COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE

PROVINCIA DI IMPERIA

REALIZZAZIONE OPERE DI DIFESA DELLA PASSEGGIATA SCOPERTA DALLE DIGHE, DANNEGGIATA DALLA MAREGGIATA DEL 29-30 OTTOBRE 2018

Studio Tecnico Associato FERRI – GAZZANO

INGEGNERIA & ARCHITETTURA

PROGETTISTA: Ing. Guido Ferri

Progetto definitivo

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

TAVOLA

Scala: Varie

Data : Agosto 2020

File:

Studio Tecnico Associato
FERRI - GAZZANO
INGEGNERIA & ARCHITETTURA
sede legale:
Via Dante 15/a
18017 Civezza (IM)
tel. e fax 0183/92673
P.IVA 01217670080

COMMITTENTE:
Comune di:
Santo Stefano al Mare

1 PREMESSA

In seguito agli eventi estremi del 2018 e 2019 verificatesi sulla costa ligure, la costa di Santo Stefano al Mare ha subito consistenti danni sia alle scogliere realizzate a protezione dell'abitato, sia al muro di contenimento della passeggiata. Con finanziamenti della protezione civile sono già iniziati i lavori di ripristino delle scogliere e di sistemazione del muro.
Con ulteriore finanziamento finalizzato all'aumento del livello di resilienza si è deciso di intervenire per aumentare la difesa della passeggiata nel tratto scoperto dalle dighe, ovvero la zona prospiciente lungomare Cap G. D'albertis.
Una parte del muro (quella più a Ponente) è già stata protetta mediante la realizzazione di scogliere aderenti; la zona di intervento è quella immediatamente a Ponente del porto turistico di Marina degli Aregai.
Si è scelta la realizzazione di una difesa di tipo morbido mediante la razionalizzazione delle opere fisse esistenti e la realizzazione di un ripascimento artificiale con ghiaia . Con il ripascimento artificiale si cerca di governare l'energia del moto ondoso spostando verso il largo la linea dei frangenti evitando al contempo la costruzione di quelle opere che, oltre ad essere paesaggisticamente dannose, provocano alte concentrazioni locali di dissipazione di energia, interferendo con la dinamica litoranea.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il tratto costa interessato dai lavori, si presenta pressoché rettilineo, ed è compreso tra i 43°50', - 43°50'30'' di latitudine Nord egli 7°53'30'' e 7°54'30'' di longitudine Est con orientamento di 105 °N.

3 SETTORE DI TRAVERSIA GEOGRAFICO.

Il settore di traversia del paraggio in esame è compreso tra 65°N (Capo Berta) e 235°N (Cap Camarat) con una apertura di circa 170° ed è interessato dai mari provenienti dal I°, II° e III° quadrante.
Il settore è stato suddiviso in sei settori parziali a seconda della direzione di provenienza del moto ondoso, Settore di Libeccio e settore di Levante di ampiezza 40° e i settori di Scirocco e Mezzogiorno di ampiezza 30°:

Moto ondoso da:	**Compreso tra:**	**Fetch[1] (Km)**
Libeccio	235°N – 195°N	863
Mezzogiorno	195°N – 165°N	557
Scirocco settore Corso	165°N – 135°N	162
Scirocco settore Toscano	135°N – 105°N	234
Levante	105°N – 65°N	181

Il settore di Libeccio è quello da cui provengono le ondazioni di maggiore entità, traversia principale .
Vedasi cartina allegata alla pagina successiva.

[1] Si definisce Fetch la distanza di mare libero nella direzione di provenienza del moto ondoso.

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Clima di moto ondoso al largo (Dati K.N.M.I. 1961 - 1980)

Frequenza (%) per classe d'altezza d'onda e per direzione di provenienza

Hs (m)	Non definito	15° 45°	45° 75°	75° 105°	105° 135°	135° 165°	165° 195°	195° 225°	225° 255°	255° 285°	285° 315°	315° 345°	345° 15°	Tutte le direzioni
0,00 - 0,25	13.90	1.10	1.10	1.20	0.61	0.70	0.72	1.10	1.30	1.20	0.57	0.83	0.92	25.25
0,25 - 0,75	1.30	2.50	2.30	2.30	1.70	2.10	2.10	2.90	4.40	2.70	1.10	1.40	2.20	29.00
0,75 - 1,25	0.27	1.50	1.50	1.20	0.97	1.70	1.50	2.90	3.80	1.90	0.60	0.93	1.50	20.27
1,25 - 1,75	0.15	0.91	1.10	0.95	0.31	0.43	0.59	1.70	3.10	1.40	0.33	0.37	0.68	12.02
1,75 - 2,25	0.05	0.63	0.52	0.24	0.19	0.21	0.39	0.96	2.00	1.10	0.19	0.27	0.38	7.13
2,25 - 2,75	0.02	0.26	0.28	0.08	0.06	0.11	0.05	0.27	1.00	0.48	0.11	0.11	0.14	2.97
2,75 - 3,25	0.01	0.25	0.14	0.06	0.03	0.05	0.04	0.15	0.53	0.37	0.08	0.03	0.10	1.84
3,25 - 3,75	0.01	0.08	0.05	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.17	0.14	0.01	0.01	0.03	0.62
3,75 - 4,25	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.08	0.23	0.18	0.02	0,'03	0.03	0.62
4,25 - 4,75	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.06	0.01	0.00	0.01	0.19
4,75 - 5,25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07
5,25 - 5,75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06
5,75 - 6,25	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.13
6,25 - 6,75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Totale	15.71	7.30	7.05	6.04	3.92	5.32	5.44	10.15	16.66	9.60	3.03	3.96	6.00	100.18

