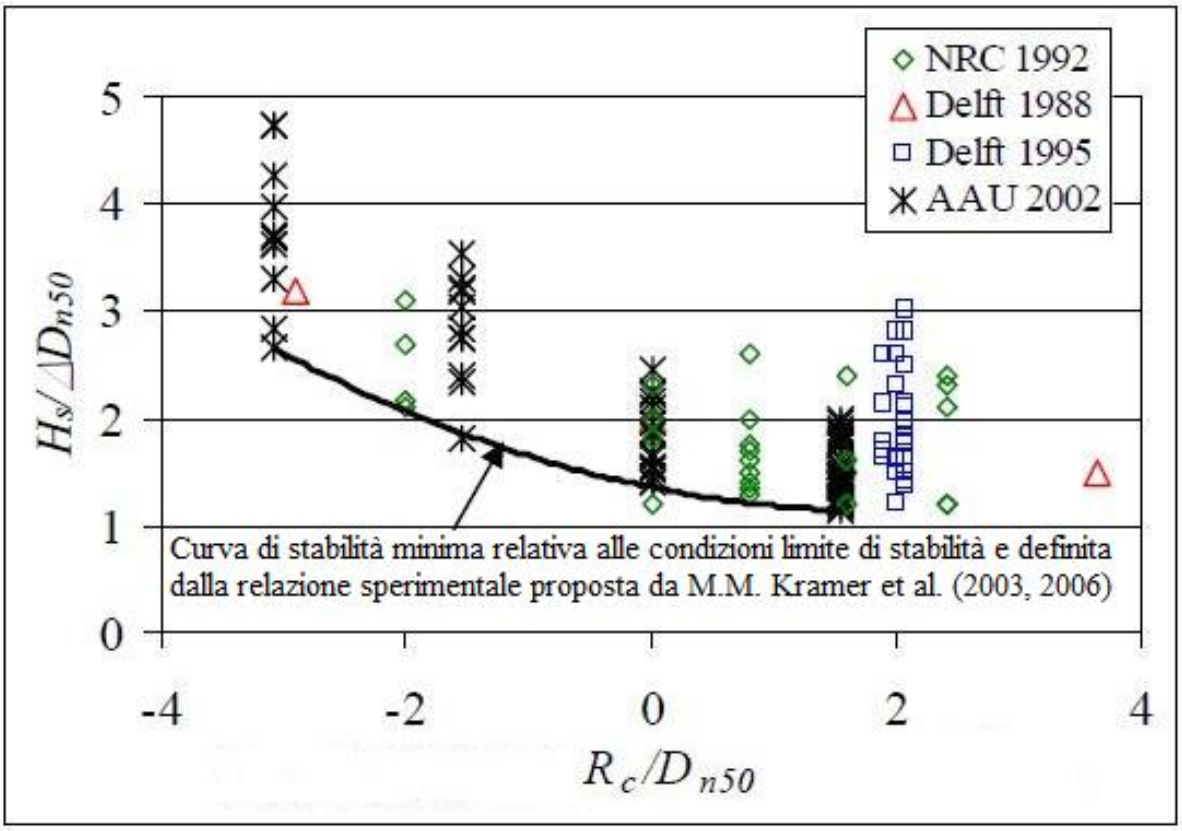
Occorre, altresì, precisare che la relazione sperimentale appena considerata è stata ricavata sulla base di prove di laboratorio eseguite su prototipi di gettate formati da unità inerti posizionate alla rinfusa, nonostante la validità di tale formulazione empirica risulta accettabile anche nelle condizioni in cui esecutivamente si operi nella realizzazione della costruzione marittima di difesa costiera mediante il posizionamento controllato e predeterminato degli elementi rocciosi che la costituiscono.

Inoltre, ad ulteriore riscontro della validità dell'espressione empirica vi è la circostanza secondo cui le prove di laboratorio che hanno consentito di estrapolare detta equazione sperimentale hanno riguardato l'esame della stabilità di modelli di scogliere costituite da due strati di materiale lapideo di idonee proporzioni e pertanto solo moderatamente permeabili, al pari dell'ammasso lapideo previsto dal progetto redatto nel 2007, tale per cui il modello di calcolo adottato può essere impiegato correttamente al caso trattato.

Infine, sia l'estensione B della porzione sommitale prevista per la barriera soffolta sia la pendenza $\tan(\beta)$ di valore pari a circa 1/3 del suo rispettivo paramento inclinato, nonché direttamente soggetto al moto ondoso incidente, risultano compatibili con la relazione empirica adottata (infatti, l'opera difensiva tenuta in conto è contraddistinta da B = 8 m < $10 \cdot D_{n50}$ e $\tan(\beta) < \frac{1}{2}$), così come il rapporto R_c / D_{n50} che, per la soglia sommersa esaminata, ha assunto un entità equiparabile a circa -1.22 e pertanto rientrante nei suindicati limiti di validità dell'espressione sperimentale impiegata nell'ambito dell'analisi condotta.

Di seguito, a completamento di quanto appena descritto si introduce un diagramma che illustra l'andamento del parametro adimensionale detto numero di stabilità $\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}}$, eguale a circa 1.73 nel caso esaminato (in

cui H_s rappresenta l'altezza dell'onda significativa dello stato di mare incidente presso la struttura protettiva valutata ed assunta, per il problema affrontato, all'altezza d'onda di progetto $H_{progetto_soffolta}$ già menzionata) rispetto al rapporto di noto significato R_c / D_{n50} e per varie trattazioni sperimentali destinate a valutare la stabilità dei massi naturali interessati dall'azione destabilizzante indotta dal moto ondoso impattante (si noti, quindi, la curva che indica il comportamento in merito presentato dalla formulazione empirica proposta da M. M. Kramer et al. (2003, 2006) , che descrive un approccio significativamente prudenziale, a parità di condizioni al contorno, rispetto alle altre metodologie di calcolo tratte dalla letteratura):



Il valore del diametro nominale medio D_{n50} ricavato dall'espressione sperimentale introdotta è, dunque, calcolato pari a 1.24 m relativamente ai massi naturali che costituiscono sia le sezioni del corpo centrale e sia quelle appartenenti alle testate di estremità della barriera sommersa. Inoltre, si precisa come tale valore dimensionale D_{n50} appena definito risulti associato ad una condizione limite di danno nullo per la soglia sommersa in esame. Ciò significa che massi naturali con dimensioni medie minori del valore appena sopra indicato, sono assegnati a condizioni di danneggiamento via via crescente, all'aumentare della differenza del diametro medio adottato rispetto a quello minimo appena previsto per i paramenti inclinati e per la berma di sommità direttamente interessati dall'azione destabilizzante del moto ondoso incidente.

L'entità del peso attribuito all'elemento lapideo di dimensioni nominali medie è ricavato dalla seguente relazione:

$$M_{50} = \rho_r \cdot D_{n50}^3$$

che, essendo i termini introdotti di noto significato, fornisce un valore medio pari a 4986 Kg (blocchi inerti di terza categoria) per ogni singolo masso naturale, tenuto in conto della già definita densità ρ_r del materiale roccioso equivalente a 2650 Kg/m^3 e della porosità pressoché nulla del singolo elemento lapideo, impiegato nella formazione dello strato superficiale esterno della cresta e dei versanti inclinati entrambi costituenti parti essenziali della barriera protettiva in esame.

L'assortimento granulometrico delle unità rocciose appena nominate che costituiranno la diga soffolta in esame è tipicamente assunto come nel seguito illustrato:

$$M_{massimo} = 1.25 \cdot M_{50}$$

$$M_{\min imo} = 0.75 \cdot M_{50}$$

dalle quali si ricavano i corrispondenti limiti massimo e minimo previsti in tal caso per i pesi degli elementi inerti componenti la barriera sommersa in esame. Tali valori estremi di cui al periodo che precede sono assunti rispettivamente pari a $M_{massimo} \cong 6233$ Kg e $M_{minimo} \cong 3740$ Kg.

Dal punto di vista costruttivo, la scogliera soffolta considerata presenta una parte sommitale disposta orizzontalmente e contrassegnata da un'ampiezza trasversale B pari ad 8 m, da cui ne consegue come detta estensione risulti del tutto coerente con le indicazioni afferenti all'entità minima $B_{\min}$ di questa dimensione nonché suggerite a riguardo da J.W. Van der Meer (1992) e dal Testo tecnico "Shore Protection Manual" già nella sua pubblicazione del 1984, ossia: $B_{\min} = (3 \div 4) \cdot D_{n50}$.

Inoltre, come anticipato in precedenza, al fine di attribuire una porosità contenuta al corpo principale dell'opera difensiva sommersa in questione, è progettualmente prevista la formazione di tale medesimo manufatto soffolto mediante l'installazione di una percentuale pari al 70% di massi naturali di terza categoria, quali quelli appena proporzionati, nonché dell'inserimento equivalente al restante 30% di blocchi inerti di

seconda categoria (il cui peso è notoriamente compreso nell'intervallo 1001 Kg ÷ 3000 Kg), atti ad intasare i vuoti compresi tra le unità lapidee aventi dimensione maggiore a questi ultimi, conferendo, così, all'intera struttura protettiva un accresciuto grado di compattezza e stabilità, nei confronti delle spinte idrodinamiche indotte dall'attacco ondoso e generanti flussi interstiziali capaci di compromettere l'equilibrio dei massi naturali, insinuandosi negli spazi tra di essi, qualora possibile.

Conformemente alle prescrizioni derivanti dal progetto originario, le tipologie di blocchi inerti che possono essere impiegate ai fini della costituzione del corpo principale della soglia sommersa (previa predisposizione del piano di posa del fondale, mediante attività propedeutiche di escavazione del fondo stesso, installazione di apposita geogriglia in grado di distribuire efficacemente il carico indotto dalla gettata soffolta sul fondale sottostante, regolandone i rispettivi cedimenti relativi, ed, infine, stesura di uno strato di spessore pari a circa 0.4 m di pietrame di cava composto da unità inerti aventi ciascuna un peso ricadente nell'intervallo 5 Kg ÷ 50 Kg, a formazione dello scanno d'imbasamento), sono di seguito riassunti:

1. massi naturali concordi alla Norma tecnica UNI EN 13383-1:2013 di 3° categoria con peso singolo variabile nell'intervallo 3001 Kg ÷ 7000 Kg, dotati di adeguata rugosità superficiale e destinati a creare il 70% del volume del corpo principale dell'opera difensiva soffolta in esame. Detti blocchi inerti di 3° categoria, risultano caratterizzati da una densità tipicamente pari a 2650 Kg/m^3 e da una porosità pressoché nulla, ed, inoltre, provengono da cave di prestito prossime alla struttura di protezione oggetto dell'intervento trattato;
2. elementi lapidei conformi alla Norma tecnica UNI EN 13383-1:2013 di 2° categoria con peso unitario variabile nell'intervallo 1001 Kg ÷ 3000 Kg, dotati di adeguata rugosità superficiale e destinati a creare il 30% del volume del corpo principale della barriera sommersa d'interesse. Queste unità rocciose di 2° categoria, risultano contrassegnate da una densità tipicamente pari a 2650 Kg/m^3 e da una porosità pressoché nulla, ed, inoltre, provengono da cave di prestito il più possibile vicine alla zona d'intervento.

In linea generale, vale la pena di sottolineare come il numero di stabilità desumibile dal rapporto $\frac{H_{progetto_soffolta}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ e correlato al corpo principale della struttura, risulti equivalente all'entità numerica pari a circa 1.73, tale per cui rientrante nell'intervallo di valori estremi 1 ÷ 4, indicanti la condizione di stabilità di comune affidabilità per le scogliere composte da elementi lapidei quale quella in esame, così come evidenziato da J.W. Van der Meer (1988) che prevede il seguente assetto d'equilibrio: $1 < \frac{H_{progetto_soffolta}}{\Delta \cdot D_{n50}} < 4$. L'assetto delle peculiarità geometriche e di massa appartenenti ai blocchi naturali appena richiamati e formanti la porzione primaria dello sbarramento in questione, possono essere

mantenute, salvo eventuali condizioni particolari (es. rip-currents litoranee, essenzialmente non rilevate presso il tratto costiero ove è previsto l'inserimento delle opere considerate) verificabili solamente mediante la predisposizione ed attenta osservazione di modelli fisici in scala, anche in corrispondenza delle due testate di Nord-Est e di Sud-Ovest della diga barriera sommersa , così come specificato da M.M. Kramer et al. (2003, 2006) ed in conformità alle indicazioni in merito fornite da J. W. Van der Meer (1992) che per le testate di scogliere prevede vi sia una condizione di stabilità dei blocchi lapidei che compongono dette porzioni, ove sia rispettata la circostanza in cui $\frac{H_{progetto_soffolta}}{\Delta \cdot D_{n50}} < 3$, come di fatto appena visto. È doveroso precisare come la geogriglia di fondazione, appartenente alla grande famiglia dei prodotti geosintetici impiegati nel campo dell'Ingegneria Civile e simboleggiata dall'abbreviazione codificata "GGR", assolva ad una generale funzione di rinforzo, così come prospettata dalla Norma tecnica UNI EN ISO 10318-1:2018, del piano di posa delle unità lapidee finalizzate alla costruzione dell'ammasso considerato, tale per cui detta geogriglia è dimensionata in modo da resistere a sforzi di trazione e compressione indotti dal carico inerte sovrastante. Inoltre, detta geogriglia, la cui introduzione è prevista alla base della scogliera sommersa oggetto di valutazione, deve possedere caratteristiche ed aver superato con esito positivo le prove di qualità previste dalla Norma tecnica UNI EN 13254:2016. Le attività di messa in opera dei massi naturali appena definiti saranno sempre precedute, in cava , da operazioni d'innaffiatura e di pulizia, affinché, in corrispondenza delle superfici degli elementi inerti stessi, non vi siano presenze di calcite in polvere e/o di terre rosse che possono influenzare negativamente l'effetto d'incastro e d'interconnessione tra i vari blocchi della soglia soffolta, nonché costituire fonte d'inquinamento delle acque in cui saranno quest'ultimi immersi ai fini del completamento dell'intervento difensivo previsto. Le operazioni d'installazione dei blocchi lapidei sopra elencati avverranno previa verifica operativa delle condizioni di effettiva stabilità dello scanno d'imbasamento presente alla base d'appoggio della barriera sommersa, in modo da assicurare un'idonea portanza del piano di supporto del corpo principale del manufatto trattato.

Si evidenzia, altresì, come la Direzione Lavori debba accertare, prima della posa in opera di tutti i vari massi naturali propedeutici alla completa formazione della sezione principale della struttura protettiva soffolta in esame, che tali stessi elementi rocciosi risultino conformi ai dettami di cui alla Norma tecnica UNI EN 13383-2:2019, di recente introduzione ed afferente ai metodi di prova ai quali devono essere sottoposte le unità inerti destinate alla funzione prevista dal presente documento.

Il piede orientato verso riva ed appartenente all'opera sommersa in esame, sarà protetto nei confronti di potenziali azioni idrauliche di scalzamento, che provocherebbero una condizione di instabilità localizzata alla scogliera trattata, da massi naturali di opportuna pezzatura ed in conformità a quanto già previsto nel progetto del 2007.

