

CONVENZIONE

tra



COMUNE DI PORTO CESAREO
Provincia di Lecce

e



POLITECNICO DI BARI

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio,
Edile e di Chimica (DICATECh)

Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC)

SUPPORTO SCIENTIFICO PER LA REDAZIONE DEL PIANO COMUNALE DELLE COSTE DEL COMUNE DI PORTO CESAREO (LE)

Bari, ottobre 2014

Il Responsabile Scientifico della Convenzione
(prof. ing. Antonio Felice PETRILLO)





GRUPPO DI LAVORO

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica
(DICATECh)**

Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (L.I.C.)

dott. ing. Maria Francesca Bruno

dott. ing. Biagio Nobile

prof. ing. Antonio Felice Petrillo



INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
	2.1 SETTORE DI TRAVERSIA E FETCH DEL PARAGGIO	6
	2.2 PIANO REGIONALE DELLE COSTE.....	10
	2.3 LINEE GUIDA COSTE BASSE	13
	2.4 ATLANTE ITALIANO DELLE SPIAGGE	16
	2.5 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	19
	2.6 INQUADRAMENTO AMBIENTALE.....	24
3	CLIMA METEOMARINO	33
	3.1 MOTO ONDOSI AL LARGO.....	33
	3.1.1 LA BOA DI TARANTO	34
	3.1.2 ANALISI DEI DATI	44
	3.1.3 RELAZIONE PERIODO – ALTEZZA	48
	3.1.4 EVENTI ESTREMI	50
	3.1.5 ONDE EQUIVALENTI.....	56
	3.2 MOTO ONDOSI SOTTOCOSTA.....	60
	3.2.1 IL MODELLO MATEMATICO SWAN.....	60
	3.2.2 GRIGLIE DI CALCOLO.....	64
	3.2.3 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI.....	69
	3.2.4 PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI MODELLAZIONE	75
	3.2.5 PROFONDITA' DI CHIUSURA	82
4	VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO	84
	4.1 IL LIVELLO DEL MARE	85
	4.1.1 ANALISI DEI LIVELLI DEL MARE RILEVATI	87
	4.1.2 WAVE SETUP	98
	4.1.3 INFLUENZA DEL LIVELLO MEDIO MARE SULLA POSIZIONE DELLA LINEA DI RIVA	101
5	STIMA DELLE AREE INONDABILI	104
	5.1 MODELLO FLO-2D.....	104
	5.2 APPLICAZIONE DEL MODELLO.....	106
	5.2.1 SCENARIO ATTUALE	106



5.2.2	SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI	107
5.2.3	SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI	108
6	EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA.....	109
6.1	ARCGIS	113
6.2	DSAS	114
7	ANALISI DELLE AREE INONDABILI E DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA	116
7.1	AREA A.....	119
7.2	AREA B.....	124
7.3	AREA C.....	133
7.4	AREA D.....	134
7.5	AREA E.....	135
7.6	AREA F	142
7.7	AREE G, H, I, L, M, N, O e P	145
7.8	AREA Q.....	153
7.8.1	PRIMO TRATTO.....	162
7.8.2	SECONDO TRATTO	164
7.8.3	TERZO TRATTO	166
7.8.4	QUARTO TRATTO	168
7.8.5	QUINTO TRATTO.....	170
7.8.6	SESTO TRATTO	172
7.8.7	CONSIDERAZIONI FINALI SULL'AREA Q.....	178
7.9	AREE R - S	180
7.10	AREA T	189
7.11	AREA U.....	195
7.12	AREE V - Z.....	202
7.13	AREA Y.....	213
8	BIBLIOGRAFIA	219
9	ALLEGATI	226



1 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta nell'ambito della Convenzione stipulata in data 28/02/2014 tra il Comune di Porto Cesareo (LE) ed il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio e di Chimica (DICATECh) del Politecnico di Bari, attraverso il Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste (LIC), per il *“Supporto scientifico per la redazione del Piano Comunale delle Coste del Comune di Porto Cesareo (LE)”*.

Nello specifico il gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Antonio Felice Petrillo ha realizzato la definizione del clima meteomarinico al largo e sotto costa attraverso:

- il reperimento ed analisi della serie storica dei dati ondometrici della boa di Taranto (rete di monitoraggio della Regione Puglia), dei dati mareografici delle stazioni di Porto Cesareo (rete di monitoraggio della Regione Puglia) e di Taranto (rete mareografica nazionale);
- lo studio del clima meteomarinico al largo del paraggio, calcolo del clima meteomarinico medio e stima degli eventi estremi;
- la creazione di reticoli batimetrici, in grande e piccola scala, sulla base della cartografia IIM e dei dati batimetrici resi disponibili dal Comune di Porto Cesareo, per lo studio delle trasformazioni del moto ondoso (onde equivalenti ed eventi estremi con tempo di ritorno pari a 50 anni) dal largo verso la costa con l'ausilio di idoneo modello matematico;
- lo studio delle correnti longitudinali per la valutazione dei processi di trasporto solido;
- le analisi delle variazioni del livello marino: calcolo del wave setup e del wave runup in condizioni estreme del moto ondoso, e con determinazione della massima altezza di risalita sulla spiaggia emersa;
- l'individuazione delle aree di allagamento da moto ondoso in concomitanza di eventi estremi ricorrendo ad un modello di calcolo bidimensionale.
- l'analisi della tendenza evolutiva storica della linea di riva attraverso l'interpretazione e la modellazione dei dati esistenti; a tal fine, sono



stati raccolti e informatizzati i dati disponibili sulle variazioni storiche della linea di riva dei tratti sabbiosi del litorale.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 SETTORE DI TRAVERSIA E FETCH DEL PARAGGIO

Il paraggio di Porto Cesareo è ubicato lungo il versante ionico della penisola salentina (figura 2.1.1).

A partire da un punto fissato al largo sono stati tracciati i fetch geografici, dove per fetch geografico si intende la distesa di mare libero entro cui il vento spirava con velocità e direzione costanti; il fetch geografico, quindi, rappresenta la porzione di mare, nella direzione del vento, sulla quale può avvenire la generazione del moto ondoso ad opera dell'azione esercitata dal vento. Il settore di traversia geografico del paraggio di Porto Cesareo comprende tutte le direzioni comprese tra 140°N e 270°N .



Figura 2.1.1 – Inquadramento territoriale.

Il fetch efficace viene introdotto invece per considerare sia l'effetto della larghezza del fetch, sia l'effetto della dispersione direzionale dell'energia dell'onda sullo sviluppo e propagazione dell'onda. L'uso dei fetch efficaci è particolarmente



appropriato nei mari di dimensioni ridotte sottoposti a perturbazioni ondose di lunga durata.

I fetch efficaci $F_{e,w}$ sono stati calcolati ogni 5 gradi, utilizzando la relazione:

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)} \quad (2.1.1)$$

in cui:

- $F_{e,w}$ è la lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w ;
- F_i è la lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i ;
- ϕ_w è la direzione media (riferita al Nord geografico) di possibile provenienza del vento;
- $\phi_w - \theta \leq \phi_i \leq \phi_w + \theta$ è la direzione i-esima (riferita al Nord geografico) relativa ad un settore di ampiezza 2θ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w ;
- θ è l'ampiezza del settore di possibile provenienza del moto ondoso (il metodo di Saville prevede un valore di $\theta = \pm 45^\circ$, mentre Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta = \pm 90^\circ$;
- n è un termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame (solitamente si assume $n = 2$).

L'equazione (2.1.1) deriva dalla teoria di ricostruzione indiretta del moto ondoso nota come metodo S.M.B. (Sverdrup 1954, Seymour 1977, Smith 1991). Detto procedimento di fatto impone che la distribuzione dello spettro di energia del moto ondoso abbracci un settore di $\pm 90^\circ$ rispetto a ciascuna direzione del vento considerata e che ogni direzione, compresa in tale settore, fornisca un contributo energetico proporzionale al quadrato del coseno dell'angolo che essa forma con la direzione in cui spira il vento.



In tabella 2.1.1 sono riportati i valori dei fetch geografici misurati e dei fetch efficaci calcolati con la relazione (2.1.1); mentre nella figura 2.1.2 sono rappresentati graficamente.

Nell'applicazione della relazione (2.1.1) è stata considerata la limitazione dei fetch geografici a 500km in quanto va considerato che nei casi di studio per la ricostruzione del moto ondoso

nell'ambito del mar Mediterraneo, si è soliti considerare come limite superiore dell'estensione delle perturbazioni atmosferiche, responsabili del processo di generazione del moto ondoso, un valore massimo di 500km, ipotizzando improbabile che le stesse condizioni di vento, in direzione ed intensità, possano mantenersi costanti su una porzione di mare di lunghezza superiore.

L'estensione dei fetch è maggiormente pronunciata verso le direzioni meridionali comprese tra i venti di scirocco (dir SE) ed i venti di libeccio (dir SO). Tra le direzioni 205°N e 270°N i fetch sono meno estesi in quanto intercettano le coste calabre e lucane.

Dalla distribuzione planimetrica dei fetch efficaci calcolati si deduce un settore di traversia efficace, considerando un valore minimo del fetch pari a 100km, compreso tra le direzioni 115°N e 260°N.

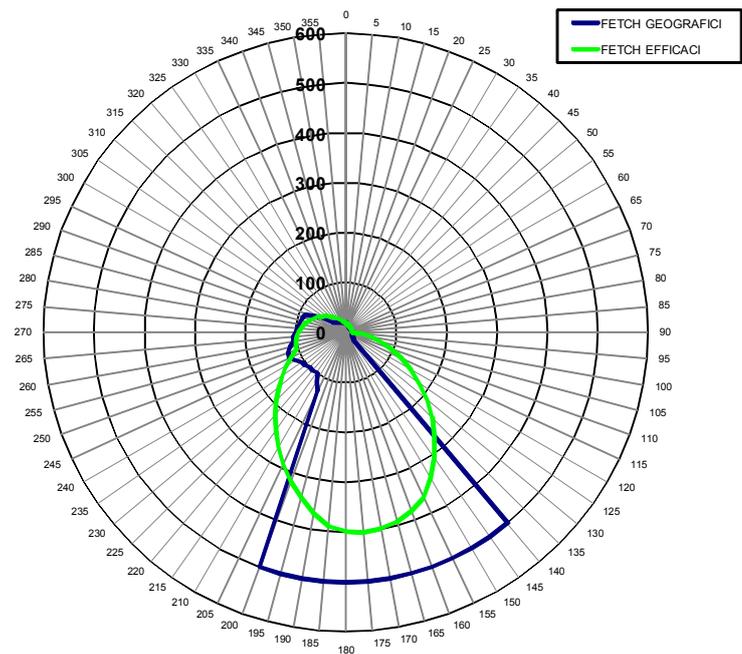


Figura 2.1.2 - Fetch geografici (blu) ed efficaci (verde).



dir (°N)	fetch geografici (km)	fetch efficaci (km)	dir (°N)	fetch geografici (km)	fetch efficaci (km)	dir (°N)	fetch geografici (km)	fetch efficaci (km)
0	20	19	120	18	150	240	114	136
5	19	18	125	19	180	245	123	120
10	18	17	130	19	211	250	122	106
15	16	16	135	22	242	255	115	103
20	15	16	140	500	274	260	105	100
25	15	15	145	500	306	265	106	97
30	13	14	150	500	337	270	100	93
35	11	14	155	500	367	275	95	89
40	11	13	160	500	383	280	93	84
45	11	13	165	500	394	285	90	79
50	11	13	170	500	400	290	89	73
55	11	13	175	500	402	295	86	67
60	11	13	180	500	399	300	63	62
65	11	13	185	500	392	305	34	56
70	12	13	190	500	368	310	31	51
75	13	13	195	500	343	315	29	46
80	13	13	200	500	318	320	27	41
85	14	14	205	132	293	325	26	37
90	15	14	210	116	267	330	24	33
95	15	30	215	99	242	335	23	29
100	15	49	220	101	218	340	22	26
105	15	71	225	100	195	345	21	23
110	14	95	230	104	174	350	20	21
115	13	122	235	105	154	355	19	20

Tabella 2.1.1 - Fetch geografici ed efficaci nel paraggio di Porto Cesareo.