Valori in percentuale del tempo

TAB. 1

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Schematizzazione del moto ondoso al largo secondo dati K.N.M.I.

classi (m)	*Caratteristiche medie* H (m)	T (s)	L (m)	*Frequenza in percentuale del tempo dei settori interessati* 65-105	105-135	135-165	165-195	195-235
0,00 - 0,25	0.13	1.5	3.55	1.38	0.61	0.70	0.72	1.53
0,25 - 0,75	0.50	3.0	14.19	2.68	1.70	2.10	2.10	4.37
0,75 - 1,25	1.00	4.3	28.37	1.45	0.97	1.70	1.50	4.17
1,25 - 1,75	1.50	5.2	42.56	1.13	0.31	0.43	0.59	2.73
1,75 - 2,25	2.00	6.0	56.75	0.33	0.19	0.21	0.39	1.63
2,25 - 2,75	2.50	6.7	70.93	0.13	0.06	0.11	0.05	0.60
2,75 - 3,25	3.00	7.4	85.12	0.08	0.03	0.05	0.04	0.33
3,25 - 3,75	3.50	8.0	99.30	0.02	0.02	0.01	0.03	0.11
3,75 - 4,25	4.00	8.5	113.49	0.003	-	0.01	0.01	0.16
4,25 - 4,75	4.50	9.0	127.68	0.003	-	-	0.01	0.02
4,75 - 5,25	5.00	9.5	141.86	-	-	-	-	0.01
5,25 - 5,75	5.50	10.0	156.05	0.002	0.03	-	-	0.01
5,75 - 6,25	6.00	10.4	170.24	0.002	-	-	-	0.03
6,25 - 6,75	6.50	10.9	184.42	-	-	-	-	0.01
Totale				7.22	3.92	5.32	5.44	15.70

TAB.2

65° N CAPO BERTA

105°N

135°N

165°N

195°N

235° N CAP CAMARAT

LEVANTE

SETTORE TOSCANO

SCIROCCO

SETTORE CORSO

SCIROCCO

LIBECCIO

MEZZOGIORNO

BACINO CORSO LIGURE

MARE LIGURE
LIGURIAN SEA

GOLFO DI GENOVA

GOLFO DI VENEZIA

CORSE

ROMA

Pericolo sottomarino

0° 25'W 1995(8° E)

0° 48'E 1995(7° E)

SCALA 1:2.250.000

4 CLIMA METEOMARINO

Per caratterizzare il clima meteomarino, ovvero la definizione in termini di frequenza annuali delle altezze d'onda associate ad ogni direzione del settore di traversia si devono elaborare statisticamente, se disponibili, le registrazioni degli stati di mare effettuate mediante boa ondametrica, se presente nella zona,oppure determinare le onde a partire dal regime di vento che caratterizza la zona in esame.

4.1 Venti

Per il sito in esame si hanno a disposizione i dati delle "stazioni" di misura poste sul faro di "Capo Mele" (22 anni di osservazioni) e di Bordighera (16 anni di osservazioni).

