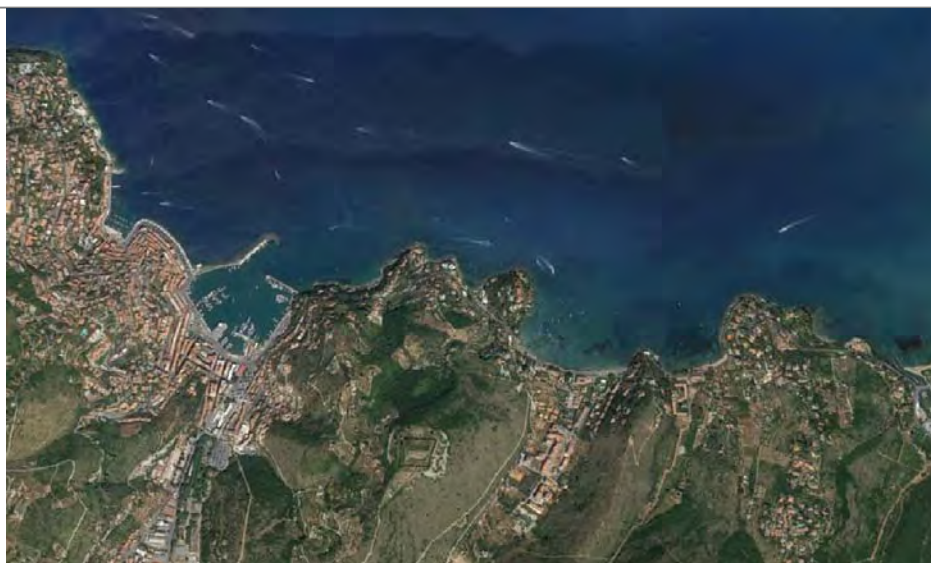




COMUNE DI MONTE ARGENTARIO



VERIFICA ASSOGGETTABILITA' VIA AI SENSI DELL'ART. 48 L.R.T. N. 10/2010, DI SUPPORTO
AL PROGETTO DI INTERVENTO DI PROTEZIONE CONTRO L'EROSIONE COSTIERA E
RIPASCIMENTO DI ALCUNI ARENILI IN LOC. PORTO SANTO STEFANO

COMMITTENTE:

COMUNE DI MONTE ARGENTARIO



PROGETTISTI:

Dott. Geol. Massimo Fanti



Ing. Matteo Tanzini
Ing. Giada Bonacchi
Ing. Alberto Rabai

RILIEVI TOPOGRAFICI E BATIMETRICI:

Geom. Marco Bisdomini
Geom. Davide Racioppi
Dott. Geol. Luigi Guidarini

COLLABORATORI:

Ing. Chiara Chiostrini
Ing. Simone Galardini



STUDIO METEO MARINO PER LA DEFINIZIONE DELLE
CARATTERISTICHE DI MOTO ONDOSO PER IL PARAGGIO
DI ALCUNI ARENILI NEL COMUNE DI MONTE ARGENTARIO

NOME FILE: Studio meteo marino.pdf

ELABORATO:

02

AGG.:	DATA:	DESCRIZIONE:	AGG.:	DATA:	DESCRIZIONE:
01	27/04/2015				

I N D I C E

1.	PREMESSA.....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO	3
2.1	SETTORE DI TRAVERSIA	5
2.2	FETCH.....	6
3.	REGIME DEI VENTI	10
4.	DEFINIZIONE DEL REGIME DI MOTO ONDOSO AL LARGO	13
5.	CARATTERISTICHE DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO RIVA	23
5.1	SOVRALZO DOVUTO ALLA PRESSIONE	23
5.2	SOVRALZO DOVUTO ALLA MAREA.....	23
5.3	SOVRALZO DOVUTO AL VENTO	23
5.4	SOVRALZO DOVUTO ALLE ONDE.....	23
6.	ANALISI QUALITATIVA DEI PROCESSI EVOLUTIVI DELLA COSTA	25
6.1	TENDENZA EVOLUTIVA DELLA LINEA DI COSTA IN CORRISPONDENZA DEGLI ARENILI OGGETTO DI INTERVENTO	27
6.1.1	PUNTO INTERVENTO 1: SPIAGGIA SILURIPEDIO - SP6	28
6.1.2	PUNTO INTERVENTO 2: SPIAGGIA MOLETTO - SP7	30
6.1.3	PUNTO INTERVENTO 3: SPIAGGIA MARINELLA - SP5	33
6.1.4	PUNTO INTERVENTO 4: SPIAGGIA CANTONIERA - SP4	36
6.1.5	PUNTO INTERVENTO 5: SPIAGGIA POZZARELLO - SP3	38
6.1.6	PUNTO INTERVENTO 6: SPIAGGIA SODA - SP2	40
6.1.7	PUNTO INTERVENTO 7: SPIAGGIA GERINI - SP1	43

1. PREMESSA

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle elaborazioni dello studio meteo-marino condotto, finalizzato alla definizione delle caratteristiche del moto ondoso e delle correnti lungo gli arenili oggetto d'interesse, in modo da definire future azioni di salvaguardia e protezione del tratto di costa analizzato.

Come detto lo studio ha la finalità principale di determinare il regime del moto ondoso responsabile dei fenomeni di erosione e modifiche morfologiche delle linea di costa ed è stato articolato secondo i seguenti step:

- individuazione del quadro conoscitivo esistente e raccolta dei dati disponibili;
- descrizione geografica del paraggio;
- analisi della ventosità di zona;
- definizione delle condizioni di moto ondoso a largo;
- analisi della propagazione del moto ondoso verso riva e determinazione dell'onda di progetto per le future opere di sistemazione e di protezione della linea di costa.



2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

L'area interessata dal presente studio è compresa tra il Promontorio dell'Argentario e il Tombolo della Giannella, appartiene quindi all'area costiera meridionale della Toscana, in particolare alla parte di ponente della laguna di Orbetello.

Il Promontorio deve la sua particolarissima morfologia alla sua origine: si tratta infatti di un'isola che nel corso dei secoli si è venuta a trovare collegata alla vicina terraferma, tramite il sollevamento prima del Tombolo della Feniglia (per azione delle correnti marine) e poi anche del Tombolo della Giannella (originata dal materiale di accumulo proveniente dal vicino fiume Albegna). Una volta unito alla terraferma dai due cordoni di sabbia, la parte interna del promontorio compresa tra di essi è divenuta la Laguna di Orbetello.

I due specchi d'acqua sono separati solo parzialmente da una lingua sabbiosa (sulla quale sorge la città di Orbetello) che si congiunge artificialmente al promontorio dell'Argentario grazie ad una struttura tale da permettere lo scambio d'acqua tra i due stagni. La laguna di levante comunica con il mare grazie ad un canale, noto come Taglio di Ansedonia, realizzato in modo da permettere al livello dello specchio d'acqua interno di variare ed adeguarsi alle oscillazioni di marea del Mar Tirreno, favorendo così il ricambio idrico della laguna. La stessa cosa succede alla laguna di Ponente, grazie ad un ulteriore taglio noto come Canale di Nassa.

D'interesse per l'amministrazione comunale è definire il regime meteo marino di alcuni tratti di arenile localizzati nelle figure seguenti e nella cartografia allegata.



Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area d'interesse (fonte immagine: Google Earth)



Figura 2 - Ubicazione degli arenili di intervento (fonte immagine: Google Earth)



Figura 3 - Ubicazione degli arenili di intervento (fonte immagine: Google Earth)

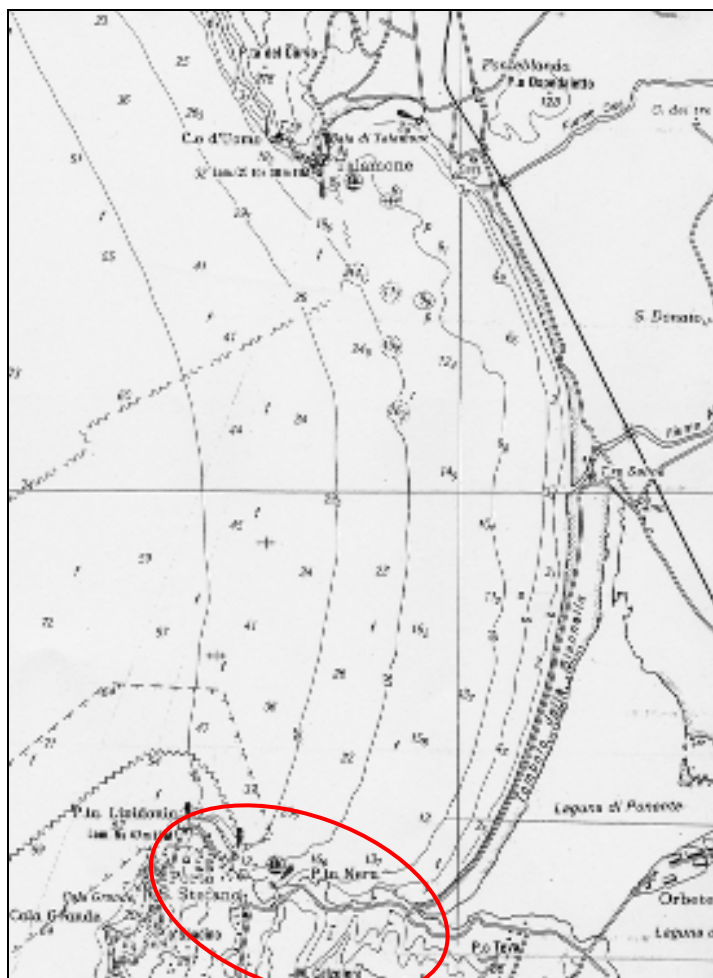


Figura 4 - Estratto Carta Nautica I.I.M. della zona di interesse

2.1 SETTORE DI TRAVERSIA

Gli arenili oggetto del presente studio sono a ridosso del promontorio dell'Argentario, e pertanto protetti dagli eventi ondosi provenienti da Sud; ulteriori protezioni al moto ondoso sono rappresentate dalle isole dell'Arcipelago Toscano e dalla Corsica, che limitano i fetches da Nord e Nord Ovest.

Ai fini del presente studio, ed a titolo cautelativo, per il calcolo del settore di traversia e dei relativi fetches, si è considerato il punto con coordinate geografiche $42^{\circ}26'51.27''N$, $11^{\circ}6'27.10''E$, ubicato nella punta più settentrionale del Monte Argentario, in grado di meglio descrivere le condizioni di moto ondoso della zona.

Le direzioni da cui possono provenire le agitazioni ondose sono individuate dall'arco di circonferenza ottenuto tracciando le tangenti esterne dal punto di interesse; tale arco sottende un angolo compreso fra le direzioni 260° e 90° . Per tenere conto di eventuali effetti locali e di rifrazione l'arco di traversia è stato esteso, rispettivamente fino alle direzioni di 230° e 110° .



Figura 5 - Settore di traversia del sito d'interesse (fonte immagine: Google Earth)

Per quanto riguarda le correnti, oltre a quelle stagionali di circolazione tirrenica (qualche cm al secondo), si verificano scarse e rare correnti dovute al passaggio di mareggiate mentre sono di una certa entità le correnti dovute allo scarico in mare in caso di precipitazioni atmosferiche dei fiumi Ombrone e Albegna, oltre che dai canali di bonifica presenti.

2.2 FETCH

I fetch geografici nel paraggio sono limitati dalla costa della Corsica, dalle isole dell'Arcipelago Toscano, nonché dalla presenza del promontorio dell'Argentario. Da ciò si evince come il trasferimento dell'energia del vento al mare appartiene fondamentalmente al III e IV quadrante.

Per ogni intervallo di 10° del settore di traversia precedentemente determinato si sono potuti ricavare i fetch geografici.

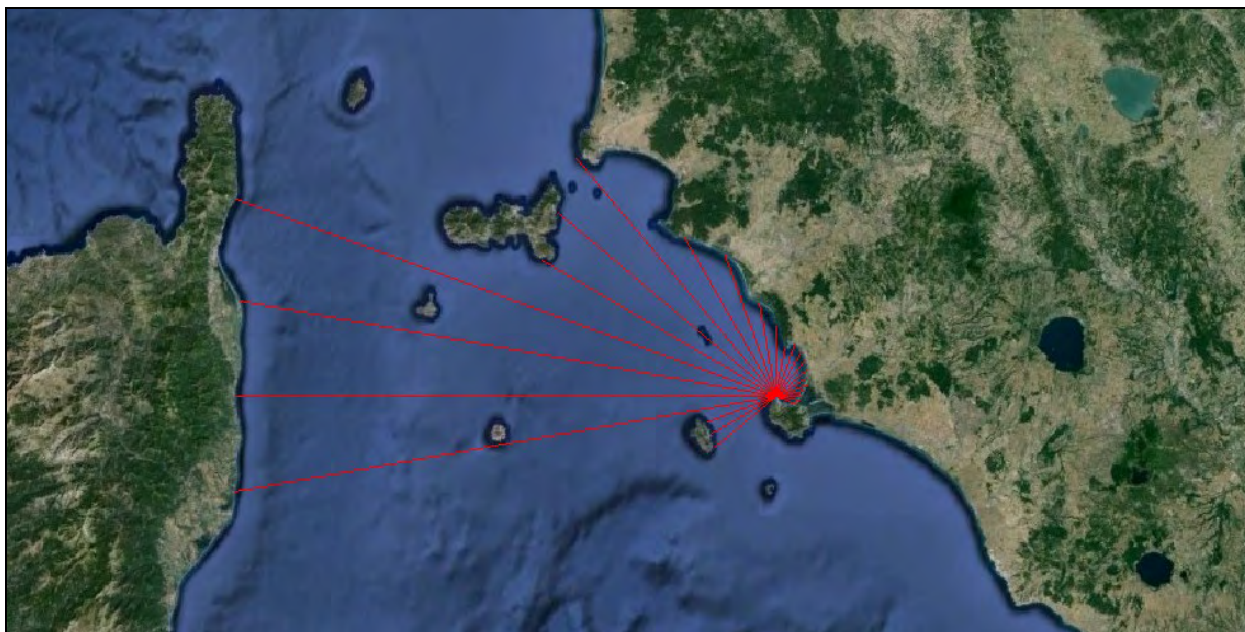


Figura 6 - Determinazione dei fetches geografici del settore di traversia d'interesse (fonte immagine Google Earth)

Successivamente, per ciascuna direzione, è stato possibile calcolare i rispettivi fetch efficaci tramite la relazione di Faville:

$$F_{eff} = \frac{\sum_{-45^{\circ}}^{+45^{\circ}} (x_i \cdot \cos^2 \alpha_i)}{\sum_{-45^{\circ}}^{+45^{\circ}} \cos \alpha_i} \quad (1)$$

Il concetto di fetch effettivo (o efficace) ha lo scopo di tener conto delle variazioni dei fetch geografici lungo le diverse direzioni per fornire una migliore indicazione circa la forma dell'intera area di generazione delle onde da vento.