2.2 PIANO REGIONALE DELLE COSTE

Il Piano Regionale delle Coste (PRC), approvato dalla Regione Puglia in base alla Delibera di Giunta Regionale n. 2273 del 13/10/2011 (G.U. n. 174 del 09/11/2011), è lo strumento che disciplina l'utilizzo delle aree del Demanio Marittimo, con le finalità di garantire il corretto equilibrio fra la salvaguardia degli aspetti ambientali e paesaggistici del litorale pugliese, la libera fruizione e lo sviluppo delle attività turistico ricreative.

Nell'ambito del PRC il paraggio in esame ricade all'interno dell'Unità Fisiografica principale denominata "U.F. 6" (Punta del Pizzo (Gallipoli) – Torre dell'Ovo (Maruggio), L = 114km), ed in particolare nella sub-unità "S.U.F. 6.3" che si estende da Torre Inserraglio a Torre dell'Ovo per una lunghezza di circa 65km. La lunghezza del litorale del territorio del Comune di Porto Cesareo nel PRC è stata valutata pari a circa 8805m.

Il litorale in tale sub-unità fisiografica è rappresentato quasi omogeneamente da una costa bassa sabbiosa o rocciosa con piccola falesia.

I tratti sabbiosi sono spesso accompagnati da dune recenti e fossili disposte per lunghi tratti in più file parallele. Le dune ed i cordoni sono costituiti da sabbie provenienti dal disfacimento dei depositi quaternari affioranti o dalla distribuzione sottocosta dei sedimenti marini. Nelle zone retrodunali si osservano spesso sorgenti, paludi e/o aree acquitrinose.

Le coste basse rocciose sono prevalentemente costituite da rocce tenere pleistoceniche o da calcari stratificati del cretaco.

Per quanto riguarda la presenza di sistemi dunali, nel territorio del Comune di Porto Cesareo il PRC ha individuato i seguenti tratti di litorale:

Comune	Tratto interessato	Tipologia	Lunghezza litorale (km)
Porto Cesareo	Scala di Furno	stabile	0.98
	Torre Chianca	in erosione	0.89
	Torre Lapillo	in erosione	1.42
	Torre di Castiglione	stabile	0.57
	Lido degli Angeli	stabile	1.69

Tabella 2.2.1 – Sistemi dunali individuati nel Piano Regionale delle Coste.



Nell'ottica di perseguire l'obiettivo imprescindibile dello sviluppo economico e sociale delle aree costiere attraverso criteri di eco-compatibilità e di rispetto dei processi naturali, il *PRC* è anche strumento di conoscenza del territorio costiero ed in particolare delle dinamiche geomorfologiche e meteomarine connesse al prioritario problema dell'erosione costiera.

In tal senso il *Piano Regionale delle Coste* ha individuato su tutta la fascia demaniale della costa pugliese differenti livelli di criticità all'erosione dei litorali e differenti livelli di sensibilità ambientale associata alle peculiarità territoriali del contesto.

La criticità all'erosione è stata definita in funzione di tre indicatori che individuano la tendenza evolutiva storica del litorale, la tendenza evolutiva recente e lo stato di conservazione dei sistemi dunali; la criticità all'erosione viene distinta in elevata, media e bassa (C1, C2 e C3). La sensibilità ambientale è stata definita in funzione di una molteplicità di indicatori che rappresentano lo stato fisico della fascia costiera (comprendente l'area demaniale e il suo contesto territoriale di riferimento) in relazione al sistema delle norme di tutela che ne sottolineano la valenza ambientale; la sensibilità ambientale viene distinta in elevata, media e bassa (S1, S2 e S3).

In base alle definizioni precedentemente richiamate il tratto di litorale ricadente nel territorio del Comune di Porto Cesareo (figura 2.2.1) è stato classificato come litorale ad elevata sensibilità ambientale (S1), mentre presenta mediamente bassa criticità all'erosione (C3) ed in alcuni casi media (C2). In figura sono indicate le classificazioni dei vari tratti che nel capitolo 7 saranno richiamate tutte puntualmente.

Nelle zone classificate C3S1 possono essere previste, salvo disponibilità di zone appartenenti - per la stessa classe di criticità - ai livelli più bassi di sensibilità ambientale, in via prioritaria Spiagge Libere con Servizi (SLS) e, in via subordinata, Stabilimenti Balneari (SB). In entrambi i casi i servizi minimi di spiaggia devono essere molto contenuti ed essenzialmente limitati al chiosco bar-direzione e ai servizi igienico-sanitari, comunque definiti attraverso metodologie di verifiche di tipo ambientale.

Nelle zone classificate C2S1 il rilascio di nuove concessioni è subordinato all'accertamento che i fenomeni erosivi siano stabilizzati attraverso un'attività continua di monitoraggio, la quale deve proseguire durante il periodo concessorio. L'eventuale riattivazione del fenomeno erosivo comporta la revoca delle concessioni.



Al fine di stabilizzare i fenomeni erosivi possono essere messi in atto interventi di recupero e risanamento costiero. Accertata la cessazione dei fenomeni erosivi, possono essere svolte le medesime attività previste per le aree classificate C3S1.



Figura 2.2.1 - Classificazione del litorale riportata nel Piano Regionale delle Coste.

2.3 LINEE GUIDA COSTE BASSE

La Giunta Regionale Pugliese con Delibera n. 410 del 10/06/2011 (Bollettino Ufficiale n. 42 del 23/03/2011) ha approvato le *Linee guida per l'individuazione di interventi tesi a mitigare le situazioni di maggiore criticità delle coste basse pugliesi*.

Tale documento definisce i criteri con cui redigere i progetti relativi a tutti gli interventi, di natura pubblica e privata, di mitigazione del rischio erosione e dissesto per le coste basse. In particolare nell'allegato 3.1 delle *Linee guida (Individuazione di strutture di mitigazione del rischio in ciascuna unità fisiografica)*, sono specificate, per ciascun tratto di litorale pugliese, le tipologie di strutture compatibili con le dinamiche costiere in atto.

Il litorale si connota per una morfologia frastagliata, presentando, fra l'altro, un sistema di isole a breve distanza dalla terra ferma, unico nel suo genere in Puglia, ed una penisola che delimita la baia di Porto Cesareo.

Tutta la fascia costiera ha subito una fortissima antropizzazione, con la costruzione di numerosissime abitazioni, utilizzate principalmente nel periodo estivo.

Nelle figure 2.3.1 e 2.3.2 sono riportate rispettivamente le densità delle costruzioni nel periodo 1945-1960 e 1960 al 1980.

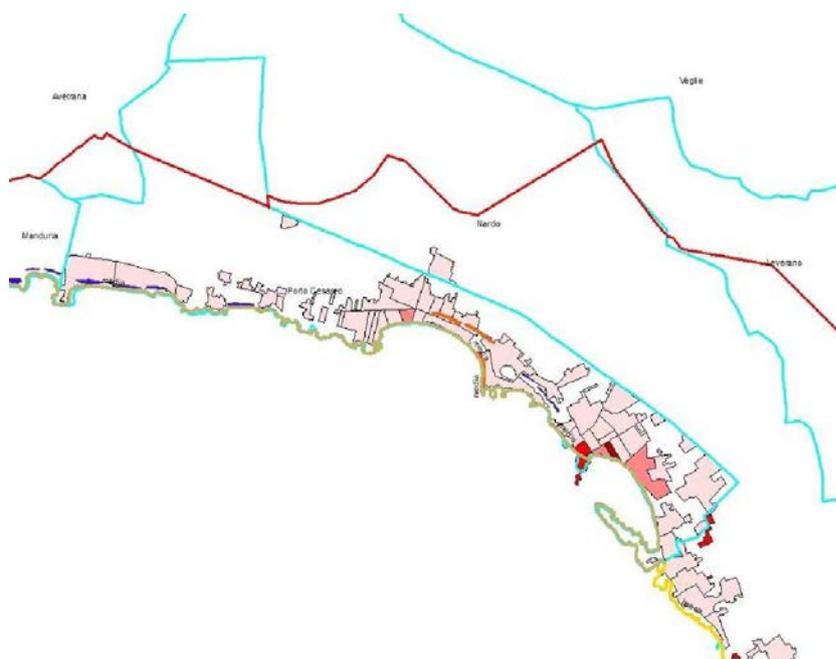


Figura 2.3.1 - Comune di Porto Cesareo: densità delle costruzioni 1945 – 1960 (Dati Istat).

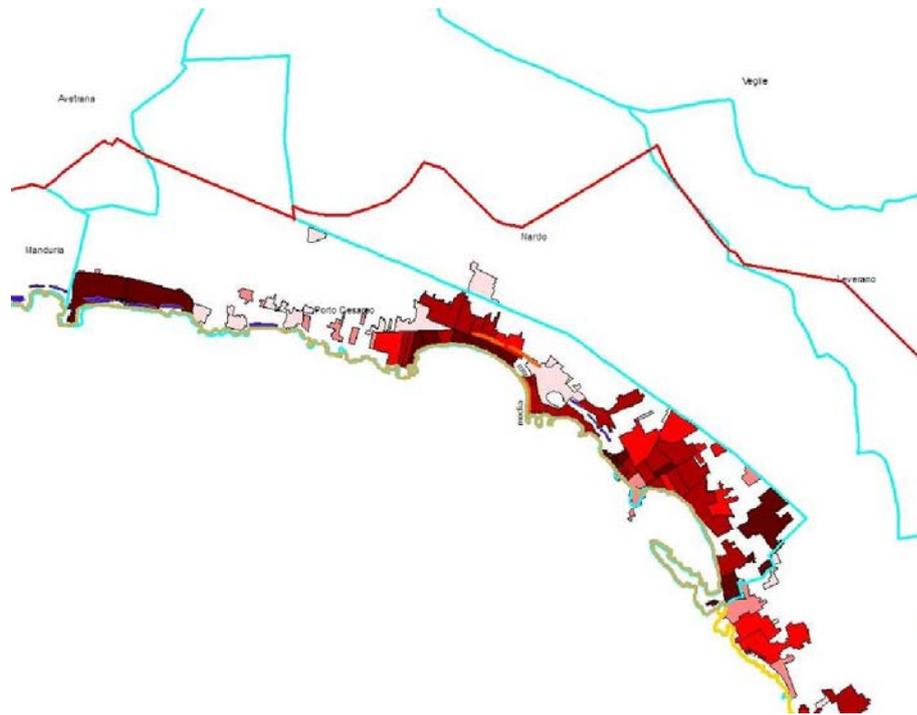


Figura 2.3.2 - Comune di Porto Cesareo: densità delle costruzioni 1960 - 1980 (Dati Istat).

In diversi casi le costruzioni si sono spinte fino ad occupare la parte della spiaggia emersa interessata dalla dinamica della fascia costiera e quindi sino al punto da essere a rischio di inondazione, come si è verificato negli anni 2009 e 2010 quando si sono avute severe mareggiate.