7. DIMENSIONAMENTO DELL'OPERA DI PROTEZIONE AL PIEDE DELLA BARRIERA SOFFOLTA

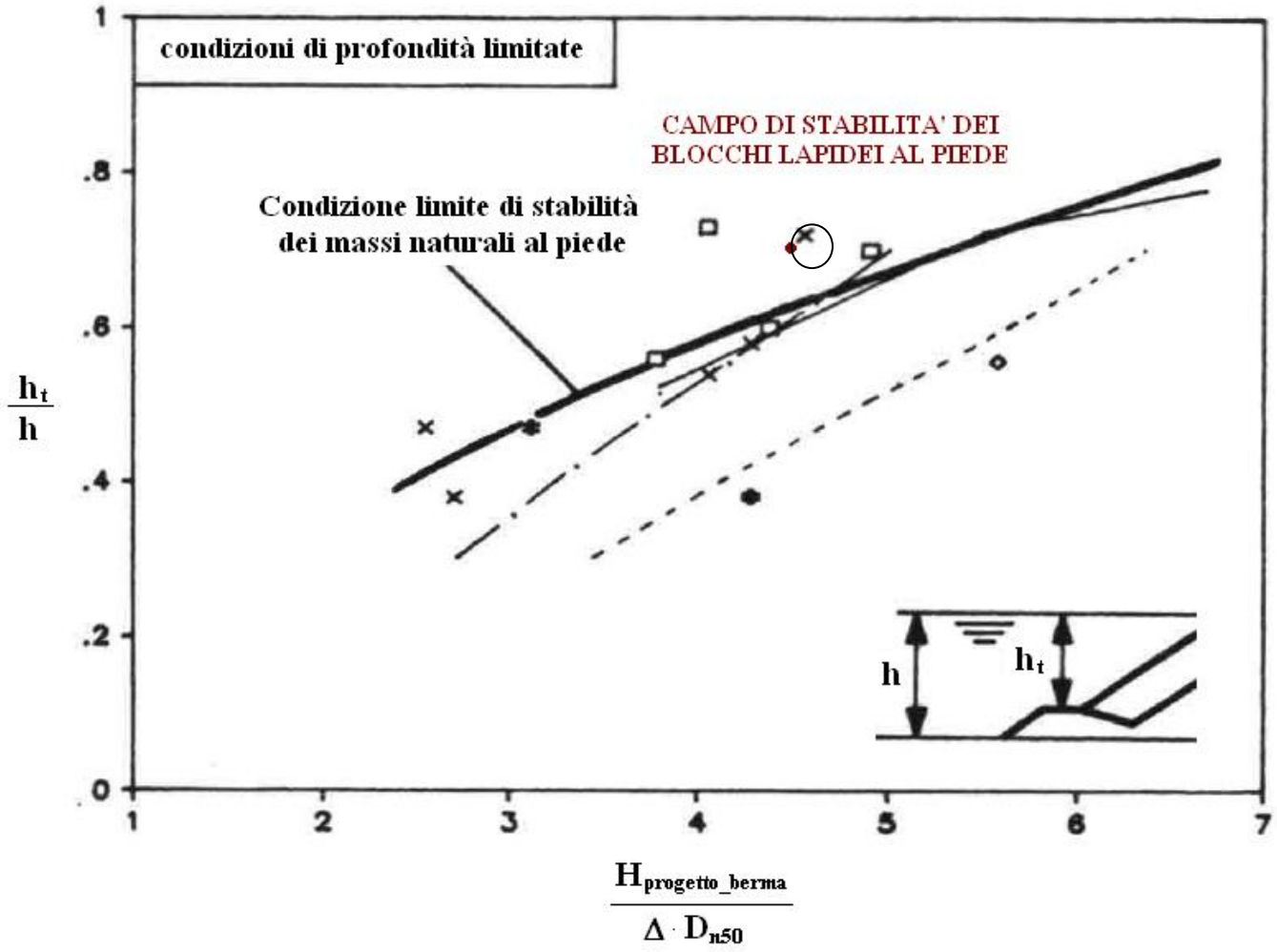
Ai fini della valutazione del grado di esposizione dell'opera di difesa a fenomeni di erosione e scalzamento al piede (effetti in grado di destabilizzare i massi naturali che formano la soglia sommersa invalidandone la funzionalità e l'efficacia protettiva), notevole importanza è rivestita dal calcolo destinato a quantificare la dimensione nominale media dell'unità lapidea che forma la porzione di barriera sommersa posta alla base del paramento inclinato appartenente alla stessa. Tale analisi è stata condotta mediante il supporto del lavoro di ricerca svolto da J. W. Van der Meer (1992) che ha ricavato una relazione empirica, di seguito riportata, attraverso la quale è possibile determinare il diametro nominale medio dei massi naturali costituenti la berma al piede della barriera sommersa e realizzata da blocchi lapidei di 1° categoria quale protezione della base del paramento inclinato della mantellata appartenente al corpo principale della soglia soffolta in esame, coerentemente con le indicazioni progettuali previste a riguardo dal progetto del 2007.

$$\frac{h_t}{h} = 0.253 \cdot \left(\frac{H_{progetto_berma}}{\Delta \cdot D_{n50}} \right)^{0.7} \rightarrow D_{n50} = \left(\frac{0.253 \cdot h}{h_t} \right)^{1.43} \cdot \frac{H_{progetto_berma}}{\Delta}$$

la quale, tenendo in conto in maniera cautelativa dell'incertezza presente nei dati finalizzati allo sviluppo del calcolo, contempla il termine monodimensionale h_t che rappresenta la profondità misurata, rispetto al livello medio marino, a partire dalla sommità della berma al piede in questione ed equivalente, nel caso in esame, a -2.5 m, la batimetria h d'installazione della barriera soffolta, pari mediamente a -3.5 m ed, infine, a parte il fattore adimensionale Δ assunto pari a circa 1.57 e dedotto dall'espressione $\Delta = \left(\frac{\rho_r}{\rho_a} - 1 \right)$, i cui rispettivi parametri possiedono un significato già noto, l'altezza d'onda $H_{progetto_berma}$ è eguale a 4.6 m, come antecedentemente specificato, comprensiva del sovralzo cinquantennale assunto pari a 0.8 m, in riferimento alle corrispondenti informazioni a riguardo prodotte dalla Regione Liguria.

L'affidabilità della formulazione sperimentale appena introdotta è confermata dal fatto che, in accordo con le indicazioni in merito rilasciate da J. W. Van der Meer (1992), il rapporto $\frac{h_t}{h}$ conosciuto ed afferente al problema affrontato risulta maggiore di 0.5, evidenziando il carattere prudenziale del dimensionamento dei massi naturali in questione, da cui il diametro medio D_{n50} è stato ricavato pari a 0.67 m, equivalente, grazie alla relazione analitica $M_{50} = \rho_r \cdot D_{n50}^3$, ad una massa media M_{50} della singola unità rocciosa di circa 0.797 t (massi naturali di 1° categoria), come desumibile dal diagramma sottostante, considerando come, nel caso

trattato, si abbia $\frac{h_t}{h} \cong 0.71$ e $\frac{H_{progetto_berma}}{\Delta \cdot D_{n50}} \cong 4.4$ (pertanto, ci si trova nel campo d'equilibrio dei massi naturali componenti la berma al piede, come evidenziato dal cerchio riportato nel seguente grafico):



Individuato il suddetto valore medio M_{50} della massa appartenente ai blocchi inerti che costituiscono la berma alla base del corpo centrale della diga soffolta in esame, è possibile determinare l'intervallo di peso dei massi naturali appena citati, secondo le consuete relazioni di seguito esposte e riferite alla porzione al piede dell'opera in esame:

$$M_{\min imo} = 0.75 \cdot M_{50}$$

$$M_{massimo} = 1.25 \cdot M_{50}$$

dalle quali si ricavano i corrispondenti estremi massimo e minimo previsti in tal caso per le masse degli elementi inerti impiegati nella formazione della berma antistante alla barriera sommersa considerata. Tali valori limite di cui al periodo che precede sono assunti rispettivamente pari a $M_{minimo} \cong 598$ Kg e $M_{mmassimo} \cong$ 996 Kg, in assoluta coerenza con le precrizioni progettuali del 2007.

Verificando, inoltre, l'osservanza dell'estensione minima trasversale della berma, così come prescritta dal Testo tecnico di riferimento denominato "Shore Protection Manual" e pubblicato nel versione del 1984 ed assunta generalmente pari a: $Lunghezza_\min ima_berma = 3 \cdot D_{n50}$, per gettate analoghe a quella oggetto di valutazione, è possibile constatare che lo sviluppo trasversale della berma previsto dal Progetto predisposto nel 2007, rispetta abbondantemente tale indicazione di natura costruttiva, tenuto in conto del valore associato alla lunghezza trasversale della berma (pari ad oltre 5 m sulla sommità) citata, superiore al limite minimo sopra indicato e che, per la casistica esaminata, risulta equivalente a circa 2 m.

A questo punto, è possibile asserire come i massi naturali da destinare alla realizzazione della berma alla base della scogliera sommersa in esame, debbano essere conformi alla Norma tecnica UNI EN 13383-1:2013, appartenendo alla 1° categoria e con peso singolo variabile nell'intervallo 500 Kg ÷ 1000 Kg , dotati di adeguata rugosità superficiale, nonché contraddistinti da una densità pari a 2650 Kg/m^3 e da una porosità pressoché nulla (detti blocchi inerti potranno essere estratti da cave di prestito idonee.

8. ANALISI GENERALE DELL'INTERVENTO DI RIPASCIMENTO

L'opera protettiva composta da massi naturali sommersi si pone il duplice scopo di attenuare l'irruenza dell'attacco ondoso presso l'arenile in esame e di rappresentare un valido supporto al piede del volume di ripascimento introdotto quale complementare difesa della spiaggia. La soluzione tecnica prevede, in concomitanza con la costruzione della soglia sommersa, la stesura di uno strato di materiale inerte Tout - Venant di idonee pezzatura e spessore fino a quota – 2,30 m, strato che partirà in aderenza alla base del lato verso terra della barriera soffolta. Questo strato è a sua volta una base di appoggio dei sedimenti formanti il volume di ripascimento introdotto in corrispondenza del fronte a mare dell'arenile. Questi ultimi granuli inseriti sulla faccia della spiaggia da preservare, dovranno provenire da una cava preferibilmente della zona in modo da rendere l'intervento quanto più ambientalmente compatibile . In altri termini se non esistessero opere antropiche lungo gli argini del torrente Varatella e nel tratto che separa la foce dalla zona prevista per l'intervento in esame, i materiali di ripascimento sarebbero proprio quelli provenienti dalla vallata di quel corso d'acqua. Attualmente l'arenile emerso presenta materiali costituiti in prevalenza da ghiaie (oltre il 70 %) con diametro a 4 mm in giù ed il 28 % di sabbie. Si prevede quindi di riproporre un ripascimento dove la componente ghiaiosa avrà una importanza percentuale non trascurabile, il diametro medio D_{n50} maggiore (questi ultimi hanno la consistenza dimensionale di una ghiaia, il cui diametro medio è

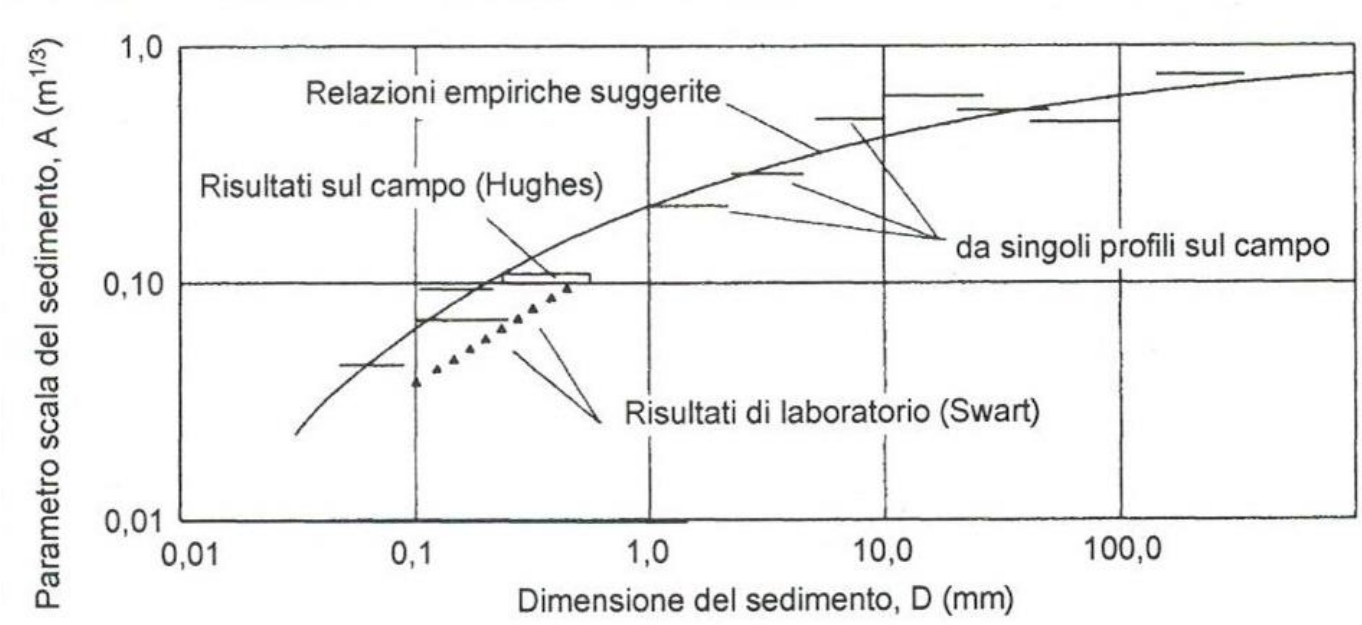
compreso nel range 4 mm ÷ 6 mm, secondo la scala granulometrica di C.K. Wentworth (1922)) dei sedimenti già presenti in sito al passaggio tra la parte emersa e quella sommersa della spiaggia dove i sedimenti hanno dimensioni dell'ordine di 1.5 mm . (si rimanda alla relazione geologica per i dettagli).

A tergo del volume di ripascimento richiamato nel periodo che precede e formante il nuovo fronte dell'arenile in questione, è prevista l'eventuale introduzione di ulteriore di materiale arido di minore dimensione rispetto agli elementi lapidei appena menzionati e finalizzato ad uniformare e completare, qualora risulti necessario nel tempo, il nuovo profilo conferito a detta spiaggia.

Sulla scorta di quanto illustrato, l'avanzamento Δy della linea di battigia a seguito di un ripascimento del volume V, può esser determinato ricorrendo alla consolidata teoria del profilo di equilibrio proposta da R.G. Dean (1991), così come richiamato anche dai Documenti tecnici di riferimento predisposti dalla Regione Liguria. Secondo tale metodologia empirica, il profilo di equilibrio del fronte della spiaggia, compresa la porzione sommersa, è descrivibile attraverso la relazione:

$$h(y) = A \cdot y^{\frac{2}{3}}$$

ove $h(y)$ indica la profondità del profilo di spiaggia alla distanza y dalla linea di costa, mentre A esprime il parametro di scala legato alla dimensione dei sedimenti e dedotto dal grafico di natura sperimentale riprodotto di seguito (con riferimento anche al lavori di B.D. Moore (1982)) , in funzione delle dimensioni del singolo sedimento in esame:



In base al diagramma appena illustrato, di seguito si mostrano le relazioni empiriche che permettono di definire analiticamente ed in base al diametro del granulo inerte considerato, l'andamento della curva rappresentata nel grafico d'interesse:

$$A = 0.41 \cdot D_{n50}^{0.94} \qquad \text{per } D_{n50} < 0.4mm$$

$$A = 0.23 \cdot D_{n50}^{0.32} \qquad \text{per } 0.4mm \le D_{n50} \le 10mm$$

$$A = 0.23 \cdot D_{n50}^{0.28} \qquad \text{per } 10mm \le D_{n50} \le 40mm$$

$$A = 0.46 \cdot D_{n50}^{0.11} \qquad \text{per } D_{n50} \ge 40mm$$

dalle quali si evince come, nel caso in esame, si verifichi la condizione secondo cui ai granuli esistenti della spiaggia in corrispondenza della battigia (il cui diametro medio D_{n50} risulta equivalente a circa 1.5 mm) corrisponde un coefficiente A_N pari a circa 0.26, mentre ai sedimenti introdotti nell'ambito dell'intervento di ripascimento strutturale in corrispondenza del fronte a mare dell'arenile da tutelare (aventi una dimensione media eguale a circa 5 mm) si calcola un fattore di scala A_F pari approssimativamente a 0.38, tenuto in conto anche dell'entità della profondità di chiusura h_* di tale nuovo profilo granulare, impostata a circa 2.3 m.