Nel caso in esame la sommatoria per il calcolo del fetch efficace è stata estesa in ogni direzione a destra ed a sinistra di quella considerata, entro un raggio di 40° di 10° in 10° ; se il fetch è calcolato sul bordo estremo del settore di traversia sono stati considerati al numeratore i contributi della parte di mare aperto, mentre al denominatore sono stati considerati tutte le direzioni, sia quelle di mare aperto sia quelle di terra.

Direzione (°)	Fetch geografico (km)	Fetch efficace (km)
230°	19.22	48.94
240°	17.53	62.47
250°	17.67	69.86
260°	131.74	82.14
270°	129.49	102.96
280°	130.68	110.24
290°	137.74	98.70
300°	64.93	92.78
310°	68.16	87.35
320°	74.32	64.57
330°	43.81	44.94
340°	36	37.42
350°	22.64	37.28
0°	16.57	33.07
10°	11.78	21.75
20°	13.3	14.79
30°	12.39	11.58
40°	11.00	11.37
50°	9.54	9.72
60°	8.56	8.57
70°	7.98	7.68
80°	6.84	6.70
90°	6.18	6.14
100°	5.74	5.31
110°	5.21	3.80

Tabella 1 - Calcolo del fetch efficace

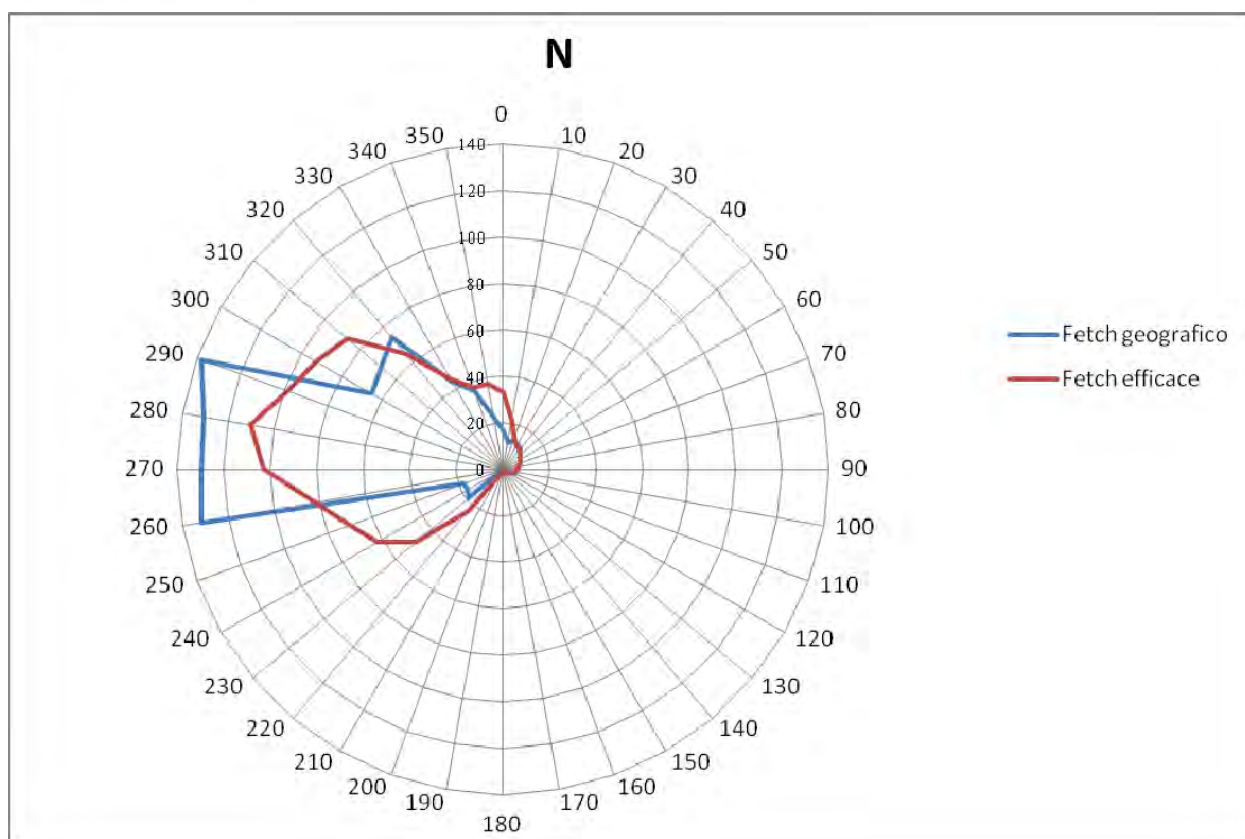


Figura 7 - Rappresentazione dei fetch geografici ed efficaci su diagramma polare

I fetches efficaci più grandi sono in corrispondenza degli angoli **280°** e **270°**, con distanze rispettive di 110 e 102 km, visto che il relativo fetch geografico è limitato dalla presenza della Corsica.

3. REGIME DEI VENTI

L'analisi anemometrica utilizzata nel presente studio è stata desunta dai dati e dai report prodotti dall'Aeronautica Militare per la stazione di Punta Telegrafo, sul promontorio del Monte Argentario, posta ad una quota di 635 m s.l.m..

La conoscenza del clima ventoso locale risulta di fondamentale importanza per determinare i venti dominanti, che sono quelli che hanno maggior effetto sul moto ondoso.

Il periodo di riferimento dei dati va del 1971 al 2000, con registrazioni ogni sei ore nell'arco della giornata, ovvero alle 0:00, 6:00, 12:00 e 18:00 e tabulate in base alla stagione (inverno, primavera, estate ed autunno).

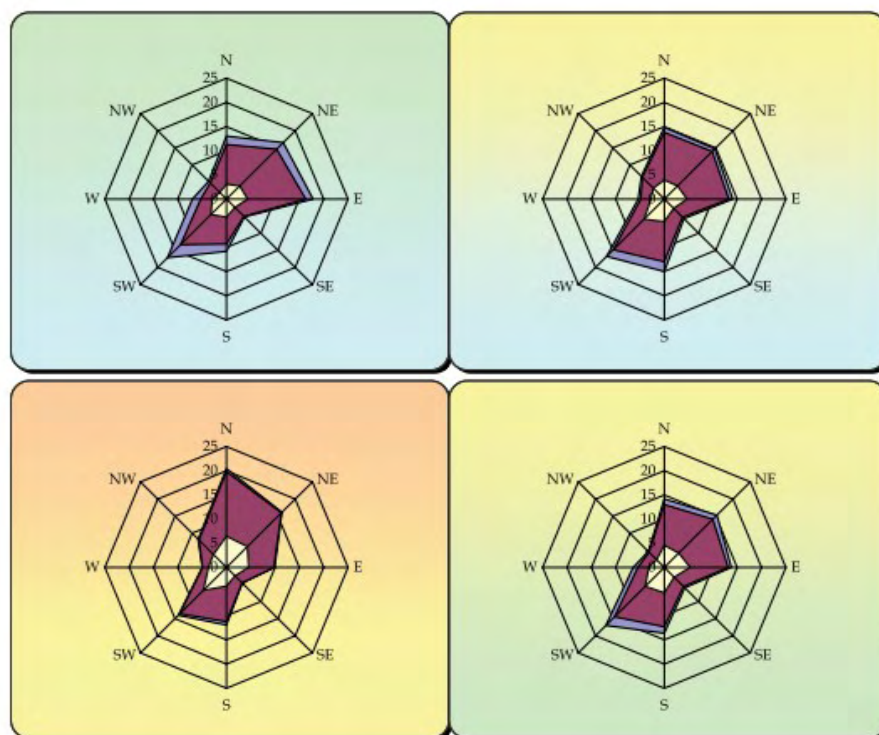


Figura 8 - Frequenze percentuali dei venti alle ore 0:00 per la stazione di Monte Argentario (1971-2000) suddivise per primavera (alto a destra), autunno (basso a destra), estate (basso a sinistra) e inverno (alto a sinistra) - Fonte Aeronautica Militare Servizio Meteorologico

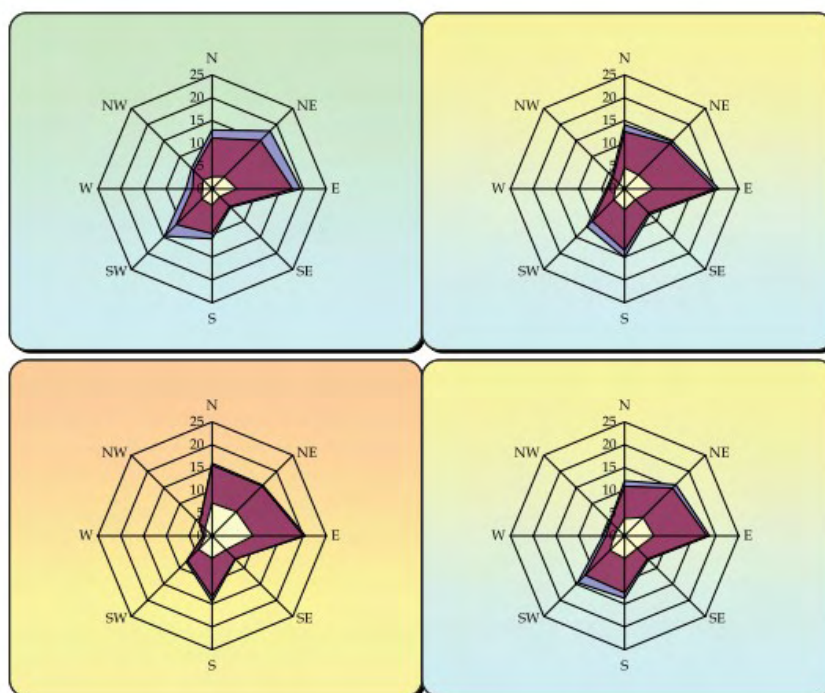


Figura 9 - Frequenze percentuali dei venti alle ore 6:00 per la stazione di Monte Argentario (1971-2000) suddivise per primavera (alto a destra), autunno (basso a destra), estate (basso a sinistra) e inverno (alto a sinistra) - Fonte Aeronautica Militare Servizio Meteorologico

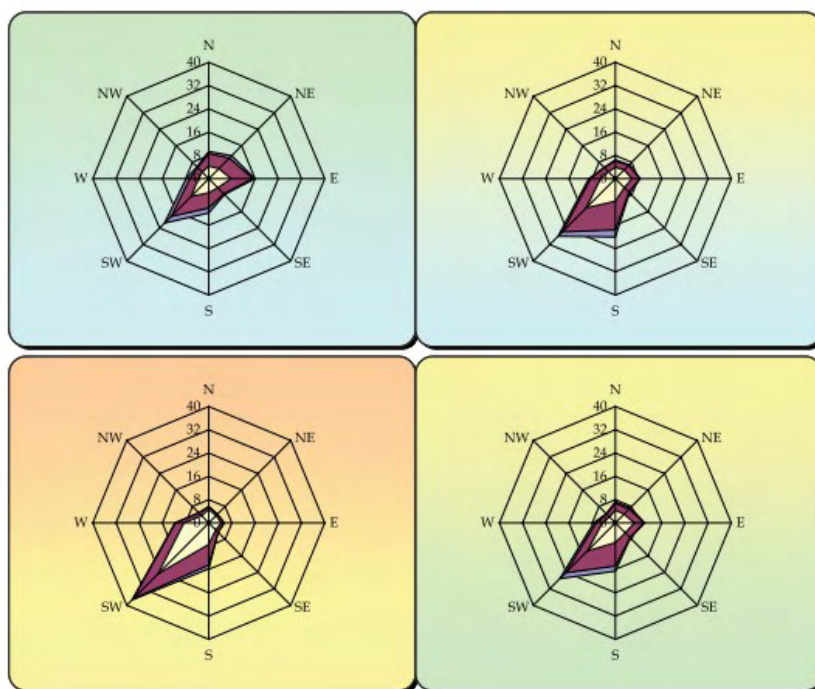


Figura 10 - Frequenze percentuali dei venti alle ore 12:00 per la stazione di Monte Argentario (1971-2000) suddivise per primavera (alto a destra), autunno (basso a destra), estate (basso a sinistra) e inverno (alto a sinistra) - Fonte Aeronautica Militare Servizio Meteorologico