Le *Linee Guida* evidenziano l'opportunità di definire la fascia costiera a rischio inondazione da mare ed introdurre tali indicazioni come vincoli nei piani di utilizzazione del territorio sia regionali che comunali.

La forte antropizzazione ha portato negli anni ad un forte degrado, se non alla scomparsa, dei sistemi dunali; dai rilievi effettuati nell'ambito del Monitoraggio POR Puglia 2000 – 2006, non sono emersi fino al 2008 fenomeni erosivi significativi, quindi al 2008 la classificazione riportata nel PRC era conservata.

Per tale tratto di costa occorrono quindi essenzialmente, incisive azioni di riqualificazione e gestione dei sistemi dunali non essendosi mostrate sufficienti quelle già intraprese in passato. In particolare è suggerita la redistribuzione dei sedimenti spostati dalle mareggiate stagionali, nonché lo spostamento delle strutture balneari mobili ubicate sulla spiaggia emersa interessata dalla dinamica costiera.



Ad ogni modo nella sub-unità sono sconsigliate opere di difesa locali che potrebbero solo trasferire i fenomeni erosivi locali ai litorali adiacenti.

Va evidenziato infine che sarebbe opportuno proseguire l'attività di monitoraggio, con particolare riferimento alla spiaggia emersa e dei primi fondali.

I dati del monitoraggio dovranno essere utilizzati per valutare l'efficacia degli interventi di riqualificazione innanzi indicati e, se necessario, l'opportunità di realizzare eventuali opere di protezione, le quali dovranno essere accuratamente studiate valutandone il loro impatto sulla dinamica dei sedimenti nella sub-unità fisiografica, anche mediante l'utilizzo di studi specialistici eseguiti con l'ausilio di modelli fisici e/o numerici.

2.4 ATLANTE ITALIANO DELLE SPIAGGE

Uno strumento ampiamente utilizzato per l'inquadramento geomorfologico dei litorali italiani è l'*Atlante Italiano delle Spiagge* (1997), redatto da ricercatori afferenti a diverse sedi universitarie e con il finanziamento del CNR.

L'*Atlante Italiano delle Spiagge* dà un quadro omogeneo di tutti i litorali italiani; esso è costituito da 108 fogli in scala 1:100.000 compilati in un intervallo temporale che va dal 1981 al 1995; il litorale in esame è riportato nel foglio n. 213 dell'*Atlante* (figure 2.4.1 - 2.4.2).

Dall'analisi della figura 2.4.2 si evidenzia che il litorale rientrante nel territorio del Comune di Porto Cesareo è caratterizzato dall'alternanza di tratti di spiaggia sabbiosa a tratti di costa rocciosa. In particolare le spiagge sabbiose sono ubicate a Sud di Punta Prosciutto, in prossimità di Torre di Castiglione, a Sud di Torre Lapillo, a Sud di Torre Chianca ed all'interno della baia di Porto Cesareo.

I tratti sabbiosi, ad eccezione della spiaggia ubicata in corrispondenza dell'abitato di Porto Cesareo, sono sempre accompagnati dalla presenza di sistemi a vari ordini di dune. Le spiagge, così come la prima fascia del cordone dunale, sono segnalate in erosione.



Figura 2.4.1 - *Atlante delle Spiagge Italiane* (foglio n. 213, CNR 1997).

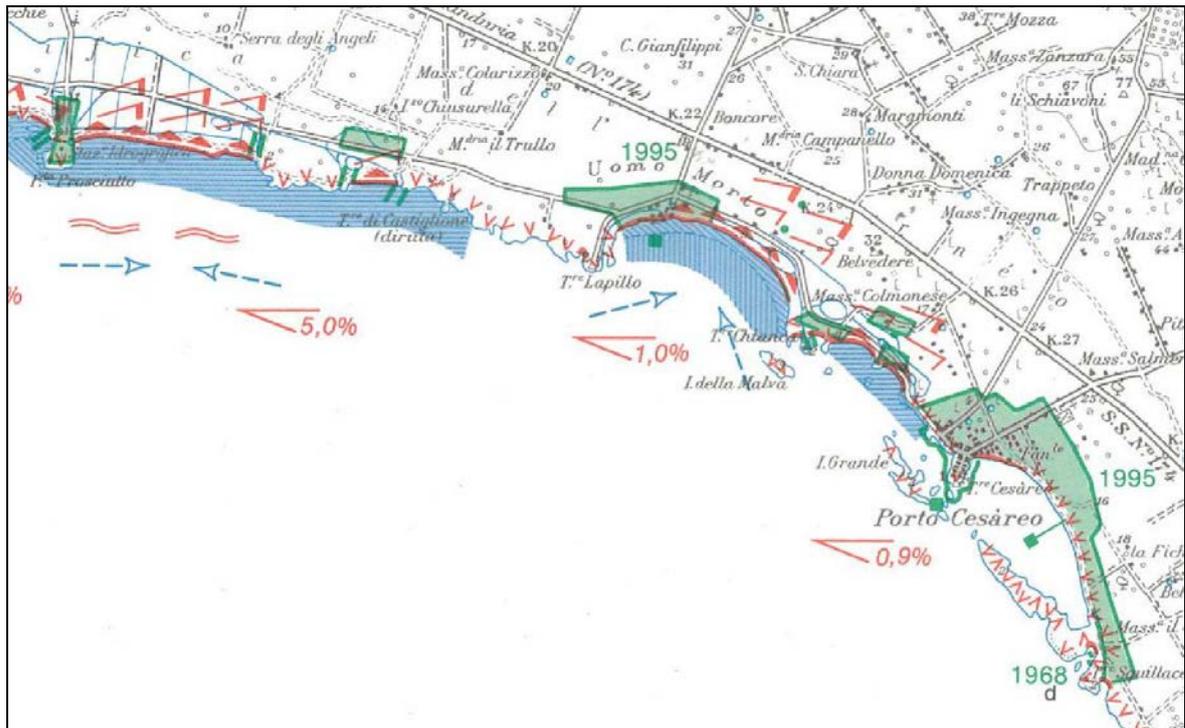


Figura 2.4.2 - Atlante delle Spiagge Italiane (dettaglio).



Atlante delle Spiagge Italiane (legenda).

L'andamento delle correnti longitudinali mostra due aree di convergenza dei flussi di corrente in corrispondenza del tratto di costa tra Punta Prosciutto e Torre di Castiglione, e dell'ansa tra Torre Lapillo e Torre Chianca.

La pendenza della spiaggia sommersa è mediamente inferiore all' 1%, ad eccezione dei fondali antistanti Torre di Castiglione dove risulta pari al 5%.



Le aree costiere risultano fortemente antropizzate soprattutto a ridosso della baia protetta di Porto Cesareo, ed in prossimità di Torre Lapillo.



2.5 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Nell'ambito del *Piano di Bacino Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI)*, approvato con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Puglia n. 39 del 30/11/2005, il tratto di costa afferente al territorio del Comune di Porto Cesareo è caratterizzato dalla presenza di alcune aree individuate dal PAI a pericolosità idraulica o geomorfologia. Nelle figure 2.5.1 e 2.5.2 è riportato il quadro d'insieme del litorale del Comune di Porto Cesareo con la sovrapposizione delle perimetrazioni del PAI (fonte webgis www.adb.puglia.it del 15/03/2014), mentre nelle figure successive sono riportati degli stralci della stessa area suddivisa in un tratto settentrionale, uno centrale ed uno meridionale.

Per quanto riguarda le aree a pericolosità idraulica in prossimità della costa, le perimetrazioni del PAI riportano in particolare un'ampia zona ad elevata pericolosità nell'area retrodunale a Sud di Punta Prosciutto che è caratterizzata da quote molto basse del terreno, un tempo costituita da aree acquitrinose denominate *Palude del Conte*, oggi in parte occupate da piccole villette utilizzate prevalentemente durante la stagione balneare.

Proseguendo verso Sud un'altra area umida ad elevata pericolosità idraulica è ubicata subito a Nord di Torre di Castiglione, compresa tra la strada litoranea e la costa, caratterizzata prevalentemente da vegetazione spontanea e affioramenti acquitrinosi.

Infine in prossimità del Bacino Grande tra Torre Lapillo e Torre Chianca, è stata individuata un'ulteriore area ad elevata pericolosità idraulica in una zona a forte intensità residenziale.

Per quanto riguarda le aree a pericolosità geomorfologica nell'ambito del territorio comunale di Porto Cesareo, il PAI riporta solo alcuni brevi tratti di costa ad elevata pericolosità geomorfologica (PG2) lungo il litorale roccioso tra Torre di Castiglione e Torre Lapillo.



Figura 2.5.1 – Pericolosità geomorfologica PAI (sito: www.adb.puglia.it).

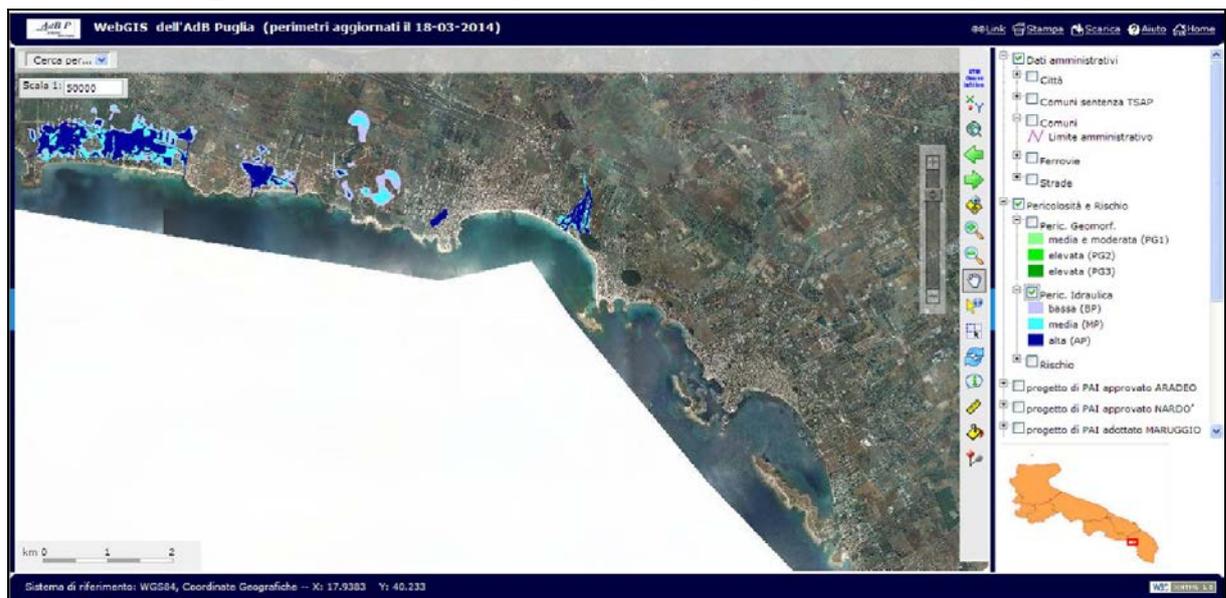


Figura 2.5.2 – Pericolosità idraulica PAI (sito: www.adb.puglia.it).