Il grafico sopra raffigurato evidenzia come il parametro di scala A denoti un andamento proporzionalmente crescente all'aumentare della dimensione dei sedimenti di riferimento, tale per cui, data l'equazione sperimentale già inserita e che descrive i profili di equilibrio secondo R.G. Dean (1991), si determinano, quindi, assetti trasversali di stabilità dell'arenile considerato che possiedono valori di ripidità in incremento, a fronte di un aumento del diametro medio dei granuli che compongono il volume di spiaggia in esame.

Definiti, pertanto, con i termini A_N ed A_F i coefficienti di scala associati rispettivamente ai sedimenti che caratterizzano il litorale naturale ed il materiale da ripascimento introdotto sull'arenile stesso, le osservazioni prima riportate permettono di asserire che la realizzazione di un ripascimento con $A_F > A_N$ (immissione di materiale più grossolano rispetto a quello preesistente) indurrà un nuovo profilo di spiaggia più pendente rispetto a quello esistente e pertanto intersecante con lo stesso prima del raggiungimento della profondità di chiusura h_* della fascia attiva; di converso la realizzazione di ripascimenti con $A_F \leq A_N$ provocherà un nuovo profilo di spiaggia non intersecante con quello naturale sicché, a parità di volume granulare versato, nel primo caso (ossia qualora si abbia la condizione nella quale: $A_F > A_N$) si otterranno avanzamenti Δy della linea di costa certamente maggiori rispetto a quelli che si avrebbero utilizzando sedimenti da ripascimento con $A_F < A_N$. C'è anche da tener presente che se il diametro medio del materiale di apporto sarà di circa 5 mm tale diametro è destinata o ridursi a causa della abrasione tra un granulo e l'altro generata dal moto ondoso. Per questo motivo con versamenti realizzati in più riprese si potrà determinare la quantità realmente necessaria sia per un allungamento della spiaggia emersa che pe r mantenere una quota adeguata della spiaggia per proteggere le opere a monte da fenomeni di risalita dell'onda.

Per comprendere se, in funzione della scelta granulometrica individuata per il volume di ripascimento, si prevede un profilo intersecante o non intersecante, da parte della quantità inerte introdotta a protezione della faccia dell'arenile trattato, è possibile avvalersi della seguente relazione proposta a riguardo sempre da R.G. Dean (1991) e indicante, per il problema affrontato, una condizione di intersezione per il nuovo volume lapideo, formato da granuli di dimensione media D_{n50} pari a circa 5 mm, come anzidetto:

$$\frac{1}{W_*} + \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{A_N}{h_f}\right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{A_N}{A_F}\right)^{\frac{3}{2}} \begin{cases} <1 \rightarrow \text{int}\,er\,\text{sec}\,ante \\ >1 \rightarrow NON_\text{int}\,er\,\text{sec}\,ante \end{cases}$$

$$\text{con } W_* = \left(\frac{h_f}{A_N}\right)^{\frac{3}{2}}, \text{ ove si pone } h_f \cong h_*$$

in cui la batimetria h_f è approssimata alla profondità di chiusura h_*, quest'ultima individuata in posizione retrostante alla diga sommersa, data appunto la sua medesima presenza.

Corrispondentemente ed in analogia con quanto previsto in merito da R.G. Dean (1991), così come mostrato dallo schema grafico riportato di seguito, si specifica come per profili intersecanti (ossia contraddistinti dalla circostanza nella quale $A_F > A_N$) il legame esistente tra l'avanzamento Δy della linea di battigia atteso a seguito di un ripascimento di volume V (inteso quale volume di ripascimento per estensione unitaria e lineare della costa esaminata) è esprimibile tramite la relazione empirica:

$$V = B \cdot \Delta y + \frac{3}{5} \cdot \frac{h_*}{B} \cdot \left(\frac{\Delta y}{W_*} \right)^{\frac{5}{3}} \cdot \frac{1}{\left[1 - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{2}{3}}}$$

$$\text{con } W_* = \left(\frac{h_f}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}}, \text{ ove si pone } h_f \cong h_*$$

mentre nel caso di profili non intersecanti (cioè caratterizzati da una situazione in cui si ha $A_F < A_N$) la rispettiva formulazione assume la forma matematica:

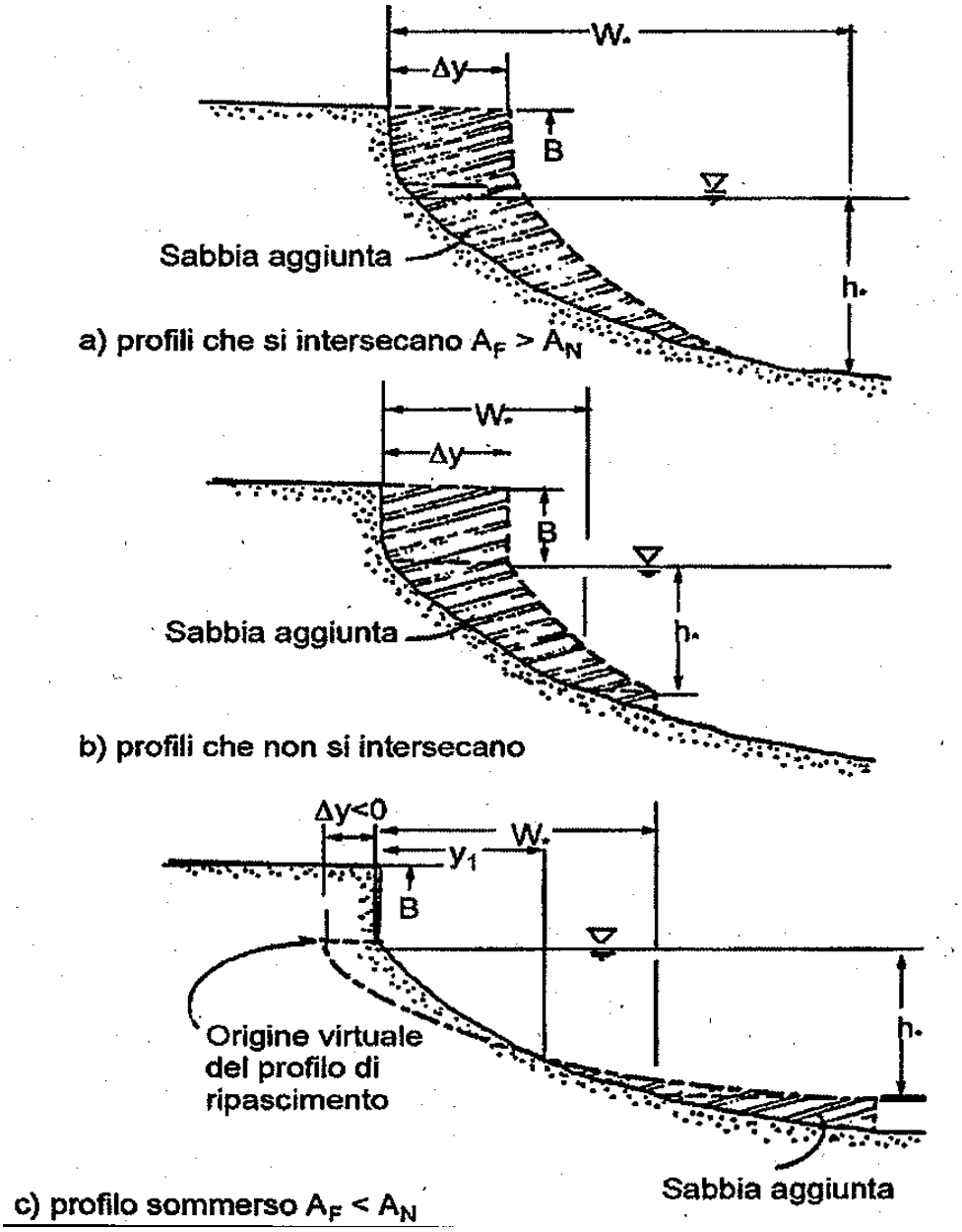
$$V = B \cdot \Delta y + \frac{3}{5} \cdot W_* \cdot h_* \cdot \left\{ \left[\frac{\Delta y}{W_*} + \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{5}{3}} - \left(\frac{A_N}{A_F} \right)^{\frac{3}{2}} \right\}$$

$$\text{con } W_* = \left(\frac{h_f}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}}, \text{ ove si pone } h_f \cong h_*$$

ove B rappresenta l'altezza della berma misurata sul livello medio marino di riferimento e prevista pari a circa 1.5 m, come da indicazioni progettuali desunte dagli Elaborati di progetto, h_* indica la profondità di chiusura della fascia trasversale attiva del tratto litoraneo in esame (tale batimetria è identificata in 2.3 m, presso la zona a tergo dello sbarramento soffolto già citato) e W_* rappresenta la larghezza trasversale della fascia

attiva sul profilo indisturbato ed esente da ripascimento (questa medesima fascia attiva viene definita quale ampiezza trasversale di costa in cui si rileva movimentazione dei sedimenti del fondale e, nel caso valutato, contenuta entro la distanza tra la barriera sommersa e la linea di battigia) stimata grazie all'espressione sopra menzionata: $W_* = \left(\frac{h_f}{A_N} \right)^{\frac{3}{2}}$.

Rammentando come nell'ambito dell'analisi sviluppata, si sia individuato un assetto trasversale intersecante per il volume di ripascimento composto da sedimenti da collocare sul fronte dell'arenile da preservare, detta quantità V desunta dalla corrispondente equazione sopra riportata risulta sufficientemente allineata con i rispettivi volumi previsti dal Progetto redatto nel 2007, comprovando la validità e l'efficacia della soluzione progettuale difensiva originaria. Successivamente, a completamento di quanto finora esposto, si illustra lo schema generale di ripascimento costiero, sul quale si fondano i calcoli appena presentati e così come suggerito da R.G. Dean (1991):



Sulla scorta delle verifiche dei diametri granulari presenti attualmente in sito, per il materiale da usare nell'intervento di ripascimento del fronte della spiaggia, è stata prevista la possibilità di utilizzare sedimenti dal diametro medio D_{n50} superiore rispetto a quello riscontrato in loco sulla porzione emersa della spiaggia da salvaguardare, in modo da realizzare un profilo di ripascimento intersecante con il fondale antistante e che, allo stesso tempo, non generi assetti trasversali eccessivamente ripidi (si tenga in conto, a tale proposito, che il fondo su cui si innesta il profilo del nuovo arenile è appositamente formato da materiale inerte Tout - Venant, collocato in tale posizione al fine di costituire una valida base di appoggio al suddetto volume di ripascimento).

Al fine di conferire un idoneo grado di interconnessione e, conseguentemente, stabilità, al nuovo ammasso lapideo introdotto sul fronte spiaggia, si prevede che circa il 60% del volume di sedimenti apportato sia del

tipo a spigoli vivi e destinato a comporre la realizzazione del "nucleo" del ripascimento, mentre il restante 40% circa dei granuli deve essere del tipo a spigoli smussati (operazione quest'ultima che sarà eseguita meccanicamente in cava).

L'evoluzione del profilo trasversale di una spiaggia è strettamente correlato sia alle caratteristiche dei sedimenti che la compongono che alle caratteristiche degli attacchi ondosi che ivi si manifestano. Numerose indagini e sperimentazioni, condotte da diversi Autori, hanno permesso di stabilire i principali legami funzionali tra i diversi parametri governanti il processo.

Per la verifica della stabilità dinamica di ripascimenti artificiali, risulta particolarmente efficace l'applicazione del modello numerico proposto da J.W. Van der Meer (1988) e derivato da una lunga serie di sperimentazioni, nonché validato per strutture dinamicamente stabili, così come sinteticamente definito dalla condizione:

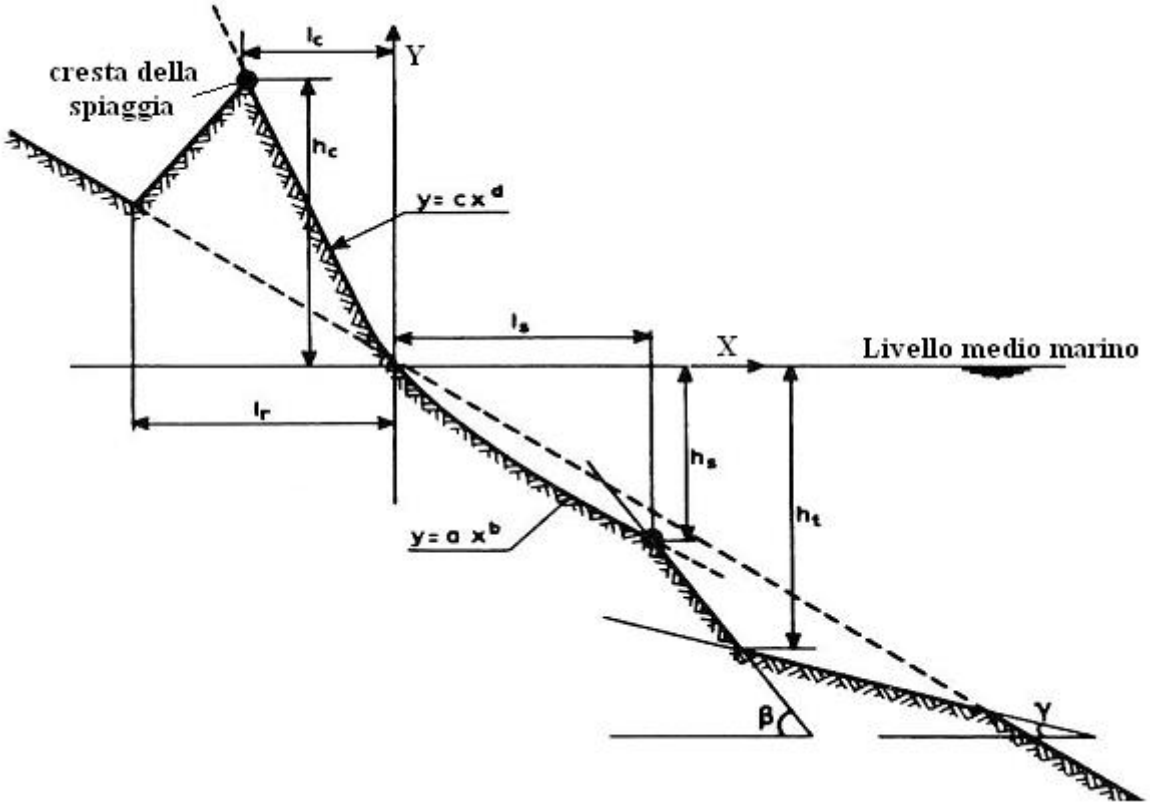
$$3 < \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}} < 500$$

ove D_{n50} corrisponde alla dimensione media dei sedimenti che compongono il volume di ripascimento inserito sul fronte dell'arenile ed eguale a circa 5 mm, Δ è il termine adimensionale che contempla il rapporto tra le densità dei granuli citati e dell'acqua marina, ossia $\Delta = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a} - 1 \right) \cong 1.57$ ed, infine, $H_{trasmessa}$ denota coerentemente l'altezza dell'onda che oltrepassa, in maniera energeticamente attenuata, la struttura soffolta in questione, già impiegata ai fini del calcolo dei valori di run-up suindicati e correlati ad incidenze ondose relative a periodi di ritorno pari ad 1 anno e a 50 anni (sinteticamente, quindi, si rilevano elevazioni d'onda $H_{trasmessa}$ trasferite a tergo dell'opera sommersa, così come configurata secondo il progetto, pari a circa 0.98 m per stati di mare con periodi di ritorno equivalenti ad 1 anno e pari a circa 1.72 m per climi ondosi impattanti sulla costa in esame aventi un tempo di ritorno eguale a 50 anni, a partire dalle informazioni del clima ondoso presso il paraggio d'interesse, desumibili dal Testo tecnico regionale di riferimento precedentemente menzionato.