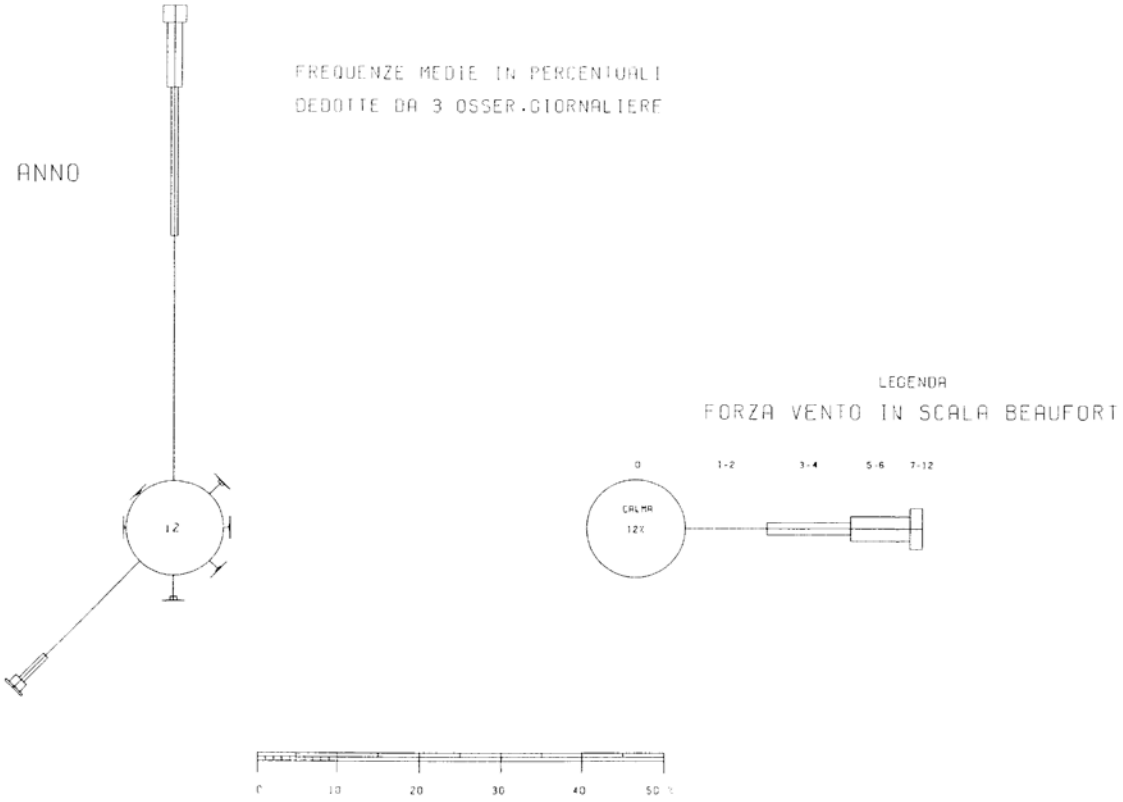
- Capo Mele

Osservando il grafico polare rappresentativo delle frequenze medio annue ci rendiamo subito conto che tali dati non sono attendibili per una ricostruzione indiretta del moto ondoso mediante modelli matematici; pare molto strana infatti, la bassissima frequenza associata ai venti di Grecale e di Levante.
Probabilmente nella zona di installazione della "stazione" di misura i venti risentono della conformazione della costa, in quel tratto molto frastagliata, oltre al fatto di trovarci ad una quota superiore rispetto al livello del mare.

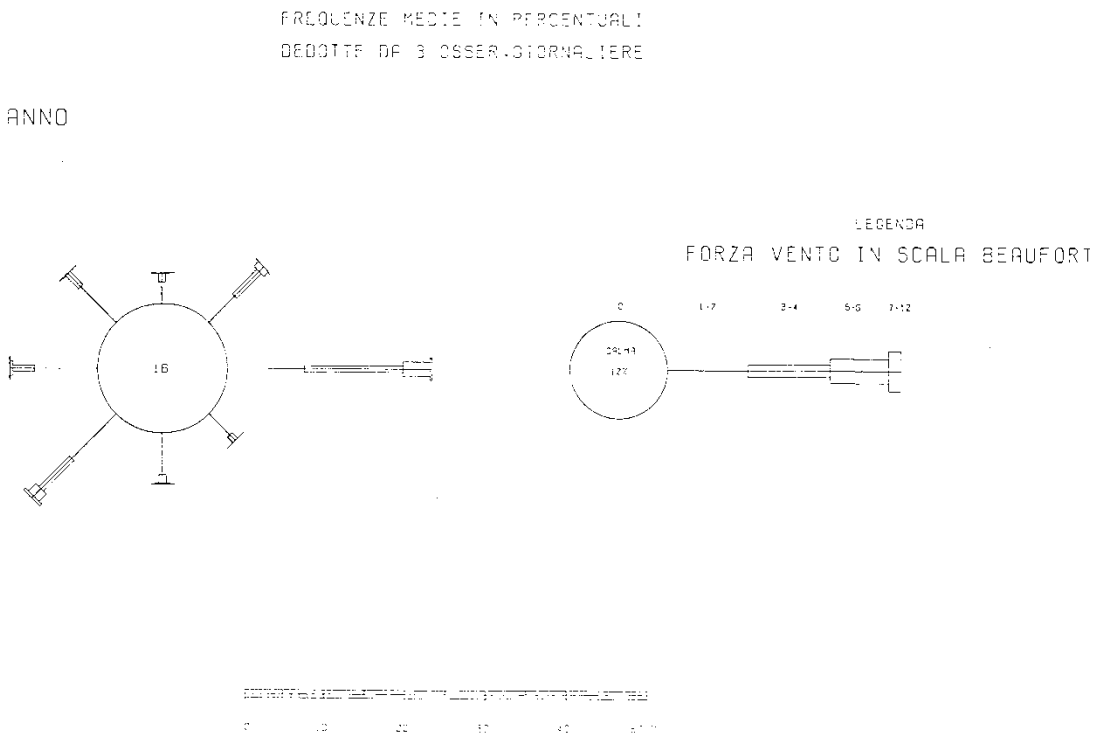
-Bordighera

I dati forniti dalla "stazione di misura di Bordighera sembrano a prima vista più veritieri, ma il campione è limitato a soli 16 anni di osservazioni e dunque non è abbastanza rappresentativo del fenomeno.

I dati di vento a disposizione, quindi, non sono sufficienti come dati di ingresso in un modello di Hindcasting per determinare le caratteristiche del moto ondoso generato dal vento ma danno esclusivamente una indicazione qualitativa del fenomeno.