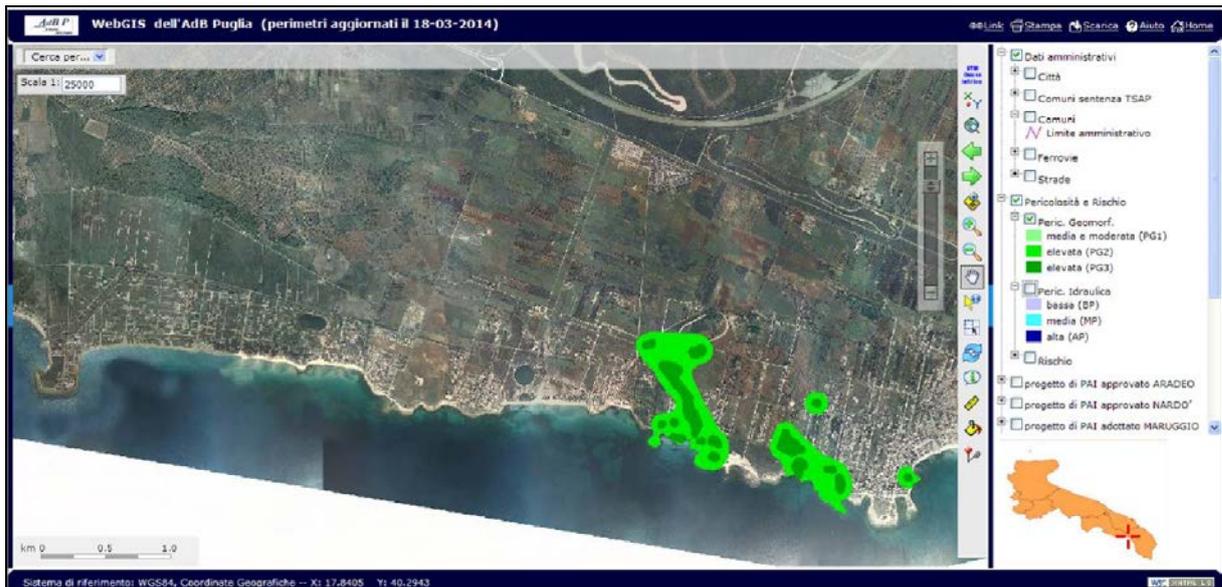


Figura 2.5.1.a – Pericolosità geomorfologica PAI (tratto settentrionale).



Figura 2.5.2.a – Pericolosità idraulica PAI (tratto settentrionale).

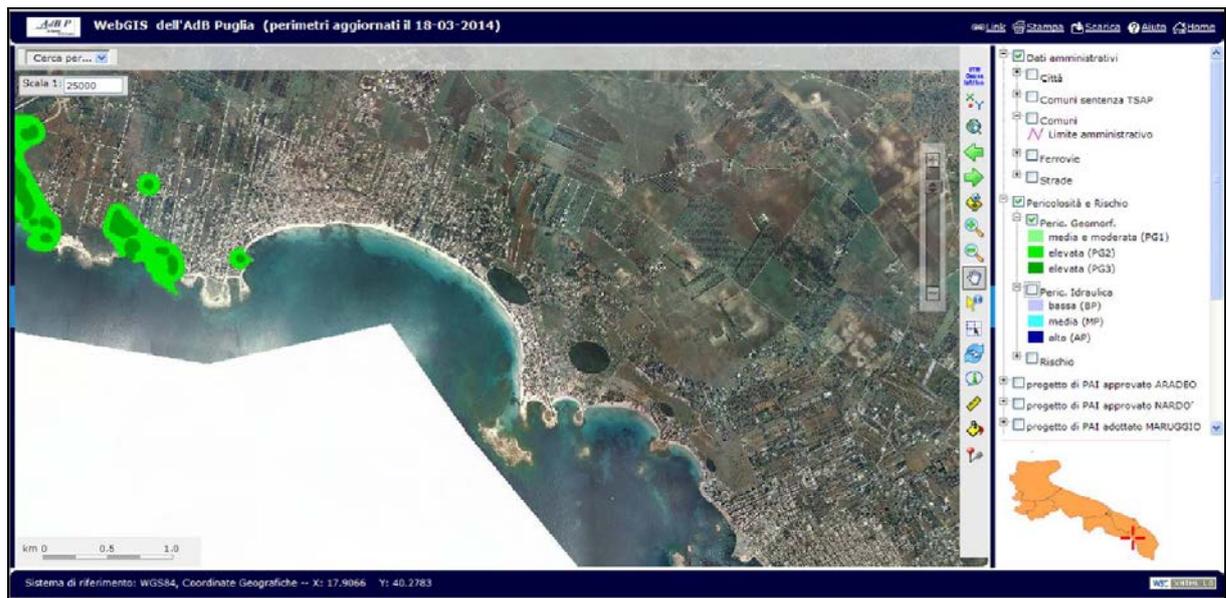


Figura 2.5.1.b – Pericolosità geomorfologica PAI (tratto centrale).

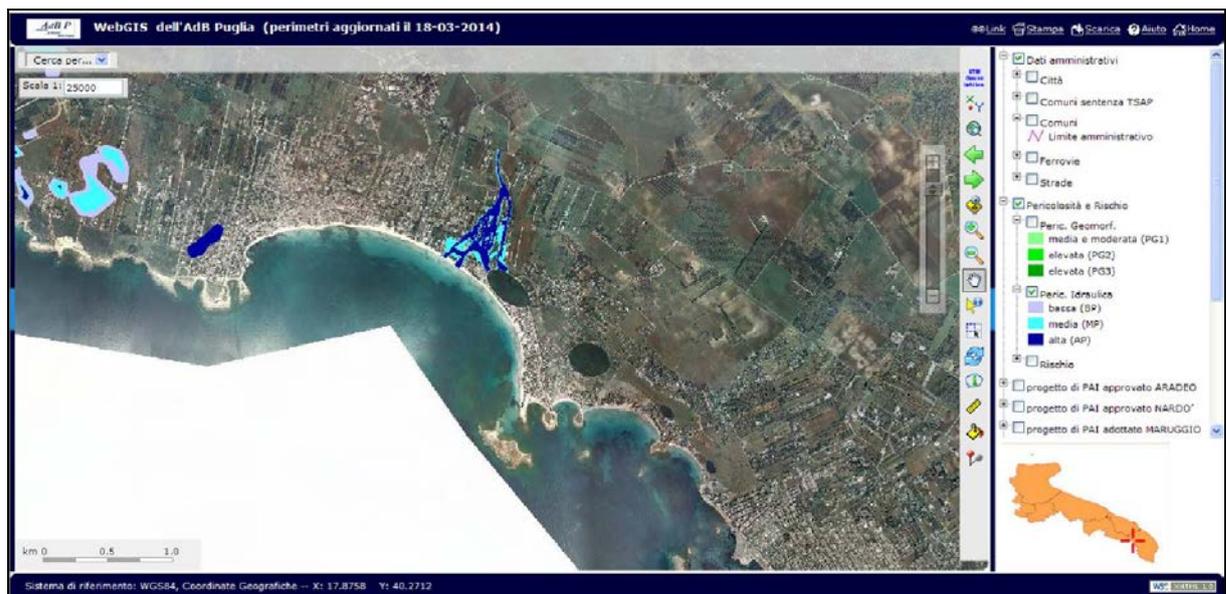


Figura 2.5.2.b – Pericolosità idraulica PAI (tratto centrale).



Figura 2.5.1.c – Pericolosità geomorfologica PAI (tratto meridionale).



Figura 2.5.2.c – Pericolosità idraulica PAI (tratto meridionale).

2.6 INQUADRAMENTO AMBIENTALE

Dal punto di vista della vincolistica ambientale, sul territorio comunale di Porto Cesareo sono presenti varie aree e siti di interesse naturalistico che interessano ampie fasce del litorale in esame.

Nella figura 2.6.1 è riportata la sovrapposizione della cartografia dell'area di studio con le perimetrazioni relative ai vari vincoli ambientali presenti sul territorio pugliese, consultabili sul webgis del portale ufficiale del Settore Ambiente della Regione Puglia (<http://ecologia.regione.puglia.it>).

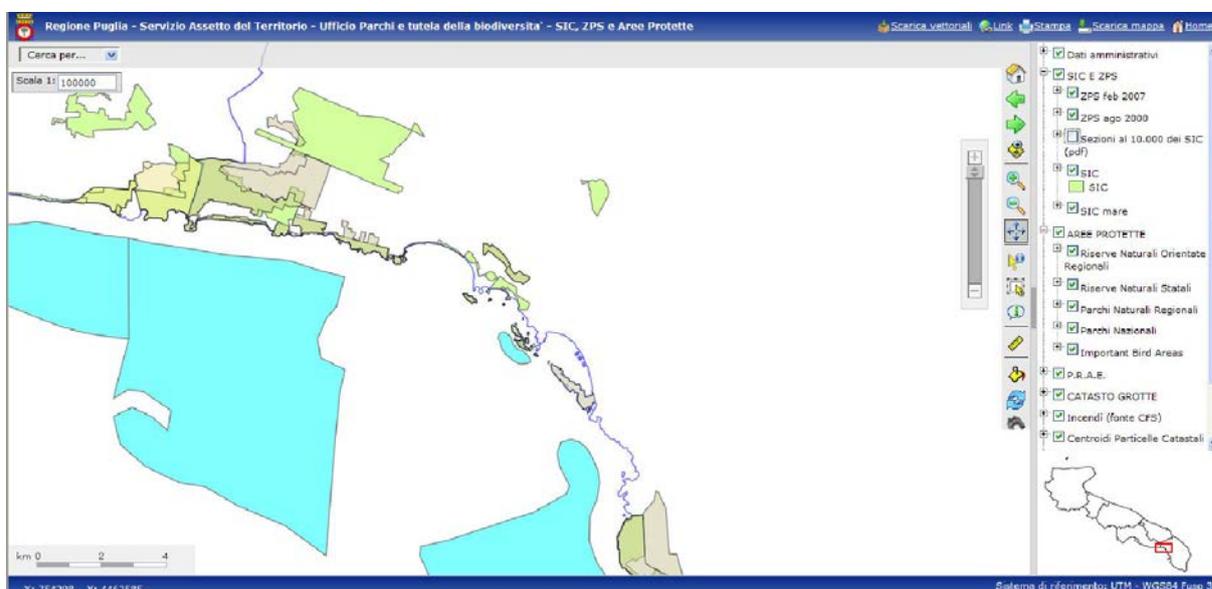


Figura 2.6.1 – Inquadramento ambientale (<http://ecologia.regione.puglia.it>).

Lo specchio di mare interessato dal presente studio ricade all'interno delle aree di competenza dell'Area Marina Protetta (AMP) di Porto Cesareo. L'Area Marina Protetta di Porto Cesareo, istituita con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 12/12/97, pubblicato sulla G.U. n. 45 del 24 febbraio 1998, con i suoi 16.654 ettari di superficie marina tutelata, è la terza per estensione in Italia. I 32 Km di costa della Riserva ricadono nei due comuni di Porto Cesareo e di Nardò; il tratto di litorale ionico che delimita l'AMP di Porto Cesareo è caratterizzato da una linea di costa molto varia e da contorni frastagliati, limitata a Nord da Punta Prosciutto, ed a Sud da Torre dell'Inserraglio (figura 2.6.2).