Con i dati appena richiamati si riscontra una sostanziale condizione di stabilità dinamica del volume di ripascimento posto a protezione della faccia della spiaggia tenuta in conto, con entità del rapporto $\frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ compresi nell'intervallo numerico suindicato (è doveroso precisare come, nel caso di attacchi d'onda contrassegnati da un periodi di ritorno pari a 50 anni, il valore estremo di detto range sia lievemente

superato, considerato lo stato deformativo dell'arenile protetto e sottoposto a tali impatti ondosi, comunque, rilevanti.

Di seguito si raffigura lo schema seguito dal procedimento d'analisi proposto da J.W. Van der Meer (1988), ai fini della stima del nuovo profilo assunto dall'arenile, qualora sia sottoposto all'incidenza ondosa:



Sinteticamente, sulla scorta delle prove sperimentali condotte, l'Autore appena nominato ha individuato le relazioni che, grazie ai vari parametri sotto elencati, permettono di definire le variazioni dell'assetto trasversale della spiaggia trattata:

- $H_{trasmessa}$ = altezza dell'onda trasmessa in corrispondenza della fascia di mare retrostante alla diga soffolta;
- T_m = periodo medio dell'onda trasferita a tergo della struttura sommersa ed impattante sull'arenile in questione;
- D_{n50} = diametro medio dei granuli che compongono il volume di ripascimento;
- $\Delta = \left(\frac{\rho_s}{\rho_a} - 1 \right) \cong 1.57$ densità relativa del materiale inerte impiegato nella quantità lapidea dedicata al ripascimento;

- N = numero delle ondazioni che partecipano all'attacco ondoso (tale dato è stato assunto in conformità alla durata della mareggiata che si abbatte sulla spiaggia esaminata, prevista dal metodo empirico adottato).

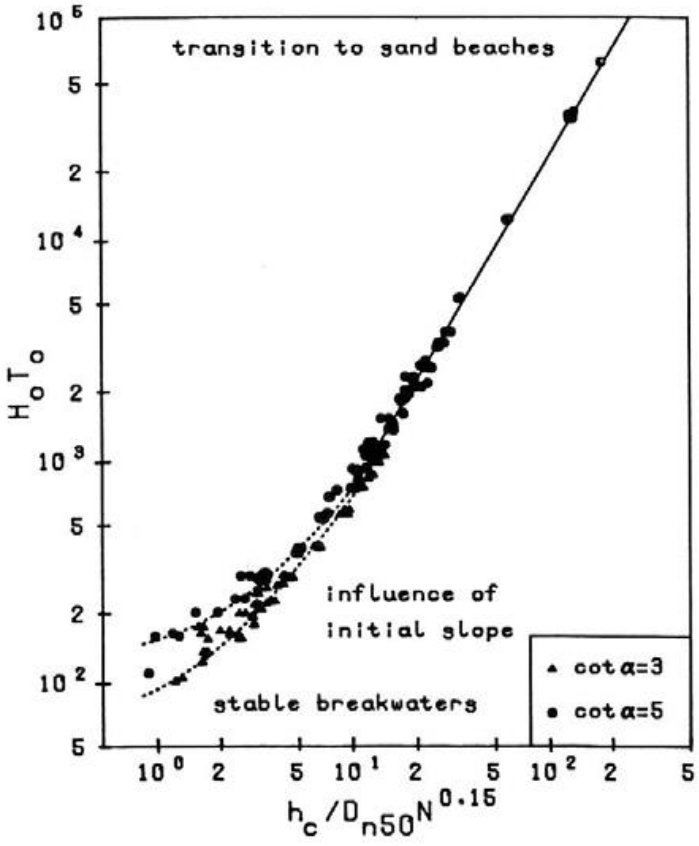
A questo punto, la determinazione dell'elevazione h_c raggiunta dall'arenile emerso, a seguito dell'incidenza ondosa trasmessa a tergo della diga soffolta, consente di derivare l'aumento ΔB, dovuto all'impatto ondoso, dell'altezza corrispondente alla parte apicale della spiaggia, misurato al di sopra della quota B impostata in fase di ripascimento nonché equiparata a 1.6 m, come da documenti progettuali del 2007 e tale per cui si ha che $\Delta B = h_c - B$.

Detta valutazione è identificabile generalmente sia a livello grafico, avvalendosi del diagramma seguente, sia attraverso l'impiego delle relazioni sperimentali riportate successivamente :

$$H_0 \cdot T_0 = \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}} \cdot T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$$

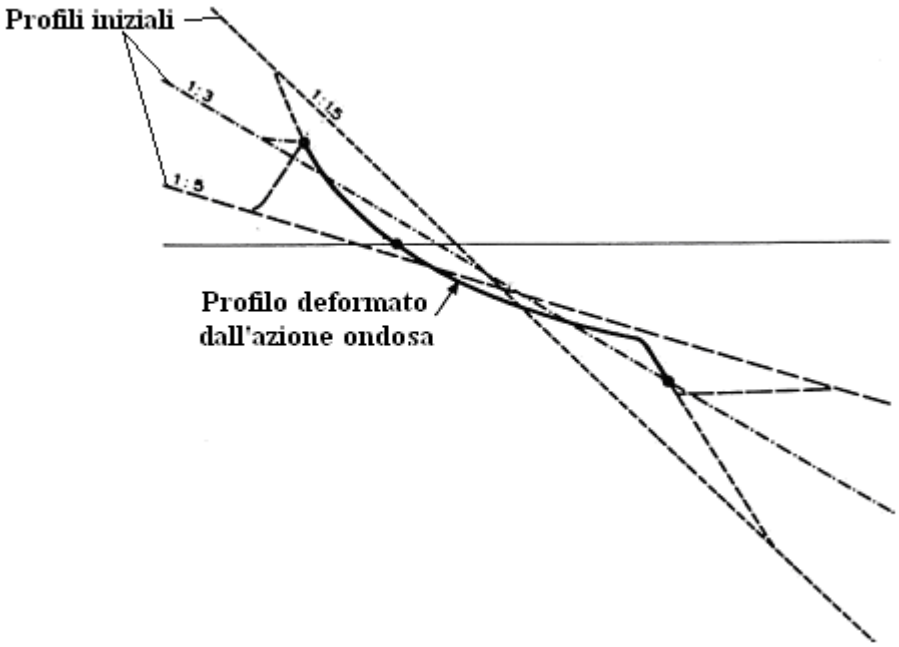
in cui $H_0 = \frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ e $T_0 = T_m \cdot \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}$

$$H_0 \cdot T_0 = 25 \cdot \left(\frac{h_c}{D_{n50} \cdot N^{0.15}} \right)^{\frac{3}{2}} \rightarrow h_c = D_{n50} \cdot N^{0.15} \cdot \left(\frac{H_0 \cdot T_0}{25} \right)^{\frac{2}{3}}$$

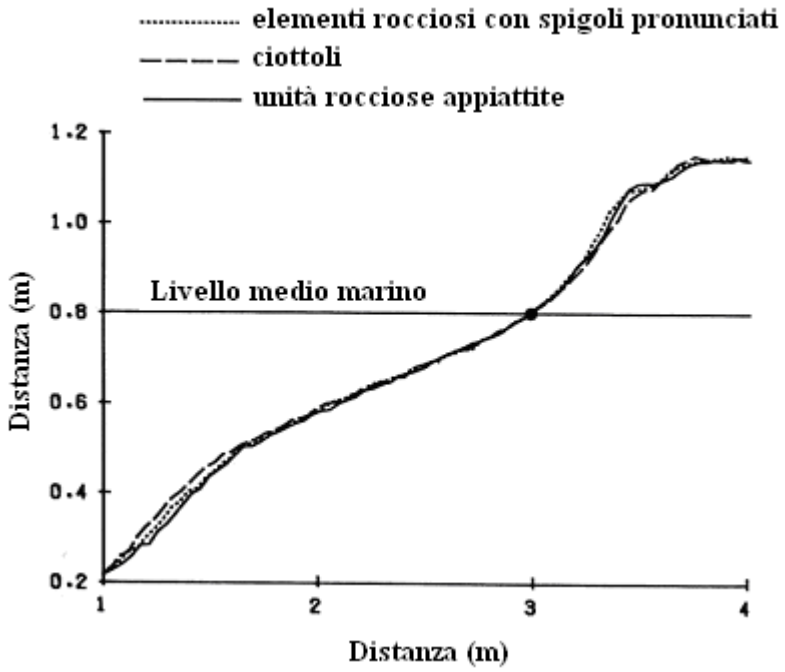


Le indagini empiriche condotte da J.W. Van der Meer (1988) hanno, inoltre, stabilito:

- i coefficienti correttivi da applicare alle grandezze geometriche del profilo, in funzione dell'eventuale obliquità dell'attacco ondoso;
- che per valori del rapporto adimensionale $\frac{H_{trasmessa}}{\Delta \cdot D_{n50}}$ > 15, l'evoluzione del profilo trasversale è sostanzialmente indipendente dalla pendenza iniziale del profilo stesso, come mostrato dall'immagine sottostante:



- che l'andamento del profilo trasversale non risente della forma dei sedimenti utilizzati nell'ambito dell'intervento di ripascimento, ma solo della loro grandezza, come raffigurato dal diagramma seguente:



Nella tabella che segue, sulla base delle informazioni sopra introdotte e verificata l'applicabilità del metodo sperimentale proposto da J.W. Van der Meer (1988) e che permette di definire la deformazione altimetrica ΔB suindicata, nonché riferita all'arenile in questione, protetto dall'intervento di ripascimento trattato,

sono indicate le variazioni di quota ricercate ed indotte dall'impatto dell'onda trasmessa oltre lo sbarramento sommerso collocato al piede di detto volume inerte:

D_{n50} sedimenti del ripascimento fronte spiaggia = 2.2 mm						
Periodo di ritorno (anni)	**Altezza d'onda incidente sulla barriera soffolta (m)**	**Elevazione dell'onda trasferita a tergo della struttura soffolta (m)**	$H_0 \cdot T_0$	h_c **(m)**	$\frac{h_c}{D_{n50} \cdot N^{0.15}}$	**Deformazione altimetrica della cresta emersa dell'arenile** $\Delta B = h_c - B$ **(m)**
1	1.8	0.98	$1.86 \cdot 10^4$	1.82	82.2	0.22
50	4.6	1.72	$4.33 \cdot 10^4$	2.86	144.3	1.26

Che permette di evidenziare l'essenziale contributo protettivo fornito dall'opera sommersa disposta alla base della spiaggia ripasciuta, dato che le variazioni ΔB stimate per tale assetto, sono risultate notevolmente inferiori rispetto a quelle calcolate in una condizione di assenza della diga soffolta citata. In particolare, detti valori deformativi d'altezza ΔB riferiti ad una spiaggia preservata al piede dallo sbarramento lapideo in questione sono stati quantificati oltre circa l'85% ed il 75%, delle corrispondenti entità dedotte in una condizione priva di struttura sommersa ed a parità di tempo di ritorno.

9. VERIFICHE GEOTECNICHE RELATIVE ALLA STABILITA' DELLA SOGLIA SOMMERSA

Al fine di completare l'accertamento riguardante il sistema difensivo previsto dal Progetto prodotto dal Dott. Ing. E. Brizzolara e dal Prof. Ing. S. Stura, sono state sviluppate le verifiche geotecniche di cui alla presente Sezione e che hanno lo scopo di analizzare le condizioni di stabilità associate all'opera protettiva trattata. Per ciò che concerne le indagini di cui trattasi, data la sostanziale invarianza delle caratteristiche geomeccaniche del suolo costituente il fondale di appoggio dello sbarramento in questione, rispetto a quanto vagliato in occasione dell'attività di progettazione già eseguita nel 2007 dai Tecnici appena citati, non sono attesi, quindi, comportamenti deformativi del fondo menzionato significativamente differenti da ciò che venne precedentemente previsto in merito. Le verifiche geotecniche effettuate, come di seguito riportato, sono state condotte tenendo in conto anche della classificazione sismica del territorio del Comune di Loano (identificato, come già richiamato, in zona 3 dal provvedimento regionale D.G.R. 962/2018), delle informazioni ricavate da indagini svolte direttamente in sito e delle informazioni geologiche di riferimento ed a corredo del presente Studio.

9.1 Verifica della capacità portante del fondale di sostegno

L'analisi destinata a verificare la capacità portante del fondale su cui viene imbasato il materiale lapideo costituente la soglia sommersa è stata condotta in accordo alle disposizioni di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni aggiornate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018. In particolare, gli approfondimenti sono stati sviluppati agli stati limite ultimi in condizioni sismiche afferenti alla salvaguardia della vita umana.

In particolare, considerando il valore di picco dell'accelerazione al suolo che, per le zone sismiche quale il territorio comunale di Loano (SV) classificate con il valore numerico 3, assume un valore pari al 15% dell'accelerazione gravitazionale, in conformità alle prescizioni di cui al paragrafo 7.11.4 della Normativa tecnica citata si è proceduto, in base alla schematizzazione della tipologia del suolo d'appoggio, con l'individuazione delle spinte sismiche ricavate dalle relazioni successive:

$$F_h = k_h \cdot W \qquad\qquad F_v = k_v \cdot W$$

che hanno fornito, in considerazione delle spinte idrauliche causate da azioni di onde la cui altezza è stata coerentemente desunta dal Documento tecnico regionale sopra menzionato, valori rispettivamente pari a 2.55 KN/m^2 per la spinta sismica orizzontale F_h e pari a 1.28 KN/m^2 per la spinta sismica verticale F_v, dedotte

considerando la geometria nota ed il peso della barriera sommersa con densità dei massi naturali impiegati per formare la stessa pari al già citato valore 2650 Kg/m^3 e nelle quali i parametri adimensionali k_v e k_h rappresentano i coefficienti sismici verticali ed orizzontali estrapolati, come previsto dalle Norme tecniche suddette, in funzione della tipologia del suolo che supporta l'opera di difesa esaminata.

Considerata le dimensioni complessive della soglia sommersa (ossia l'estensione totale, sebbene suddivisa in due distinti lotti come già affermato, risulta pari a circa 730 m e le dimensioni della sezione trasversale deducibili da quanto raffigurato in precedenza nel presente Testo) e la spinta orizzontale indotta dal moto ondoso incidente avente tempo di ritorno pari a 50 anni, nonché agente in corrispondenza del piede della struttura protettiva e valutata secondo la formulazione empirica e conservativa proposta da Hiroi (1920):

$$F_h = 1.5 \cdot \rho_a \cdot H_{progetto} \text{Hprogetto_berma}$$

in cui i termini introdotti assumono i rispettivi significati ormai noti, è stato possibile individuare il carico complessivo inclinato rispetto alla verticale ed agente presso la base d'appoggio, assunta con pendenza pari a quella del fondale circostante, dell'opera di difesa esaminata che, in condizioni sismiche, è stato quantificato in circa 113 KN/m per estensione unitaria della soglia sommersa.

