ITEC engineering

# COMUNE DI BOGLIASCO

**Committente:**
Comune di Bogliasco
Via G. Mazzini 122
16032 Bogliasco

**Livello di Progetto:**
Definitivo

Titolo:

**ANALISI DELLA COSTA DEL COMUNE DI BOGLIASCO CON INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITA' E PROPOSTE DI INTERVENTO PER LA SUA RIQUALIFICAZIONE/PROTEZIONE**

Oggetto:

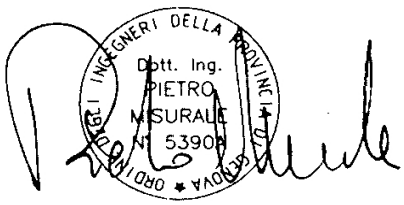
**INTERVENTO IN LOCALITA' FONTANA**

**RELAZIONE IDRAULICA MARITTIMA**

**Codice Progetto:**
P094-21

**Nome File:**
P094-21-D-RE-IDR-001-A

Firme:







| Rev. | Modifiche/Revisioni | Redatto | Data | Contr./Appr. | Data |
|---|---|---|---|---|---|
| A | PRIMA EMISSIONE | DR/PN | 28/07/21 | PM | 30/07/21 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA

efca

apave certification
ISO 9001
N° SC 10-2588/IAF 34
ISO 14001
N° SCA 19-3491/IAF 34
ISO 45001
N° SCS 20-336/IAF 34

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it

E' vietata a norma di legge la riproduzione, anche parziale, non autorizzata di questo documento

# INDICE


**1 PREMESSA ..... 2**

**2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE ..... 2**

2.1 IL LITORALE DI BOGLIASCO ..... 2
2.2 CRITICITÀ ..... 3

**3 INDAGINI E RILIEVI ..... 6**

**4 OPERE PREVISTE IN LOC. FONTANA ..... 7**

4.1 FINALITÀ DELL'INTERVENTO ..... 7
4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE ..... 8

**6 EFFETTI DI DISSIPAZIONE DELL'OPERA ..... 17**

**7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI ..... 19**

7.1 ONDA DI PROGETTO ..... 19
7.2 CALCOLO DEI MASSI ..... 19

# 1 PREMESSA

La presente relazione è redatta dagli scriventi su incarico del Comune di Bogliasco, a corredo del progetto definitivo delle opere di difesa del litorale Bogliasco nellôambito di un più ampio progetto di riqualificazione e protezione dellôambito costiero, promosso dal Comune, che ha ricevuto un finanziamento dalla Regione Liguria finalizzato a tale scopo.

Lôintervento descritto nel presente documento costituisce un lotto prioritario e funzionale, che riguarda un limitato tratto di affaccio costiero, sul quale il Comune di Bogliasco ha posto particolare attenzione, in quanto interessato da un piccolo nucleo abitato a brevissima distanza dal mare e particolarmente esposto e vulnerabile.

Trattasi della località Fontana, ubicata nella porzione di levante del litorale di Bogliasco, su costa alta rocciosa: in tale sito sono presenti abitazioni residenziali, un piccolo scalo di alaggio per le imbarcazioni ricoverate a terra e una stazione di rilancio della fognatura pubblica. Il sito inoltre ha un elevato valore paesaggistico e ambientale e ricade allôinterno di una fascia costiera del Comune di Bogliasco e Pieve vincolata con D.M. del 28.01.1949 come bellezza architettonica di insieme.

Il sito è infine molto frequentato durante la stagione balneare.

La zona è notevolmente esposta ai mari di libeccio e meridione, mentre è meno soggetta allo scirocco, da cui è parzialmente protetta dal promontorio del Monte di Portofino.
Durante le mareggiate del 2018 e 2019 si sono verificati notevoli danni: la forza dei marosi ha addirittura spaccato e abbattuto uno scoglio che si ergeva sul limite meridionale (scoglio detto del ñGhenò).

Il Comune di Bogliasco pertanto ha ritenuto di dare priorità ed urgenza a tale intervento sul quale si è sviluppata ï prima che su altri siti ï la progettazione definitiva.

# 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

## 2.1 IL LITORALE DI BOGLIASCO.

Il litorale di Bogliasco si sviluppa per circa 2 km e si presenta in gran parte su costa alta con falesie rocciose di natura calcarea che si innalzano per circa 15-20 metri dal livello del mare.

Un'unica spiaggia di dimensioni significative è presente al centro del paraggio, in corrispondenza della foce del rio Poggio mentre altre piccole spiagge di limitata estensione e profondità sono presenti sotto la Chiesa parrocchiale (a ponente) con sedime ghiaioso, di natura artificiale.

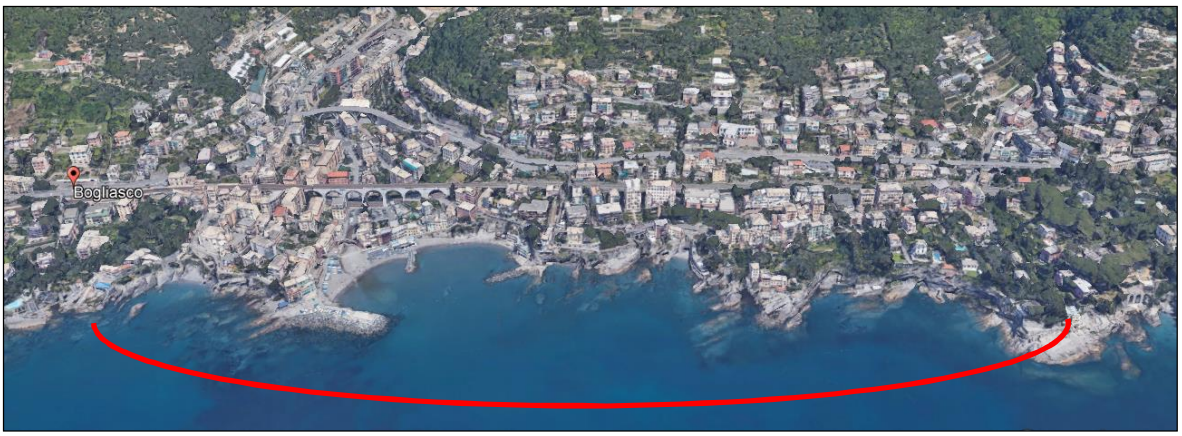



**Figura 2.1 ï  Panoramica generale del litorale di Bogliasco.**

## 2.2 CRITICITÀ

Le piccole spiagge sotto la Chiesa hanno problematiche di erosione e arretramento dovute alla loro limitata profondità e alla risacca del moto ondoso che si riflette sulla falesia retrostante.