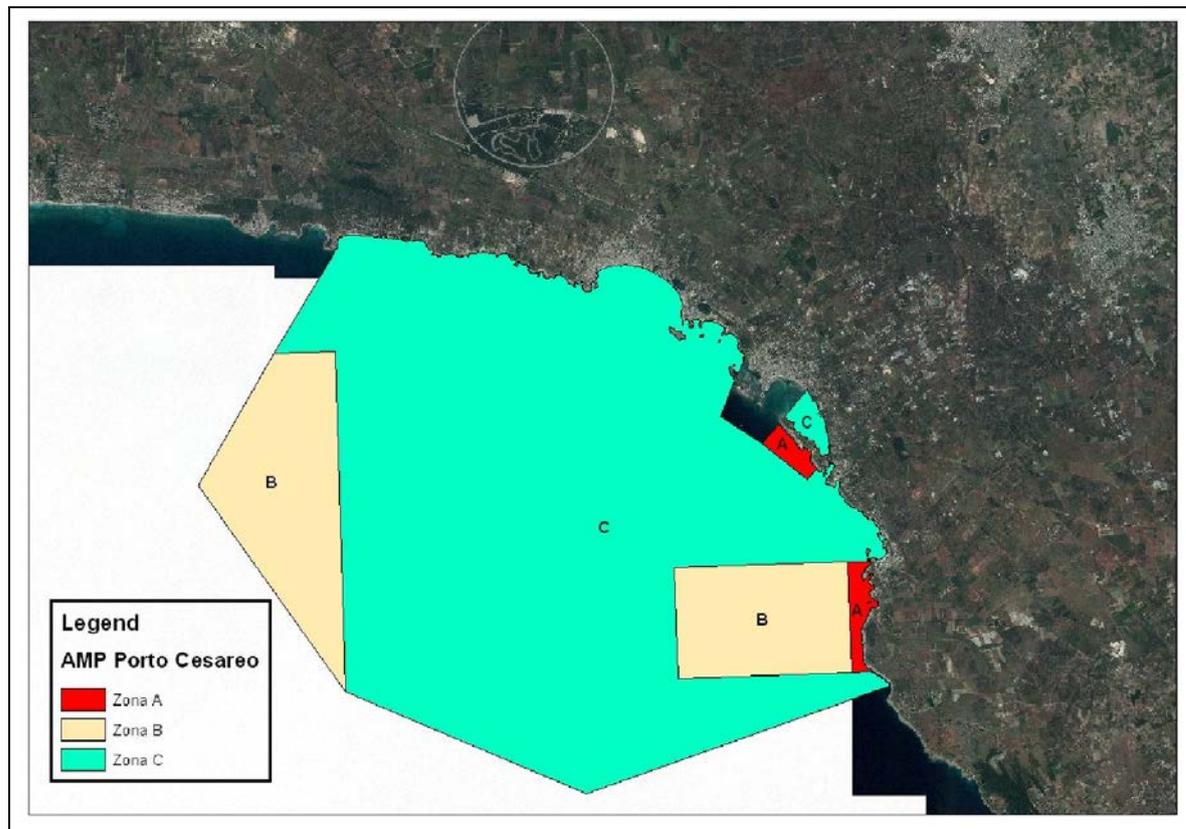


Figura 2.6.2 – Zonizzazione dell'Area Marina Protetta di Porto Cesareo.

L'AMP è suddivisa in tre zone a differente grado di tutela, cui corrispondono diversi gradi di fruibilità.

- La **Zona A** (Zona di Riserva Integrale), è il cuore della Riserva, in cui è vietata qualunque tipo di attività ad eccezione della ricerca scientifica.
- La **Zona B** (Zona di Riserva Parziale), è una porzione di A.M.P. in cui è consentita la pesca professionale con attrezzi selettivi previa autorizzazione da parte del soggetto gestore. In Zona B, inoltre, sono permesse la balneazione, le attività subacquee compatibili con la tutela dell'ambiente naturale, l'accesso e la navigazione delle imbarcazioni autorizzate ad una velocità inferiore ai 10 nodi.
- La **Zona C** (Zona di Riserva Generale) funge da "cuscinetto" tra l'area soggetta a vincoli e l'area esterna all'AMP. In Zona C sono consentite tutte le attività permesse in Zona B, ed in più l'ancoraggio ad apposite strutture, e la pesca sportiva, con l'eccezione della pesca subacquea in apnea.

Lo studio condotto sui popolamenti bentonici presenti lungo i fondali dell’A.M.P. di Porto Cesareo ha rilevato almeno 10 tipologie di habitat differenti; tra di essi degni di nota sono gli habitat che includono la Posidonia oceanica (presente principalmente ai due estremi, Ovest e Est dell’A.M.P), il Coralligeno e gli ambienti di Grotta (figura 2.6.3).

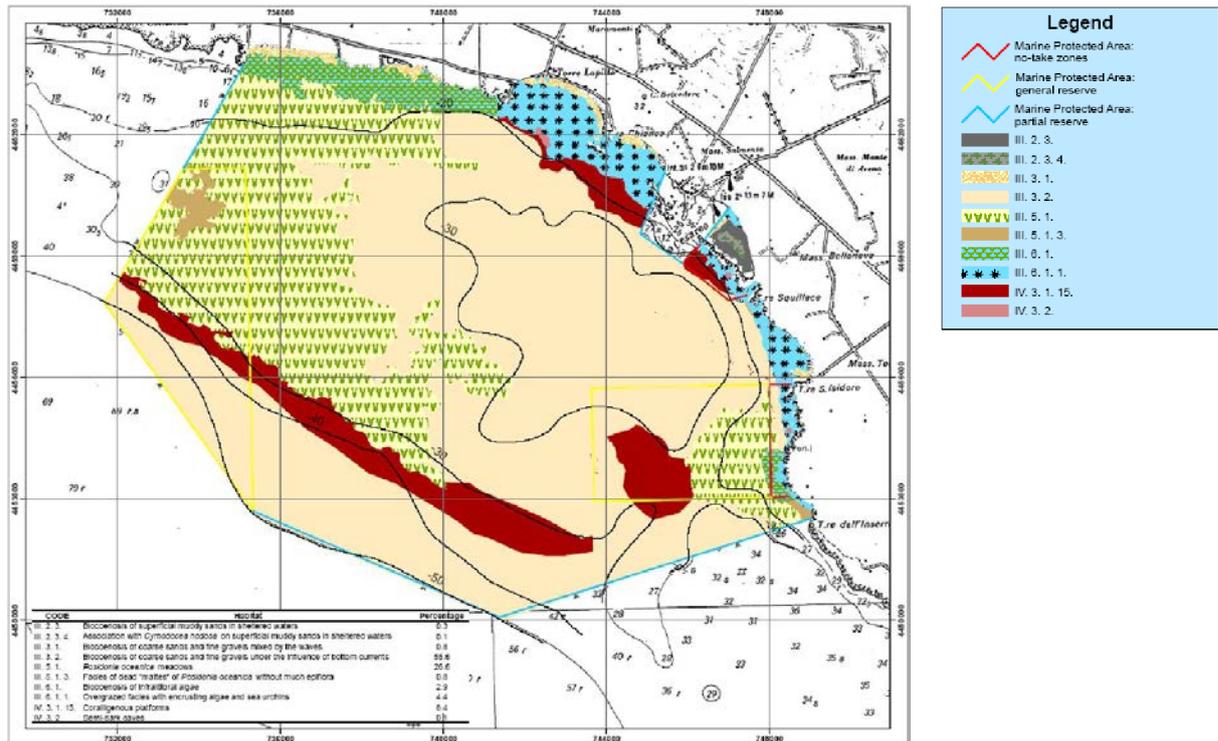


Figura 2.6.3 – Area Marina Protetta di Porto Cesareo – Mappa degli habitat.

Il litorale in esame non ricade all’interno di aree denominate *I.B.A.* (*Important Birds Areas*), ossia quelle aree nate dalla necessità di individuare "Zone di Protezione Speciali per la Fauna", secondo la Direttiva Comunitaria "Uccelli", con lo scopo dello sviluppo e della tutela delle popolazioni di uccelli che vi risiedono stanzialmente o stagionalmente.

Per quanto riguarda le *Zone di Protezione Speciale* (Z.P.S.) ed i *Siti di Importanza Comunitaria* (p.S.I.C.) (figura 2.6.4), il litorale del territorio comunale di Porto Cesareo è interessato dalle seguenti perimetrazioni:

SIC – SIC mare

- *Torre Colimena* (IT9130001, DM 157 del 21.07.2005 e DGR n. 1465 del 01.08.2008);
- *Palude del Conte, Dune di Punta Prosciutto* (IT9150027, DM 157 del 21.07.2005 e DGR n. 1465 del 01.08.2008);
- *Porto Cesareo* (IT9150028, DM 157 del 21.07.2005 e DGR n. 1465 del 01.08.2008).

Immediatamente a Sud di Porto Cesareo è presente un altro sito SIC – SIC mare denominato *Palude del Capitano* (IT9150013, DM 157 del 21.07.2005 e DGR n. 1465 del 01.08.2008).

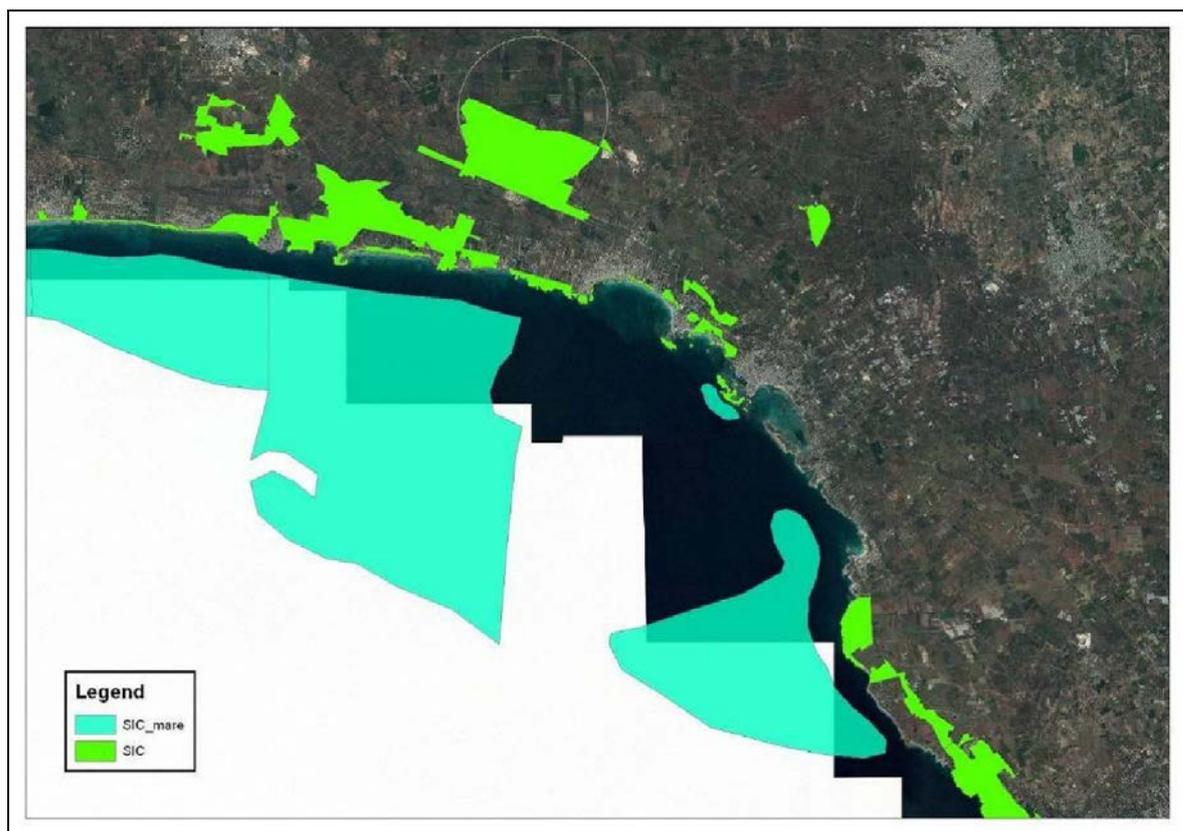


Figura 2.6.4 – SIC.