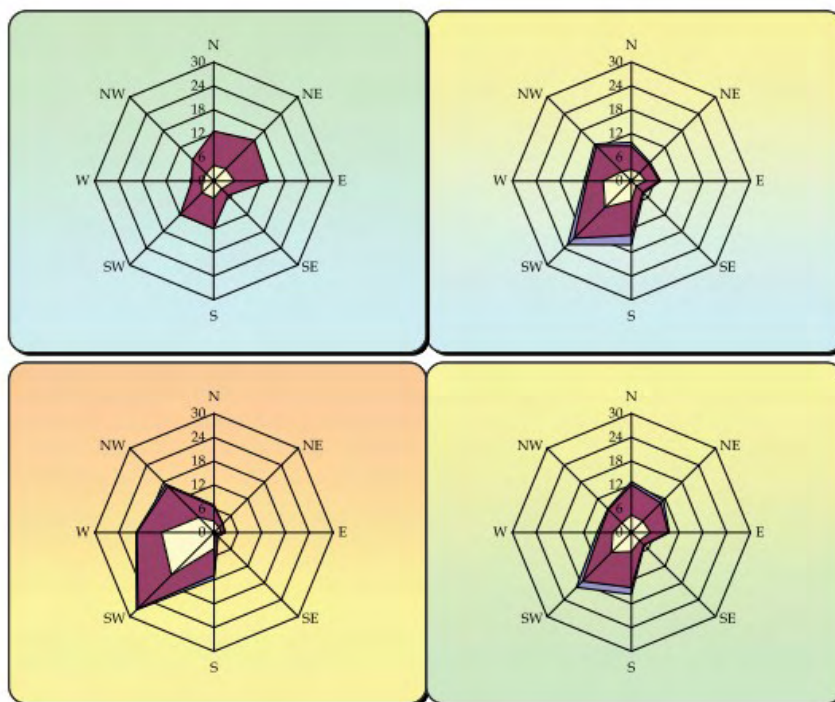


Figura 11 - Frequenze percentuali dei venti alle ore 18:00 per la stazione di Monte Argentario (1971-2000) suddivise per primavera (alto a destra), autunno (basso a destra), estate (basso a sinistra) e inverno (alto a sinistra) - Fonte Aeronautica Militare Servizio Meteorologico

Durante i mesi freddi i venti dominanti provengono da Nord Est (da brezza leggera a 30 nodi ed oltre), da Sud Est (da 10 a 20 nodi), da Sud Ovest e Ovest in regime di brezza di mare di bel tempo (4-10 nodi) o di mareggiata (25-40 nodi). Le brezze (Nord Est e Sud Ovest – Ovest) dipendono, in intensità e persistenza, dai gradienti di temperatura che si verificano nei vari periodi freddi tra la terra ed il mare.

Durante i mesi caldi, da fine Aprile a Ottobre, i venti dominanti sono da Sud Ovest e Ovest (da 4 a 15 nodi), da Sud Est (da 6 a 20 nodi) e da Nord Ovest (da 5 a 25 nodi).

4. DEFINIZIONE DEL REGIME DI MOTO ONDOSO AL LARGO

Sebbene la zona in esame sia di grande interesse sia dal punto di vista naturalistico che da quello socio-economico e turistico, si è constatato, durante la stesura di questo lavoro, la mancanza di dati significativi e di studi recenti riguardanti il clima meteo marino locale e l'evoluzione dei fondali e della linea di riva.

I modelli di previsione del moto ondoso adottano una semplificazione basandosi sull'ipotesi che uno stato di vento con velocità media (U_m), agendo sull'area di generazione (fetch), trasferisca energia al mare producendo un corrispondente stato di mare a largo (acque profonde) di analoga durata (t) e direzione (θ_m), e cioè un evento di moto ondoso caratterizzato dalle grandezze H_s e T_p , rispettivamente altezza significativa e periodo di picco.

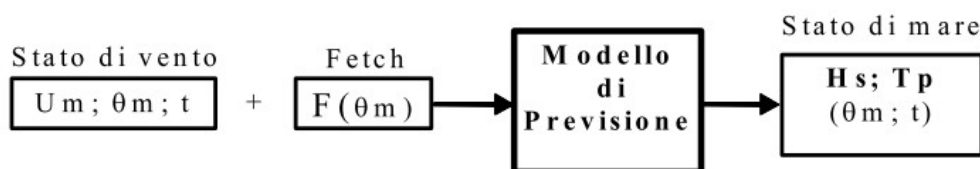


Figura 12 - Modello di previsione del moto ondoso

I modelli di previsione del moto ondoso dall'azione del vento sono di difficile applicazione, in quanto necessitano di molti dati e coefficienti di taratura, oltre che essere pesanti dal punto di vista computazionale.

Per queste motivazioni, invece di partire dal regime locale di ventosità, si è provveduto ad elaborare gli eventi ondosi osservati a vista dalle navi in transito (dati KNMI) nella zona del Mar Mediterraneo corrispondente al settore di traversia d'interesse.

I dati KNMI sono relativi ad un periodo di osservazione di 29 anni (dal 1961 al 1990) e sono raggruppati in colonne in cui sono riportate la direzione di provenienza delle onde (da 0° a 350°), l'altezza dell'evento registrato (da 0.5 m a > 8 metri) e il numero totale di eventi osservati per ogni direzione.

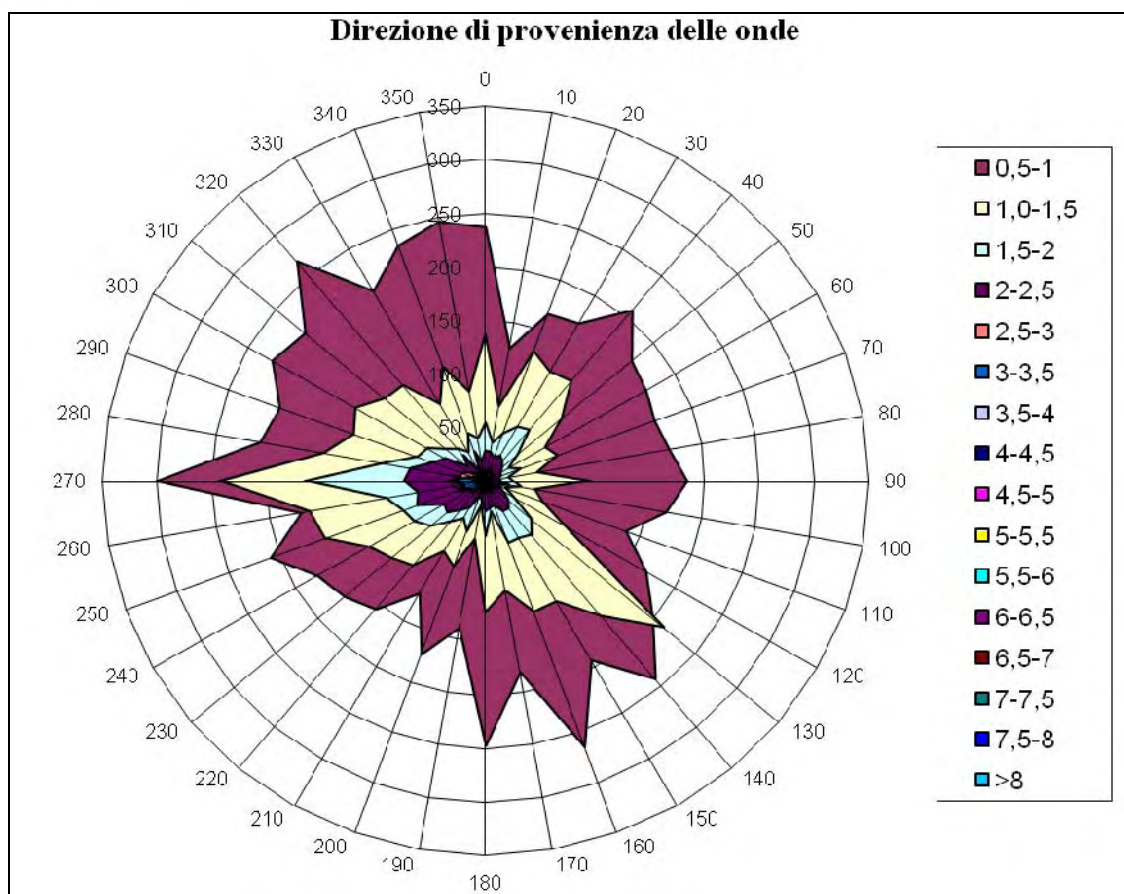


Figura 13 - Direzione di provenienza delle onde osservate

D (°)/H (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	> 8	TOT
0	237	137	54	28	9	9	2	3	0	1	0	2	0	0	0	0	482.00
10	126	71	36	27	10	10	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	286.00
20	166	129	47	23	14	5	1	6	2	1	0	1	0	0	0	0	395.00
30	170	118	58	27	9	4	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	391.00
40	208	122	62	24	8	5	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	433.00
50	174	91	38	20	11	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341.00
60	169	63	24	16	6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	280.00
70	164	70	34	15	4	3	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	293.00
80	170	48	21	12	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255.00
90	184	96	25	14	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	322.00
100	167	46	33	22	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	271.00
110	136	55	19	12	4	1	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	232.00
120	169	84	29	18	8	6	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	318.00
130	199	213	54	27	11	3	6	1	0	1	3	0	0	0	0	0	518.00
140	241	165	65	33	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	523.00
150	193	130	61	32	13	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	435.00
160	264	130	61	24	10	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	500.00
170	181	104	29	25	6	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	349.00
180	247	123	51	28	12	4	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	471.00
190	139	55	23	18	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246.00
200	172	85	50	15	11	5	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	341.00
210	121	76	40	28	5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	273.00
220	156	103	49	35	11	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	359.00
230	168	112	65	45	17	13	9	5	0	1	0	0	0	0	0	0	435.00
240	177	123	75	43	16	14	9	4	3	1	0	2	0	0	0	0	467.00
250	209	156	80	66	28	22	9	5	3	1	0	0	0	0	0	0	579.00
260	171	163	92	62	18	19	7	3	3	2	0	0	1	0	0	0	541.00
270	301	243	165	74	34	34	11	12	4	1	0	2	0	2	0	0	883.00

D (°)/H (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	> 8	TOT
280	209	150	95	69	23	20	7	1	5	2	0	0	0	0	0	0	581.00
290	200	128	66	50	24	13	6	5	1	3	1	0	0	0	0	0	497.00
300	225	137	61	42	17	5	2	6	0	1	0	1	0	0	0	2	499.00
310	215	120	46	21	11	13	3	1	1	2	0	1	0	0	1	0	435.00
320	268	117	39	31	10	8	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	478.00
330	205	83	31	10	6	5	5	3	0	1	0	0	0	0	0	0	349.00
340	234	113	47	29	13	4	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	444.00
350	246	85	40	18	7	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	407.00
TOT	6981.00	4044.00	1865.00	1083.00	408.00	278.00	96.00	81.00	26.00	24.00	7.00	9.00	2.00	2.00	1.00	2.00	14909.00

Tabella 2 - Distribuzione assoluta di altezza d'onda (dati KNMI periodo 1961 – 1990, numero di eventi totali 23559, numero di eventi 14909, numero di calme 8660)

D (°)/H (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	> 8	TOT
0	1.01	0.58	0.23	0.12	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.05
10	0.53	0.30	0.15	0.11	0.04	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
20	0.70	0.55	0.20	0.10	0.06	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68
30	0.72	0.50	0.25	0.11	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.66
40	0.88	0.52	0.26	0.10	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.84
50	0.74	0.39	0.16	0.08	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
60	0.72	0.27	0.10	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19
70	0.70	0.30	0.14	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24
80	0.72	0.20	0.09	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08
90	0.78	0.41	0.11	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37
100	0.71	0.20	0.14	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15
110	0.58	0.23	0.08	0.05	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98
120	0.72	0.36	0.12	0.08	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35
130	0.84	0.90	0.23	0.11	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20
140	1.02	0.70	0.28	0.14	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22

D (°)/H (m)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	> 8	TOT
150	0.82	0.55	0.26	0.14	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85
160	1.12	0.55	0.26	0.10	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12
170	0.77	0.44	0.12	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48
180	1.05	0.52	0.22	0.12	0.05	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00
190	0.59	0.23	0.10	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
200	0.73	0.36	0.21	0.06	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
210	0.51	0.32	0.17	0.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
220	0.66	0.44	0.21	0.15	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52
230	0.71	0.48	0.28	0.19	0.07	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85
240	0.75	0.52	0.32	0.18	0.07	0.06	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.98
250	0.89	0.66	0.34	0.28	0.12	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46
260	0.73	0.69	0.39	0.26	0.08	0.08	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30
270	1.28	1.03	0.70	0.31	0.14	0.14	0.05	0.05	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	3.75
280	0.89	0.64	0.40	0.29	0.10	0.08	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.47
290	0.85	0.54	0.28	0.21	0.10	0.06	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.11
300	0.96	0.58	0.26	0.18	0.07	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	2.12
310	0.91	0.51	0.20	0.09	0.05	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85
320	1.14	0.50	0.17	0.13	0.04	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03
330	0.87	0.35	0.13	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.48
340	0.99	0.48	0.20	0.12	0.06	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88
350	1.04	0.36	0.17	0.08	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.73
TOT	29.63	17.17	7.92	4.60	1.73	1.18	0.41	0.34	0.11	0.10	0.03	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	63.28

Tabella 3 - Distribuzione percentuale di altezza d'onda (dati KNMI periodo 1961 – 1990, numero di eventi totali 23559, numero di eventi 14909, numero di calme 8660)

I dati forniti dal KNMI risultano estremamente attendibili da un punto di vista statistico (più di 23.000 osservazioni considerando anche le calme); da notare che i valori del KNMI descrivono l'altezza delle onde osservate, non riportando però i valori dei periodi delle stesse. Questi possono essere calcolati facendo riferimento alla seguente relazione:

$$(2) \quad T = \sqrt{\frac{H}{0.058}}$$

Pertanto alle varie classi di altezza d'onda considerate nei dati del KNMI si possono associare i seguenti periodi, espressi in secondi:

H	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
T	2.8	4.0	5.0	5.7	6.4	7.0	7.6	8.1	8.6	9.1	9.5	10.	10.	10.	11.	11.
	9	8	0	7	5	7	4	6	6	3	7	0	4	8	2	5

La distribuzione dei dati del KNMI evidenzia che il settore delle mareggiate prevalenti, ovvero quelle più frequenti, è compreso fra Sud-Ovest e Nord Ovest, ovvero ricadente completamente all'interno del settore di traversia d'interesse. Statisticamente rilevanti anche le mareggiate provenienti da Sud Est, sebbene queste siano schermate dal promontorio dell'Argentario.