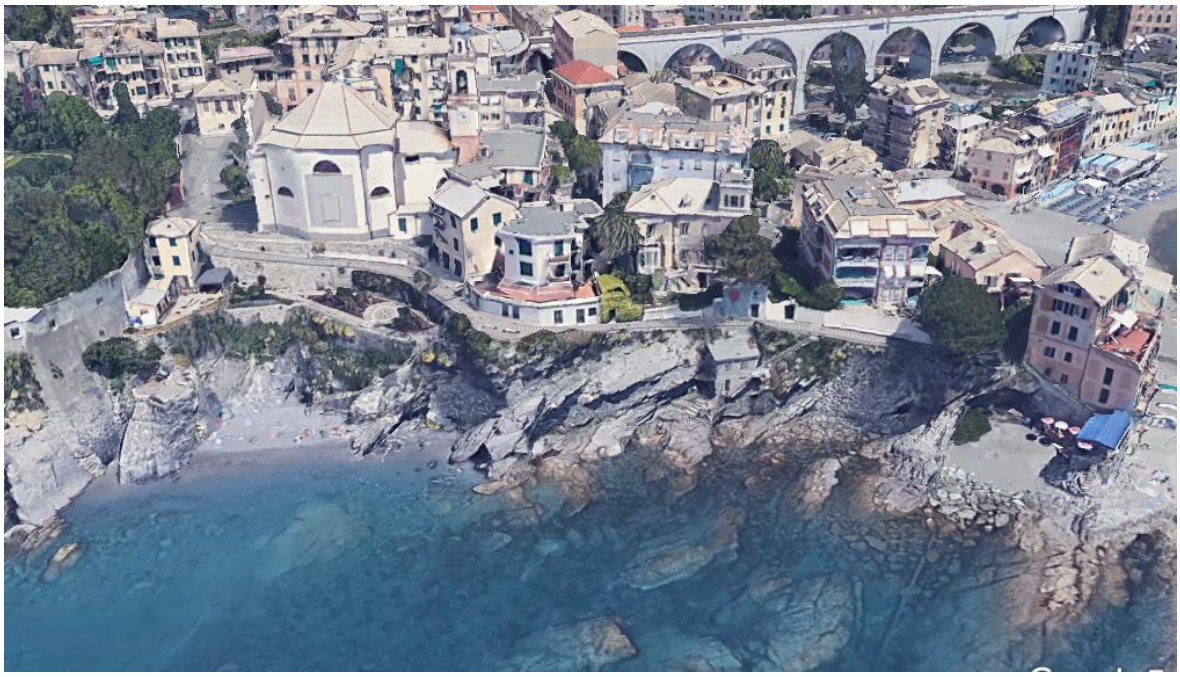


**Figura 2.2. Le spiaggia sotto la Chiesa**.

La spiaggia centrale, parzialmente protetta dalla struttura del molo Sbolgi, presenta criticità dovute alla presenza di un molo centrale che crea disequilibri e asimmetrie sulle due spiagge a ponente e levante e alla azione riflettente di opere murarie a ridosso della falesia.



**Figura 2.3 ï La spiaggia centrale dove sfocia il rio Poggio.**

Le falesie rocciose a levante della spiaggia centrale sono aggettanti in mare ed evidenziano alcuni sgrottamenti e scavernamenti al piede causati dalla azione usurante del moto ondoso.



**Figura 2.4 ï Le falesie a levante della spiaggia centrale**

Il promontorio della Fontana si avanza in mare ed è particolarmente esposto. La sua vulnerabilità particolare sta nel fatto che sono presenti abitazioni a brevissima distanza dal mare, opere murarie a protezione di terrazzi e terrapieni, la stazione di pompaggio della rete nera comunale, uno scalo di alaggio.

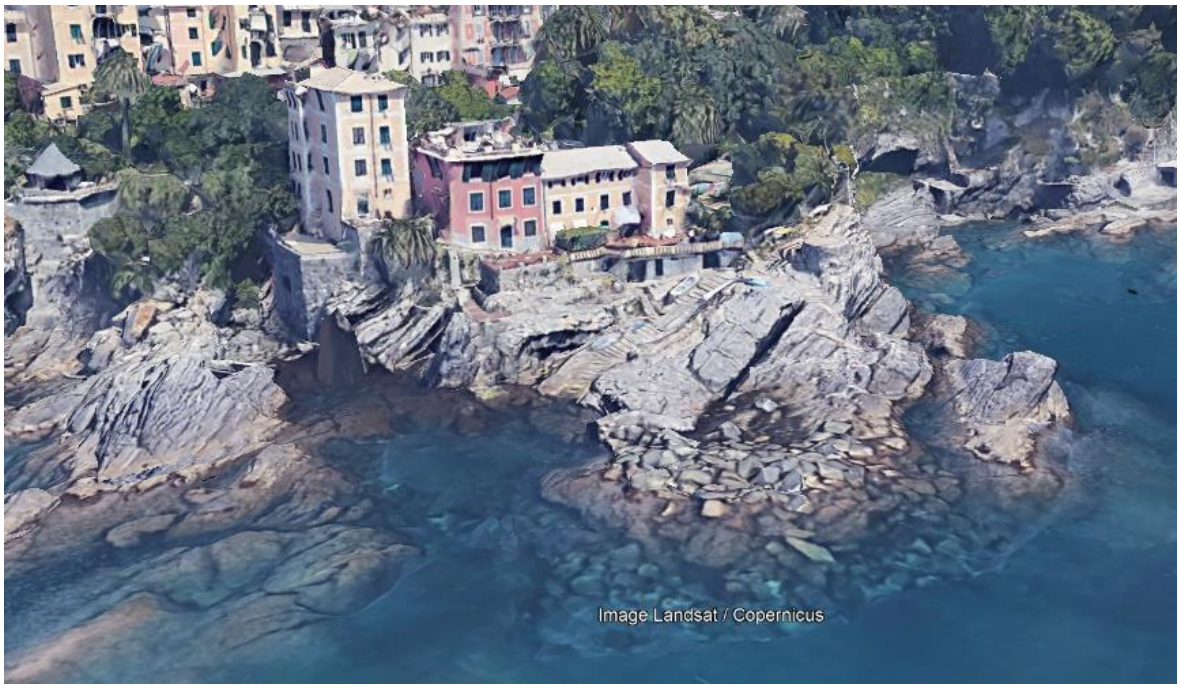



**Figura 2.5 - La scogliera della Fontana.**

La scogliera di Pontetto infine, in particolare sul lato di ponente presenta un settore fortemente aggettante, con percolazioni di acqua dallôalto.