DENOMINAZIONE: **TORRE COLIMENA**

DATI GENERALI

Classificazione:	Sito d'Importanza Comunitaria (SIC)
Codice:	IT9130001
Data compilazione schede:	01/1995
Data proposta SIC:	06/1995 (D.M. Ambiente del 3/4/2000 G.U.95 del 22/04/2000)

Estensione:	ha 283
Altezza minima:	m 0
Altezza massima:	m 100
Regione biogeografica:	Mediterranea

Provincia:	Taranto
Comune/i:	Manduria
Comunita' Montane:	
Riferimenti cartografici:	IGM 1:50.000 fg. 511

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

L'area della salina ospita alcune vecchie costruzioni un tempo adibite a deposito del sale. Il paesaggio costiero e' dominato da una torre cinquecentesca a pianta quadrata. La vegetazione alofila e le dune sono di grande valore vegetazionale. Il sito comprende, inoltre, lembi di macchia mediterranea e un boschetto di lecci. Vi e' la presenza di interessanti Garighe di *Euphorbia spinosa*.

HABITAT DIRETTIVA 92/43/CEE

Perticaie alofile mediterranee e termoatlantiche (<i>Arthrocnemum fruticosae</i>)	1%
Lagune (*)	4%
Perticaia costiera di Ginepri (*)	3%
Vegetazione annua delle linee di deposito marine	1%
Steppe salate (*)	2%
Foreste di <i>Quercus ilex</i>	1%
Erbari di posidonie (*)	80%
Percorsi substepici di graminee e piante annue (<i>Thero-brachypodietea</i>) (*)	4%

SPECIE FAUNA DIRETTIVA 79/409/CEE E 92/43/CEE all. II

Mammiferi:	
Uccelli:	<i>Anas querquedula; Alcedo atthis; Ardea purpurea; Ardeola ralloides; Circus aeruginosus; Egretta garzetta; Himantopus; Anas crecca; Gallinago gallinago; Plegadis falcinellus; Recurvirostra; Tringa glareola; Ixobrychus minutus.</i>
Rettili e anfibi:	<i>Elaphe quatuorlineata</i>
Pesci:	
Invertebrati:	

SPECIE FLORA DIRETTIVA 92/43/CEE all. II

VULNERABILITA':

La vegetazione alofila (*Puccinellio festuciformis* - *Arthrocnemum fruticosi*) e' particolarmente fragile. Gli altri habitat avrebbero intrinsecamente una fragilita' piu' bassa, ma tuttavia sono soggetti a varie cause di degrado. In particolare la macchia viene sistematicamente distrutta per far posto ad aree agricole ed a lottizzazioni. La duna e' degradata dall'eccessiva frequentazione antropica stagionale, che si traduce in parcheggi sull'area dunale e nell'apertura di varchi che interrompono la continuita' del cordone dunale.

(*) **Habitat definiti prioritari ai sensi della Direttiva 92/43/CEE:** habitat in pericolo di estinzione sul territorio degli Stati membri, per la cui conservazione l'Unione Europea si assume una particolare responsabilita'.



DENOMINAZIONE: **PALUDE DEL CONTE - DUNE DI PUNTA PROSCIUTTO**

DATI GENERALI

Classificazione:	Sito d'Importanza Comunitaria (SIC)
Codice:	IT9150027
Data compilazione schede:	06/1995
Data proposta SIC:	06/1995 (D.M.Ambiente del 3/4/2000 G.U. 95 del 22/04/2000)

Estensione:	ha 7
Altezza minima:	m 0
Altezza massima:	m 76
Regione biogeografica:	Mediterranea

Provincia:	Lecce, Taranto.
Comune/i:	Manduria, Porto Cesareo, Nardo'.
Comunita' Montane:	
Riferimenti cartografici:	IGM 1:50.000 fg. 511

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Area umida retrodunale originatasi probabilmente per sollevamento del fondale marino. Il substrato geologico e' costituito da sabbie e limi recenti del Pleistocene. La duna e' di eccezionale valore botanico e paesaggistico. La macchia di Arneo e' fra i lembi piu' pregevoli di macchia del Salento.

HABITAT DIRETTIVA 92/43/CEE

Praterie mediterranee con piante erbacee alte e giunchi (<i>Molinio-Holoschoenion</i>)	3%
Steppe salate (<i>Limonetalia</i>) (*)	5%
Perticaia costiera di ginepri (<i>Juniperus</i> spp.) (*)	5%
Pascoli inondatai mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>)	3%
Erbari di posidonie (*)	65%

SPECIE FAUNA DIRETTIVA 79/409/CEE E 92/43/CEE all. II

Mammiferi:	
Uccelli:	<i>Ardea purpurea; Porzana porzana; Gallinula chloropus; Gallinago gallinago; Anas querquedula; Sterna sandvicensis; Sterna albifrons; Ixobrychus minutus; Himantopus himantopus; Egretta garzetta; Circus aeruginosus; Circus pygargus; Ardeola ralloides; Alcedo atthis; Botaurus stellaris.</i>
Rettili e anfibi:	<i>Elaphe quatuorlineata; Caretta caretta.</i>
Pesci:	
Invertebrati:	

SPECIE FLORA DIRETTIVA 92/43/CEE all. II

Stipa Austroitalica

VULNERABILITA':

Gli ambienti palustri sono rappresentati da ecosistemi particolarmente fragili. A Palude del Conte si segnalano: insediamenti edilizi nella palude in seguito a colmate; a Macchia di Arneo: incendi; a Dune di Punta Prosciutto: eccessiva antropizzazione; a Palude di Castiglione: aratura del terreno e colmate a scopo di bonifica; eliminazione lembi di macchia in rapporto a iniziative di utilizzazione edilizia; incendi; alterazione del regime idrico per l'emungimento da pozzi.

(*) **Habitat definiti prioritari ai sensi della Direttiva 92/43/CEE:** habitat in pericolo di estinzione sul territorio degli Stati membri, per la cui conservazione l'Unione Europea si assume una particolare responsabilita'.



DENOMINAZIONE: **PORTO CESAREO**

DATI GENERALI

Classificazione:	Sito d'Importanza Comunitaria (SIC)
Codice:	IT9150028
Data compilazione schede:	01/1995
Data proposta SIC:	06/1995 (D.M.Ambiente del 3/4/2000 G.U. 95 del 22/04/2000)

Estensione:	Km 6 Sito lineare calcolato in lunghezza
Altezza minima:	m 0
Altezza massima:	m 24
Regione biogeografica:	Mediterranea

Provincia:	Lecce
Comune/i:	Porto Cesareo
Comunita' Montane:	
Riferimenti cartografici:	IGM 1:50.000 fg. 511

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

Il substrato geologico e' di calcarenite pleistocenica. Nell'area sono presenti delle depressioni doliniformi di origine carsica note come "spunulate", originatesi per sprofondamento della volta di cavita' ipogee. Braccio di mare di grande valore ambientale con ampie praterie di posidonia. Sistema dunale pregevole, con folta vegetazione a *Juniperus oxycedrus* var. *macrocarpa* (Ginepro coccolone). Acquitri costieri salmastri con habitat prioritari. Isolotti costieri in discrete condizioni ambientali.

HABITAT DIRETTIVA 92/43/CEE

Pascoli inondatai mediterranei (<i>Juncetalia maritimi</i>)	3%
Erbari di posidonie (*)	70%
Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee (con <i>Limonio endemico</i>)	2%
Steppe salate (<i>Limonetalia</i>) (*)	3%
Perticaia costiera di ginepri (<i>Juniperus</i> spp.) (*)	5%
Percorsi substepfici di graminee e piante annue (<i>Thero-Brachypodietea</i>) (*)	5%

SPECIE FAUNA DIRETTIVA 79/409/CEE E 92/43/CEE all. II

Mammiferi:	
Uccelli:	
Rettili e anfibi:	<i>Elaphe quatuorlineata</i>; <i>Caretta caretta</i>.
Pesci:	
Invertebrati:	

SPECIE FLORA DIRETTIVA 92/43/CEE all. II

VULNERABILITA':

Cause di degrado: abusivismo edilizio; sbancamento di tratti di duna; colmata di aree umide della Strea. Frequentazione del pubblico non controllato anche negli ambienti piu' fragili.

(*) **Habitat definiti prioritari ai sensi della Direttiva 92/43/CEE:** habitat in pericolo di estinzione sul territorio degli Stati membri, per la cui conservazione l'Unione Europea si assume una particolare responsabilita'.

In riferimento alle riserve e parchi naturali, regionali e nazionali, nel territorio comunale di Porto Cesareo è presente la Riserva Naturale Orientata Regionale denominata *Palude del Conte e Duna Costiera di Porto Cesareo*, istituita con L.R. n. 05 del 15/03/2006 (figura 2.6.5).

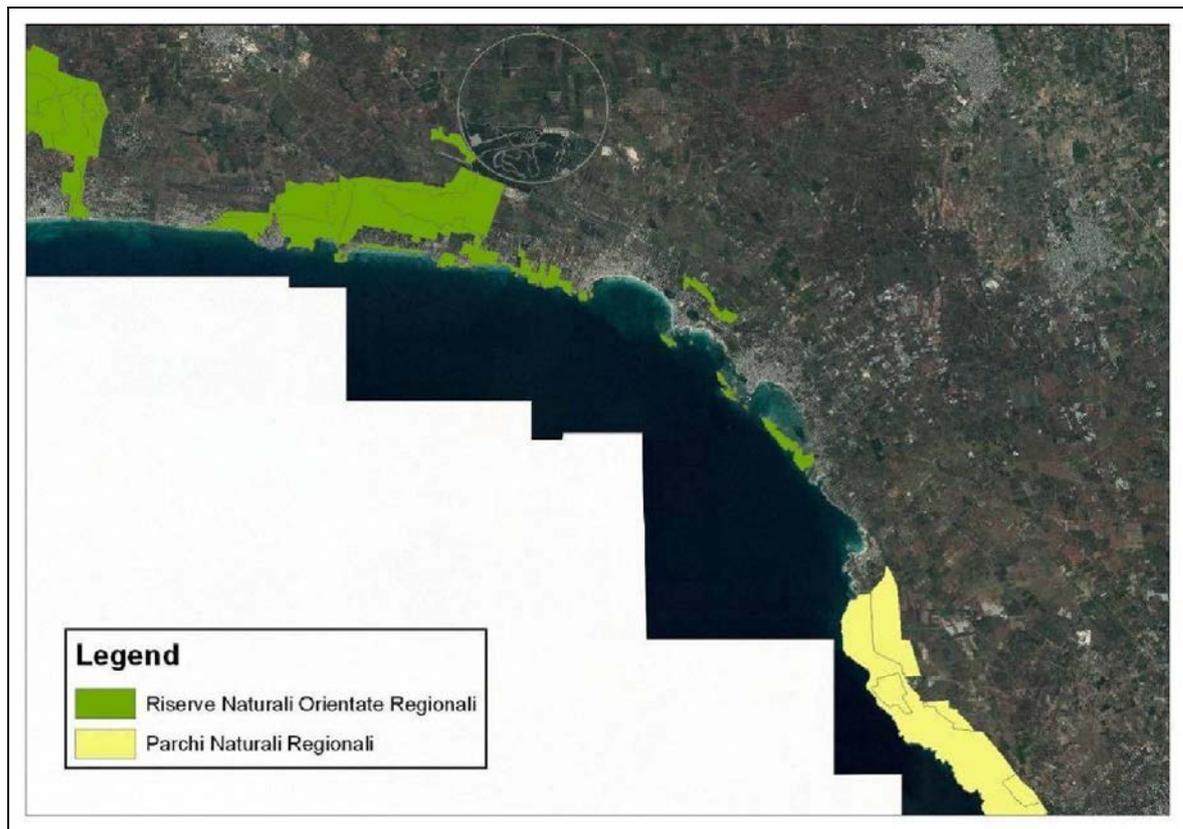


Figura 2.6.5 – Riserve e Parchi Naturali Regionali.