Per determinare la direzione del flusso dei sedimenti, tra la zona dei frangenti e la riva, movimentati dalle correnti longshore, si scompone il vettore rappresentante la direzione principale delle mareggiate nelle sue componenti.

A titolo di esempio, si riporta nella figura sottostante l'arenile in intervento 4, tra Porto Santo Stefano e Punta Nera. Si osserva che la componente parallela a riva agisce sul trasporto longshore in direzione Sud, Sud-Ovest - Nord, Nord-Est.

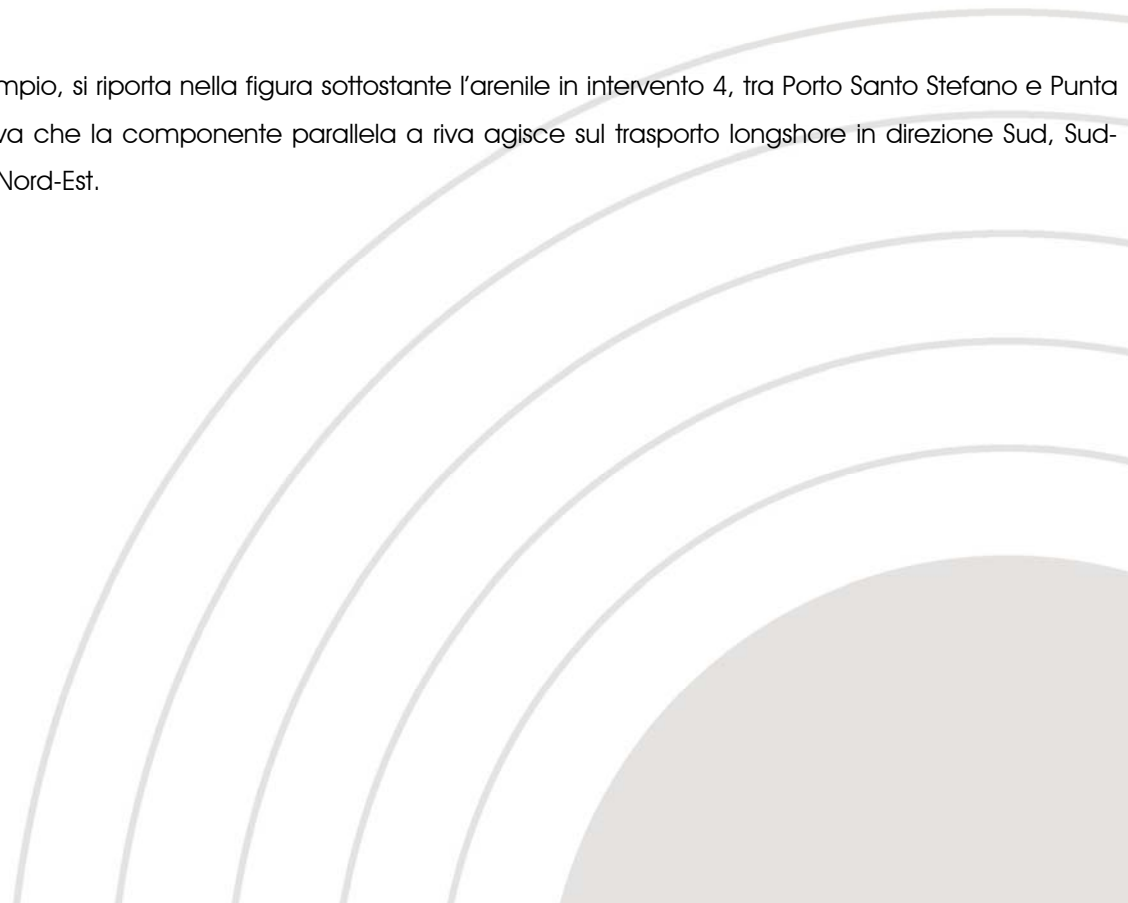




Figura 14 - Individuazione della direzione della corrente longshore nell'arenile Cantoniera

Nell'ambito dell'Idraulica Marittima l'approccio probabilistico viene utilizzato per la stima dell'altezza massima probabile e si sviluppa per step nel modo seguente:

- definizione dell'evento;
- scelta della distribuzione caratteristica degli eventi statistici;
- valutazione della distribuzione di probabilità dell'altezza massima.

Il procedimento sopra indicato porta alla determinazione del valore massimo di altezza d'onda più probabile $H_{s,max}$, che si verificherà entro un certo tempo futuro.

Le altezze d'onda sono quindi fornite in funzione del loro periodo di ritorno, ovvero del tempo durante il quale esse possono essere ugagliate o superate mediamente una sola volta.

Nella scelta della funzione di distribuzione della probabilità non vi è alcuna evidenza fisica, teorica o empirica per preferire una particolare funzione di probabilità rispetto ad un'altra.

Nel caso in esame si sceglie di utilizzare la distribuzione di probabilità di Weibull, in quanto evita che gli eventi relativi ad altezze d'onda inferiori ad 1 metro abbiano peso troppo rilevante sulla previsione degli eventi estremi.

(3) Distribuzione di Weibull
$$P = 1 - \exp \left[- \left(\frac{H - \gamma}{\beta} \right)^\alpha \right] \quad \text{dove } \alpha = 1,5$$

Ai fini della progettazione è necessario filtrare i dati ondametrici e valutare solamente le onde con altezza superiore ad un'altezza di soglia, che è fissata pari a 3,5 m, e provenienti dalla direzione 260° - 290° N.

I dati su cui è stata effettuata l'analisi statistica estrema, sono stati elaborati andando a calcolare il numero di onde, la somma progressiva del numero di onde, la probabilità di superamento (Q) e quella di non superamento (P) per ogni classe di altezza d'onda. Tali dati vengono riportati nella tabella e nel grafico sottostante.

Analisi Statistica Estrema				
Classi Onde	Numero	ΣN	P	Q = 1 - P
3,5 - 4	21	21	0.438	0.563
4 - 4,5	13	34	0.708	0.292
4,5 - 5	8	42	0.875	0.125
5 - 5,5	1	43	0.896	0.104
5,5 - 6	2	45	0.938	0.063
6 - 6,5	1	46	0.958	0.042
6,5 - 7	2	48	1.000	0.000
7 - 7,5	0	48	1.000	0.000
>8	0	48	1.000	0.000
	48			

Tabella 4 - Elaborazioni statistiche

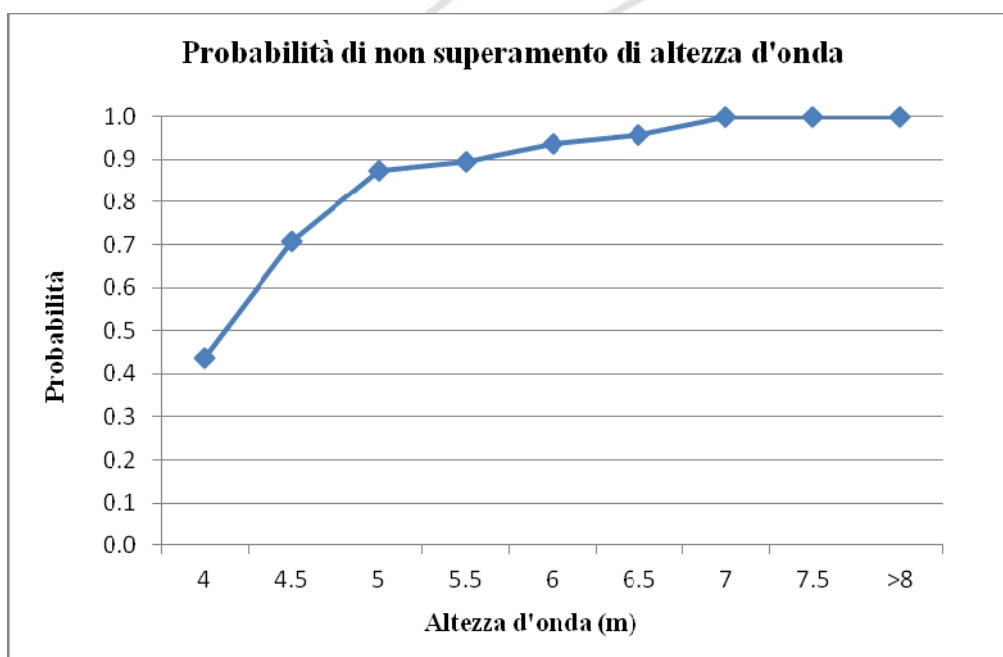


Figura 15 - Andamento Probabilità di non superamento (P) - Altezza d'onda

Come si può notare dal grafico la relazione tra la probabilità e l'altezza d'onda è di tipo non lineare, è necessario quindi effettuare una linearizzazione:

$$(4) \quad y(P) = Ax(H_s) + B \quad \text{Retta di regressione}$$

dove il valore di probabilità (P) è stato definito precedentemente; la distribuzione linearizzata di Weibull assume la seguente forma:

$$(5) \quad W \Rightarrow \ln\left(\frac{1}{1-P}\right)^{\frac{1}{\alpha}} = \frac{1}{\beta}H - \frac{\gamma}{\beta}$$

dove in riferimento alla regressione valgono le seguenti uguaglianze:

$$(6) \quad x = H \quad A = \frac{1}{\beta} \quad B = -\frac{\gamma}{\beta}$$

Applicando quanto detto ai dati della tabella 4 è stato possibile calcolare i valori linearizzati di Weibull (W):

Classi Onde	Numero	P	Weibull
3.5 - 4	21	0.438	0.6917702
4 - 4.5	13	0.708	1.1493198
4.5 - 5	8	0.875	1.6291628
5 - 5.5	1	0.896	1.7230508
5.5 - 6	2	0.938	1.9735901
6 - 6.5	1	0.958	2.1615942
6.5 - 7	2	1.000	
7 - 7.5	0	1.000	
> 8	0	1.000	

Tabella 5 - Risultati linearizzazione

I valori di Weibull (W) vengono adesso diagrammati in funzioni dell'altezza d'onda.

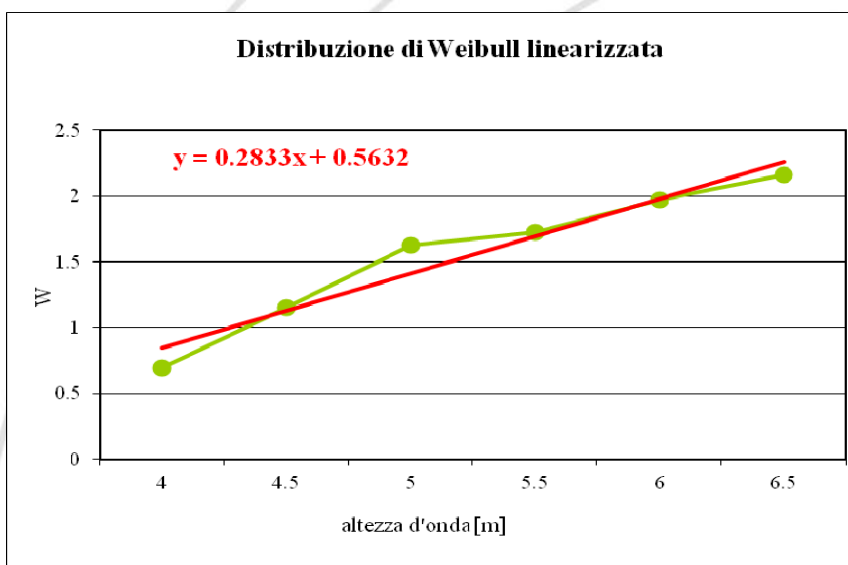


Figura 16 - Relazione Altezza d'onda – Weibull linearizzato

A questo punto è possibile ricavare i valori caratteristici β e γ della distribuzione estrema mediante le precedenti uguaglianze.

$$(7) \quad A = \frac{1}{\beta} = 0,8352 \Rightarrow \beta = 3,529$$

$$B = -\frac{\gamma}{\beta} = -0,1867 \Rightarrow \gamma = -1,988$$

Sotto l'ipotesi di distribuzione di frequenza invariante (cioè numero di picchi costanti ogni anno) si può calcolare il parametro λ .

Sapendo che il numero di anni di osservazioni di riferimento è 29 e che in tale periodo si sono rintracciati 21 superamenti dell'altezza di soglia, pari a 3,5 m, il parametro λ è pari a:

$$(8) \quad \lambda = \frac{N_{Tot} \text{ Superamenti (classe d'onda 3,5 - 4)}}{N_{Tot} \text{ Anni}} = \frac{21}{29} = 0,724$$

Sulla base della relazione (5) si estrapolano le altezze d'onda significative per assegnati tempi di ritorno:

$$(9) \quad H_{s,max} = \gamma + \beta \cdot (\ln(\lambda \cdot T_r))^{\frac{1}{\alpha}}$$

ottenendo i seguenti valori:

settore 260°-290°	
Tr	Hs,max (m)
10	2.67093
20	4.30206
30	5.2562
50	6.45829
100	8.08941

Tabella 6 - Altezza d'onda significativa in funzione del tempo di ritorno per il settore di provenienza scelto (260° - 290°)

5. CARATTERISTICHE DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO VERSO RIVA

Al valore di altezza d'onda ricavato (riferito a largo) va aggiunto poi il valore del sovrizzo totale del MWL per tener conto delle condizioni più sfavorevoli che si hanno a riva. Il sovrizzo del MWL dipende dai seguenti fattori:

- Pressione;
- Vento;
- Marea;
- Onde.