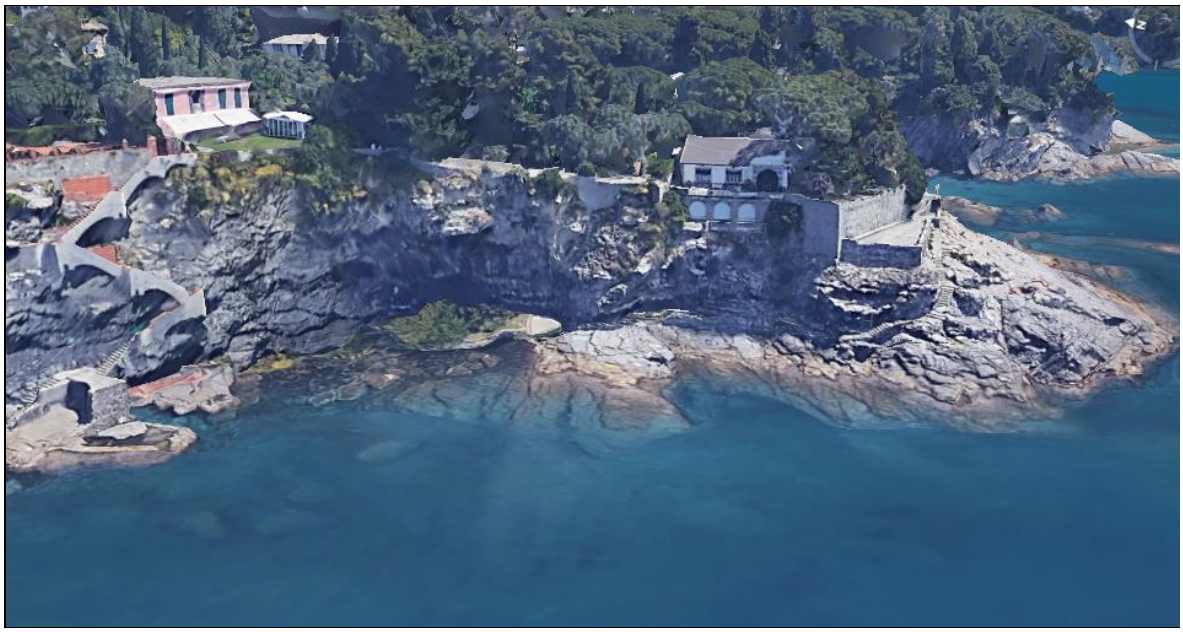


**Figura 2.6 ï La scogliera di Pontetto.**

Lôintervento quindi qui illustrato è mirato in particolar modo alla protezione dellôabitato e delle infrastrutture dallôimpatto generato dalle mareggiate anche non particolarmente intense.

# 3 INDAGINI E RILIEVI

Il litorale di Bogliasco è già stato oggetto di un attento e dettagliato progetto di riqualificazione e protezione sviluppato nel 2005-2006 nellôambito di una Convenzione tra il Comune di Bogliasco e la Regione Liguria. Tale progetto è stato portato allo stadio definitivo e approvato nel giugno 2006.

Dopo tale data il Comune, con risorse proprie, ha realizzato alcuni interventi e opere di salvaguardia per consolidare tratti di pareti rocciose ritenute instabili, ha rinforzato le opere di difesa a mare del molo Sbolgi e ha operato diversi ripascimenti stagionali della spiaggia centrale.

A seguito di un corposo finanziamento assegnato recentemente dalla Regione Liguria si sono assegnati incarichi ad un gruppo di professionisti di diverse specializzazioni (ingegneri, geologi, biologi, archeologi), per eseguire **unôanalisi della costa con individuazione delle criticità e proposte di intervento per la sua riqualificazione/protezione**.

Si è anzitutto commissionato un rilievo dello stato di fatto dellôintero litorale, soprattutto finalizzato alla rilevazione dei fondali, che erano già stati rilevati nel precedente progetto ma che potevano essere significativamente mutati dopo le mareggiate del 2018-2019 e a seguito degli interventi posti in essere nellôultimo decennio.

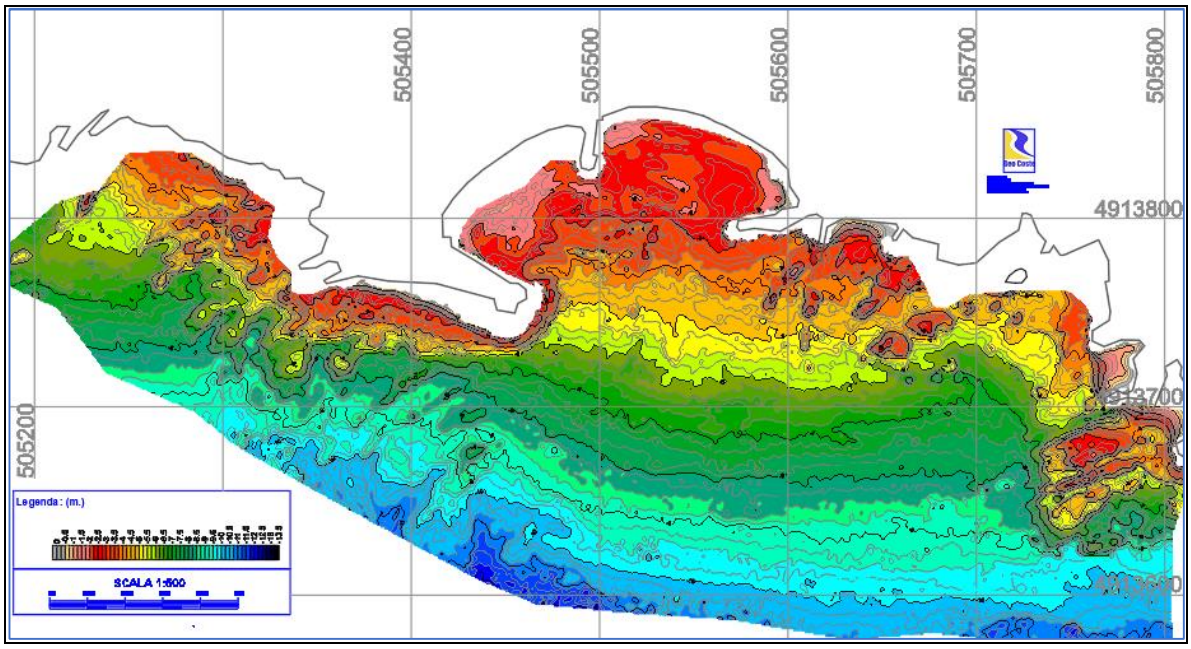



**Figura 3.1. ï Rilievi batimetrici eseguiti sul litorale di Bogliasco (Geocoste srl).**

Si è anche programmata una campagna di prelievi di campioni di sedimento, soprattutto nella parte centrale del litorale, al fine di indagare lôidrodinamica costiera e sviluppare progetti di difesa adeguati a risolvere le criticità anzidette.




**Figura 3.2. ï Prelievi di campioni di sedimento previsti.**

In aggiunta ai rilievi batimetrici sono in corso di esecuzione analisi dei fondali per verificare lo stato biologico degli organismi ivi presenti, una verifica preventivi dellôinteresse archeologico delle aree, un indagine complessiva sullôassetto geologico e geomorfologico del litorale e studi idrodinamici costieri per valutare la stabilità degli arenili e programmare eventuali interventi di difesa.

Il Comune di Bogliasco, come detto, ha commissionato incarichi a diversi professionisti per svolgere tali indagini e studi che sono in corso e che verranno presentati in un progetto unitario.

Ci si concentra in questo caso sul sito della Fontana, che come già esposto, necessita di maggiore attenzione e sul quale è necessario e urgente programmare interventi di salvaguardia dellôabitato.

# 4 OPERE PREVISTE IN LOC. FONTANA

## 4.1 FINALITÀ DELLôINTERVENTO

Lôintervento in oggetto è finalizzato alla protezione della scogliera del sito della Fontana e alla salvaguardia delle strutture e infrastrutture ivi presenti.

Le mareggiate del 2018 e 2019 hanno colpito in maniera violentissima tutto il litorale ligure a il paraggio della Fontana ha subìto forti danni. Lo scoglio detto del ñGhenò che si ergeva per più di 4 metri fuori dallôacqua alla punta della scogliera è stato divelto e spezzato in due dalla furia del mare.