Il Parco Naturale Regionale di *Palude del Conte e Duna costiera* è un'area umida retrodunale originatasi per sollevamento del fondale marino. Il suo habitat si caratterizza per la presenza di praterie mediterranee con piante erbacee alte e giunchi (Molinio-Holoschoenion), steppe salate (Limonetalia), pascoli inondati mediterranei (Juncetalia maritimi).

L'Unione Europea, l'ha classificata tra gli habitat prioritari, in pericolo di estinzione, meritevole di conservazione. Del parco fanno dunque parte la duna costiera e le "spunnulate", nome che deriva dal dialetto locale "spunnare", sprofondare. Queste sono, infatti, delle cavità del terreno (doline), grossomodo circolari, di varie dimensioni e profondità, presenti principalmente nella zona



denominata Torre Castiglione (torre ormai diroccata), quasi al confine con la provincia di Taranto.

Tali doline originano dal crollo della volta di cavità sotterranee che si sono formate, per fenomeni carsici, nel sottosuolo calcareo, ad opera di corsi d'acqua sotterranei.

Peculiare è la diversità di vegetazione tra l'interno delle "spunnulate" e la zona circostante. La parte più profonda e fresca è caratterizzata da relitti vegetazionali della macchia mediterranea. La vegetazione delle pareti delle "spunnulate" è composta principalmente da macchia-gariga a leccio, olivastro (*Olea oleaster*), mirto (*Myrtus communis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*) ed altre specie; sulle pareti più scoscese sono presenti capperi (*Capparis spinosa*) e caprifico (*Ficus carica caprificus*); sul fondo si rinviene una tipica formazione di ambiente salmastro a giunco pungente (*Juncus maritimus*).

Tra le cause che hanno favorito la crescita di tale vegetazione all'interno delle "spunnulate" sono da considerare il riparo dai venti salmastri marini, l'assenza di disturbo operato dal pascolo e dall'uomo ed infine, una maggiore umidità, favorita dalla presenza di acqua sul fondo. La parte più bassa di quasi tutte queste doline costiere, infatti, soprattutto là dove raggiunge un livello inferiore a quello del mare e occupato da un piccolo specchio di acqua salmastra originato dalla raccolta delle acque meteoriche dallo scorrimento di falde superficiali e dall'intrusione di acqua marina.

Immediatamente a Nord del territorio di Porto Cesareo è presente la riserva regionale denominata *Riserve del Litorale Tarantino Orientale*, mentre sul versante meridionale si trova il Parco Naturale Regionale di *Porto Selvaggio e Palude del Capitano*, istituito con L.R. n. 06 del 15/03/2006.



3 CLIMA METEOMARINO

3.1 MOTO ONDOSO AL LARGO

La definizione del moto ondoso in un paraggio ha sostanzialmente due obiettivi: la ricostruzione del clima meteomarino medio al largo e la determinazione della probabilità di occorrenza delle onde estreme.

Il calcolo delle onde estreme si effettua elaborando statisticamente le caratteristiche delle mareggiate di maggiore intensità che si sono verificate nel paraggio.

Per quanto riguarda la ricostruzione del clima meteomarino al largo, in letteratura sono presenti diverse metodologie sia con metodi indiretti (a partire dai dati di vento), sia con metodi diretti (a partire da misure sullo stato ondoso).

In entrambi i casi è necessario disporre di serie storiche piuttosto lunghe per conferire affidabilità alle procedure di tipo statistico necessarie per la previsione degli eventi estremi e per la ricostruzione del clima ondoso medio.

Nel presente studio la ricostruzione del clima meteomarino al largo di Porto Cesareo è stata effettuata utilizzando il metodo della trasposizione geografica a partire dai dati ondometrici registrati dalla boa di Taranto; la boa installata al largo di Taranto rientra nelle opere previste nell'ambito della Rete di Monitoraggio Meteomarino della Regione Puglia (fondi POR Puglia 2000 – 2006).

3.1.1 LA BOA DI TARANTO

La boa di Taranto fa parte della Rete di Monitoraggio Meteomarinario della Regione Puglia (fondi POR Puglia 2000 – 2006, figura 3.1.1.1). La boa è stata ormeggiata il 16 marzo 2006 al largo di Capo San Vito nelle immediate vicinanze del Porto di Taranto su un fondale di circa 72m (figura 3.1.1.2). La boa di Taranto è del tipo *Datawell Directional Waverider MKIII*, ed è

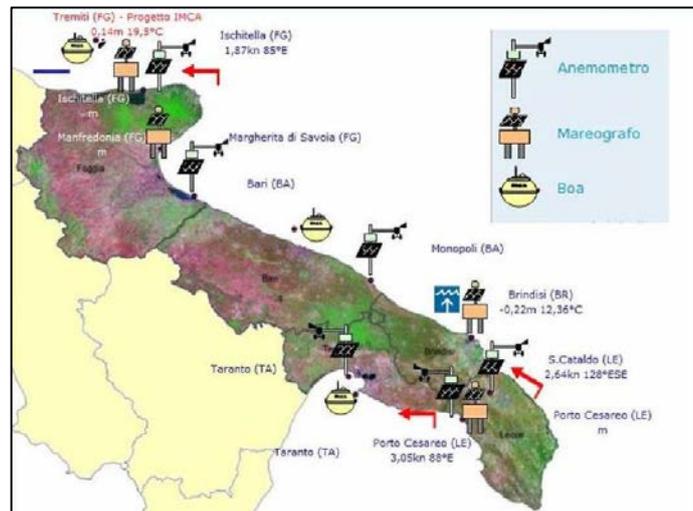


Figura 3.1.1.1 - Rete di Monitoraggio Meteomarinario della Regione Puglia realizzata con fondi POR Puglia 2000 – 2006.

in grado di effettuare le misure di altezza e direzione dell'onda, e temperatura dell'acqua.

La boa funziona in continuo in telemisura via GSM con un centro di controllo ed acquisizione dati al quale trasmette con cadenza regolare i risultati delle misure effettuate, permettendo di acquisire in tempo reale la situazione meteomarinaria e di esercitare un costante controllo della funzionalità della strumentazione.

Tutti i dati rilevati convergono in un database e, dopo un controllo sulla qualità della misura, sono forniti con cadenza semioraria.

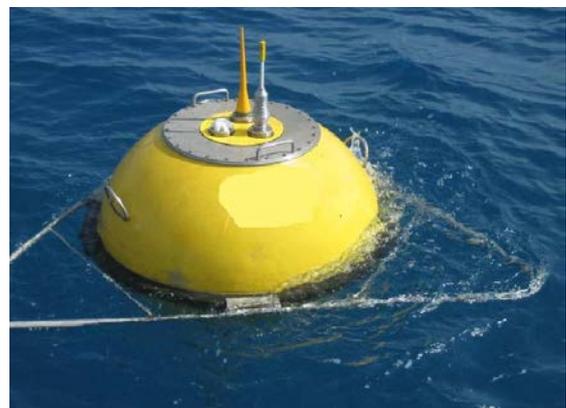
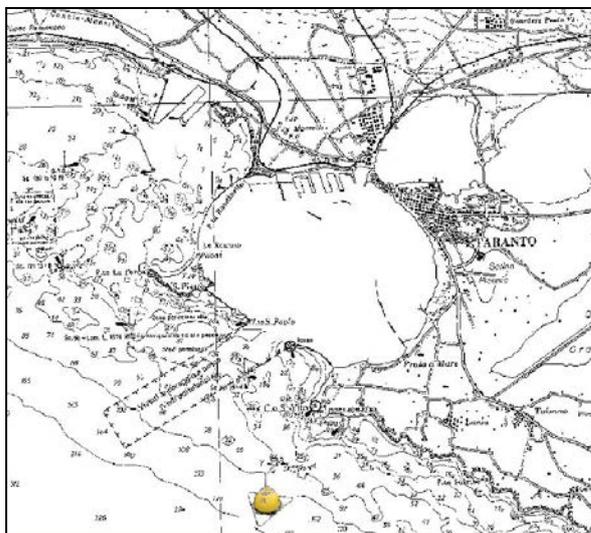


Figura 3.1.1.2 – Boa ondametria di Taranto.



La serie storica utilizzata nel presente lavoro va dal 2006 al 2013; ad eccezione del 2012, in cui la boa è stata disormeggiata e quindi mancano completamente i dati riferiti al periodo, il rendimento dei dati acquisiti nei restanti anni è mediamente intorno al 68%, come riportato nella tabella 3.1.1.1 e illustrato nel grafico di figura 3.1.1.3.

anno	dati attesi (n)	dati mancanti	
		(n)	(%)
2006	17520	5925	33.8
2007	17520	6438	36.7
2008	17568	8036	45.7
2009	17520	2257	12.9
2010	17520	3050	17.4
2011	17520	5662	32.3
2012	17568	17568	100.0
2013	17520	8259	47.1

Tabella 3.1.1.1 - Percentuale dei dati mancanti della boa di Taranto.

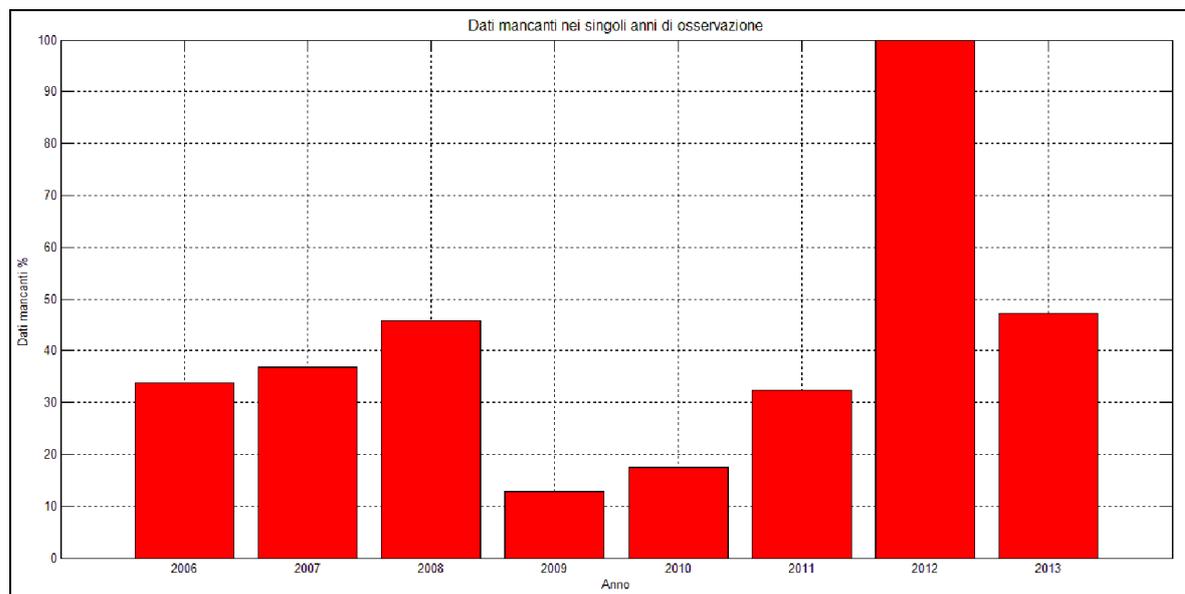


Figura 3.1.1.3 - Percentuale dei dati mancanti della boa di Taranto.