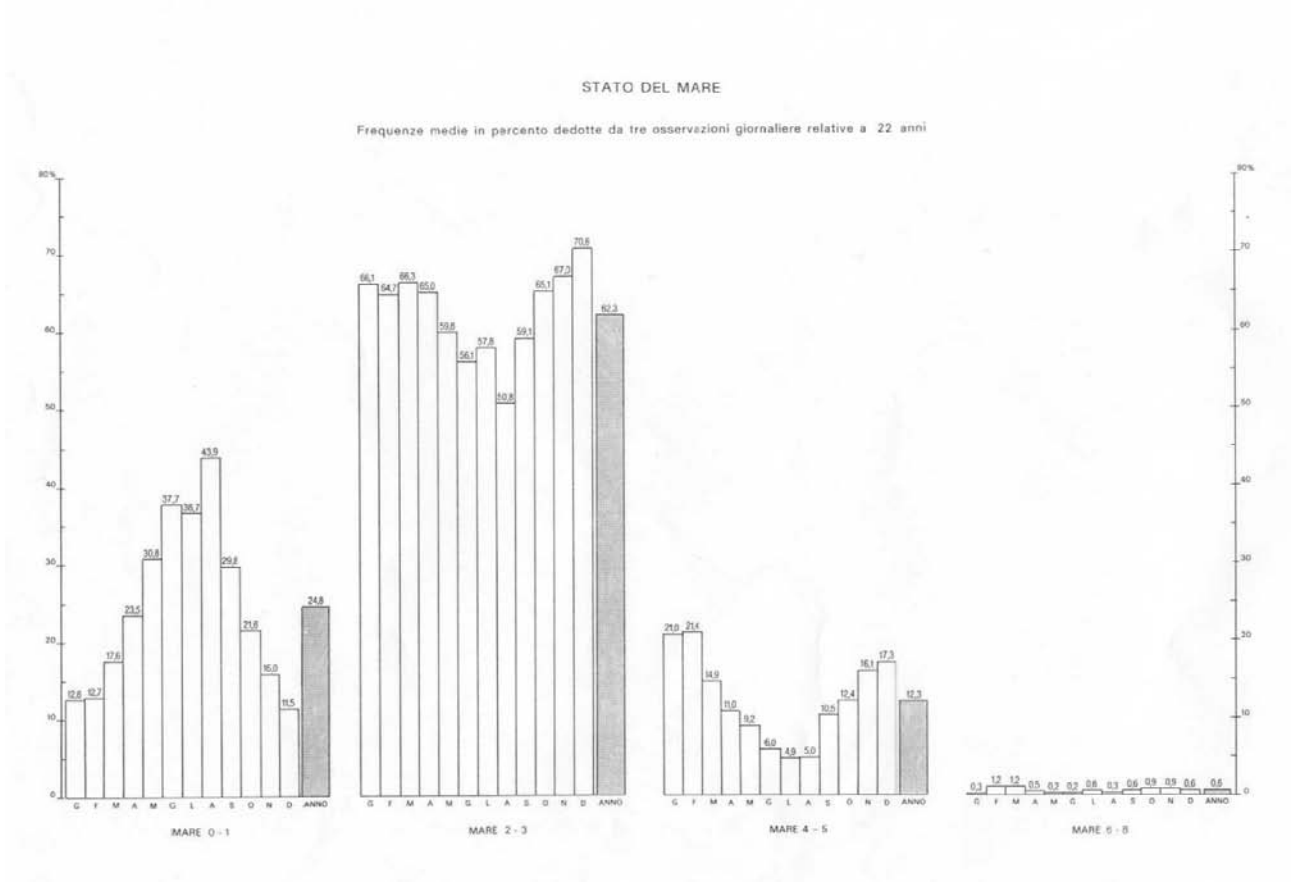
Faro di Capo Mele (22 anni di osservazioni) Diagramma Polare



Faro di Bordighera (16 anni di osservazioni) Diagramma Polare

4.2 Moto ondoso

Le prime indicazioni di carattere generale sono state ricavate da osservazione eseguite presso la “stazione” di Capo Mele, da cui risulta una maggiore frequenza, pari al 62,3% per stati di mare con forza 2-3 (H_s = 0,1 – 1,25 m). Gli eventi estremi classificati come mare forza 6-8 (H_s > 4m) sono molto rari, concentrati nel periodo invernale e provenienti dal settore di traversia compreso tra Libeccio e Mezzogiorno (vedasi grafico successivo).



Una registrazione più dettagliata degli stati di mare al largo del sito in esame è stata effettuata dal KNMI (Reale Istituto Meteorologico Olandese) sulla base delle osservazioni trasmesse dalle navi in transito.
La zona nella quale sono stati rilevati i dati si trova tra i 43° - 45° di latitudine Nord e tra gli 8° - 10° di longitudine Est.
I dati utilizzati si riferiscono al periodo 1961 – 1980 e sono suddivisi in settori di provenienza di 30° e per classi di altezza d’onda di ampiezza 0,5 metri.
Nella tabella 1 sono sintetizzate le informazioni disponibili assegnando, per ogni classe e per ogni settore di provenienza, la relativa frequenza in percentuale del tempo.
Evidentemente tali dati sono soggetti agli errori dovuti alle stime visuali e dunque soggettive, oltre al pericolo che lo stesso evento può essere conteggiato più volte da navi diverse e che, durante le mareggiate più gravose, solitamente, le navi non escono in mare aperto.

Nella zona in esame non sono presenti boe ondametriche, la più vicina si trova a La Spezia, per cui non sono disponibili dati di misura più precisi oltre a quelli già citati; la serie di misurazioni

effettuate può essere solamente utilizzata per determinare l'altezza d'onda significativa associata alla traversia a cui competono le ondazioni maggiori, nel nostro caso Libeccio.

4.2.1 Schematizzazione del moto ondoso al largo

In mancanza di dati più precisi, come precisato nei paragrafi precedenti, si è scelto di utilizzare i dati del KNMI ben consci dei limiti di tali misurazioni.
Per prima cosa occorre calcolare per ogni classe di altezza d'onda il periodo e la lunghezza d'onda associata.
E' stato verificato che per le zone di mare delimitate, come il Mediterraneo, è valida la

$$T = \frac{8{,}5 \cdot \pi \cdot \sqrt{H}}{\sqrt{4g}}$$

relazione teorica secondo lo spettro Jonswap :

dove: T = Periodo
H = altezza d'onda
g = accelerazione di gravità

mediante la quale è possibile ricavare il periodo associato ad una altezza d'onda. Utilizzando poi la relazione di dispersione per le condizioni di largo (h/L > 0,5):

$$L = L_o = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

dove: $L = L_o$ = lunghezza d'onda al largo
T = periodo
g = accelerazione di gravità

si ricava il valore della lunghezza d'onda.