5.1 SOVRIZZO DOVUTO ALLA PRESSIONE

Per ogni millibar di pressione si ha una variazione del MWL di 1 cm; in generale comunque questo effetto viene trascurato ai fini progettuali.

5.2 SOVRIZZO DOVUTO ALLA MAREA

Nei mari italiani si possono considerare mediamente a titolo indicativo i seguenti valori:

Adriatico + 50 cm;

Tirreno + 30 cm.

5.3 SOVRIZZO DOVUTO AL VENTO

Non si hanno informazioni sufficienti per una stima precisa di questo valore, visto che è un campo soggetto ancora a molti studi. Si può stimare comunque dell'ordine di 15 – 20 cm.

5.4 SOVRIZZO DOVUTO ALLE ONDE

È quello che si verifica durante la mareggiata e rappresenta sicuramente il contributo più significativo e importante di cui tener conto.

Per stimarlo si fa riferimento al diagramma di Goda qui di seguito riportato:

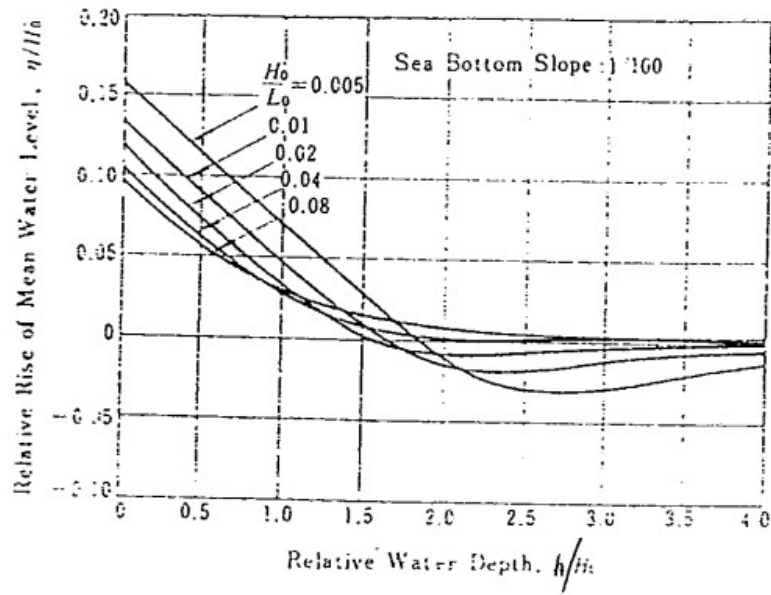


Figura 17 - Diagramma di Goda per il calcolo del sovrizzo d'onda dovuto ai fenomeni di shoaling e frangimento

Noti h (profondità del fondo), H_0 (altezza d'onda valutata a largo corrispondente a un tempo di ritorno di 50 anni) e L_0 (lunghezza d'onda al largo, pari a $1.56 T_0^2$) si calcolano i seguenti rapporti: h/H_0 e H_0/L_0 . Si entra nel grafico e si ricava il valore del rapporto h/H_0 da cui si ottiene il valore cercato h .

Nel caso in esame, considerando $h = 2$ m si ottiene i rapporti $h/H_0 = 0.3097$, $H_0/L_0 = 0.0013$ da cui, per via grafica, si ottiene un valore del sovrizzo pari a $\eta = 0.15$ cm.

6. ANALISI QUALITATIVA DEI PROCESSI EVOLUTIVI DELLA COSTA

Recenti studi hanno dimostrato che il 32% delle spiagge italiane è attualmente in erosione, il 63% può essere considerato in equilibrio, grazie anche alle opere di protezione che sono state realizzate, mentre solamente il 5% è in fase di avanzamento.

Queste tre possibili situazioni sono dovute al fenomeno dell'erosione dei litorali; le cause di tale fenomeno sono dovute sia a eventi di tipo naturale sia di tipo antropico.

Tra le cause di tipo naturale si annoverano il clima e l'innalzamento del livello marino, mentre tra le cause antropiche si ritrovano le opere di bonifica effettuate dall'uomo, le escavazioni di materiale dall'alveo dei fiumi ed infine manufatti marittimi come porti e pennelli, che vanno a determinare una diversa distribuzione della sabbia all'interno dei vari settori.

Fin dai primi anni Settanta, presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, vengono eseguiti studi sull'evoluzione della linea di riva del litorale toscano sia nell'ambito di progetti di ricerca nazionali (CNR e MIUR) che per ricerche commissionate dalle Amministrazioni locali (Comuni, Province e Regione).

I dati così raccolti sono andati a costituire un patrimonio di eccezionale valore, anche perché associati a ricostruzioni storiche effettuate mediante la restituzione aerofotogrammetrica di riprese effettuate fin dal 1938.

Un'occasione particolarmente importante nella costituzione di questo archivio fu fornita dallo studio condotto per la Regione Toscana nel 1989 e che portò alla realizzazione della "Carta delle linee di riva" in scala 1:5000 di tutta la costa continentale, utilizzando anche un'analogia carta prodotta per la Provincia di Livorno negli anni 1977-78 ed importando dati da un documento realizzato nel 1985 dalla Provincia di Grosseto.

Negli anni successivi, in occasione dell'aggiornamento dei dati sui vari tratti di litorale, si procedette alla digitalizzazione di quel documento, che, grazie agli studi realizzati per conto della Provincia di Livorno, prima, e della Regione Toscana, poi, fu esteso anche alle spiagge dell'Isola d'Elba.

È opportuno sottolineare che la "Carta delle linee di riva" è suddivisa in macro-settori considerati omogenei dal punto di vista evolutivo (avanzamento o arretramento della linea di riva), all'interno dei quali era previsto che potessero esservi solo piccoli tratti nei quali, nel periodo di tempo considerato, si avessero variazioni opposte a quelle dell'intero settore.

Oggi, che all'interno di questi settori sono stati realizzati interventi di difesa, il quadro è assai più complesso, ed è possibile che ci siano punti localizzati della costa all'interno del settore in controtendenza evolutiva rispetto al quadro generale del settore d'appartenenza.

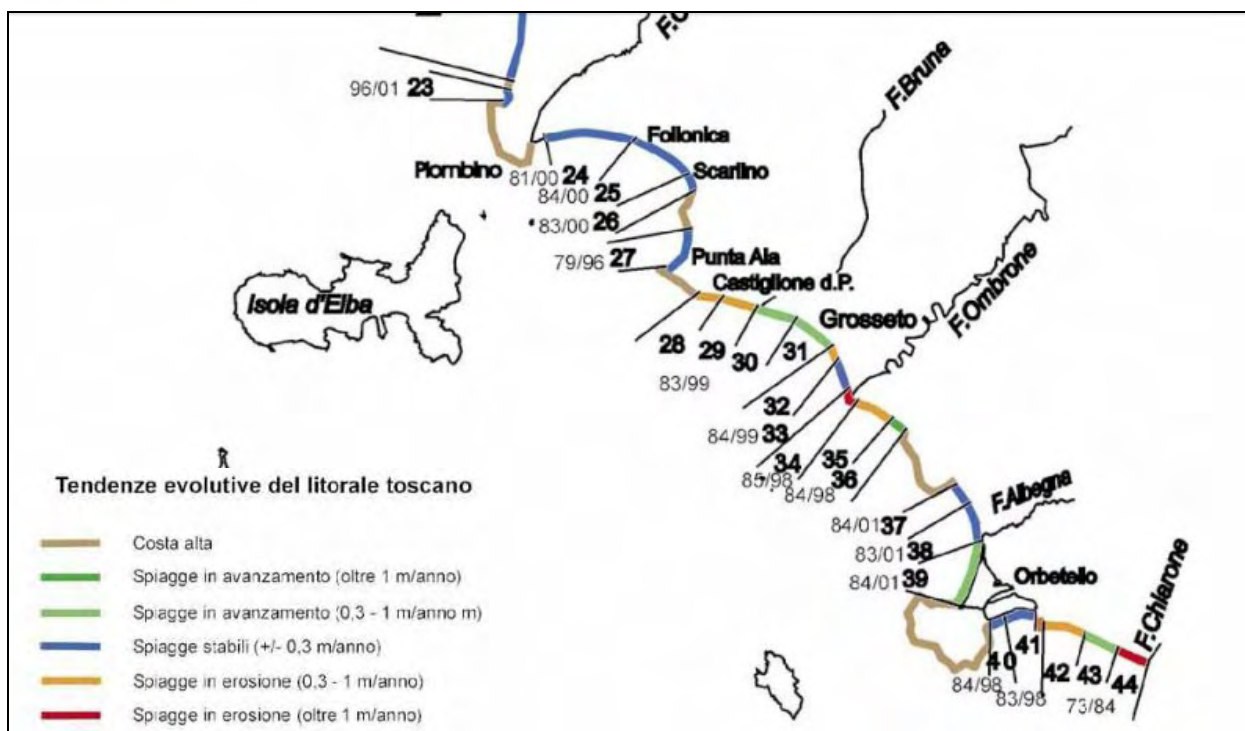


Figura 18 - Tendenze evolutive della linea di costa della Toscana [Carta delle linee di riva, 1989]

A puro titolo esemplificativo, l'area d'interesse ricade nel settore 38-39 dalla foce del Fiume Osa al Monte Argentario; questo tratto di litorale è alimentato principalmente dal Fiume Albegna e, subordinatamente e per il solo settore settentrionale, dal Fiume Osa.

Il tratto compreso fra la foce dell'Osa e quella dell'Albegna risultava in leggero avanzamento fra il 1979 e il 1983-84 (+2.4 metri; 0.61 metri/anno) nonostante che nel 1983 già si fosse manifestata l'erosione in prossimità della foce dell'Albegna, tanto che sulla cartografia di quell'anno sono già presenti delle piccole difese costiere.

L'erosione, che si estende anche alla spiaggia a Sud della foce dell'Albegna, è stata attribuita alla riduzione dell'apporto sedimentario di questo fiume conseguente alle massicce escavazioni di inerti operate nel suo alveo fino agli anni Settanta.

Il rilievo del 2001 (Volo aereo della Guardia Costiera - Regione Toscana) consente invece di considerare stabile questo settore, dove la linea di riva sarebbe arretrata di soli 1.3 m in 18 anni (-0.07 metri/anno).

Il Tombolo della Giannella (Settore 39), che risultava in equilibrio (+0.5 metri; +0.1 metri/anno) nel periodo 1979-1984, mostra, sulla base del rilievo del 2001, una leggera tendenza all'avanzamento, con una espansione media dell'arenile di 5.4 metri in 17 anni (+0.32 metri/anno).

6.1 TENDENZA EVOLUTIVA DELLA LINEA DI COSTA IN CORRISPONDENZA DEGLI ARENILI OGGETTO DI INTERVENTO

In assenza di modelli idrodinamici complessi, che richiedono ingenti dati di input per la loro calibrazione, ed in assenza di recenti studi e rilievi sul profilo della linea di costa, in questa sede si è provveduto, al fine di delineare un quadro conoscitivo sulle tendenze evolutive della costa, ad effettuare un'analisi diacronica del territorio con successiva interpretazione con software grafico per determinare i processi in atto.

In pratica, per ogni punto d'interesse, sono state acquisite le foto aeree dei voli AGEA relative agli anni 1996, 2007, 2010 e 2013; queste sono state tutte sovrapposte mediante GIS attraverso punti di controllo comuni, in modo che risultassero tutte nella medesima scala e parimenti georeferite e confrontabili.

Successivamente è stata tracciata la linea di costa per ogni anno d'interesse, con misura dell'estensione dell'arenile rispetto ad una linea a terra comune a tutti gli anni di riferimento, in modo che le superfici fossero fra loro paragonabili.

Con questa metodologia è stato possibile determinare, mediante semplici digitalizzazioni e misure in ambiente GIS ed in modo piuttosto accurato, le tendenze in atto e le relative quantità di arretramento/avanzamento della linea di costa nel corso degli anni d'osservazione.



6.1.1 PUNTO INTERVENTO 1: SPIAGGIA SILURIPEDIO - SP6

Il primo punto d'interesse (spiaggia Siluripedio - SP6) è ubicato fra i toponimi di Punta della Madonnetta e Lividonia ed è rappresentato da un piccolo arenile esposto a Nord ed in generale alle agitazioni di moto ondoso provenienti dal primo quadrante.



Figura 19 - Ubicazione cartografica del punto d'intervento 1 - Spiaggia Siluripedio - SP6



Figura 20 - Vista del punto di intervento 1 - Spiaggia Siluripedio - SP6

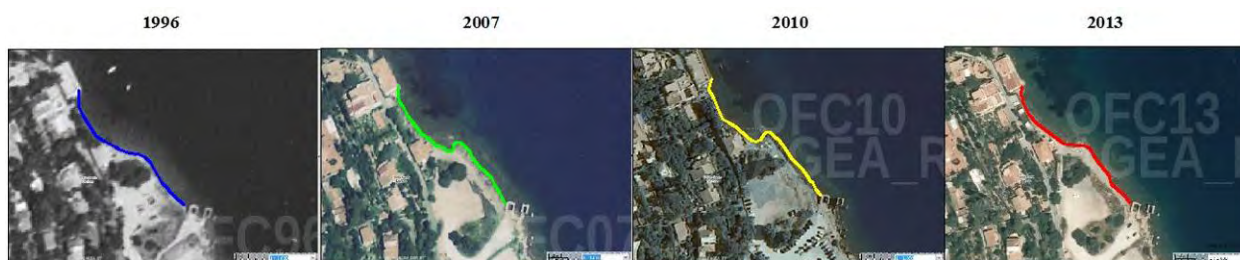


Figura 21 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 - Spiaggia Siluripedio - SP6

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 1:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	915	0	0.00	0.00
2007	894	-21	-0.16	-0.01
2010	1112	218	1.61	0.54
2013	571	-541	-4.01	-1.34
Complessivo 1996-2013		-344	-2.55	-0.15

Tabella 7 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 1 - Spiaggia Siluripedio - SP6

Nel lungo periodo (1996-2013) si evidenzia una diminuzione dell'estensione dell'arenile, sebbene nel 2010 ci sia stata una controtendenza evolutiva con incremento della superficie.