**Figura 4.1. ï Lo scoglio del ñGhenò prima delle mareggiate.**

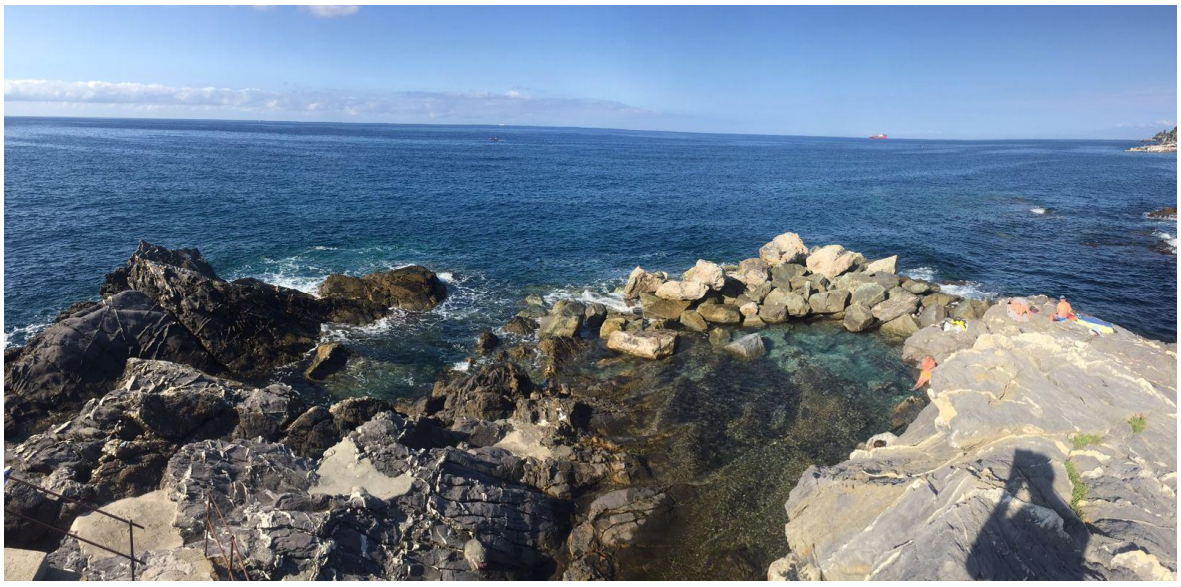


**Figura 4.2. - La punta della scogliera con lo scoglio del Ghen spezzato e il rifiorimento di massi posto in opera nellôestate del 2020.**

Occorre prevedere interventi strutturali che permettano di difendere le strutture e infrastrutture presenti sulla scogliera.

## 4.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La soluzione è stata identificata con una barriera sommersa posta a difesa della insenatura che si incunea al di sotto delle abitazioni e il rifiorimento della mantellata emersa davanti alla punta della scogliera.

La prima sarà costituita da una scogliera in massi di IV categoria del peso unitario superiore a 7 tonnellate, posti su una sezione trapezoidale con sommità a quota -1,60 metri e larghezza in testa di 8 metri; i paramenti saranno inclinati con un angolo di circa 33° (1 su 1,5), cosicchè la larghezza al fondo è prevista pari a circa 16 metri. La sommergenza dellôopera è stata studiata per permettere il passaggio dei natanti in rimessa a terra sulla scogliera (gozzi e lance); la larghezza della sommità (8 m) è tala da garantire una buona efficacia per la dissipazione del moto ondoso.

La coronella di massi posta a difesa della punta della scogliera, che lascia un piccolo bacino di calma a tergo, verrà potenziata e migliorata: i massi di minore dimensione verranno prelevati e spostati nella parte inferiore della scogliera e si procederà alla costruzione di una mantellata di protezione in massi di IV categoria.