A questo punto, valutato, anche mediante specifiche indagini pratiche eseguite in sito, l'angolo d'attrito dello strato superficiale del fondale d'appoggio della barriera sommersa e tenuto in conto degli altri parametri geomeccanici del suolo sottostante all'area d'impianto della soglia soffolta e dedotti dalle informazioni ottenute dalla documentazione tecnica acquisita ed a corredo dell'intervento originario del 2006 di realizzazione della diga sommersa stessa, si è pervenuti al calcolo della capacità portante valutata in condizioni sismiche per il fondale su cui deve poggiare la barriera sommersa ripristinata (modellata quale una fondazione di tipo superficiale), applicando la formulazione successivamente introdotta e descritta da J. E. Bowles (1997) che consente di tenere in conto, attraverso specifici coefficienti adimensionali proposti da A.S. Vesić (1975), della conformazione dell'impronta del carico che agisce sul suolo di fondazione, dell'inclinazione del piano di appoggio stesso, della pendenza del fondale circostante alla base di supporto e dell'inclinazione del carico rispetto alla direzione ortogonale alla superficie di sostegno trattata. Quindi, l'analisi della capacità portante è stata svolta tenendo anche in conto del fatto che il suolo di fondazione presenta una determinata coesione, trascurando prudenzialmente il contributo della spinta laterale del suolo di supporto, dato alla portanza del fondale sul quale viene installata detta barriera soffolta, grazie alla complanarità di quest'ultimo con la superficie del fondo circostante ed adottando la citata espressione di seguito illustrata:

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

nella quale q_{ult} indica la portata limite del fondo di sostegno della struttura sommersa in questione, i termini c e γ rappresentano rispettivamente la coesione ed il peso specifico del fondale d'appoggio diretto della diga sommersa di dimensione trasversale B cautelativamente assunta pari in media a 18 m, mentre gli altri parametri adimensionali introdotti dalla relazione assumono il significato di seguito schematizzato:

Formulazione parametro	**Definizione matematica del parametro**	**Valore ricavato per il parametro**
Fattori di capacità portante	$N_q = \exp^{\pi \cdot tg\varphi} \cdot tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) = \exp^{\pi \cdot tg\varphi} \cdot K_p$ *	11.84
	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg(\varphi)$	12.52
	$N_c = (N_q - 1) \cdot ctg(\varphi)$	22.23
Fattori di forma	$s_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	1.01
	$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$	0.99
Fattori di inclinazione del carico per suolo d'appoggio dotato di coesione	$i_q = \left(1 - \frac{forza_orizzontale}{forza_verticale}\right)^m$ **	0.51
	$i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{\left[N_c \cdot tg(\varphi_{design})\right]} = i_q - \frac{(1 - i_q)}{(N_q - 1)}$	0.46
	$i_\gamma = \left[1 - \frac{forza_orizzontale}{forza_verticale + area_base \cdot adesione \cdot \tan(\varphi)}\right]^{m+1}$ **	1
Fattori d'inclinazione	$b_c = 1 - \frac{2 \cdot inclinazione_piano_posa_barriera_sommersa}{5.14 \cdot \tan(\varphi)}$ ***	0.99

Formulazione parametro	Definizione matematica del parametro	Valore ricavato per il parametro
della base d'appoggio della soglia sommersa	$b_\gamma = [1 - inclinazione_piano_posa_barriera_sommersa \cdot \tan(\varphi)]^2$ ***	0.99
Fattori d'inclinazione del fondale adiacente alla soglia sommersa	$g_c = i_q - \frac{1 - i_q}{5.14 \cdot \tan(\varphi)}$	0.31
	$g_\gamma = [1 - \tan(inlinazione_fondale_adiacente_soglia_sommersa)]^2$ ****	0.98

Note esplicative:

** K_p indica il coefficiente di spinta passiva calcolato come da espressione sopra riportata ed assegnato al suolo di fondazione in funzione dell'entità assunta dal corrispondente angolo d'attrito φ*

*** m è un parametro adimensionale che assume il valore di 1.98 ed è calcolato, nel caso in esame, attraverso la relazione:*

$$m = \frac{2 + \left(\frac{B}{L}\right)}{1 + \left(\frac{B}{L}\right)}$$

(nella quale B ed L sono le dimensioni planimetriche dell'opera di difesa pari rispettivamente a 18 m e 730 m) e l'adesione è stata valutata almeno pari a 0.6 volte la coesione determinata per il fondale di supporto considerato

**** l'inclinazione del piano di appoggio della soglia soffolta è stato assunto pari a quello del fondale limitrofo ed equivalente a circa il 1.15%*

***** l'inclinazione del fondale adiacente alla superficie di sostegno della soglia soffolta è stato assunto paria circa il 1.15%*

Nota la portanza limite q_{ult} valutata come appena descritto è stato possibile calcolare, tramite la relazione sotto indicata, il corrispondente valore ammissibile allo stato limite ultimo in condizioni simiche adottando il

coefficiente parziale di sicurezza γ_R pari a 2.3 così come previsto alla tabella 7.11.II inserita nel Provvedimento normativo emanato il 17 Gennaio 2018, come sopra menzionato, per la verifica trattata di carico limite:

$$q_{amm} = \frac{q_{ult}}{\gamma_R}$$

Come atteso, il valore ottenuto dall'espressione appena riportata è risultato abbondantemente superiore al carico verticale comprendente anche l'effetto dell'azione sismica di compressione precedentemente valutata ed agente sul terreno di fondazione ove interviene anche la sollecitazione verticale statica appena citata.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni aggiornate con provvedimento del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti emesso il 17 Gennaio 2018 prevede, in tale contesto, che si verifichi anche lo scorrimento laterale in corrispondenza del piano d'appoggio della barriera soffolta modellata quale fondazione superficiale.

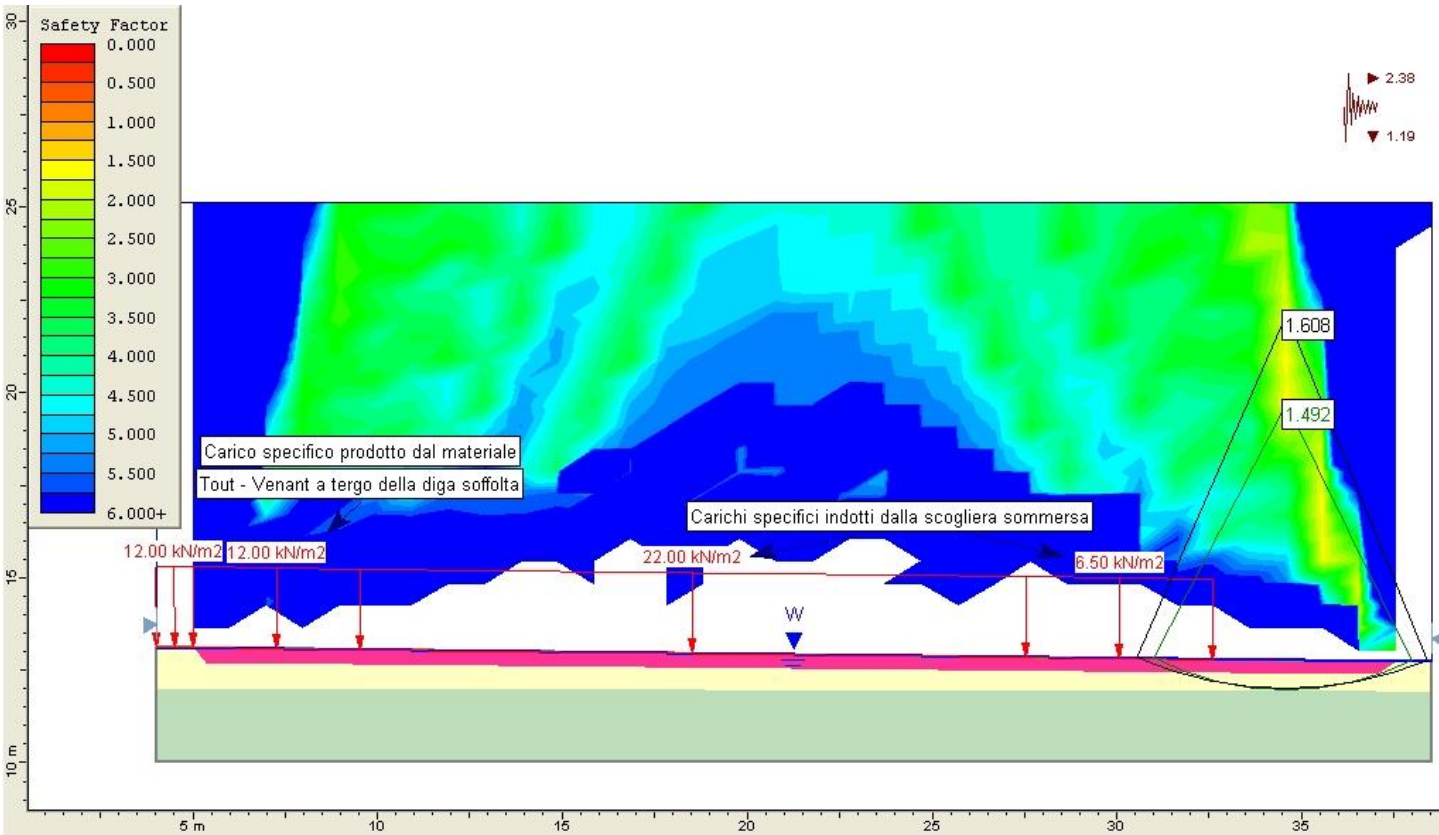
Tale ulteriore approfondimento è stato sviluppato tenendo in conto di un coefficiente di sicurezza parziale γ_R assunto pari a 1.1 come definito dalla tabella 7.11.II della Normativa Tecnica appena richiamata e rapportando la resistenza all'azione laterale offerta dalla soglia sommersa nei confronti delle spinte orizzontali che intervengono su di essa e derivanti sia dal moto ondoso incidente già identificato e sia dall'azione sismica. Anche quest'analisi ha avuto un esito assolutamente confortante in relazione alla stabilità allo scorrimento della struttura protettiva trattata.

9.2 Analisi di stabilità globale della barriera sommersa

Completa le verifiche geotecniche trattate, l'analisi di stabilità globale riferita alla barriera soffolta così come prevista dal Progetto redatto a cura del Dott. Ing. E. Brizzolara e del Prof. Ing. S. Stura, effettuata mediante il metodo globale proposto da Morgenstern-Price che consente di valutare sia l'equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e sia l'equilibrio alla rotazione della massa di suolo del fondale in esame, secondo superfici di scorrimento di forma circolare e non circolare. Tale approfondimento, il cui sviluppo è stato eseguito mediante il supporto di uno strumento informatico di calcolo rappresentato dal software di analisi denominato "Slide"© versione 5.025 e prodotto dall'Azienda canadese Rocscience (https://www.rocscience.com/), si è rivelato di notevole importanza in considerazione del fatto che effetti di cedimento, anche di entità differenziata nell'impronta di appoggio dello sbarramento in questione, possono compromettere la funzionalità e l'efficacia di quest'ultimo in relazione allo scopo di preservazione dell'arenile retrostante allo sbarramento sommerso in esame. Le verifiche di stabilità globale effettuate hanno potuto restituire, modellando il suolo del fondale come già descritto e considerando, quindi, sia il carico statico

verticale indotto dalla soglia soffolta realizzata e sia le azioni sismiche verticali e orizzontali come precedentemente definite (il territorio del Comune di Loano è simicamente classificato in zona 3 secondo il D.G.R. 962/2018), coefficienti di sicurezza superiori ai corrispondenti valori limite minimi previsti dal D.M. del 11 Marzo 1988, provvedimento normativo che, per garantire una condizione di stabilità globale in condizioni pari a quella trattata, prevede come vi siano superfici di scorrimento che non presentino fattori di sicurezza inferiori al valore minimo assunto pari a 1.3.

Evidenziando come il materiale lapideo Tout - Venant sovrastante il paramento inclinato orientato verso riva della struttura protettiva trattata, costituisca un elemento di ulteriore stabilità nei confronti delle superfici di scorrimento verificate presso tali posizioni e di contrasto, pertanto, in relazione a fenomeni di scivolamento di detti piani di movimento, di seguito si raffigurano graficamente le risultanze dell'approfondimento analitico condotto e appena descritto, mostrando al contempo i valori dei coefficienti di sicurezza minimi associati alle superfici di scivolamento verso riva e verso il largo rispetto alla posizione della diga sommersa trattata:



10. CONCLUSIONI

Alla luce di quanto si è pervenuti a seguito degli approfondimenti sviluppati in merito all'effettiva attualità del Progetto predisposto nel 2007 dal Dott. Ing. E. Brizzolara e dal Prof. Ing. S. Stura, nonché finalizzato al dimensionamento delle opere difensive presso il tratto litoraneo in oggetto, la presente relazione tecnica ne conferma complessivamente l'impostazione progettuale ed i rispettivi contenuti, evidenziando l'efficacia protettiva, nei confronti dell'arenile a tergo, del dimensionamento dei vari elementi che costituiscono la barriera sommersa e dell'intervento di ripascimento strutturale del fronte della spiaggia. Si richiama in particolare che, nella parte immersa, i profili del fondale ed in particolare le quote su cui si imposterà la diga sommersa sono le stesse già adottate nel dimensionamento del progetto del 2007. **Progetto che è stato approvato in sede di conferenza di servizi e che è da ritenere, per quanto sopra elaborato, pienamente valido anche oggi in base ad aggiornati parametri ambientali.**

Riepilogando i risultati a cui si è giunti attraverso le analisi condotte dal presente elaborato, di seguito si riportano le principali caratteristiche dei massi naturali conformi alla Norma tecnica UNI EN 13383-1:2013 e previsti ai fini dell'installazione della soglia soffolta considerata:

- Blocchi lapidei di 3° categoria di peso compreso nell'intervallo 3001 Kg ÷ 7000 Kg destinati a comporre circa il 70% del volume afferente al corpo principale della struttura sommersa in questione: D_{n50} = 1.24 m;
- Massi naturali di 2° categoria impiegati a comporre il 30% della sezione principale della diga soffolta ed il cui peso è compreso nell'intervallo: 1001 Kg ÷ 3000 Kg;
- Elementi inerti di 1° categoria destinati alla costituzione della berma collocata al piede del corpo centrale appartenente alla barriera sommersa ed aventi una dimensione media D_{n50} pari a 0.67 m, corrispondente ad un peso unitario rientrante nel campo 500 Kg ÷ 1000 Kg.

In conformità con gli elaborati progettuali analizzati, è correttamente prevista, la realizzazione di una protezione ulteriore e composta da massi naturali di 1° categoria, immediatamente a tergo dell'infrastruttura protettiva , finalizzata anche a preservare due condotte a mare (transitanti in corrispondenza delle celle litoranee) dall'impatto delle ondazioni trasmesse oltre detta opera soffolta, il cui effetto può generare fenomeni erosivi localizzati, sebbene, in generale, questa ulteriore difesa sia destinata a tutelare questa stessa posizione da fenomeni di scalzamento puntuale, dovuti all'azione dell'onda trasferita oltre la costruzione marittima, tale per cui si è resa necessaria la sua quantificazione economica, compresa nelle voci afferenti ai blocchi inerti di 1° categoria, ricomprese nei quadri relativi ai costi dell'opera di protezione .

L'analisi sviluppata dal presente studio ha evidenziato anche la validità della soluzione di ripascimento strutturale proposta nel 2007 per il fronte della spiaggia in esame, riscontrando la stabilità generale dei sedimenti che, date le loro singole dimensioni, non favoriscono il trattenimento di residui organici indesiderati (con correlato aumento della compatibilità con sedimenti già presenti in sito), potranno essere introdotti ex novo in corrispondenza della faccia dell'arenile considerato, ad ulteriore protezione dello stesso ed al fine di conferire al tratto litoraneo una maggiore estensione trasversale, con una conseguente accresciuta appetibilità turistica e connessi riflessi economici positivi.