Nella tabella 2 sono evidenziati i risultati dei calcoli descritti che rappresentano la base per lo studio in esame.
Si osservi che la direzione di Libeccio non è solo quella da cui provengono le mareggiate di maggiore intensità, ma anche la direzione alla quale è associata la maggiore frequenza.
Per studiare l'andamento della deriva litoranea non occorre conoscere, assegnato un determinato tempo di ritorno[2], la massima altezza d'onda prevedibile e la sua direzione di provenienza, bensì è necessario determinare il settore per cui le ondazioni forniscono flusso di energia massimo.
Si definisce flusso di energia per unità di lunghezza di cresta d'onda il prodotto:

Dove:

$$P = E \cdot C_g \qquad E = \frac{1}{8}\gamma H^2 = energia\ specifica\ dell'onda$$

$$C_g = \frac{gT^2}{4\pi} = celerità\ di\ gruppo = velocità\ con\ cui\ si\ propaga\ l'energia$$

[2] Si definisce tempo di ritorno del massimo valore x il numero di anni in cui, mediamente, l'evento x è superato una sola volta

γ = peso specifico acqua di mare

Noto il flusso di energia associata ad ogni settore di traversia, moltiplicandolo per la relativa frequenza, otteniamo il flusso medio annuo per quella determinata provenienza.

Per ultimare la schematizzazione del moto ondoso al largo si ricerca, per ciascuna provenienza, l'onda energeticamente equivalente cioè l'altezza d'onda che abbinata alla frequenza complessiva della specifica traversia dà origine ad un flusso energetico e, quindi, ad una potenzialità di trasporto equivalente a quello che si otterrebbe considerando le diverse classi di

$$\sum_i P_i f_i = \sum_i P_i \sum f_i$$

altezza. Occorre imporre, per ogni direzione di provenienza la seguente uguaglianza:

dove:

P_i = flusso di energia della classe i-esima
f_i = frequenza temporale della classe i-esima

Risolvibile per successive approssimazioni usando le relazione viste prima, nelle tabelle *3,4,5,6* ,7,8, sono evidenziati i risultati dei calcoli sopra descritti.

Facendo l'ipotesi di assumere come direzione media di provenienza di ogni settore , quella centrale e sommando vettorialmente il flusso medio annuo risulta che la direzione netta del flusso al largo è da 196°N (vedi tabella), direzione ortogonale alla linea di riva.

Da tutto ciò si evince che il trasporto solido netto potenziale si ha da Ponente verso Levante, come generalmente accade in tutta la Liguria di Ponente.

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 65-105

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	1.383	0.01
0.50	14.2	3.01	2.683	0.09
1.00	28.4	4.26	1.450	0.14
1.50	42.6	5.22	1.133	0.20
2.00	56.7	6.03	0.327	0.09
2.50	70.9	6.74	0.127	0.05
3.00	85.1	7.38	0.083	0.04
3.50	99.3	7.98	0.018	0.01
4.00	113.5	8.53	0.003	0.00
4.50	127.7	9.04	0.003	0.00
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	0.002	0.00
6.00	170.2	10.44	0.002	0.00
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	7.22	0.63

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	0.21
L (m)	6.02
T (s)	1.96

TAB. 3

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 105-135

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	0.610	0.01
0.50	14.2	3.01	1.700	1.27
1.00	28.4	4.26	0.970	4.10
1.50	42.6	5.22	0.310	3.61
2.00	56.7	6.03	0.190	4.54
2.50	70.9	6.74	0.060	2.50
3.00	85.1	7.38	0.030	1.97
3.50	99.3	7.98	0.020	1.94
4.00	113.5	8.53	-	-
4.50	127.7	9.04	-	-
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	0.030	8.99
6.00	170.2	10.44	-	-
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	3.92	19.94

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.08
L (m)	30.57
T (s)	4.42

TAB. 4

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 135-165

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.59	1.5	0.700	0.02
0.50	14.35	3.0	2.100	1.58
1.00	28.71	4.3	1.700	7.22
1.50	43.06	5.3	0.430	5.03
2.00	57.41	6.1	0.210	5.05
2.50	71.77	6.8	0.110	4.62
3.00	86.12	7.4	0.050	3.31
3.50	100.48	8.0	0.010	0.97
4.00	114.83	8.6	0.010	1.36
4.50	129.18	9.1	-	-
5.00	143.54	9.6	-	-
5.50	157.89	10.1	-	-
6.00	172.24	10.5	-	-
6.50	186.60	10.9	-	-
		Totale	5.32	29.15

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.11
L (m)	31.49
T (s)	4.49

TAB. 5

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 165-195

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	0.72	0.02
0.50	14.2	3.01	2.10	1.57
1.00	28.4	4.26	1.50	6.33
1.50	42.6	5.22	0.59	6.86
2.00	56.7	6.03	0.39	9.31
2.50	70.9	6.74	0.05	2.09
3.00	85.1	7.38	0.04	2.63
3.50	99.3	7.98	0.03	2.90
4.00	113.5	8.53	0.01	1.35
4.50	127.7	9.04	0.01	1.81
5.00	141.9	9.53	-	-
5.50	156.0	10.00	-	-
6.00	170.2	10.44	-	-
6.50	184.4	10.87	-	-
		Totale	5.44	34.88