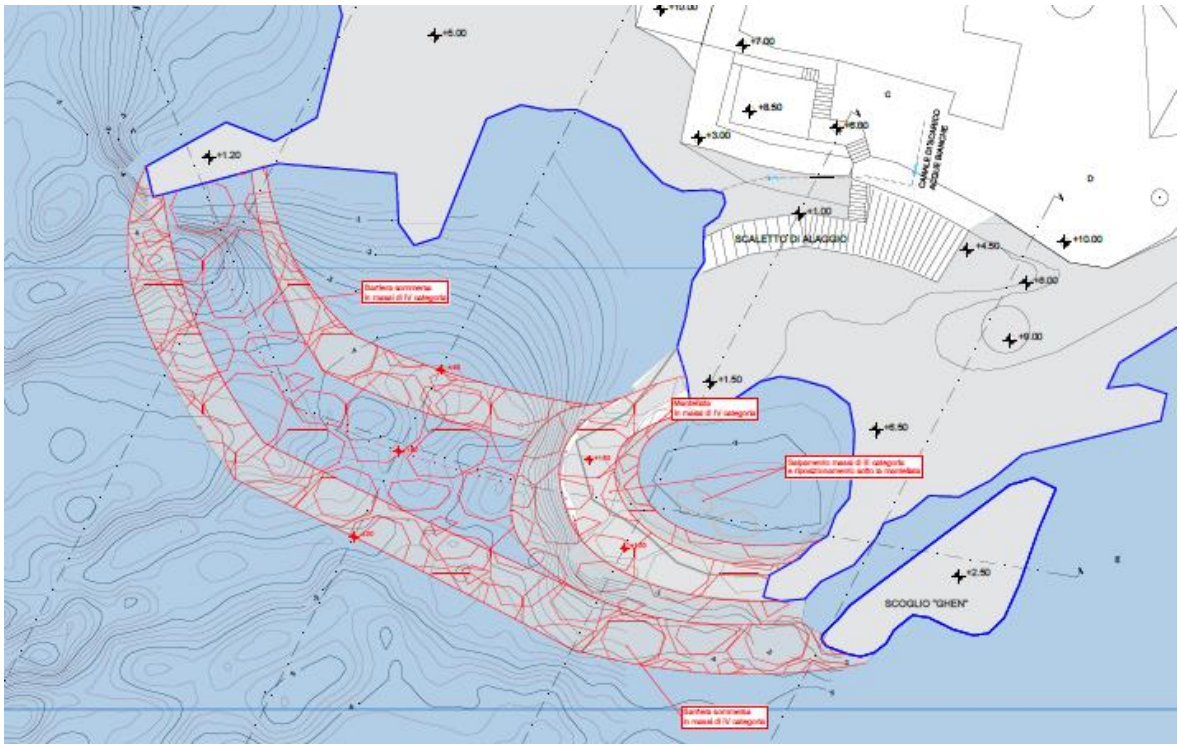



**Figura 4.3 : Planimetria degli interventi previsti in loc. Fontana**

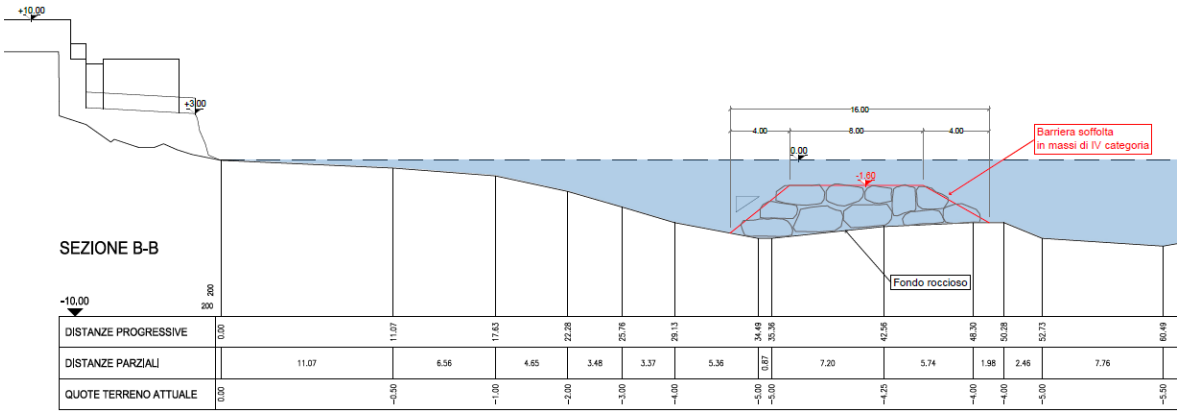



**Figura 4.4 : Sezione tipologica della barriera sommersa.**

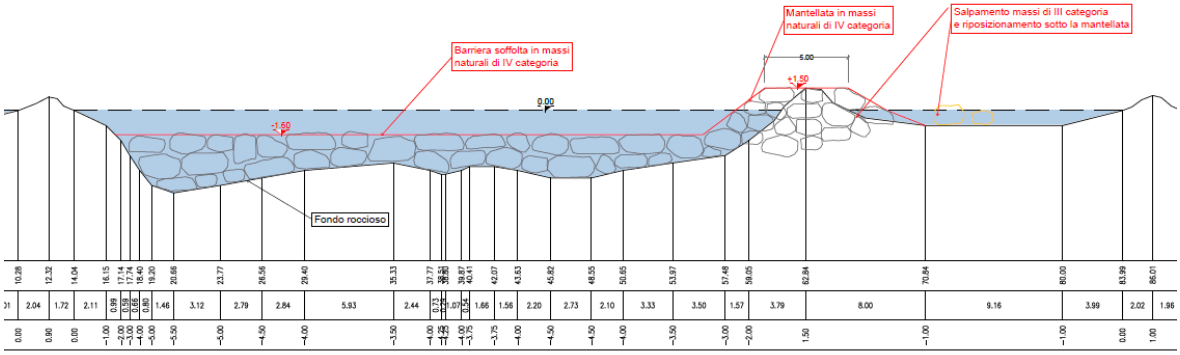



**Figura 4.5 : Sezione longitudinale in asse allôopera marittima.**

La realizzazione della barriera sommersa è prevista sulla batimetrica -4,00 m s.l.m. circa. Poiché il fondale su cui verrà realizzata la barriera è roccioso non si è ritenuto di prevedere alcuna struttura di imbasamento.

Lôintera opera verrà compiuta con lôausilio di mezzi marittimi, che preleveranno i massi da zone di accumulo e deposito temporaneo, preventivamente scelte, alle quali verranno conferiti i massi provenienti da cave: saranno aree facilmente accessibili da mezzi terrestri (autocarri) e avvicinabili da mezzi marittimi (pontoni). In via preliminare si prevede che il punto di carico più agevole sia il Porto di Genova.

I massi dovranno avere caratteristiche litologiche, cromatiche del tutto simili a quelle degli ammassi rocciosi dellôambito in cui verranno disposti. Non saranno quindi accettabili elementi lapidei di marmo o con cromatismi e caratteristiche litografiche non equiparabili alle formazioni calcaree in sito.

Lôanalisi meteomarina riportata nei successivi capitoli ha mostrato come lôopera consenta una diminuzione dellôaltezza dôonda incidente di oltre il 50% circa con una sensibile riduzione dellôenergia associata.

Ciò garantisce una significativa protezione della scogliera e soprattutto delle strutture e infrastrutture ivi presenti, con una riduzione dellôenergia delle onde incidenti e del conseguente run-up sulla scogliera.

I lavori verranno svolti con impiego di un pontone rimorchiato o motorizzato, con capacità di carico tale da trasportare un quantitativo di massi da essere movimentati nellôarco di una giornata (circa 400-500 tonnellate). Sul pontone sarà alloggiata una gru dotata di grappo o benna a polpo che preleverà i massi uno alla volta e lo poserà sul fondale.

Le operazioni saranno svolte con il supporto di un sommozzatore che, periodicamente, controllerà la corretta posa del materiale e il rispetto della sagoma di progetto.

Al fine di mitigare il disagio conseguente ai lavori e ridurre lôinquinamento allôambiente marino è bene che vengano poste panne galleggianti antinquinamento, che verranno stese tra la zona operativa di lavoro e la scogliera.

# 5 CARATTERISTICHE METEOMARINE DEL PARAGGIO

## 5.1 SETTORI DI TRAVERSIA

Il paraggio di Bogliasco ha due settori di traversia: quello di libeccio e di meridione.

Il settore di traversia principale (che conduce a valori di altezza dôonda maggiori) è quello di libeccio (195°-225° N) compreso indicativamente tra le isole Baleari e la costa occidentale della Sardegna.

Nella mappa rappresentata nella figura seguente sono tracciati i settori di traversia del paraggio.

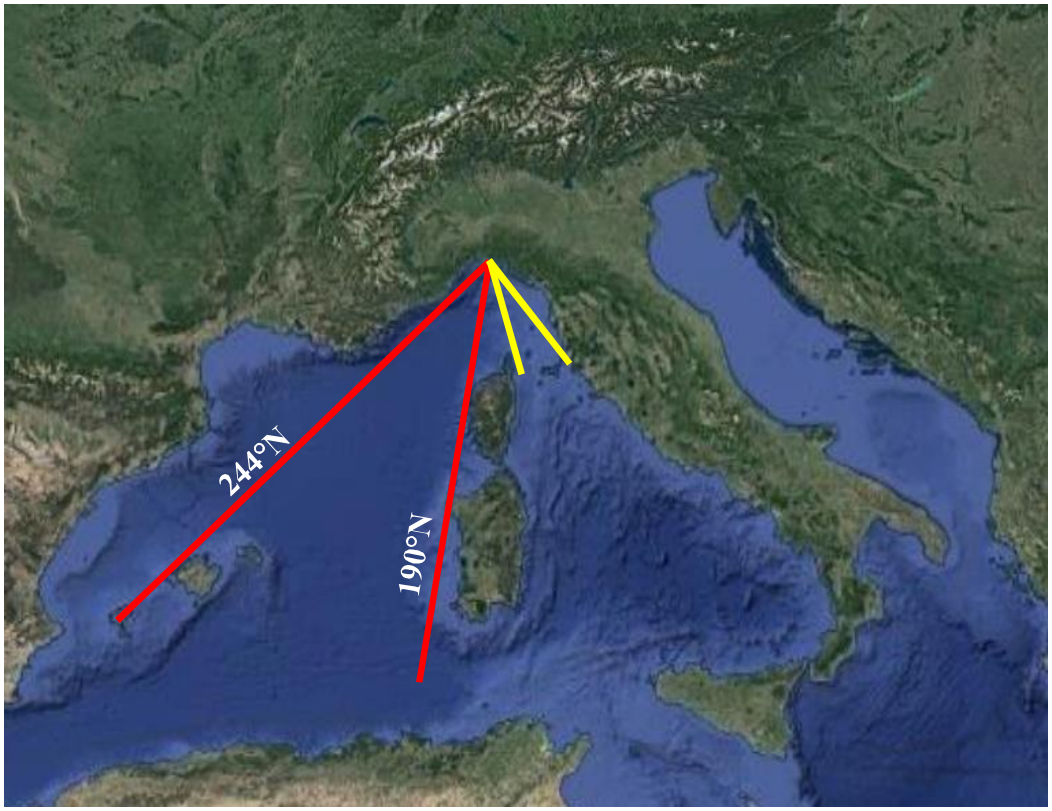



**Figura 5.1 : Settori di traversia del paraggio di Bogliasco.**

## 5.2 CARATTERISTICHE DELLE ONDE AL LARGO

La stima delle caratteristiche del moto ondoso che può incidere sullôopera in progetto deriva dal calcolo della propagazione dello stato del mare dalle alte profondità verso riva.