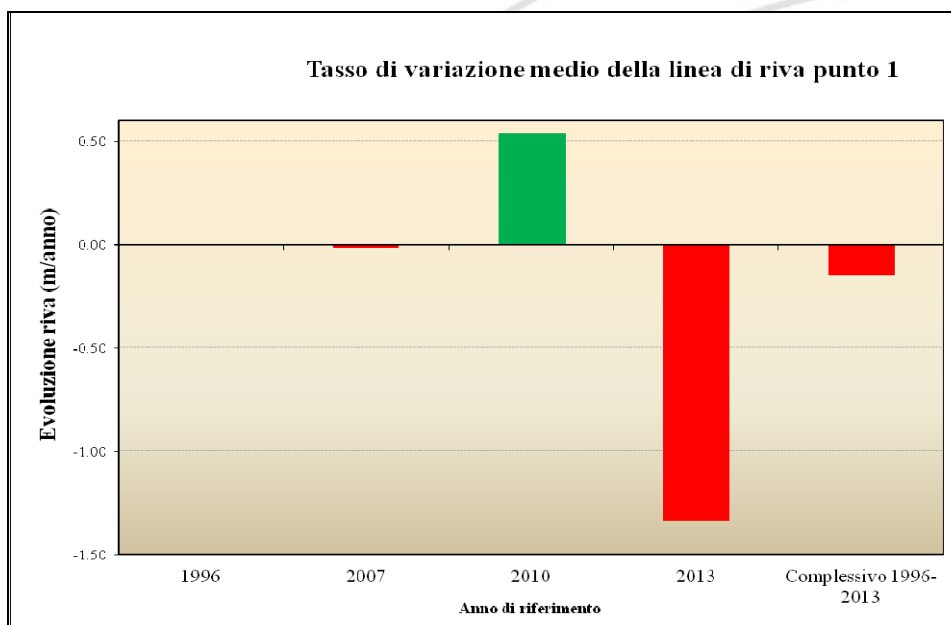


Figura 22 - Tendenza evolutiva del punto 1 - Spiaggia Siluripedio - SP6 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 23 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) della Spiaggia Siluripedio - SP6

6.1.2 PUNTO INTERVENTO 2: SPIAGGIA MOLETTA - SP7

Il secondo punto d'interesse (Spiaggia Moletto - SP7) è ubicato in località La Sanità ed è costituito da una piccola spiaggetta posta a Nord del porto in corrispondenza di un pennello realizzato per il riparo di piccole imbarcazioni da diporto.

Anche in questo caso l'arenile è esposto a Nord ed in generale alle agitazioni del moto ondoso provenienti dal primo quadrante, che hanno progressivamente ridotto la superficie fruibile nel corso degli anni.



Figura 24 - Ubicazione cartografica del secondo punto d'intervento - Spiaggia Moletto - SP7



Figura 25 - Vista aerea del secondo punto d'intervento - Spiaggia Moletto - SP7



Figura 26 - Vista del secondo punto d'intervento - Spiaggia Moletto - SP7



Figura 27 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 2 - Spiaggia Moletto - SP7

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 2 - Spiaggia Moletto:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	2624	0	0.00	0.00
2007	2397	-227	-1.89	-0.17
2010	2229	-168	-1.40	-0.47
2013	2220	-9	-0.08	-0.03
Complessivo 1996-2013		-404	-3.37	-0.20

Tabella 8 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 2 - Spiaggia Moletto - SP7

Si riscontra una progressiva diminuzione delle dimensioni della spiaggia, con un tasso d'erosione pari a 20 cm/anno nel lungo periodo, senza indizi di controtendenza evolutiva di incremento della superficie.

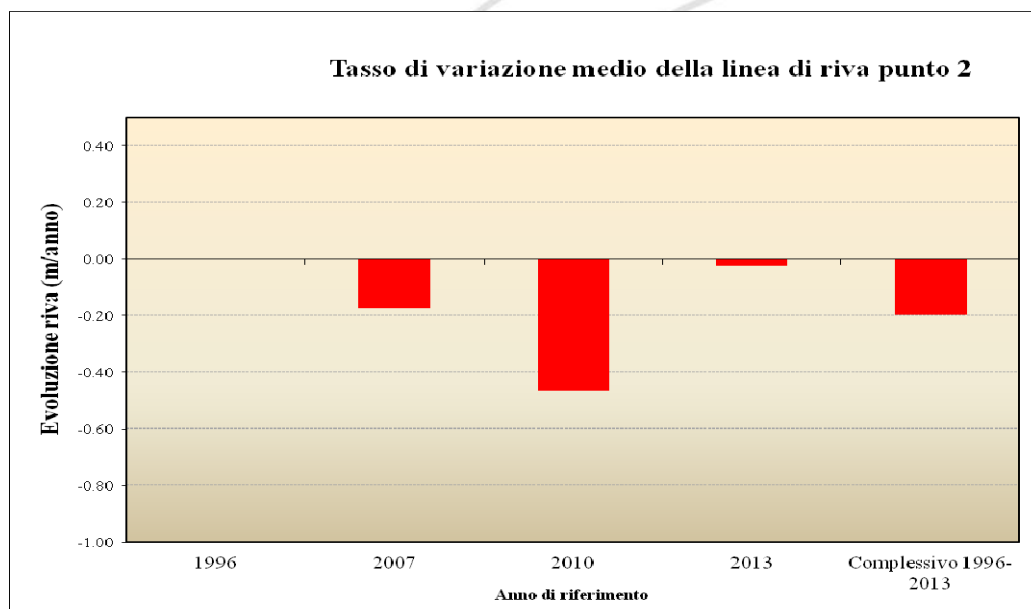


Figura 29 - Tendenza evolutiva del punto 2 - Spiaggia Moletto - SP7 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 30 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) - Spiaggia Moletto - SP7

6.1.3 PUNTO INTERVENTO 3: SPIAGGIA MARINELLA - SP5

Il terzo punto d'interesse (Spiaggia Marinella - SP5) è ubicato in corrispondenza del porto di Porto Santo Stefano in corrispondenza del pennello a protezione dell'accesso da settentrione.

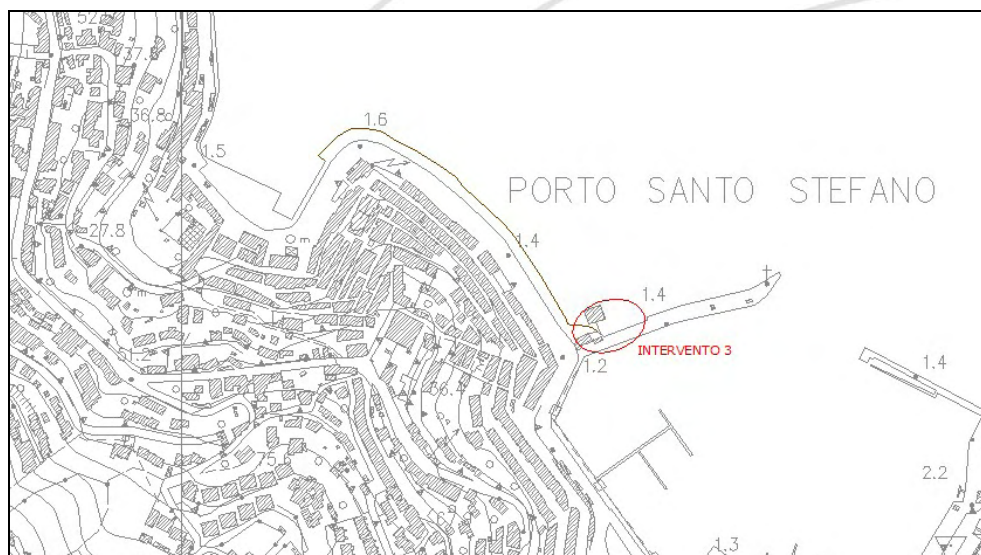


Figura 31 - Ubicazione cartografica del terzo punto d'intervento - Spiaggia Marinella - SP5

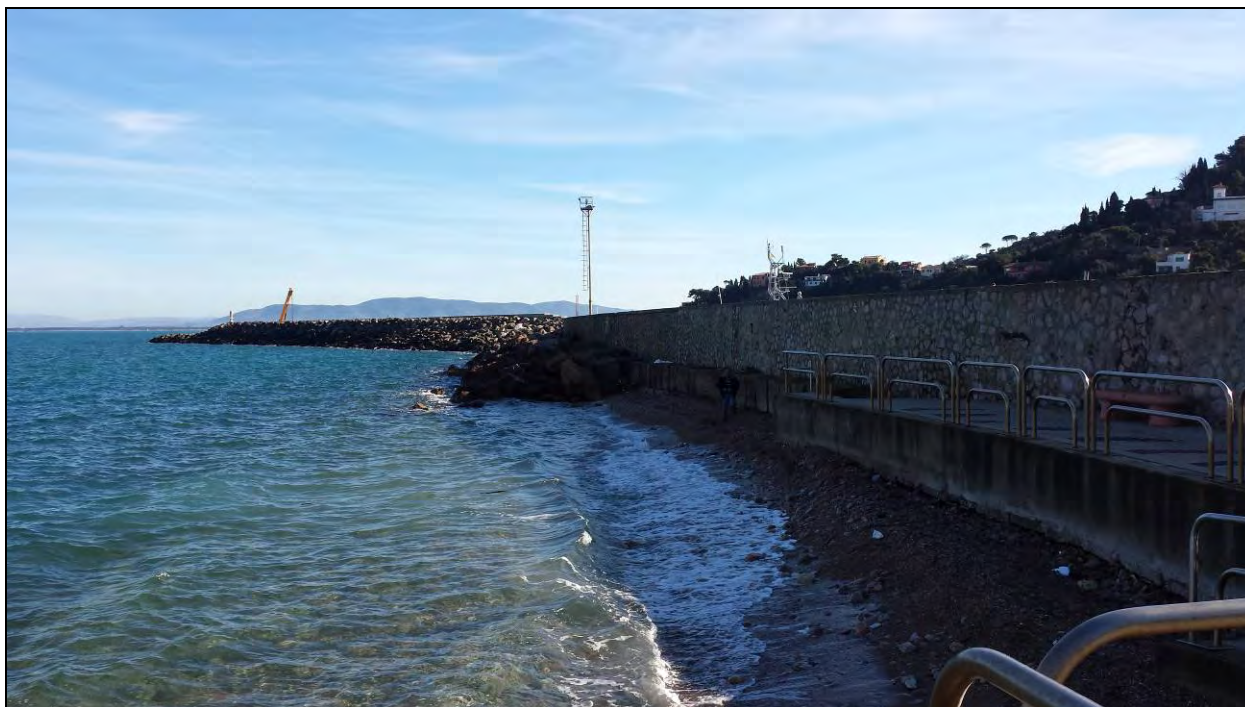


Figura 32 - Vista del punto di intervento 3 - Spiaggia Marinella - SP5



Figura 33 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 3 - Spiaggia Marinella

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 3:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	2041	0	0.00	0.00
2007	1763	-278	-1.54	-0.14
2010	1450	-313	-1.74	-0.58
2013	1674	224	1.24	0.41
Complessivo 1996-2013		-367	-2.04	-0.12

Tabella 9 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 3 - Spiaggia Marinella - SP5

Nel periodo 1996-2013 si riscontra la diminuzione delle dimensioni della spiaggia, con un tasso d'erosione pari a circa 12 cm/anno, sebbene nell'ultimo periodo (2010-2013) ci sia stata una controtendenza, con deposizione ad un tasso di 40 cm annui.

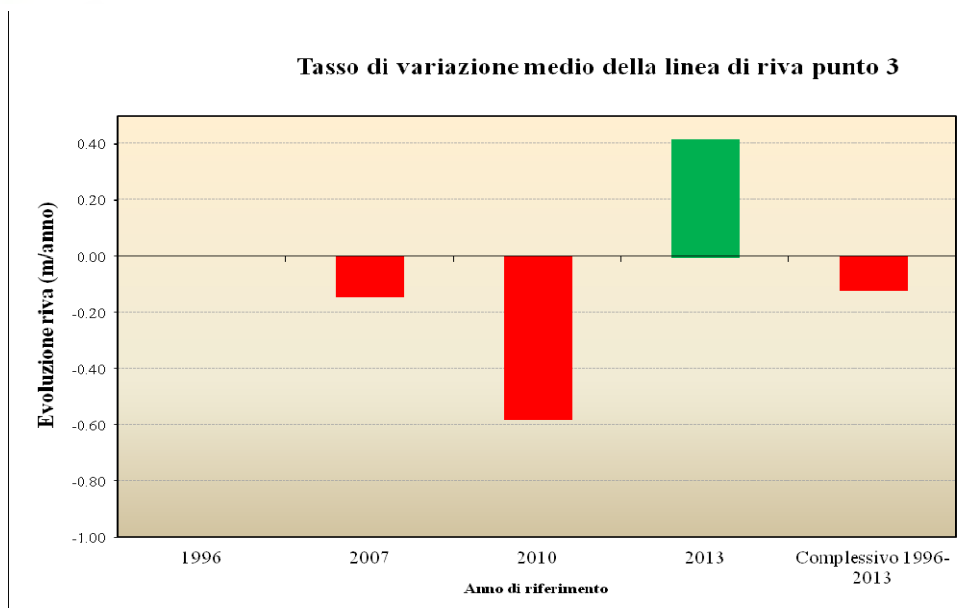


Figura 34 - Tendenza evolutiva del punto 3 - Spiaggia Marinella - SP5 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 35 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) - Spiaggia Marinella - SP5

6.1.4 PUNTO INTERVENTO 4: SPIAGGIA CANTONIERA - SP4

Il quarto punto d'interesse (Spiaggia Cantoniera) è ubicato in località Punta Nera, ad Est di Porto Santo Stefano, ed è rappresentato da una spiaggia esposta a Nord Ovest ed in generale alle agitazioni del moto ondoso provenienti dal quarto quadrante.