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.18
L (m)	33.53
T (s)	4.63

TAB. 6

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

Ondazione da 195-235

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	1.53	0.04
0.50	14.2	3.01	4.37	3.26
1.00	28.4	4.26	4.17	17.59
1.50	42.6	5.22	2.73	31.80
2.00	56.7	6.03	1.63	38.85
2.50	70.9	6.74	0.60	25.17
3.00	85.1	7.38	0.33	21.50
3.50	99.3	7.98	0.11	10.32
4.00	113.5	8.53	0.16	21.17
4.50	127.7	9.04	0.02	3.63
5.00	141.9	9.53	0.01	3.15
5.50	156.0	10.00	0.01	3.00
6.00	170.2	10.44	0.03	11.17
6.50	184.4	10.87	0.01	4.55
		Totale	15.70	173.33

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.47
L (m)	41.67
T (s)	5.17

TAB. 7

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Calcolo flusso medio e dell'onda energeticamente equivalente

tutte le direzioni

H (m)	L (m)	T (s)	Frequenza % del tempo	Flusso (Kg/s)
0.13	3.5	1.51	4.95	0.12
0.50	14.2	3.01	12.95	9.67
1.00	28.4	4.26	9.79	41.32
1.50	42.6	5.22	5.20	60.46
2.00	56.7	6.03	2.74	65.52
2.50	70.9	6.74	0.95	39.64
3.00	85.1	7.38	0.53	34.88
3.50	99.3	7.98	0.19	17.90
4.00	113.5	8.53	0.18	24.32
4.50	127.7	9.04	0.03	6.05
5.00	141.9	9.53	0.01	3.15
5.50	156.0	10.00	0.04	12.48
6.00	170.2	10.44	0.03	11.79
6.50	184.4	10.87	0.01	4.55
		Totale	37.60	331.84

Caratteristiche onda media energeticamente equivalente

Heq (m)	1.34
L (m)	38.11
T (s)	4.94

TAB. 8

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

Direzione di provenienza onda energeticamente equivalente

direzione media in gradi	P (Kg/s)	Px (Kg/s)	Py (Kg/s)
215	173.33	-99.42	-141.99
185	34.88	-3.04	-34.75
155	29.15	12.32	-26.42
125	19.94	16.33	-11.44
85	0.63	0.63	0.06
	257.93	-73.18	-214.54

Direzione onda equivalente al largo = 199

4.2.2 Altezza d'onda significativa con tempo di ritorno di 50 anni

Per dimensionare le opere di difesa della costa ci occorre conoscere i valori dell'altezza d'onda significativa con assegnato tempo di ritorno, in mancanza di dati più precisi si usano i parametri di probabilità $P(H_s>h)$[3] omnidirezionale, ottenuti elaborando i dati della boa ondametrica posta al largo di La Spezia. Si può affermare che per il settore di traversia principale i dati di La Spezia garantiscono una sufficiente approssimazione, seppur per eccesso.

Occorre risolvere l'uguaglianza :

$$\frac{\bar{b}(h)}{R}\cdot\exp\left(\frac{h}{w}\right)^u = 1+u\cdot\left(\frac{h}{w}\right)^u$$

dove:

R = Tempo di ritorno

u,w = Parametri di probabilità omnidirezionale

$\bar{b}(h)$ = Valore medio della durata delle mareggiate di assegnata altezza h

Fissato un valore di tentativo di $\bar{b}(h)$ che chiameremo B e definendo $x=\frac{B}{R}\exp\left(\frac{h}{w}\right)^u$, e $A=1+u\ln\left(\frac{R}{B}\right)$ l'espressione precedente si può scrivere:

$x = A + u\ln x$

si può verificare che il valore di x che la soddisfa è il limite della successione:

$x_i = A + u\ln x_{i-1} \quad con \quad x_o = A$

noto *x* si ricava $h(r) = w\cdot\left[\frac{R}{B}\cdot x\right]^{\frac{1}{u}}$

Definendo a_{10} = il valore medio delle altezze delle 10 mareggiate più forti in N anni e b_{10} = il valore medio della durata delle 10 mareggiate più forti in N anni si pone inizialmente B = b_{10}, si ricava h(R) si calcola $\bar{b}(h) = b_{10}\left(1{,}11-0{,}11\frac{h}{a_{10}}\right)$ si ripete l'operazione fino alla convergenza.

Si riportano i valori relative alla boa di La Spezia ed i risultati dei calcoli.

---

[3] Si ricorda che $P(H_s>h)=\exp\left[-\left(\frac{h}{w}\right)^u\right]$ = asintoto della funzione $P(H_s>h\ \ \theta_1<\theta<\theta_2)$ probabilità direzionale , per il settore di massima traversia

DETERMINAZIONE ALTEZZA SIGNIFICATIVA

R anni		b10 ore		w metri		u		a10 metri
50		74		0,731		1,023		3,6

1 iterazione			2 iterazione			3 iterazione		
			B=	64,59	ore	B=	64,37	ore
A=	9,89		A=	10,02		A=	10,03	
X0=	9,89		X0=	10,02		X0=	10,03	
X1=	12,23		X1=	12,38		X1=	12,39	
X2=	12,45		X2=	12,60		X2=	12,60	
X3=	12,47		X3=	12,62		X3=	12,62	
X4=	12,47		X4=	12,62		X4=	12,62	
X5=	12,47		X5=	12,62		X5=	12,62	
X6=	12,47		X6=	12,62		X6=	12,62	
X7=	12,47		X7=	12,62		X7=	12,62	
X8=	12,47		X8=	12,62		X8=	12,62	
h(R)=	7,76	m	h(R)=	7,86	m	h(R)=	7,86	m

Nota l'altezza significativa di uno stato di mare occorre calcolarne il periodo T e la lunghezza d'onda L associati.