Per la valutazione delle grandezze caratteristiche (altezza d'onda, periodo, lunghezza d'onda) si è fatto riferimento ai dati forniti dal K.N.M.I. (Istituto della Marina Reale

Olandese), elaborati dal Prof. Boccotti (1986) i cui risultati sono riportati nella tabella seguente.

| **ZONA 2** DA PUNTA DI PORTOFINO A CAPO DI VADO<br>**Settori di provenienza: scirocco, mezzogiorno, libeccio** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| dir °N | TR (anni) | | | | | |
| | 1 | | 50 | | 100 | |
| | H (m) | Tp (s) | H (m) | Tp (s) | H (m) | Tp (s) |
| 150 | 2.5 | 7.1 | 5.4 | 10.5 | 5.8 | 10.9 |
| 180 | 3.1 | 7.9 | 6.0 | 11.0 | 6.5 | 11.5 |
| 210 | 3.4 | 8.3 | 7.8 | 12.6 | 8.5 | 13.2 |

**Tabella I: altezza e periodo di picco dellôonda al largo di Genova per diversi settori di provenienza e diversi tempi di ritorno (Boccotti).**

Per il settore di traversia che interessa il sito di intervento si fa riferimento ad un angolo di 210°, che costituisce la direzione più prossima alla media del settore di traversia principale individuato.

Mediante interpolazione logaritmica dei dati per lo stesso settore di provenienza sono stati ricavati i valori anche per i tempi di ritorno di 5,10, 20 e 75 anni.

Di seguito sono riassunti i valori risultanti per la direzione di 210°N e tempi di ritorno variabili tra 1 e 100 anni:

| T [anni] | H [m] | Tp [s] |
|---|---|---|
| 1 | 3.4 | 8.3 |
| 5 | 5.2 | 10.3 |
| 10 | 6.0 | 11.0 |
| 20 | 6.7 | 11.7 |
| 50 | 7.8 | 12.6 |
| 75 | 8.2 | 12.9 |
| 100 | 8.5 | 13.2 |

**Tabella II ï Caratteristiche delle onde al largo per la direzione di 210° N.**

### 5.3 PROPAGAZIONE DAL LARGO VERSO RIVA

Trattandosi di opera sotto costa lôonda di progetto che si assume a base dei calcoli è quella di altezza massima compatibile con la profondità dellôopera da realizzare.

La lunghezza d'onda al largo è calcolata con la relazione valida su profondità infinita:

$$L_{p0} = gT^2/2\pi$$

Lo studio del moto ondoso in corrispondenza dell'area costiera tiene conto dei fenomeni di interazione dell'onda con i fondali sui quali si propaga, in particolare degli effetti di *shoaling* e *saturazione*.

A favore di sicurezza non vengono considerati nel calcolo gli effetti di *rifrazione*, considerando un moto ondoso con attacco frontale.

La profondità del fondale antistante il paraggio in esame è limitata, per cui si utilizza un modello spettrale in cui compaiono i processi di *shoaling* e *saturazione* fino alla profondità limite.

Dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento, si utilizza un modello ad onde regolari in cui interviene soltanto il processo di *shoaling*.

*Processo di shoaling*

Secondo il modello di propagazione dal largo fino alla profondità limite l'altezza d'onda spettrale di *shoaling* ($H_{sh}$), che rappresenta la conservazione dell'energia da profondità infinita a profondità finita, si ricava da:

$$H_{sh}=K_s \cdot H_{m0}$$

dove $H_{m0}$ è l'altezza d'onda su profondità infinita e $K_s$ è il coefficiente di *shoaling* pari a:

$$K_s = \sqrt{\frac{2 \cdot \cosh^2(kh)}{2kh + senh(2kh)}}$$

con $k = 2\pi/L_p$ numero d'onda e $L_p$ lunghezza d'onda che, per profondità finita $h$, è uguale a:

$$L_p = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_p}\right)$$

*Processo di saturazione*

Il processo di *saturazione* interpreta le dissipazioni superficiali di energia conseguenti ai frangimenti parziali tipo *spilling* che si hanno nella propagazione dal largo verso riva, di conseguenza l'onda spettrale di saturazione rappresenta un valore limite, cioè l'onda di massima altezza che può esistere nello stato di mare considerato.

Assumendo la profondità limite adimensionalizzata $\sigma_{hp}$ pari a 0.6 e definita come:

$$\sigma_{hp} = \left(\frac{2\pi}{T_H}\right)\sqrt{\frac{h^*}{g}}$$

si ricava la profondità limite $h^*$.

L 'altezza spettrale di saturazione $H_{sat}$ alla profondità limite $h^*$ si ottiene dalla relazione di Resio[1]:

[1] Resio D.T. - *Shallow water waves* - Journ. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering - vol. 113 - N° 3 - 1987.

$$\frac{H_{sat}}{L_p^{0.75}} = \frac{H_{m0}}{L_{p0}^{0.75}}$$

dove $L_p$ è la lunghezza dôonda alla profondità limite, $L_{p0}$ è la lunghezza dôonda alla profondità infinita e $H_{m0}$ è lôaltezza dôonda alla profondità infinita.

*Determinazione dellôonda di progetto*

L'altezza d'onda spettrale effettiva $H_{mE}$ alla profondità limite è quindi data dalla seguente espressione:

$$H_{mE} = min \{ H_{sh}, H_{sat} \}$$

Dallôaltezza effettiva dôonda $H_{mE}$ si ricava l'altezza d'onda spettrale fittizia al largo $H_{m0}'$ che rappresenta l'altezza d'onda, la cui propagazione restituisce lôaltezza $H_{sat}$ alla profondità limite $h^*$.

L'altezza d'onda spettrale fittizia alla profondità limite $h^*$ può essere espressa come:

$$H_{m0}' = H_{m0E} / K_s^*$$

dove $K_s^*$ è il coefficiente di *shoaling* alla profondità limite pari a 1.

Il modello di propagazione dalla profondità limite fino alla profondità di frangimento tiene conto solo del processo di *shoaling* e permette di calcolare lôaltezza dôonda $H_h$ alle varie profondità $h_i$ fino al frangimento.

Il valore di $H_h$ è pari al prodotto fra lôaltezza d'onda spettrale fittizia $H_{m0}'$ e il coefficiente di *shoaling* $K_s(h_i)$ calcolato alla profondità $h_i$.

Il calcolo dellôaltezza dôonda è effettuato distinguendo tra acque basse e acque intermedie secondo le seguenti formulazioni:

acque basse d/L<0.04 $\qquad L = T \cdot \sqrt{g \cdot h}$

acque intermedie 0.04< d/L<0.5 $\qquad L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot Th\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)$

$K_s = \sqrt{\frac{2Ch^2(kh)}{2kh + Sh(2kh)}}$ $\qquad$ con k (numero dôonda)$= \frac{2 \cdot \pi}{L}$

Lôaltezza dellôonda frangente per fissate profondità h è calcolata utilizzando la formula di Mac-Cowan-Munk

$$\frac{H_f}{h} = 0.78$$

Confrontando lôaltezza dellôonda frangente $H_f$ con lôaltezza ricavata dal modello di propagazione per i soli effetti di *shoaling* $H_h$, si ottiene lôaltezza dôonda frangente e la relativa profondità allôuguaglianza dei due valori $H_f = H_h$.