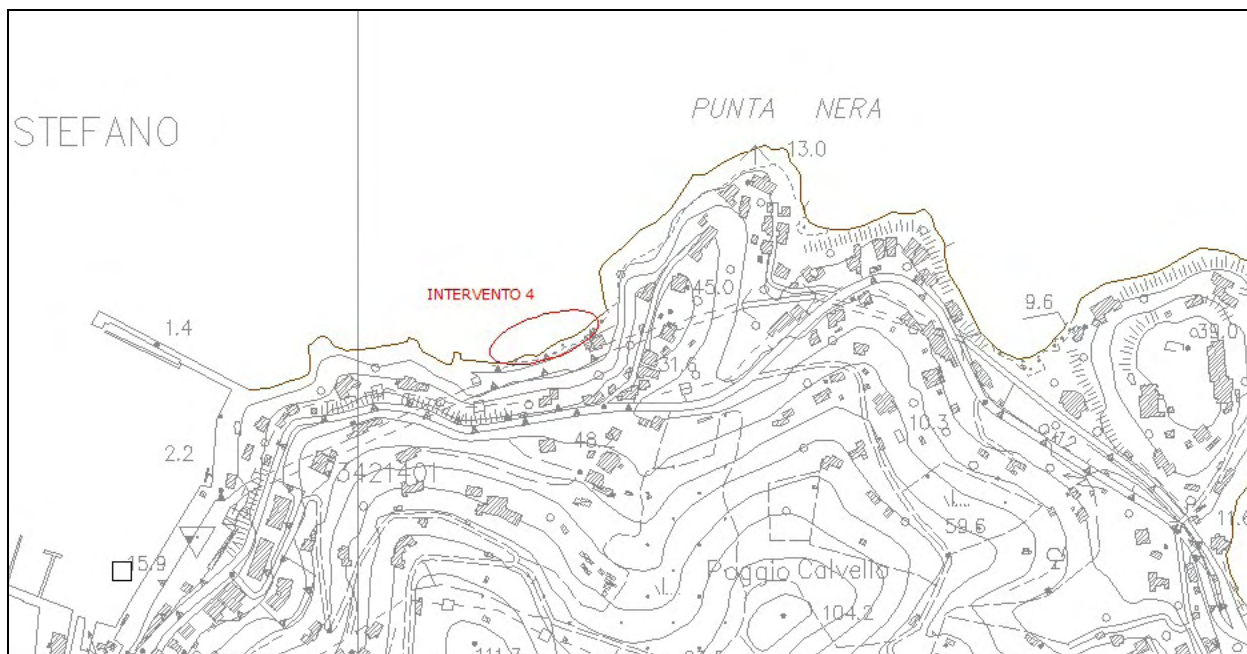


Figura 36 - Ubicazione cartografica del quarto punto d'intervento - Spiaggia Cantoniera - SP4



Figura 37 - Vista del punto di intervento 4 - Spiaggia Cantoniera - SP4



Figura 38 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 4 - Spiaggia Cantoniera - SP4

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 4 - Spiaggia Cantoniera - SP4:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	2078	0	0.00	0.00
2007	1965	-113	-0.40	-0.04
2010	2108	143	0.50	0.17
2013	2388	280	0.98	0.33
Complessivo 1996-2013		310	1.09	0.06

Tabella 10 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 4 - Spiaggia Cantoniera - SP4

Nel periodo 1996-2013 si riscontra un leggero avanzamento della linea di costa, frutto di una controtendenza evolutiva dell'ultimo periodo, a fronte del processo erosivo che si è riscontrato fino al 2007.

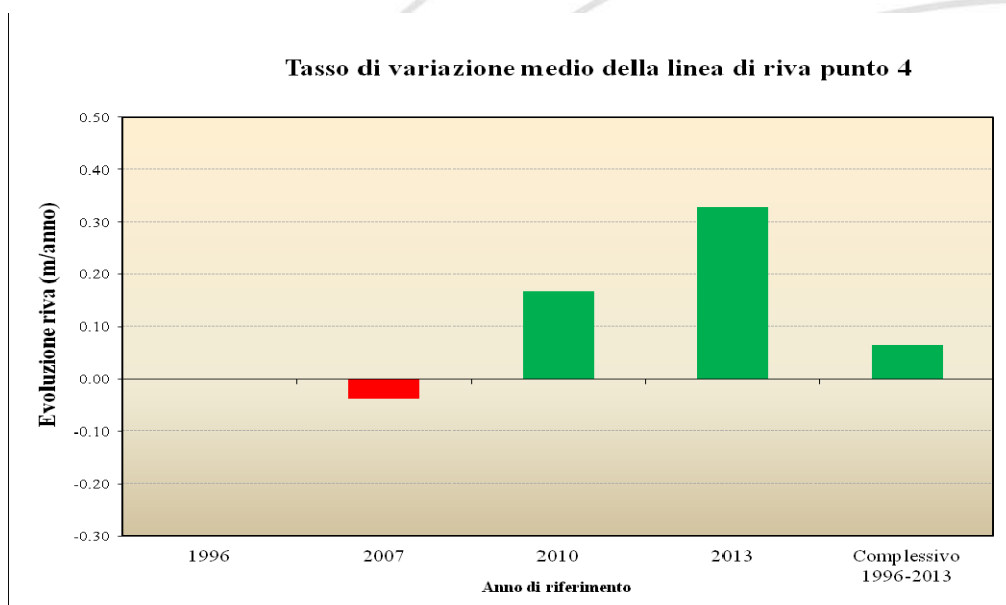


Figura 39 - Tendenza evolutiva del punto 4 - Spiaggia Cantoniera - SP4 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 40 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) - Spiaggia Cantoniera - SP4

6.1.5 PUNTO INTERVENTO 5: SPIAGGIA POZZARELLO - SP3

Il quinto punto d'interesse (spiaggia Pozzarello - SP3) è ubicato in località Cala del Pozzarello, a Sud Est della località Torre Calvello ed è rappresentato da un ampio arenile esposto a Nord ed in generale alle agitazioni del moto ondoso provenienti dal primo quadrante.

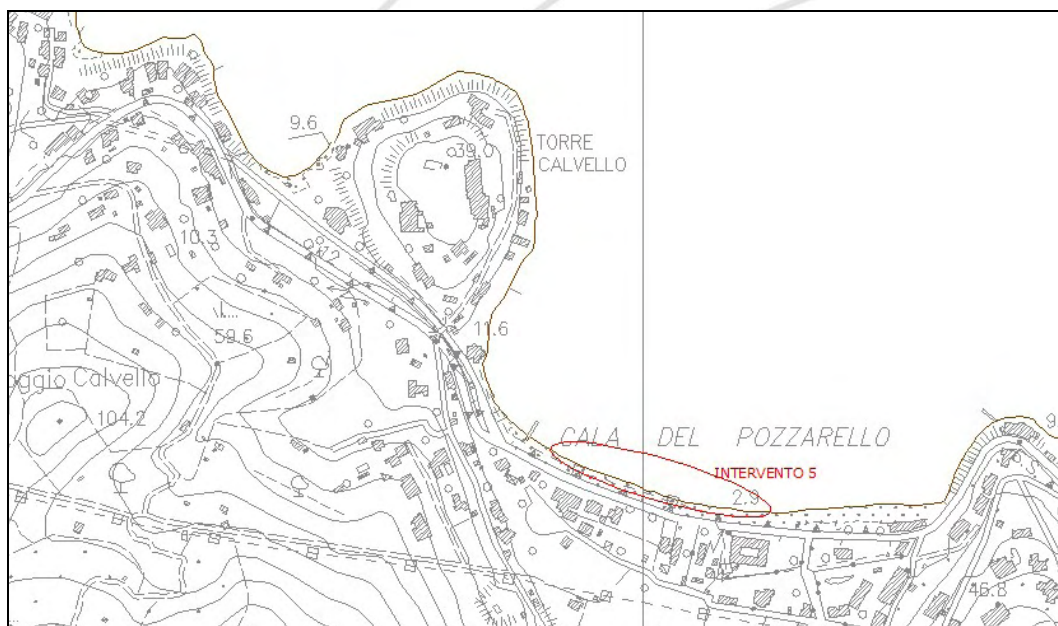


Figura 41 - Ubicazione cartografica del quinto punto d'intervento - Spiaggia Pozzarello - SP3



Figura 42 - Vista del punto di intervento 5 - Spiaggia Pozzarello - SP3



Figura 43 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 5 - Spiaggia Pozzarello - SP3

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 5:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	4995	0	0.00	0.00
2007	4373	-622	-1.66	-0.15
2010	3333	-1040	-2.77	-0.92
2013	3677	344	0.92	0.31
Complessivo 1996-2013		-1318	-3.51	-0.21

Tabella 11 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 5 - Spiaggia Pozzarello - SP3

Nel periodo 1996-2013 si riscontra una tendenza evolutiva di arretramento della costa, con un tasso medio di circa 20 cm annui; tuttavia nell'ultimo periodo di osservazione 2010-2013 si è riscontrata una

controtendenza, con avanzamento della linea di riva con un tasso di 30 cm annui, che tuttavia non è stato sufficiente a controbilanciare l'intensa attività erosiva verificatasi soprattutto nel periodo 2007-2010 e riportare il profilo alla sagoma dell'anno 1996.

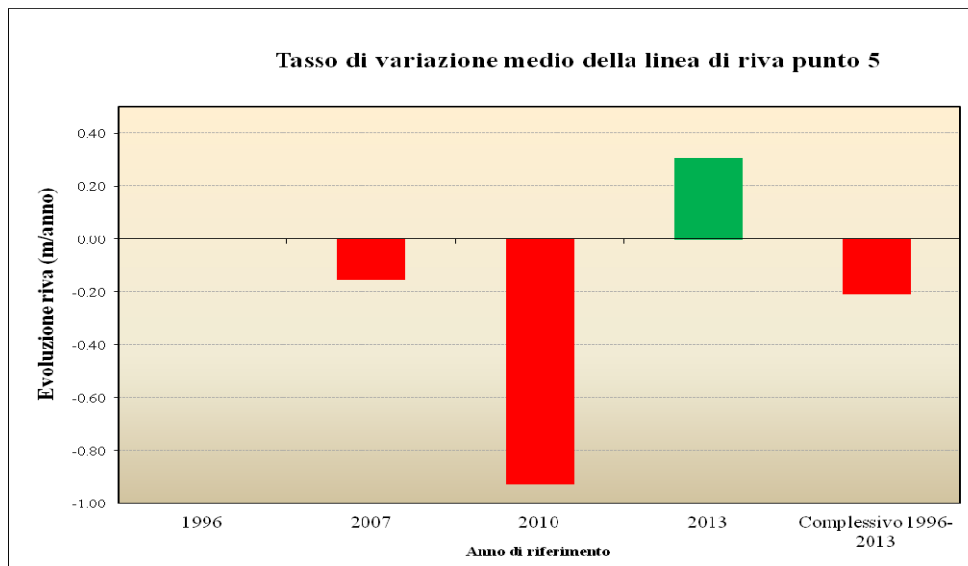


Figura 44 - Tendenza evolutiva del punto 5 - Spiaggia Pozzarello - SP3 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS

6.1.6 PUNTO INTERVENTO 6: SPIAGGIA SODA - SP2

Il sesto punto d'interesse (Spiaggia Soda - SP2) è ubicato subito ad Est della Cala del Pozzarello, a Sud Ovest del promontorio di Santa Liberata, ed è rappresentato da una spiaggia esposta al Maestrale ed in generale alle agitazioni del moto ondoso provenienti dal quarto quadrante.