In generale, infine, si sottolinea come l'impellente necessità di operare presso la costa in esame con un intervento complessivo di difesa come esaminato dal presente documento è ulteriormente dimostrata dalle rispettive informazioni che interessano l'erosione dell'arenile d'interesse, che possono essere attinte dal sito istituzionale di cui al link http://www.ambienteinliguria.it/, come di seguito raffigurato:

Evoluzione della linea di costa dal 1973 al 2016



Dall'immagine si ricava infatti l'esistenza di un arretramento dell'ordine di svariati metri in alcuni punti, della spiaggia in oggetto nel periodo pluriennale dal 1973 al 2016 (quest'ultimo rappresenta il dato più recente in merito ed estraibile dal portale sopra indicato). Con la mareggiata dell'ottobre 2018 ed ancor più con quella

del novembre 2019 si è registrato un arretramento ancora più marcato che giustifica la realizzazione dell'opera in progetto.

Al contrario, l'arenile adiacente e disposto a Nord-Est rispetto a quello d'interesse, essendo provvisto di barriera sommersa antistante alla porzione costiera, ha presentato negli anni un incremento del proprio sviluppo trasversale a fronte di sporadici e minimi ripascimenti stagionali (2010), evidenziando, altresì, la notevole efficacia e, quindi, il mantenimento della stabilità, del sistema protettivo soffolto che provvede alla sua salvaguardia nei confronti dell'azione erosiva da parte del moto ondoso incidente. In particolare la soffolta già presente dall'anno 2001 sul tratto costiero centrale del Comune di Loano ha richiesto un intervento nel 2015 per un importo di € 230.000 su un fronte di oltre 1000 m comprendendo anche il molo Kursaal. A seguito della mareggiata del 2018 si è intervenuti soprattutto sul tratti di diga emersa in corrispondenza della stazione ferroviaria ed in alcuni punti lungo la soffolta per un importo lavori di € 70.000 e per i danni della mareggiata del 2019 per ulteriori € 27.000 . Cifre che complessivamente ammontano aa € 327.000 . Se si considera che sono le uniche spese dall'anno di costruzione l'importo a metro lineare di barriera risulta oggettivamente molto modesto. La barriera ha impedito arretramenti della spiaggia emersa. Dato che il progetto del 2007, riproposto nel 2020 a seguito della possibilità di finanziamenti, ha le stesse caratteristiche della soffolta già in opera e l'orientamento delle spiagge è simile si deve presumere che anche in questo caso si potranno ottenere, anche a lunga scadenza, gli stessi esiti positivi sia in termini di resistenza delle opere sommerse che di resilienza della parte emersa.

Il tratto litoraneo oggetto di valutazione risulta, allo stato attuale, severamente esposto sia al processo di risalita ondosa (anche per eventi ondosi di entità modesta ed aventi un tempo di ritorno annuale) e sia conseguentemente sottoposto a fenomeni erosivi. Al fine di tutelare la fascia costiera in esame e quindi opportuna l'installazione del sistema difensivo progettato già nel 2007 e confermato, allo stato attuale, dalle presenti verifiche.

Bibliografia di riferimento

Bowles J.E. quinta edizione (1997) "Foundation analysis and design", The MacGraw-Hill Companies Inc.

Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici (1994) "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime"

Dean R.G. (1991) "Equilibrium beach profiles: Characteristics and Applications." Journal of Coastal Research. 7(1), pp. 53-84

Hiroi, I. (1920) Engineering, "The force and power of waves"

Hoffman J.S., Keyes D. e Titus J.G. (1983) "Projecting future sea level rise; methodology, estimates to the year 2100 and research needs" U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Horikawa K. e Kuo O. (1966) "A Study of Wave Transformation Inside Surf Zone" Procedings of Coastal Engineering Conference

Kamphuis J.W. (2020) "Introduction to Coastal Engineering and Management" 3rd Edition, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 48, pp. 505

Kramer M. M., Zanuttigh, B., Baoxing, W., Van der Meer, J.W., Lamberti, A., Burcharth, H.F. (2003) "Wave basin experiments", Internal report, DELOS D31 for WP2.4, available via www.delos.unibo.it

Kramer M. M. (2006) "Structural Stability of Low-Crested Breakwaters" Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University

McCowan J. (1891) "On the solitary wave" Phil. Mag. Series 5, 32, pp. 45-58

Moore B.D. (1982) "Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height" Masters Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware

Munk W.H. (1949) "The Solitary Wave Theory and its Application to Surf Problems", Ann. New York Acad. Of Science, 51:376-424

Norme Tecniche per le Costruzioni aggiornate con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018

Shore Protection Manual Volume II ed. (1984) Coastal Engineering research center, Department of Army, Waterways experiment Station, Corps of Engineers PO Box 631 Vicksburg Mississippi 39180

Van der Meer J. W. (1988) " Rock slopes and gravel beaches under wave attack" Delft Hydraulics Laboratory, doctoral thesis pp. 214

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. (1992) "Conceptual design of rubble mound breakwaters" Delft Hydraulics, P.O. Box 152, 8300 AD Emmeloord, 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. et al. (2004) "Wave transmission at low-crested structures, including oblique wave attack" Infram, PO. Box 16, 8316 ZG Marknesse, the Netherlands

Vesić A. S. (1975) "Bearing capacity of shallow foundations" Department of Civil Engineering, Duke University

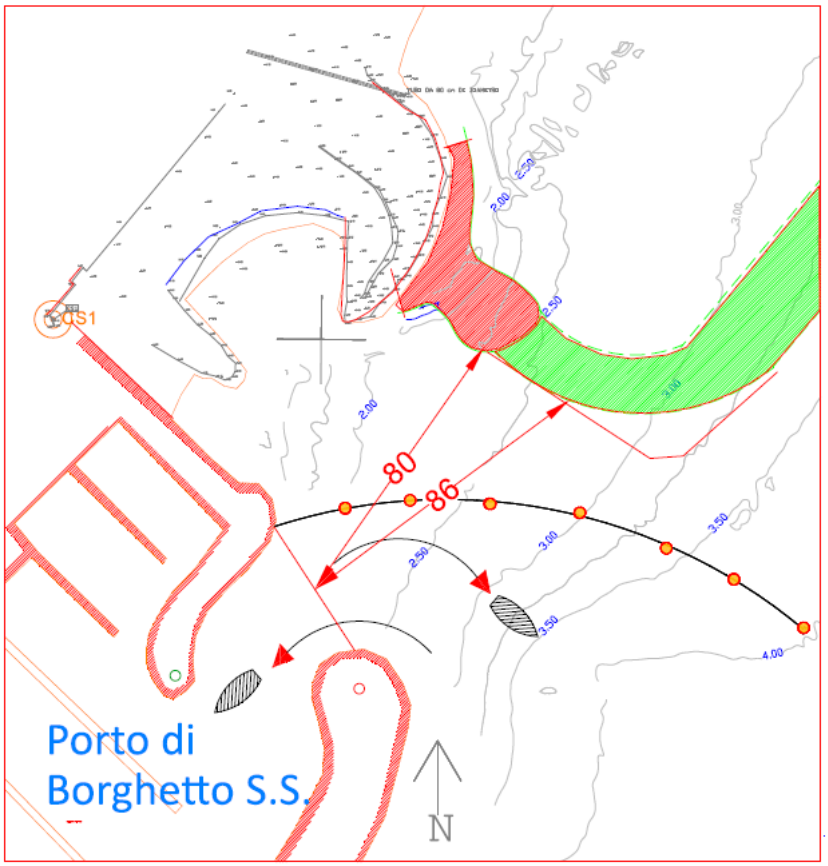
Wentworth C.K. (1922) "A scale of grade and class terms for clastic sediments" J. Geology V. 30, pp. 377-392

Allegato 1

ANALISI EFFETTO DI DISTURBO DEL TRATTO DI PONENTE DELLA BARRIERA SOFFOLTA, NEI CONFRONTI DELL'AGITAZIONE ONDOSA PRESSO L'IMBOCCATURA DEL PORTO TURISTICO DEL COMUNE DI BORGHETTO SANTO SPIRITO (SV)

La presente nota, si pone ad integrazione della Relazione tecnica ed è finalizzata a valutare gli effetti dell'opera in progetto nei confronti del limitrofo approdo turistico di Borghetto S.Spirito.

In particolare si analizza l'effetto dell'onda riflessa prodotta dalla scogliera sommersa nei confronti dell'agitazione ondosa in corrispondenza dell'imboccatura dell'approdo turistico ed ubicato a Sud-Ovest dell'estremità analoga dello sbarramento soffolta (più precisamente le due infrastrutture si distaccano reciprocamente di circa 80 m, valore quest'ultimo nettamente superiore all'ampiezza planimetrica dell'imboccatura portuale .



Premettendo come, ad estremo favore di sicurezza ed in conformità al modello di calcolo adottato, nell'ambito della presente verifica si considerano le seguenti condizioni al contorno:

- Stato di mare agente sulla diga soffolta avente un periodo di ritorno eguale a 50 anni, in coerenza con la vita utile delle costruzioni marittime trattate;
- Attacco frontale da parte delle ondazioni impattanti presso il tratto di gettata sommersa che connette la porzione di quest'ultima orientata parallelamente alla linea di riva, al pennello che delimita a Sud-Ovest l'intervento, tenuto in conto che proprio detta parte diretta ortogonalmente alla costa, si ritiene sia la più influente sulla condizione d'agitazione ondosa presente in corrispondenza dell'imboccatura alla Marina già menzionata (tale ipotesi risulta notevolmente prudenziale ai fini della verifica intrapresa, dato che il collegamento a terra dell'opera soffolta in esame, è protetto dal corpo dell'Approdo turistico del Comune di Borghetto Santo Spirito, rispetto ai mari che possono incidervi perpendicolarmente);
- Propagazione dell'onda riflessa dalla struttura sommersa e diretta verso l'imboccatura portuale, esente da fenomeni energeticamente dissipativi, in grado di ridurne la corrispondente altezza, affievolendone la capacità di produrre uno stato d'agitazione ondosa di rilevante intensità, presso tale fascia di mare protetta dall'impianto portuale.

A questo punto, ai fini della presente valutazione, si fa riferimento all'elevazione dell'onda cinquantennale $H_{progetto_soffolta}$, che colpisce il corpo della struttura soffolta e ricavata pari a 3.35 m, per dedurne la rispettiva altezza d'onda riflessa $H_{riflessa}$, in accordo allo schema di calcolo introdotto da J. W. Van der Meer et al. (2006) che permette di tenere in conto, nell'analisi sviluppata, della rugosità superficiale della scogliera , attraverso il coefficiente adimensionale γ_f , assunto, nel caso in esame, pari a 0.6.

Tuttavia, questo fenomeno di riflessione delle ondazioni incidenti sul manufatto sommerso, risulta favorito da determinate condizioni di parziale e, in questo caso minima, stazionarietà del moto ondoso presente in corrispondenza del tratto di mare posto davanti alla porzione apicale della barriera soffolta in questione.

La valutazione dell'entità associata all'elevazione dell'onda riflessa dallo sbarramento sommerso è stata prodotta a partire dalla stima del parametro di riflessione K_r, il quale decresce all'aumentare dell'immersione R_c della sommità appartenente alla scogliera, estrapolato dalla formulazione empirica successivamente introdotta ed originata dalle analisi sperimentali effettuate da J. W. Van der Meer et al. (2006):

$$K_r = \tanh\left(a \cdot \xi_0^b\right) \cdot \left[0.67 + 0.37 \cdot \left(\frac{R_c}{H_{progetto_soffolta}}\right)\right]$$

$$\text{valida per } -1 \le \frac{R_c}{H_{progetto_soffolta}} \le 0.5 \text{ e per } \frac{H_{progetto_soffolta}}{D_{n50}} \ge 1$$

in cui il termine ξ_0 rappresenta il parametro di Iribarren che, dedotto dalla relazione $\xi_0 = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{\frac{H_{progetto_soffolta}}{L_{m-1,0}}}}$, raffronta l'inclinazione del paramento della diga soffolta su cui interviene l'attacco ondoso, rispetto alla ripidità dell'onda agente, quest'ultima relativa ad un periodo di ritorno pari a 50 anni, nonché depurata in altezza a causa delle dispersioni energetiche che detta ondazione subisce transitando sulla berma antistante al corpo principale della gettata sommersa, tenuto in conto che la pendenza del profilo trasversale del moto ondoso impattante sulla struttura sommersa viene ricavata dalla lunghezza dell'onda spettrale al largo $L_{m-1,0} = \frac{g \cdot T_{m-1,0}^2}{2 \cdot \pi}$ e quindi dal periodo dell'onda spettrale stimabile a partire dal periodo di picco T_p dello spettro secondo l'equazione $T_{m-1,0} = \frac{T_p}{1.1}$.

Inoltre, nell'espressione empirica introdotta ai fini dell'individuazione del valore assegnato al coefficiente di riflessione K_r e la cui validità è confermata dal valore assunto dal rapporto $\frac{R_c}{H_{progetto_soffolta}}$ risultante pari a circa -0.45 e nel quale il termine R_c indica l'immersione della berma di cresta della barriera soffolta ed equivalente a -1.5 m (anche la condizione $\frac{H_{progetto_soffolta}}{D_{n50}} \ge 1$ è soddisfatta nella circostanza vagliata, dato che il rapporto $\frac{H_{progetto_soffolta}}{D_{n50}}$ risulta eguale a circa 2.7, i termini numerici a e b assumono rispettivamente i valori pari a circa 0.14 e 0.93, forniti dalle rispettive equazioni sotto indicate e poste in funzione della rugosità del paramento inclinato della soglia soffolta:

$$a = 0.167 \cdot \left[1 - \exp\left(-3.2 \cdot \gamma_f\right)\right]$$

$$b = 1.49 \cdot \left(\gamma_f - 0.38\right)^2 + 0.86$$

nelle quali il parametro γ_f è l'indice di rugosità che contraddistingue la scabrezza del paramento inclinato della barriera difensiva in esame ed assunto, come normalmente accade per mantellate formate da elementi lapidei, pari a 0.6.

Alla luce di quanto sopra definito, nell'ambito del problema affrontato, si ricava un fattore di riflessione K_r eguale a circa 0.12, corrispondente ad un'elevazione dell'onda riflessa $H_{riflessa}$ dall'opera sommersa, desunta dalla formulazione analitica $H_{riflessa} = K_r \cdot H_{progetto_soffolta}$ e pari a circa 0.39 m, del tutto compatibile con uno stato d'agitazione ondosa accettabile presso l'imboccatura di un porto turistico, così come confermato dalla letteratura tecnica di riferimento (tra cui si osservi anche quanto asserito a riguardo da Y. Goda (2000) e successivi aggiornamenti), considerato il tempo di ritorno di 50 anni dell'onda impattante sulla diga sommersa in questione, nonché generante il fenomeno osservato e le ipotesi di partenza suindicate, notevolmente cautelanti in merito sia alle modalità con cui l'attacco ondoso, agente sulla porzione di scogliera sommersa più prossima all'approdo turistico, provoca l'insorgenza del processo di riflessione dell'onda e sia alla propagazione di questi stessi flutti, idealizzata esente da processi energeticamente dissipativi, dalla posizione della gettata soffolta all'imboccatura portuale.

In aggiunta ed a tale proposito, secondo svariati autori di testi tecnici sulla specifica alla materia, si suggerisce come entità dell'altezza d'onda all'imboccatura di un porto equivalenti approssimativamente a quella appena indicata, possano ritenersi compatibili con il mantenimento di un'adeguata funzionalità delle attività portuali, anche all'interno del bacino protetto dalle opere esterne di difesa e considerata l'eccezionalità dell'evento d'agitazione ondosa analizzato.