## 5.4 CARATTERISTICHE DELLE ONDA AL PIEDE DELLôOPERA

Sulla base della teoria esposta ai paragrafi precedenti, a partire dai valori di onda al largo ricavati da Boccotti per la direzione di 210 °N, sono state calcolate le caratteristiche dellôonda al piede dellôopera di protezione a mare.

Il calcolo è stato effettuato per gli eventi con tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 75 e 100 anni ricavando le caratteristiche dellôonda sul fondale di -4,00 m assunto come riferimento per la base della scogliera di protezione esistente.

A favore di sicurezza non si è tenuto conto dellôeffetto di rifrazione, che tenderebbe a diminuire lôenergia e abbassare ulteriormente lôaltezza dôonda.

I risultati sono riassunti nella tabella seguente

| **Periodo di ritorno**<br><br>**T**<br>**[anni]** | **Profondità al frangimento**<br><br>**$h_f$**<br>**[m]** | **Altezza dôonda al frangimento**<br><br>**$H_f$**<br>**[m]** | **Lunghezza dôonda al frangimento**<br><br>**$L_f$**<br>**[m]** | **Altezza dôonda su fondale -4 m**<br><br>**$H_4$**<br>**[m]** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.20 | 2.50 | 45.18 | 2.39 |
| 5 | 4.80 | 3.74 | 68.46 | 3.12(*) |
| 10 | 5.50 | 4.29 | 78.58 | 3.12(*) |
| 20 | 6.25 | 4.88 | 88.91 | 3.12(*) |
| 50 | 7.20 | 5.62 | 102.73 | 3.12(*) |
| 75 | 8.00 | 6.24 | 112.96 | 3.12(*) |

(*) onda frangente

**Tabella III ï Onde al piede dellôopera in funzione del tempo di ritorno.**

Sul fondale di -4 m lôaltezza dellôonda frangente è pari a 3.12 m circa, per cui le onde con tempi di ritorno maggiori di 5 anni arrivano già fratte al piede della scogliera.

Solo lôonda annuale non frange sul fondale di -4.0 m, ma arriva ancora ñinteraò al piede dellôopera con unôaltezza di 2.5 m.

## 5.5 LIVELLO DEL MARE

Al fine di valutare correttamente lôeffetto della barriera dissipatrice sul moto ondoso incidente, si è valutato il valore dellôinnalzamento medio probabile (storm-surge) del livello del medio mare in occasione di eventi di mareggiata, somma di più fattori quali marea, pressione barometrica, moto ondoso.

La valutazione è stata effettuata a partire dai valori dellôinnalzamento registrati al mareografo del porto di Genova, la cui statistica è riportata di seguito:

Il mareografo è posto allôinterno del bacino portuale, pertanto è in grado di tenere in considerazione i seguenti contributi alla composizione del livello superficiale totale:

- contributo della marea astronomica;
- contributo della pressione atmosferica (effetto di ñbarometro inversoò);
- contributo del vento (effetto ñwind setupò, ovvero schiacciamento della massa dôacqua verso terra in concomitanza con intensi venti provenienti dal mare).

La statistica dei livelli per assegnato tempo di ritorno è stata impostata sui 40 valori più elevati registrati dal mareografo ed ha fornito i valori riportati nella tabella seguente.

| **T [anni]** | **storm-surge [m]** |
|---|---|
| 1 | 0.481 |
| 5 | 0.579 |
| 10 | 0.620 |
| 20 | 0.662 |
| 50 | 0.720 |
| 75 | 0.740 |
| 100 | 0.760 |

**Tabella V ï Effetto di innalzamento del livello di medio mare nel corso di una mareggiata.**

In base a tali valori, tenendo conto dellôindipendenza stocastica dei due fenomeni (onda e innalzamento livello medio mare), si è ricercato il valore medio probabile dellôinnalzamento che conduca alla corretta correlazione statistica tra i due fenomeni.

Tale analisi ha condotto ad assumere un valore medio dellôinnalzamento pari a 0.52 m, che è stato associato a tutti gli eventi di mareggiata per diversi tempi di ritorno.

In base a tali considerazioni sono stati quindi ricalcolati i valori dellôonda al piede dellôopera, tenendo conto del valore calcolato dellôinnalzamento del medio mare.

In questo caso il fondale su cui calcolare la relativa altezza dôonda diventa pari a -4.52 m (somma di 4.0 del fondale in condizioni normale e 0.52 m di sovralzo del medio mare).

Nella tabella seguente sono riportati i valori dellôaltezza dôonda riscalati sulla profondità di -4.52 m.

| Periodo di ritorno<br><br>T anni] | Altezza dôonda su fondale -4.52 m<br><br>$H_4$ [m] |
|---|---|
| 1 | 2.34 |
| 5 | 3.53(*) |
| 10 | 3.53(*) |
| 20 | 3.53(*) |
| 50 | 3.53(*) |
| 75 | 3.53(*) |

(*) onda frangente

**Tabella V ï Altezze dôonda al piè dôopera per vari tempi di ritorno.**

## 6 EFFETTI DI DISSIPAZIONE DELLôOPERA

La barriera sommersa con sommità a quota -1.6 m posata su un fondale di ï 4.0 m costituisce un elemento di forte dissipazione del fronte dôonda incidente, sia per la improvvisa e brusca variazione alla morfologia del fondo, sia per la sua estensione trasversale (larghezza in testa 8.0 metri e larghezza al fondo 16 metri).

A partire dallôaltezza dellôonda a monte della soffolta $H_m$, è stata modellata la trasmissione in corrispondenza dellôopera di difesa determinando lôaltezza dellôonda trasmessa a valle della stessa.

La valutazione quantitativa del fenomeno è fornita dal coefficiente di trasmissione:

$$K_t = \frac{H_{tr}}{H_{si}}$$

dove $K_t$ è il coefficiente di trasmissione, $H_{tr}$ è lôaltezza dellôonda trasmessa e $H_{si}$ è lôaltezza dellôonda incidente a monte della soffolta.

Per la determinazione di $K_t$ è stata utilizzata la recente formulazione proposta da Van der Meer (Van der Meer et al., 2005) ottenuta sulla base di studi effettuati su un numero molto elevato di dati rilevati nel corso di esperimenti su strutture a cresta bassa parzialmente sommerse o completamente sommerse.