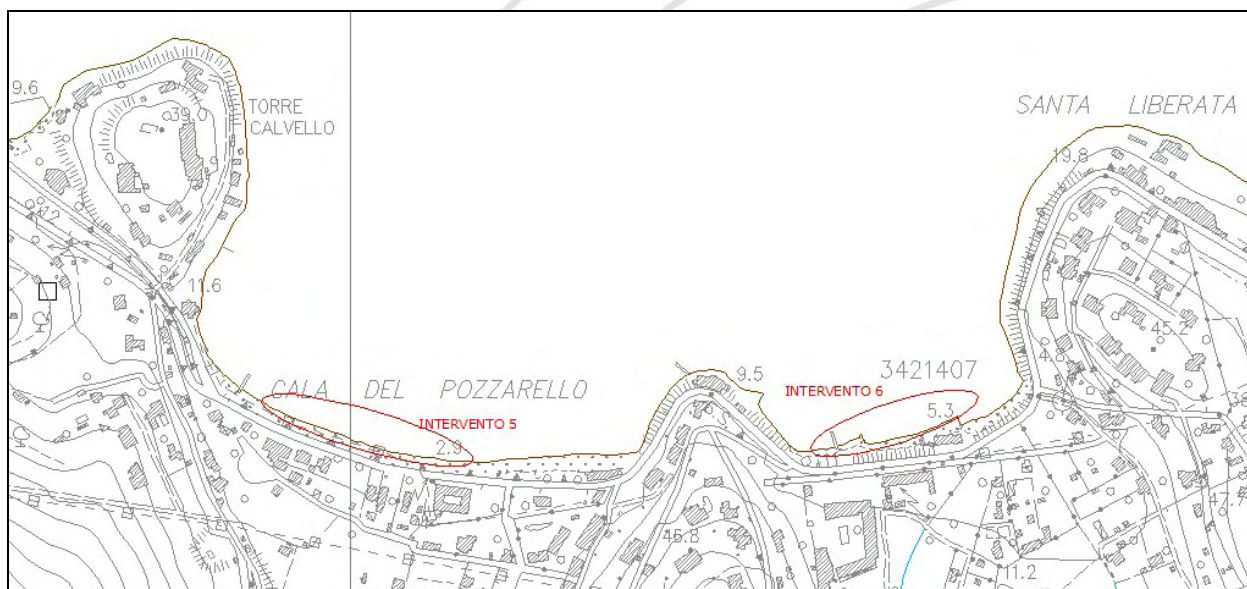


Figura 45 - Ubicazione cartografica del sesto punto d'intervento - Spiaggia Soda - SP2

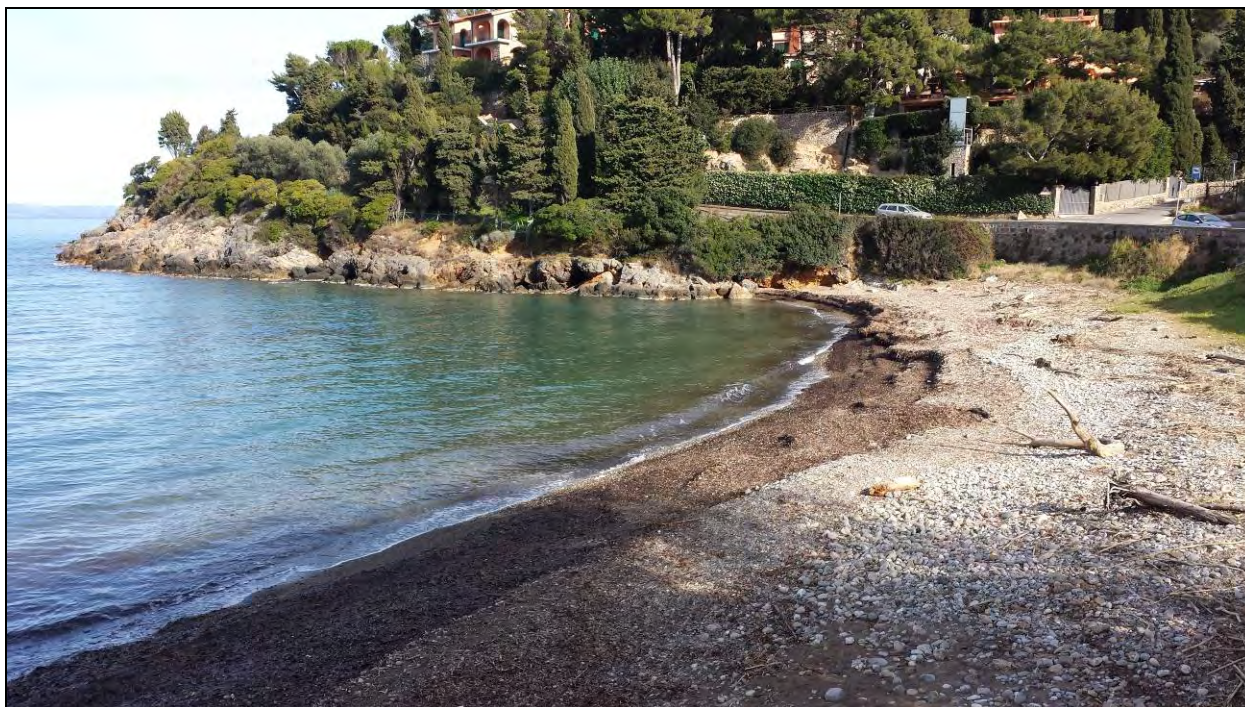


Figura 46 - Vista del punto di intervento 6 - Spiaggia Soda - SP2



Figura 47 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 6 - Spiaggia Soda - SP2

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 6 - Spiaggia Soda - SP2:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	4928	0	0.00	0.00
2007	5262	334	1.04	0.09
2010	5513	251	0.78	0.26
2013	6107	594	1.86	0.62
Complessivo 1996-2013		1179	3.68	0.22

Tabella 12 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 6 - Spiaggia Soda - SP2

Nel periodo 1996-2013 si riscontra una tendenza evolutiva costante di avanzamento della costa, con un tasso medio di circa 22 cm annui; il processo di avanzamento, lento nel periodo 1996-2007, sembra

invece aver aumentato di magnitudo negli ultimi tempi, con un tasso medio di circa 60 cm annui nell'ultimo triennio di osservazione.

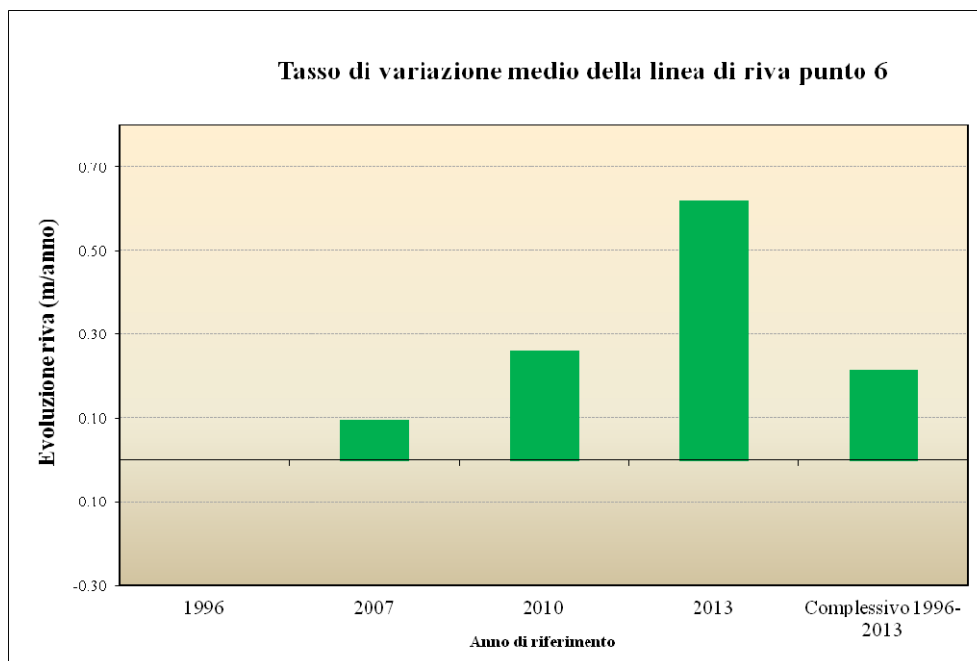


Figura 48 - Tendenza evolutiva del punto 6 - Spiaggia Soda - SP2 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 49 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) - Spiaggia Soda - SP2

6.1.7 PUNTO INTERVENTO 7: SPIAGGIA GERINI - SP1

Il settimo punto d'interesse (Spiaggia Gerini - SP1) è ubicato subito ad Sud della località Torre di Santa Liberata, ed è rappresentato da una spiaggia esposta a Nord Est ed in generale alle agitazioni del moto ondoso provenienti dal primo quadrante.

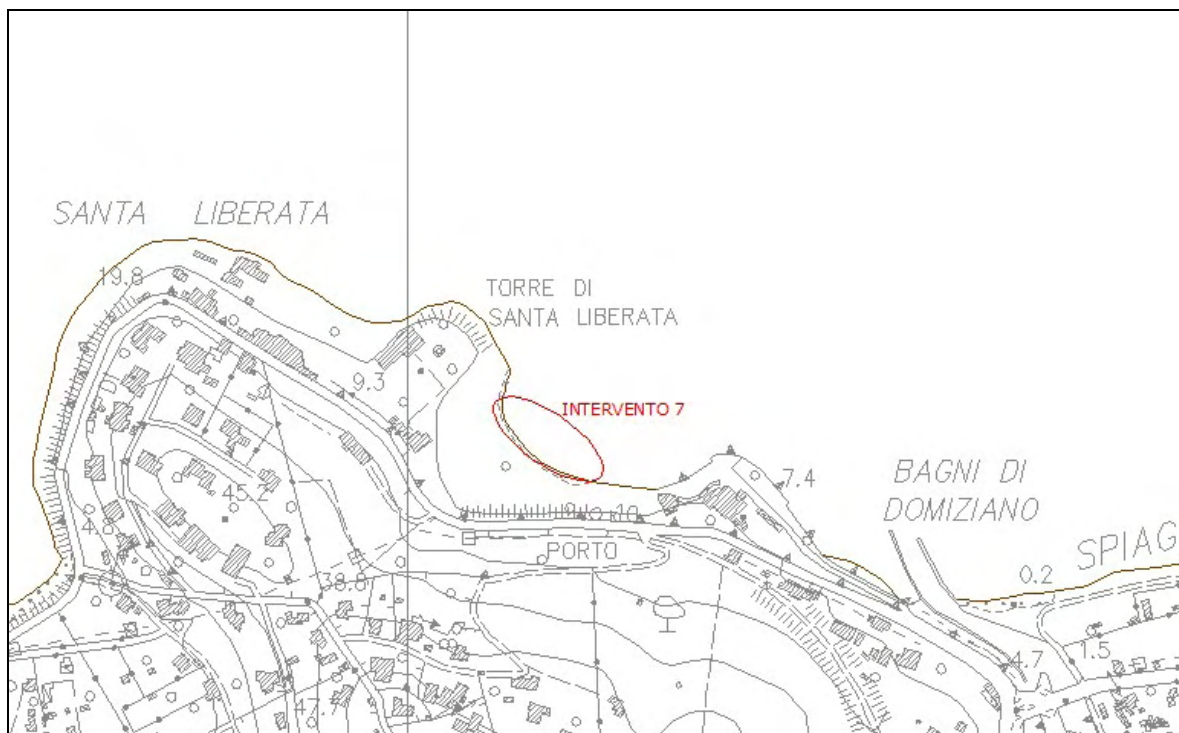


Figura 50 - Ubicazione cartografica del settimo punto d'intervento - Spiaggia Gerini - SP1



Figura 51 - Vista del punto di intervento 7 - Spiaggia Gerini - SP1



Figura 52 - Analisi diacronica della linea di costa fra il 1996 ed il 2013 del punto 7 - Spiaggia Gerini - SP1

Le analisi di fotointerpretazione e le elaborazioni GIS hanno evidenziato le seguenti caratteristiche dell'arenile del punto 7 - Spiaggia Gerini:

Periodo di osservazione 1996 - 2013 (1996 come riferimento zero)				
Anno	Area [mq]	Variazione area [mq]	Variazione lineare media [m]	Tasso di variazione [m/anno]
1996	1641	0	0.00	0.00
2007	1481	-160	-0.58	-0.05
2010	984	-497	-1.81	-0.60
2013	1320	336	1.22	0.41
Complessivo 1996-2013		-321	-1.17	-0.07

Tabella 13 - Tendenza evolutiva dell'arenile del punto d'intervento 7 - Spiaggia Gerini - SP1

Nel periodo 1996-2013 si riscontra una leggerissima tendenza evolutiva all'arretramento, sebbene frutto di un'intensa erosione iniziale, controbilanciata da un'evidente tendenza al deposito dell'ultimo triennio 2010-2013, con un tasso medio di circa 40 cm annui di avanzamento.

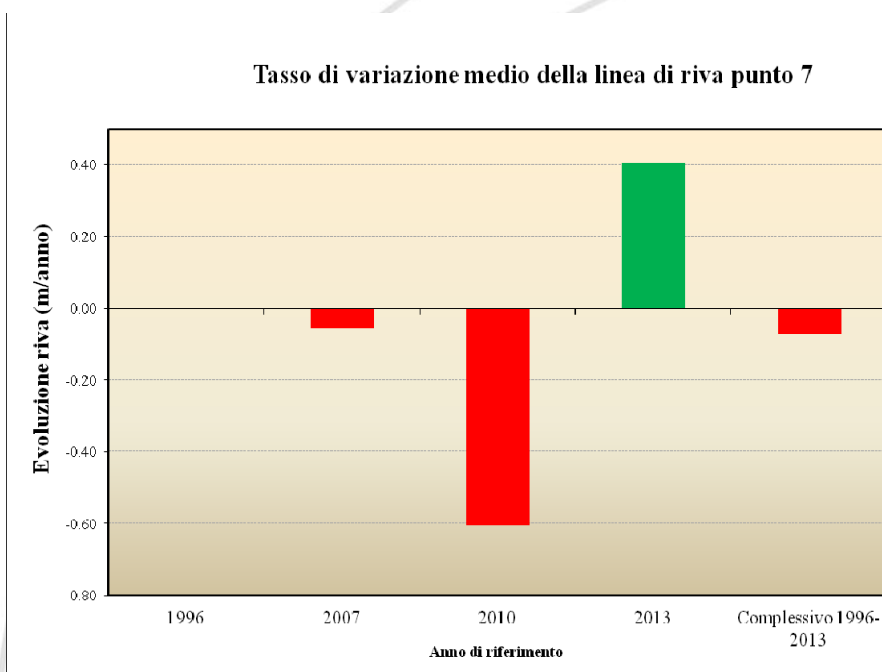


Figura 53 - Tendenza evolutiva del punto 7 - Spiaggia Gerini - SP1 sulla base di fotointerpretazione ed analisi GIS



Figura 54 - Sovrapposizione su ortofoto AGEA del 2013 delle linee di costa (2013 rosso, 2010 giallo, 2007 verde, 1996 blu) - Spiaggia Gerini - SP1

Grosseto, febbraio 2015

I tecnici progettisti:

Dott. Geol. Massimo Fanti



Ing. Matteo Tanzini



Ing. Giada Bonacchi



Ing. Alberto Rabai



Collaboratori:

Ing. Chiara Chiostrini

Ing. Simone Galardini