Si ritiene, infine, valga la pena di sottolineare come proprio detti processi diffrattivi del moto ondoso che raggiunge l'ingresso del porto, riducano l'elevazione delle ondazioni che da tale stessa posizione d'accesso al bacino portuale, si diffondono all'interno di quest'ultimo, tale per cui l'altezza effettiva dell'onda presente nello specchio acqueo interno all'approdo turistico , risulta sicuramente minore del suddetto valore e riferito all'imboccatura del porto (peraltro, si evidenzia come tale elevazione ondosa rilevabile all'interno dello specchio acqueo portuale, decresca progressivamente e per effetto del fenomeno di diffrazione con l'aumentare della distanza dall'imboccatura attraverso cui accede a detti spazi protetti.



Mareggita del 25-26 dicembre 2013 – Scogliera da cui è prevista la partenza della diga sommersa.



Altra foto delle onde che , dato l'andamento dei fondali, si infrangono mantenedo

per la cresta d'onda un profilo sostanzialmente parallelo alla linea di costa



Nello stesso momento il bacino interno dell' Approdo turistico (allora in fase di costruzione) si presentava sostanzialmente calmo.



Effetti sulla diga di sottoflutto nel corso della mareggiata del 25-26 dicembre 2013 – caratterizzata da oltre di oltre 3 m all'esterno dell'approdo.

Bibliografia di riferimento

Goda Y. (2000) "Random seas and design of maritime structures" Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 15 World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Van der Mee, J. W. e Zanuttigh B. (2006) "Wave reflection for coastal structures" Delft Hydraulics, P.O. Box 152, 8300 AD Emmeloord, the Netherlands

Allegato 2

Aspetti naturalistici ambientali

- **Qualità delle acque**

L'analisi dei dati sullo stato delle acque di balneazione mostra che lungo il tratto di costa in considerazione non sono presenti fonti significative di possibile contaminazione fognaria. I comuni di Borghetto SS e Loano e i relativi entroterra sono allacciati ad un moderno ed efficiente impianto di depurazione fognaria consortile in capo alla Soc. Sevizi Ambientali.



ARPAL

Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente ligure

Consultazione dello stato della balneabilità delle spiagge liguri

(1 Aprile - 30 Settembre)

Ricerca per Comune

Comune: Loano Cerca

Le acque di balneazione del comune selezionato sono 6

dati aggiornati al: 12-Ago-2020

Codice acqua di balneazione	Descrizione	Stato balneabilità	Motivo	dal	Classificazione quadriennale
IT007009034002	Foce Torrente Nimbalto	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE
IT007009034001	Loc. Sottopassaggio	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE
IT007009034006	Spiaggia di Levante Porto	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE
IT007009034005	Tombolo Perelli	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE
IT007009034004	Zona Sottopasso Genova	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE
IT007009034003	Zona Torrente Nimbalto	CONFORME		27-MAG-20	ECCELLENTE

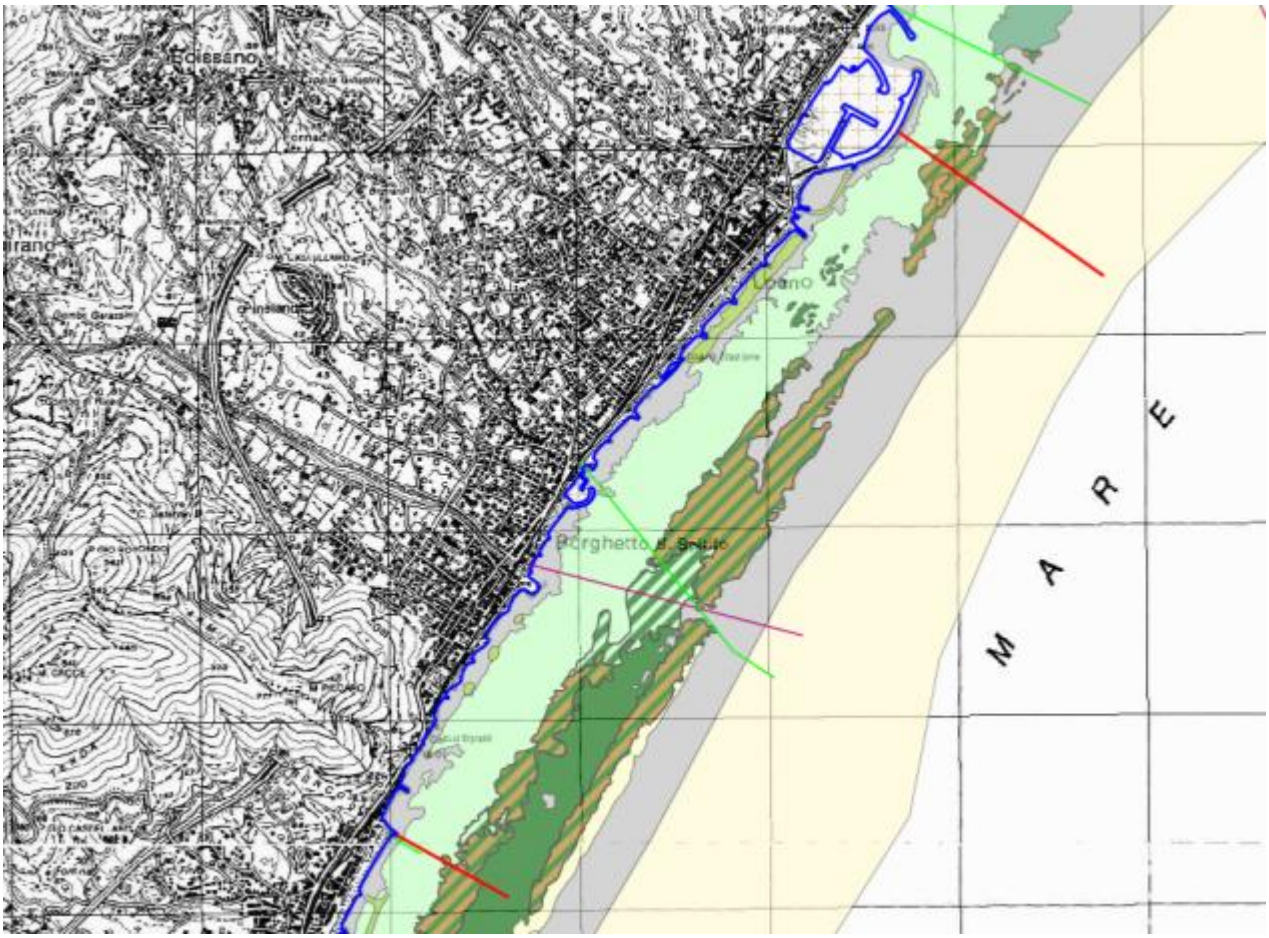
- **Habitat marini**

I fondali di questo paraggio sono caratterizzati dalla continuazione in direzione nord – est della prateria di Posidonia oceanica del limitrofo paraggio Albenga-Ceriale. E' presente una fascia di transizione tra il posidonieto a chiazze ed il prato di Cymodocea che colonizza la fascia dinamica della spiaggia sommersa.

E' presente una discontinuità della prateria che è localizzata davanti all'abitato di Loano dove il posidonieto, tra i 10 e i 15 metri di profondità , è caratterizzato da un mosaico di aree vitali e

“matte morta” che tuttavia si riduce progressivamente procedendo verso est fino a sparire del tutto in corrispondenza della barriera di ripopolamento realizzata intorno al 1980 a valle del limite inferiore.

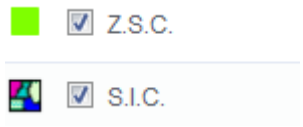
Nuovo Atlante degli Habitat Marini sc. 1:10000 - 2020



- S = sabbia
- POS-ROC = posidonia su roccia
- POS = posidonieto
- P = bacino portuale
- MOS = posidonieto a chiazze
- MMP = matte morta di posidonia oceanica
- GR = grotta
- F = fango
- DI = detritico infangato
- CYM-POS = prato di Cymodocea con cespugli sparsi di posidonia
- CYM-MMP = prato di Cymodocea su matte morta di posidonia
- CYM-DENSA = prato denso di Cymodocea nodosa
- CYM e CAU = prato di cymodocea con presenza di caulerpe
- CYM = prato di Cymodocea nodosa
- CRAC = presenza di Caulerpa racemosa
- CAU = presenza di Caulerpa taxifolia
- C = coralligeno
- ASI = alghe sciafile infralitorali
- ASC = alghe sciafile circalitorali
- AF-BR = alghe fotofile su beach-rock
- AF = alghe fotofile
- AFA = alghe fotofile su substrato prevalentemente artificiale
- SGC = sedimenti grossolani
- SGC-C = sedimenti grossolani con formazioni e/o elementi di coralligeno
- DC = detritici costieri
- ZNI = zona non indagata
- CYL = caulerpa cylindracea
- RL = roccia del largo

S.I.C. Terrestri e Marini sc. 1:10000 - DGR n. 705/2012 e DGR n.613/2012 con Z.S.C. - DM MATTM 24/06/2015





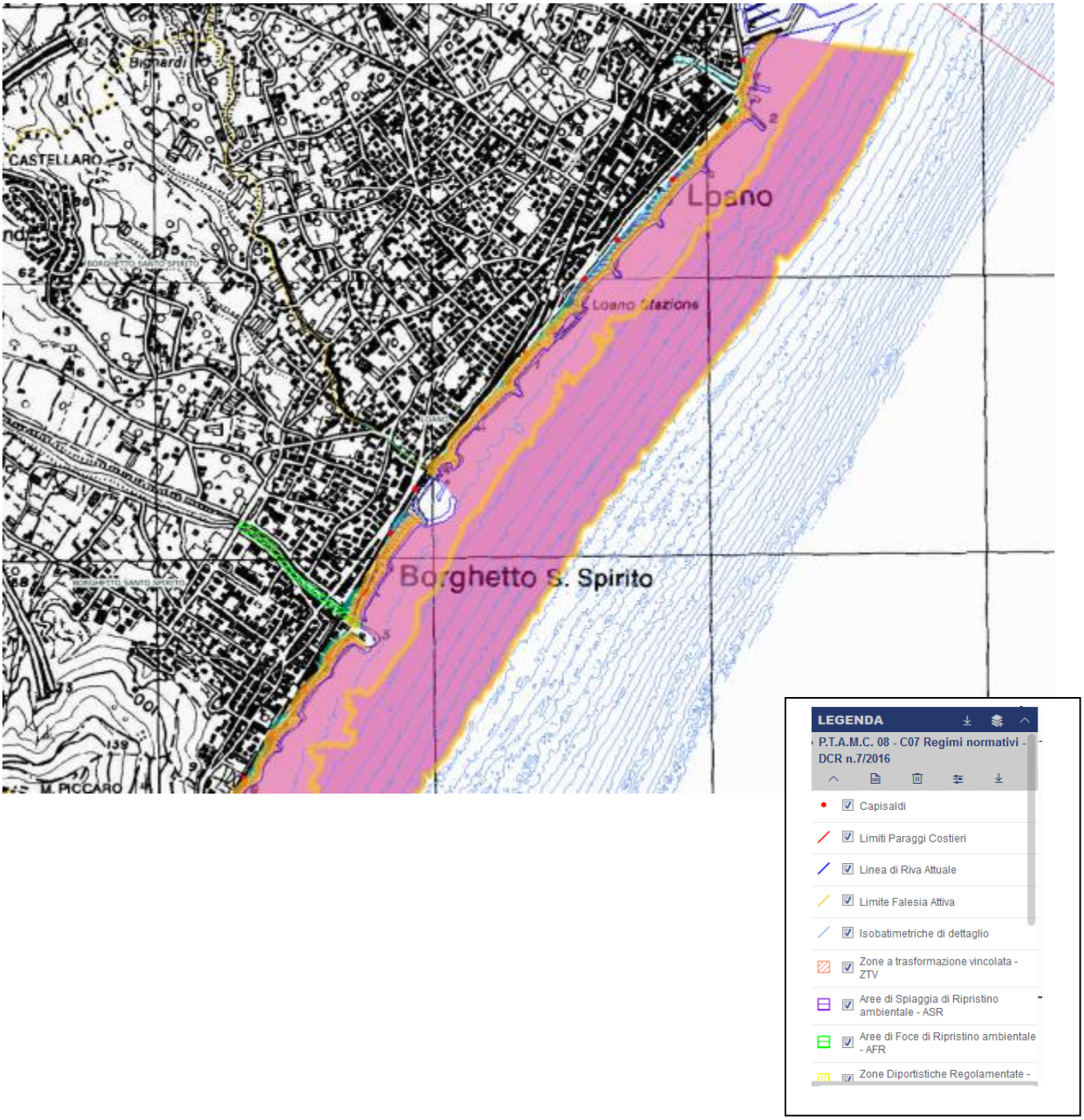
- **Impatti e rischio sulla biodiversità marino costiera e sulla qualità delle acque**

Allo stato attuali non si rilevano impatti negativi in atto per gli habitat marini nel contesto del tratto di paraggio considerato. Gli interventi proposti di protezione delle spiagge del ponente di Loano appaiono compatibili con l'equilibrio del limite superiore del posidonieto e nel suo complesso l'intervento non risulta pregiudizievole per la salvaguardia della biodiversità marina. Sulla spiaggia emersa la flora psammofila risulta eccessivamente impoverita anche nei siti potenzialmente idonei a causa delle attività di pulizia e manutenzione delle spiagge legate all'intensa fruizione turistico - balneare.

- **Misure di intervento**

Secondo quanto riportato seguito delle analisi dello stato e della tendenza evolutiva del litorale del paraggio Borghetto S. Spirito-Loano si persegue, nel PIANO DI TUTELA DELL'AMBIENTE MARINO E COSTIERO AMBITO COSTIERO 08, l'obiettivo del mantenimento e l'ampliamento delle spiagge attuali quale miglior sistema di difesa.

Il progetto di cui trattasi è in attuazione della realizzazione "….di una piattaforma dissipativa sommersa per il tratto di spiaggia di fronte alla stazione ferroviaria, a completamento del progetto già attuato lungo il litorale a levante….". Tale lavoro che costituisce il completamento della sistemazione delle spiagge loanesi tra il centro storico ed il confine con Borghetto Santo Spirito è da ritenere compatibile con le previsioni del PTAMC - AMBITO COSTIERO 08.


Bignardi
CASTELLARO
Loano
Loano Stazione
Borghetto S. Spirito
M. PICCARO
LEGENDA
P.T.A.M.C. 08 - C07 Regimi normativi - DCR n.7/2016
Capisaldi
Limiti Paraggi Costieri
Linea di Riva Attuale
Limite Falesia Attiva
Isobatimetriche di dettaglio
Zone a trasformazione vincolata - ZTV
Aree di Spiaggia di Ripristino ambientale - ASR
Aree di Foce di Ripristino ambientale - AFR
Zone Diportistiche Regolamentate -

ALLEGATO 3

Di seguito si riportano alcune tavole del rilievo batimetrico. Si rimanda all'allegato specifico per i dettagli.