Per le strutture permeabili, parzialmente o completamente sommerse, valgono le seguenti relazioni:

$$\begin{cases} \text{se } \frac{B}{H_{si}} < 10: K_t = -0.4\frac{R_c}{H_{si}} + 0.3\left(1 - e^{-0.5\xi_p}\right) * \xi_p * \frac{B}{H_{si}}^{-0.31} \\ \text{se } \frac{B}{H_{si}} > 10: K_t = -0.35\frac{R_c}{H_{si}} + 0.51\left(1 - e^{-0.65\xi_p}\right) * \xi_p * \frac{B}{H_{si}}^{-0.65} \\ \text{se } K_t < 0.05\ K_t = 0.05 \quad \text{se } K_t > 0.75\ K_t = -0.006\frac{B}{H_{si}} + 0.93 \end{cases}$$

dove *B* è la larghezza della testa, $R_c$ è la sommergenza della barriera, $H_{si}$ è lôaltezza dellôonda incidente a monte della soffolta, $\xi_p$ è lôindice di frangimento e *c* è un coefficiente pari a 0.64 per le strutture permeabili in massi.
Lôindice di frangimento $\xi_p$ è definito come il rapporto adimensionale tra la pendenza della struttura e la ripidità dellôonda:

$$\xi_p = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{2\pi\frac{H_{si}}{gT_{si}^2}}}$$

dove Ŭ è lôinclinazione del paramento della struttura, $H_{si}$ è lôaltezza dellôonda incidente a monte della soffolta, $L_{si}$ è la lunghezza dellôonda incidente a monte della soffolta.

| Tempo di ritorno | anni | 1 | 5 | 10 | 20 | 50 | 75 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pofondità fondale monte soffolta | m | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| innalzamento mare (storm surge) | m | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| altezza onda monte soffolta | m | 2.39 | 3.53 | 3.53 | 3.53 | 3.53 | 3.53 |
| lunghezza d'onda monte soffolta | m | 50.00 | 68.46 | 78.58 | 88.91 | 102.73 | 112.96 |
| celerità monte soffolta | m/s | 6.01 | 6.65 | 7.13 | 7.59 | 8.15 | 8.76 |
| sommergenza | m | -1.60 | -1.60 | -1.60 | -1.60 | -1.60 | -1.60 |
| Sommergenza + storm surge | m | -2.12 | -2.12 | -2.12 | -2.12 | -2.12 | -2.12 |
| larghezza testa soffolta | m | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 |
| ripidità onda piè opera | - | 0.048 | 0.051 | 0.045 | 0.040 | 0.034 | 0.031 |
| coefficiente di trasmissione | - | 0.555 | 0.461 | 0.472 | 0.482 | 0.495 | 0.503 |
| altezza onda trasmessa | m | 1.33 | 1.62 | 1.66 | 1.70 | 1.74 | 1.77 |

**Tabella VI ï Effetto dissipativo della barriera sommersa.**

Risulta quindi che per quasi tutte le ondazioni lôabbattimento della altezza dôonda è di circa il 50%; poiché lôenergia è proporzionale al quadrato dellôaltezza dôonda, ciò significa una riduzione dellôenergia incidente del 75 % circa.

# 7 DIMENSIONAMENTO DEI MASSI DELLA BARRIERA FRANGIFLUTTI

## 7.1 ONDA DI PROGETTO

Il calcolo dellôonda di progetto utilizzata per il dimensionamento della scogliera sommersa ed emersa è stato eseguito secondo i criteri indicati nelle ñIstruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittimeò, approvate dallôAssemblea Generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con voto del 23 settembre 1994 n. 156.

In particolare si è assunta come durata minima di vita *Tv* per lôopera a progetto, quella corrispondente ad unôopera strategica quale una struttura a difesa di un impianto di depurazione con livello di sicurezza pari a 1, ossia 50 anni.

Come massima probabilità di danneggiamento dellôopera *Pf* è stata assunta quella corrispondente al danneggiamento incipiente come consigliato per le strutture flessibili (le opere in esame non sono soggette a collasso strutturale immediato) con limitato rischio per la vita umana e ripercussione economica bassa (il rapporto tra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti per la perdita di funzionalità delle opere protette e il costo totale per la realizzazione dellôopera è minore di 5), ossia *Pf* = 0.50.

| Danneggiamento incipiente | | |
|---|---|---|
| Ripercussione economica | Limitato | Elevato |
| Bassa | 0.50 | 0.30 |
| Media | 0.30 | 0.20 |
| Alta | 0.25 | 0.15 |

**Tabella VII**

La combinazione del tempo di vita dellôopera *Tv* e della probabilità di danneggiamento *Pf* determina il tempo di ritorno dellôevento di $T_{rp}$:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{-\ln(1-P_f)} = 72 \text{ anni}$$

Ai fini dei calcoli è stato quindi assunto, cautelativamente, un tempo di ritorno dellôonda di progetto pari a 75 anni.

## 7.2 CALCOLO DEI MASSI

Si riporta di seguito il calcolo di dimensionamento preliminare dei massi della scogliera.

Lôespressione più largamente utilizzata per determinare il peso degli elementi della mantellata è quella di **Hudson**, ricavata in base ad un grande numero di risultati sperimentali.

$$W = \frac{\gamma_r * H^3}{K_D * \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot\alpha}$$

dove:

- H = onda di progetto (assunta nel caso in esame pari a quella 50-ennale)
- Ŭ= angolo che la scarpata forma con lôorizzontale (cotg Ŭ= scarpa della mantellata)
- ɔm = peso specifico dei massi costituenti la mantellata (2,60 t/m$^3$)
- ɔa = peso specifico dellôacqua di mare (1,03 t/m$^3$)
- $K_D$ = coefficiente che sintetizza le caratteristiche relative a forma, angolo di attrito interno e indice dei vuoti degli elementi che costituiscono la mantellata

Il coefficiente $K_d$ è tabellato nello Shore Protection Manual e in numerose pubblicazioni in letteratura in funzione della tipologia di elemento e della percentuale di danneggiamento:

| **Tipo di elemento** | | **Percentuale di danneggiamento (D)** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0÷5 | 5÷10 | 10÷15 | 15÷20 | 20÷30 | 30÷40 | 40÷50 |
| Massi naturali (a spigoli arrotondati) | $H/H_{D=0}$ | 1.00 | 1.08 | 1.14 | 1.2 | 1.29 | 1.41 | 1.54 |
| | $K_D$ | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.1 | 5.1 | 6.7 | 8.7 |
| Massi naturali (a spigoli vivi) | $H/H_{D=0}$ | 1.00 | 1.08 | 1.19 | 1.27 | 1.37 | 1.47 | 1.57 |
| | $K_D$ | **4.0** | 4.9 | 6.6 | 8.0 | 10.0 | 12.4 | 15.0 |
| Tetrapodi e quadripodi | $H/H_{D=0}$ | 1.00 | 1.09 | 1.17 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.50 |
| | $K_D$ | 8.3 | 10.8 | 13.4 | 15.9 | 19.2 | 23.4 | 27.8 |
| Tribar | $H/H_{D=0}$ | 1.00 | 1.11 | 1.25 | 1.36 | 1.5 | 1.59 | 1.64 |
| | $K_D$ | 10.4 | 14.2 | 19.4 | 26.2 | 35.2 | 41.8 | 45.9 |

**Tabella IX ï Percentuale di danneggiamento della mantellata di scogli naturali**

Considerando un ñdanneggiamento nulloò, corrispondente ad una situazione di perdita molto limitata e facilmente riparabile degli elementi (1÷2 %), ed una scogliera realizzata in massi naturali ($K_D$=4), si ottiene che il peso dei massi naturali da utilizzare per la mantellata è pari a circa 11 t:

| ɔm [t/m$^3$] | ɔa [t/m$^3$] | $H_{1/10}$ [m] | Ŭ [°] | $K_D$ [-] | P [t] | D [m] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.60 | 1.03 | 3.53 | 33.70 | 4.00 | 11.00 | 2.00 |

**Tabella X**

Detto P il peso medio risultante, il peso minimo e quello massimo devono essere pari a 0.75 P e 1.25 P:

Pmin = 8.25 t Pmax = 13.75 t.

con la raccomandazione che almeno il 50% in peso di materiale abbia un peso superiore a P.