Noto il valore dell'altezza significativa è immediato calcolare T=11,9 sec (periodo) ed L = 223 m (lunghezza d'onda) vedi A7.

Per completezza si ricava la durata di tempo medio D(h) in cui la H_s si mantiene al di sopra della soglia h nelle mareggiate dove tale soglia viene superata.

$$D(h) = \text{persistenza al di sopra la soglia} = \frac{\bar{b}(h)}{1+u\left(\frac{h}{w}\right)^u} = 5{,}10\,ore$$

Gli stati di mare appena calcolati sono tali da raggiungere le opere progettate dopo aver effettuato almeno un frangimento, da questo ne consegue che si adotterà come onda di progetto, quella che frange al piede della struttura, ciò a favore della stabilità dell'opera in progetto.

5 BATIMETRIA E SEDIMENTOLOGIA

Prima della progettazione è stato realizzato un rilievo batimetrico multibeam della zona oggetto di intervento spinto sino alla batimetrica -20m, inoltre sono stati prelevati dei campioni di sedimento, si rimanda agli elaborati in allegato per maggiori dettagli.
Il fondale su cui sono state fatte le misure è risultato pressoché sabbioso.Habitat marini
Dalla tavola 11 del nuovo atlante degli habitat marini della Regione Liguria si evince che in prossimità delle opere da realizzare è perimetrata una prateria di posidonia su roccia, per

questo motivo è stata commissionata una ispezione utilizzando la tecnica del Visual Censis della prateria stessa (a cui si rimanda).
Sostanzialmente è stata confermata la perimetrazione della prateria.

6 IMPOSTAZIONI DEL PROGETTO

La zona oggetto di intervento è quella immediatamente a Ponente del porto turistico di Marina degli Aregai, il muro da proteggere è quello a sostegno di Lungomare Cap. D'albertis.
Come si evince dalle foto 1, 2 si può notare come il muro in questo tratto presenta un inizio di scalzamento della fondazione ed evidente distacco del copri ferro e ossidazione delle armature stesse.

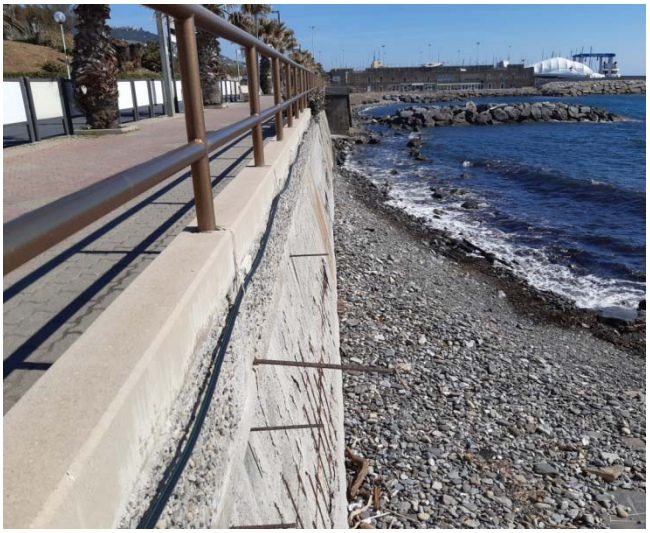


Foto 1

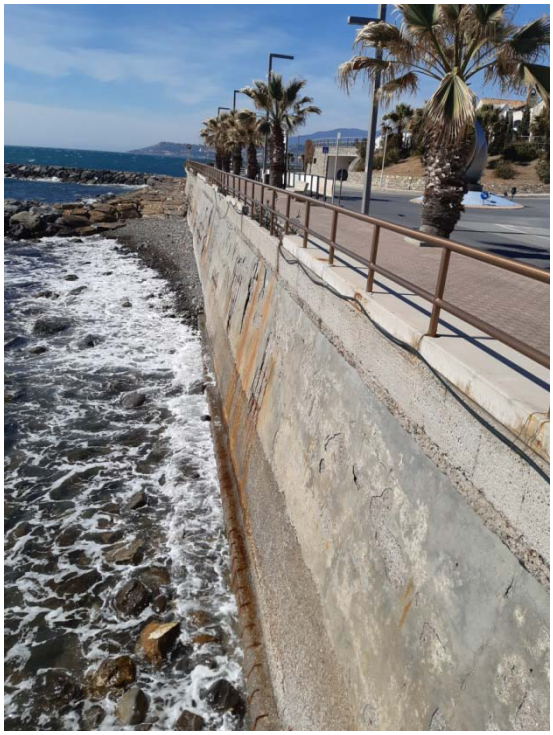


Foto 2

Negli anni passati per ovviare al problema nel tratto a Ponente sono state realizzate delle difese aderenti infatti questo tratto di costa mostra, forse più che altrove, la brutalità con cui in passato si è affrontato il problema dell'erosione dei litorali. Il proliferare spesso disordinato d'interventi con scogliere parallele, piccoli pennelli spesso inefficaci o ancor peggio con difese aderenti ha generato un irrigidimento generalizzato della costa.
Infatti nella zona interessata sono presenti piccoli pennelli perpendicolari alla costa molto ravvicinati tra di loro.