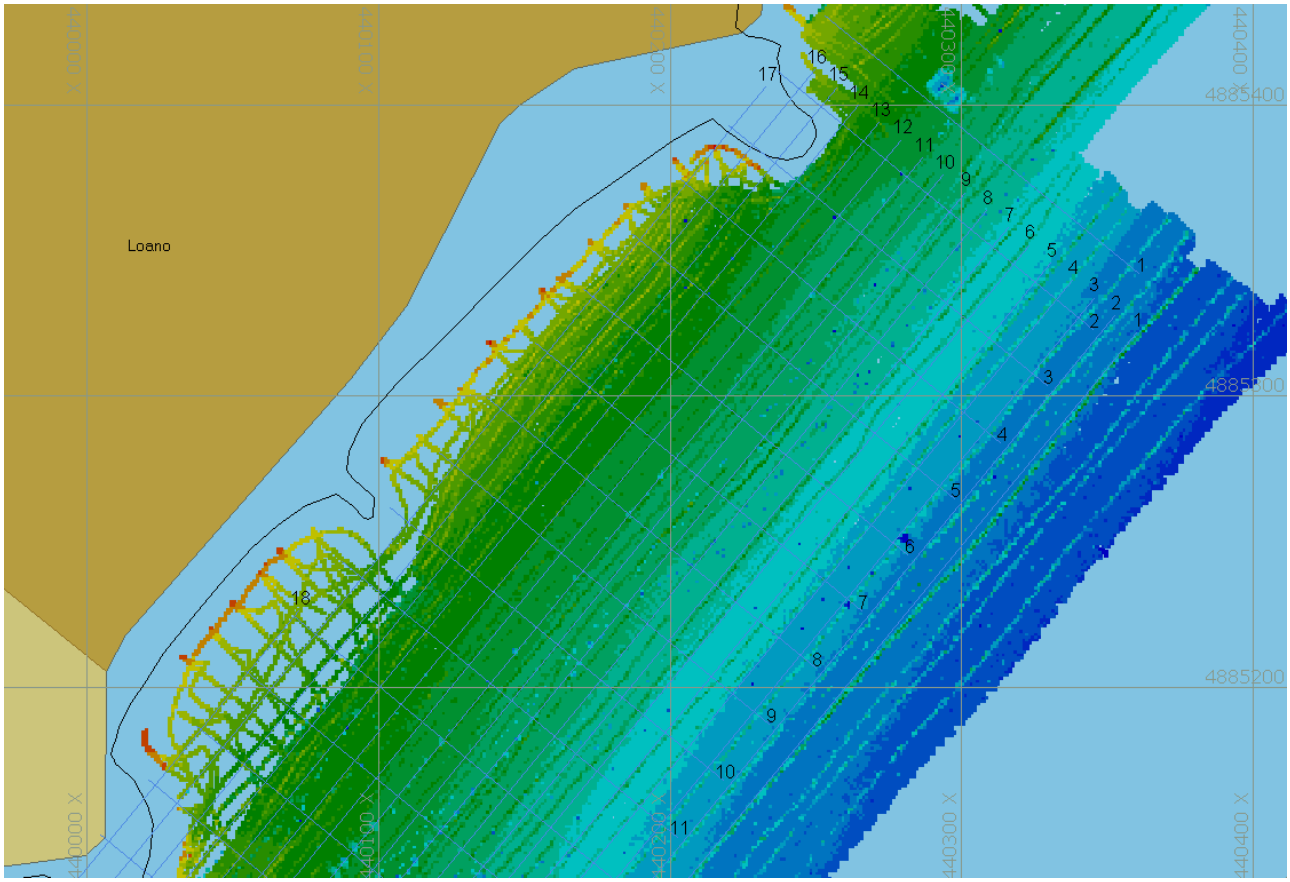
Estratto dai rilievi batimetrici

SISTEMA DI RIFERIMENTO

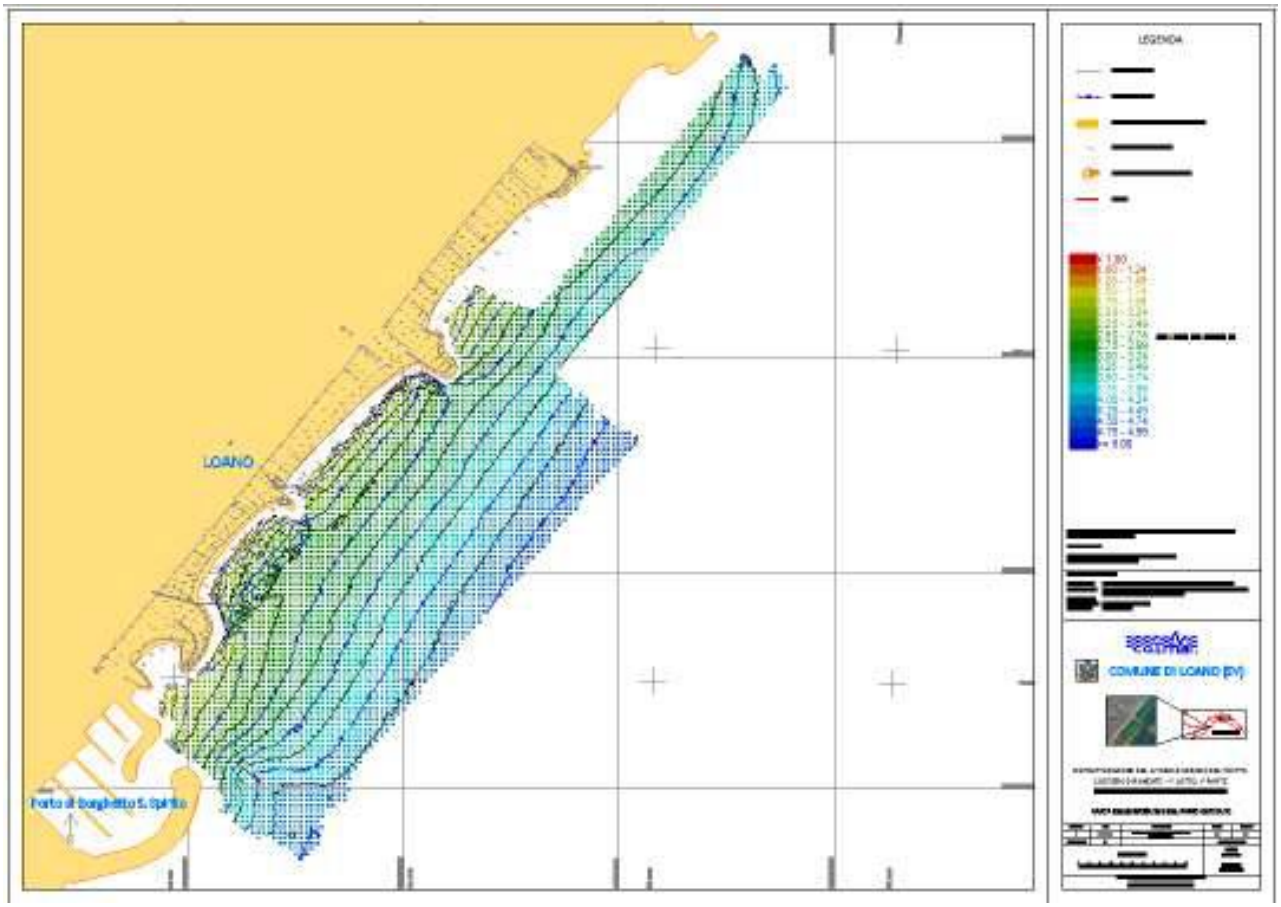
SISTEMA DI RIFERIMENTO ORIZZONTALE
I dati batimetrici sono stati acquisiti ed elaborati nel sistema geodetico RDN2008 (ETRF2000@2008) – UTM 32 Nord. L'inquadramento geodetico è stato fornito dal punto noto CS1 fornito dalla Committenza, di cui si riporta una descrizione nella tabella seguente. Il punto si trova all'inizio del Lungomare Marconi, lato Ovest, sotto la rampa di accesso all'Approdo turistico "Poseidon"

PUNTO NOTO CS1 **LOCALITA'** Loano
Coordinate geografiche RDN2008 (ETRF2000@2008.0) (gg°mm'ss.ssss")
44°07'00.1517" N 008°14'56.7153" E
Quota ellissoidica (h): 52.14 m
Coordinate geografiche RDN2008 (ETRF2000@2008.0) – TM 32 Nord
4885109.66 m N 439914.35 m E
Coordinate Roma 40 – Gauss Boaga Fuso Ovest
4885128.32 m N 1439940.92 m E
Quota ortometrica (H): 4.45 m

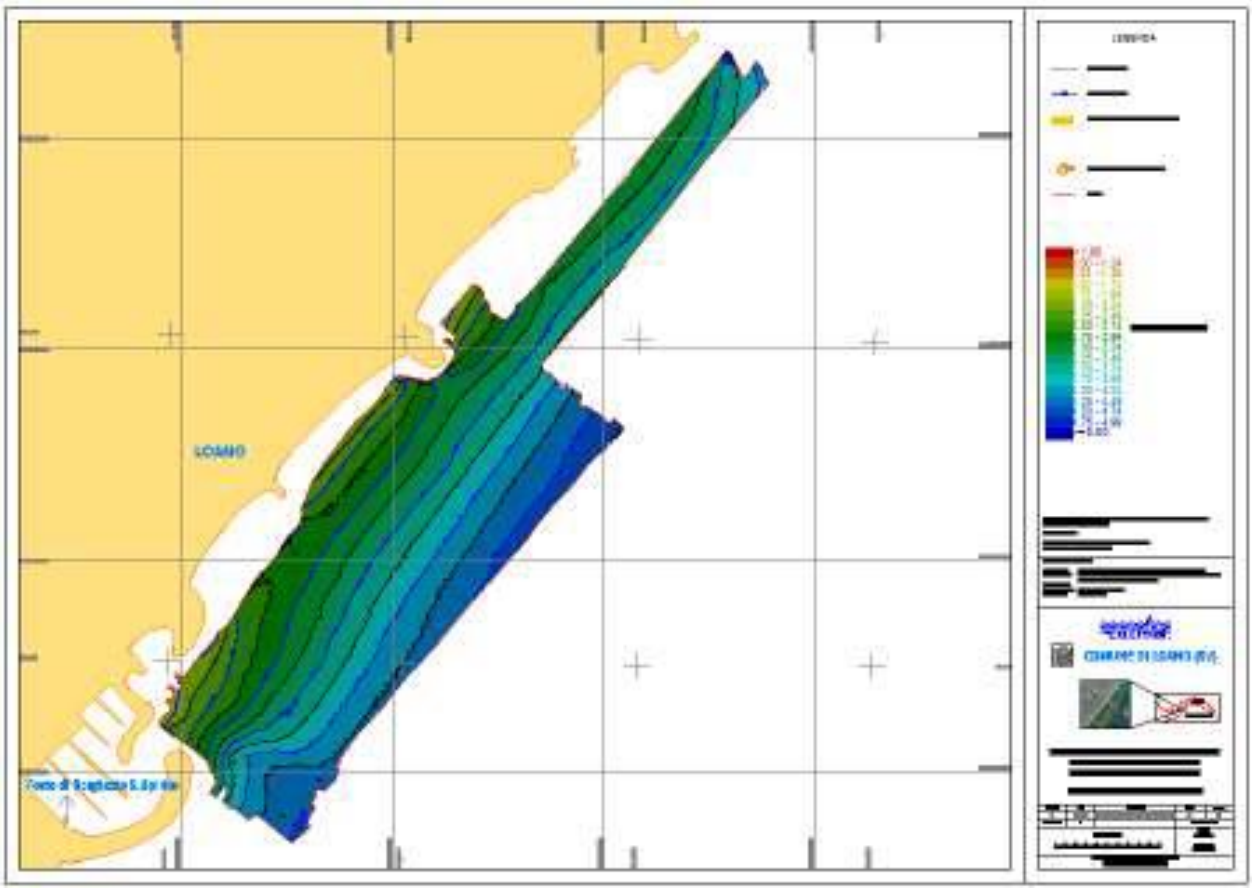




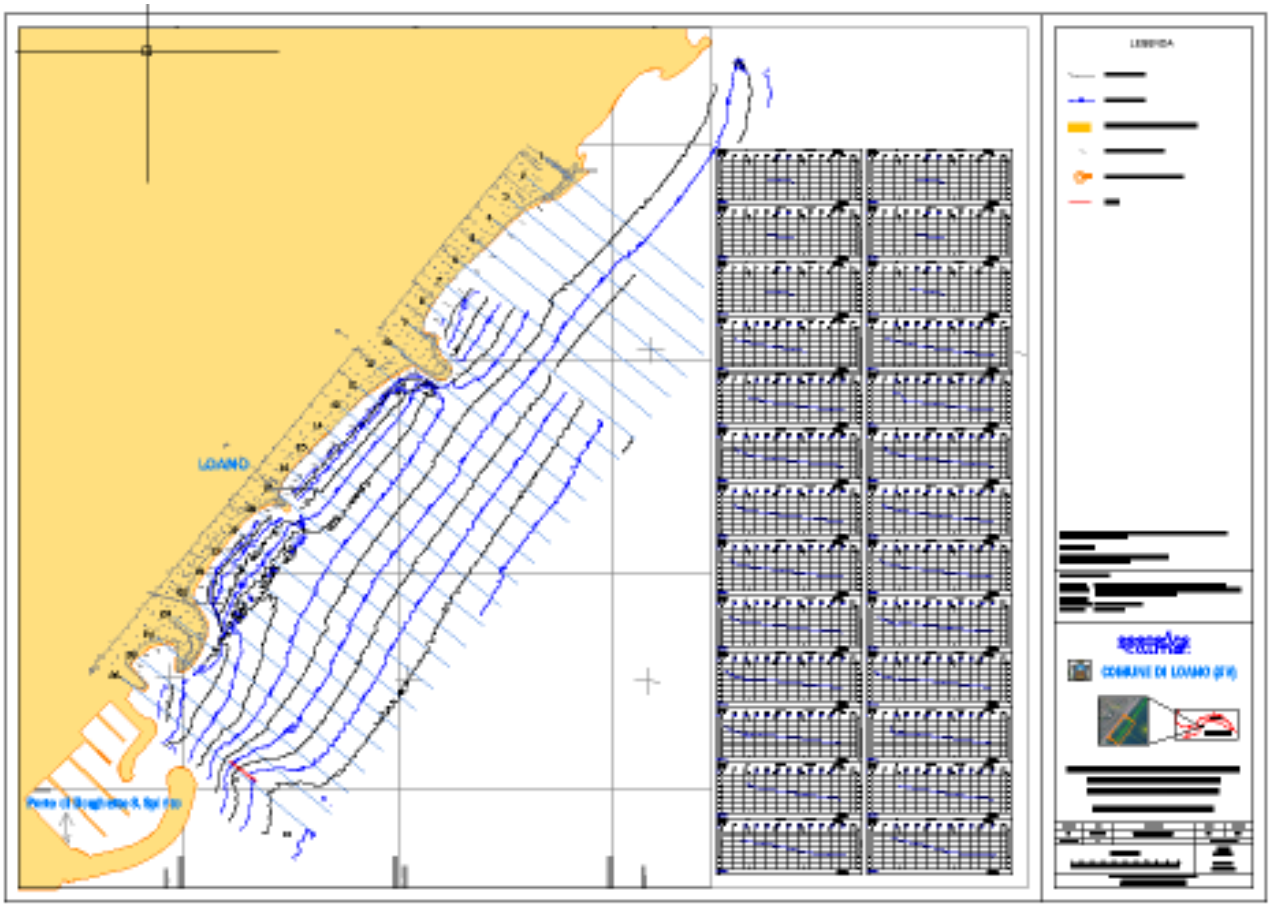
Dettaglio della copertura del rilievo multibeam e singlebeam



Carta delle isobate e del piano quotato, scala 1:1000, con: planimetria, isobate, piano quotato in scala di colori e caposaldi.



Carta delle isobate, scala 1:1000, con: immagine raster in scala di colori, planimetria, caposaldi.



Carta delle sezioni batimetriche ottenute dall'integrazione dei dati singlebeam e multibeam, scala 1:1000, con: planimetria, isobate, traccia delle sezioni e profilo batimetrico.