In questo caso si è scelto di adottare una difesa di tipo morbido ovvero ricreare una spiaggia con un ripascimento artificiale non solo a fini balneari, ma soprattutto con lo scopo di proteggere le strutture retrostanti.

La zona è soggetta alle mareggiate da SO e da S-SEst dall'analisi della propagazione del moto ondoso (tav 2) si può notare che le onde provenienti da entrambe le direzioni subiscono una forte rotazione per effetto della interazione con il ciglio di un canyon sottomarino per la

direzione da S0 e per l' interazione con una secca per la direzione da S-Se, giungendo entrambe ad attaccare la costa con direzione da Sud.
La costa in questo tratto ruota leggermente verso Nord per questo motivo l'interazione delle onde con i pennelli esistenti crea forte riflessione del moto ondoso.

Per questi motivi si è deciso di eliminare un pennello aumentando la falcatura della spiaggetta portandola a 140 metri, con i massi ricavati si allungherà il pennello a Ponente con inclinazione di 45° rispetto all'esistente, sia con la funzione di proteggere maggiormente il muro della passeggiata sia per non ricadere sulla prateria di posidonia esistente.
Il lavoro sarà completato mediante il versamento di 10000 m^3 di ghiaia delle dimensioni 15-30 mm al fine di aumentare la profondità di spiaggia di una media di circa 15 metri.

Il pennello da smontare ha una altezza al piano di berma di circa 3 m ed una larghezza ed una lunghezza di circa 30 m i massi che compongono la mantellata sono di III° e IV° categoria.

Il pennello da allungare ha le stesse caratteristiche di quello da smontare, con i massi recuperati si riesce ad ottenere un allungamento di circa 15 metri con la stessa sezione di quello esistente.

Dalle analisi granulometriche sui campioni di sedimento prelevati durante la campagna batimetrica si evince che il fondale antistante è prevalentemente sabbioso con D50 0,20 mm circa per questo motivo si è scelto di utilizzare come materiale da ripascimento la ghiaia che garantisce una maggiore stabilità ed una profondità di chiusura più contenuta per non andare ad interferire con la prateria di posidonia.
Tutto ciò è già stato realizzato sul litorale di Aregai a Levante del porto turistico dove a distanza di circa 10 anni i monitoraggi hanno confermato la buona salute del posidonieto.

I conteggi per determinare la profondità di spiaggia ottenibile con il quantitativo versato e la inondazione nello stato di progetto sono stati fatti cautelativamente con un D50 di 10mm per considerare l'usura della ghiaia nel tempo.

7 MODELLO MATEMATICO

Per confermare quanto previsto nel progetto si è commissionato, allo spin off universitario Geoscape di Genova, un modello matematico 2d con il software X-Beach.
Il modello ha confermato le previsioni di progetto (si rimanda alla relazione dedicata) anche la inondazione nell'assetto di progetto è diminuito con onde sino a 5 metri
Solo per onde maggiori l'inondazione risulta di poco modificata, ma la presenza della spiaggia che risulta comunque stabile e la diminuzione dell'energia incidente garantiscono una maggiore sicurezza al muro di contenimento della passeggiata.

8 VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLE MANTELLATE ESTERNE

Come già visto in precedenza per il dimensionamento dei massi della mantellata si verifica la stabilità sotto l'azione dell'onda frangente al piede della struttura.
Si utilizza la nota formula di Hudson:

COMUNE DI SANTO STEFANO AL MARE - Prot 0006959 del 21/08/2020 Tit 10 Cl 11 Fasc

$$P = \frac{\gamma_s \cdot H^3}{k_d \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_o} - 1\right)^3} \cdot \frac{1}{\text{cotg}\,\alpha}$$

Dove:

P = peso dei massi in tonnellate

H = altezza d'onda di progetto

γ_s = peso specifico dei massi utilizzati

γ_o = peso specifico dell'acqua

α = inclinazione della mantellata

k_d = coefficiente numerico tabellato

La testata del pennello progettato è imbasata ad una profondità di circa 3,5 metri, per cui si dimensionano le mantellate esterne utilizzando i seguenti parametri:

H = 0,78 X 4,0 l.m.m.m.= 3,12 metri (Mc Cowen + sopraelevazione dovuta all'azione del venti di burrasca)
γ_o = 1,03 t/m³
γ_s = 2,5 t/m³
cot α = 2
k_d = 2,5
Si ricava P = 5 t , massi di III categoria (verificato)

9 INSERIMENTO AMBIENTALE

L'inserimento ambientale della nuova spiaggia non presenta particolari problemi e risulta certamente molto meno impattante rispetto agli interventi effettuati nella zona a Ponente
La particolare conformazione della costa in adiacenza al porto turistico a Levante e la presenza di pennelletti e di difese aderenti realizzate, in passato, non presentano certo particolari aspetti di pregio.
La soluzione proposta con la razionalizzazione dei pennelli esistenti, lo smontaggio del pennello centrale e l'allungamento di quello a Ponente al fine di contenere il ripascimento previsto a protezione del muro della passeggiata al posto delle difese aderenti, non può che migliorare l'aspetto paesaggistico.
In sede di progetto è stato effettuato un rilievo sistematico della estensione della prateria di posidonia riportato al punto precedente e confrontato con le previsioni di progetto e con le linee di chiusura delle coltri sedimentarie di apporto nelle due fasi di progetto
A questo proposito si uniscono la foto prospettica della situazione attuale confrontata con la simulazione della soluzione prevista.



Stato di fatto



Stato di progetto