Le condizioni essenziali su cui si basa il metodo di trasposizione geografica consistono nella vicinanza e nell'analoga esposizione fra punto di misura e paraggio da investigare (figure 3.1.1.4 e 3.1.1.5, tabella 3.1.1.2).

Nel confronto tra l'esposizione della boa di Taranto e l'esposizione del paraggio di Porto Cesareo, si può notare una buona sovrapposizione per il settore di traversia



meridionale compreso tra 140°N e 200°N; per quanto riguarda le restanti direzioni di provenienza del moto ondoso, nel caso della boa di Taranto sono presenti le mareggiate dal I quadrante, che invece non sono presenti nel paraggio di Porto Cesareo, mentre mancano le mareggiate dal settore occidentale, che invece ritroviamo, seppur relative a fetch modesti, nel caso del sito in esame.

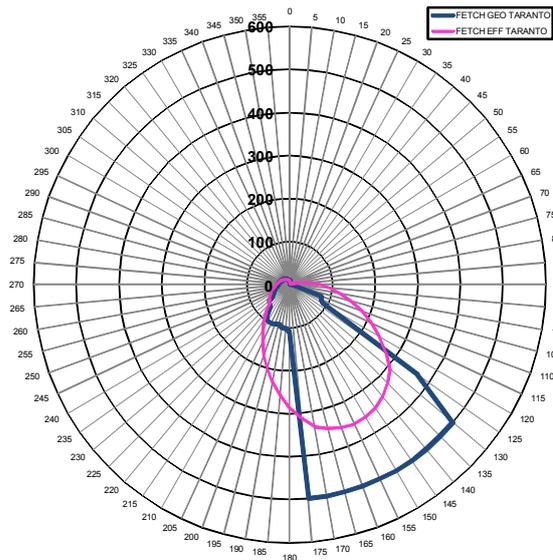


Figura 3.1.1.4 - Fetch geografici (blu) ed efficaci (magenta) del paraggio di Taranto.

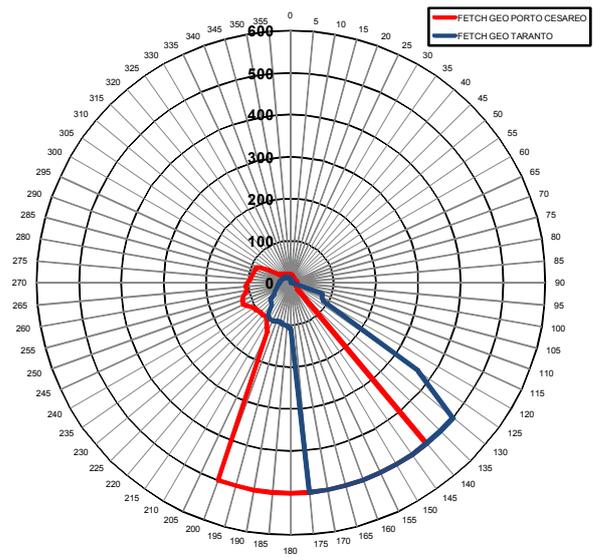


Figura 3.1.1.5 - Confronto tra i fetch geografici di Taranto (blu) e Porto Cesareo (rosso).

Boa di Taranto											
dir (°N)	F _{geo} (km)	dir (°N)	F _{geo} (km)	dir (°N)	F _{geo} (km)	dir (°N)	F _{geo} (km)	dir (°N)	F _{geo} (km)	dir (°N)	F _{geo} (km)
0	9	60	3	120	90	180	109	240	42	300	20
5	9	65	3	125	367	185	103	245	38	305	19
10	10	70	3	130	500	190	101	250	35	310	18
15	2	75	3	135	500	195	96	255	32	315	17
20	1	80	3	140	500	200	96	260	29	320	17
25	1	85	4	145	500	205	100	265	28	325	16
30	1	90	5	150	500	210	100	270	27	330	15
35	2	95	6	155	500	215	94	275	25	335	13
40	2	100	7	160	500	220	68	280	24	340	13
45	2	105	11	165	500	225	66	285	23	345	12
50	2	110	78	170	500	230	61	290	21	350	9
55	2	115	82	175	500	235	47	295	21	355	9

Tabella 3.1.1.2 - Fetch geografici della boa di Taranto.



Il metodo di trasposizione si basa sull'ipotesi che le stesse condizioni anemometriche che hanno generato gli stati di mare rilevati dalla boa abbiano interessato anche l'area di generazione del paraggio in esame.

Si assume, quindi, che nei due siti si verifichi un evento anemometrico con la stessa direzione di provenienza, intensità e durata. La tecnica consente di determinare la corrispondenza tra le caratteristiche del moto ondoso (direzione, altezza e periodo) rilevate dalla boa e quelle del paraggio in esame.

La prima operazione che è stata effettuata sui rilievi ondometrici della boa di Taranto è il calcolo delle frequenze di apparizione dei singoli stati di mare registrati dalla boa classificati per direzione di provenienza ed intensità.

Nella tabella 3.1.1.3 sono riportati i risultati ottenuti ordinando le mareggiate per classi di altezza d'onda di 0.5m e per settori di provenienza di 30°, avendo assunto che le altezze d'onda inferiori a 0.25m sono calme (34.16% del totale delle registrazioni).

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)										
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	TOT
0	0.47	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
30	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
60	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
120	0.98	0.26	0.08	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37
150	17.03	7.46	4.03	1.82	0.81	0.30	0.18	0.10	0.04	0.01	31.77
180	5.62	1.45	0.63	0.22	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	7.99
210	4.67	1.77	0.40	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.96
240	0.84	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89
270	5.88	0.47	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.41
300	6.28	0.48	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78
330	2.92	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.12
TOT	44.72	12.17	5.24	2.18	0.88	0.32	0.19	0.10	0.04	0.01	65.84

Tabella 3.1.1.3 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per classi di altezza d'onda e per direzione.

I dati elaborati sono stati rappresentati graficamente nel diagramma polare di figura 3.1.1.6 (percentuale di apparizione – direzione – intensità) e nel grafico di figura 3.1.1.7 (percentuale di apparizione – classe di altezza d'onda).

Dall'analisi delle registrazioni effettuate risulta che il settore di traversia del paraggio è costituito dalle direzioni comprese tra NNO e SSE.

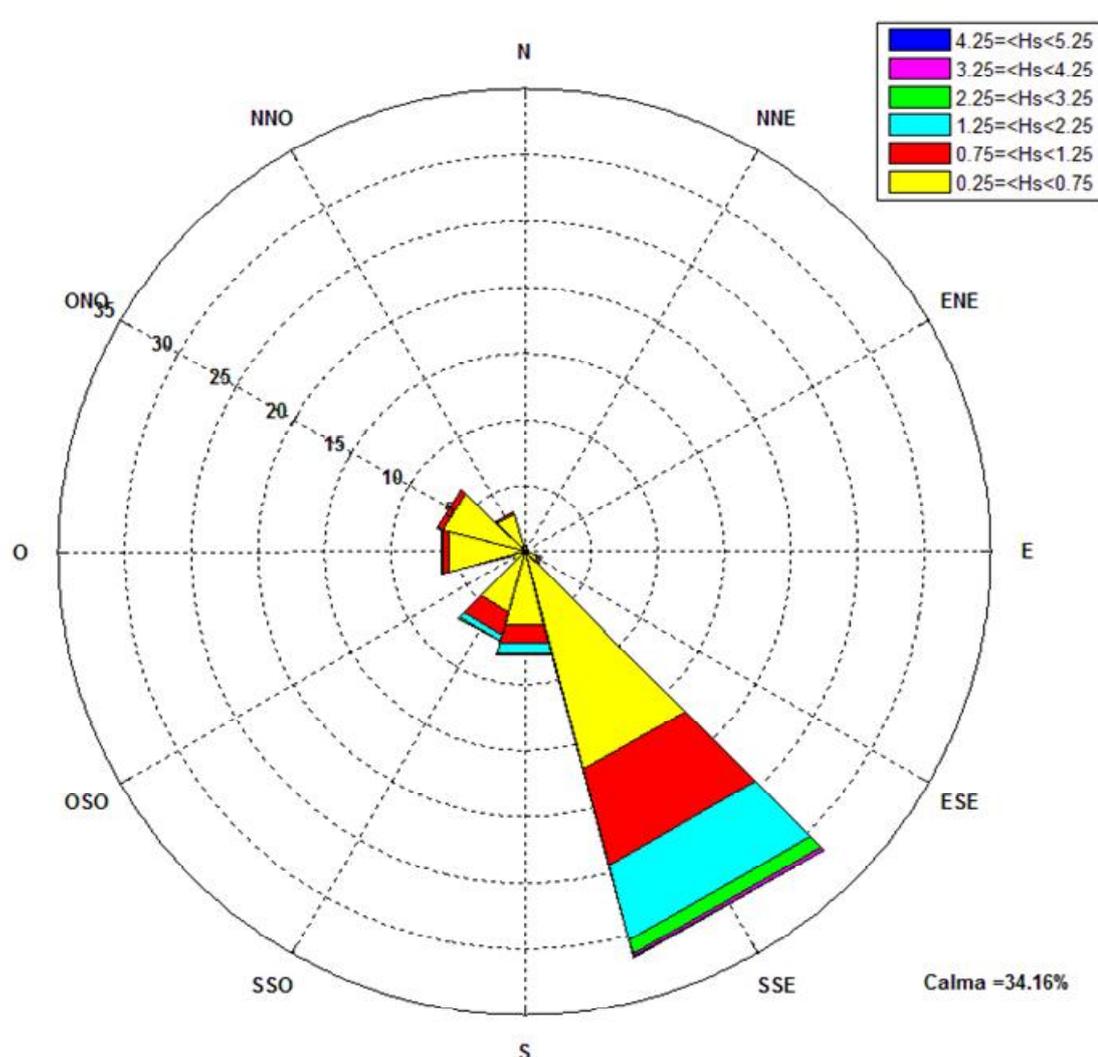


Figura 3.1.1.6 - Frequenze di apparizione annuali (boa di Taranto).

La massima frequenza di apparizione spetta alle mareggiate provenienti da SSE (150°N) che fanno registrare una percentuale del 31.77%. Le mareggiate comprese tra la direzione Sud (180°N) e la direzione Ovest (270°N) rappresentano circa il 22.26% del totale delle apparizioni, mentre le mareggiate dal IV quadrante costituiscono il 9.90% degli eventi registrati.

Se si classificano le onde secondo l'altezza significativa (figura 3.1.1.7) si osserva che le onde con altezza significativa minore di 0.75m rappresentano il 44.72% di tutte le osservazioni, mentre le onde con altezza compresa tra 0.75m e 1.75m costituiscono il 12.17%. Le mareggiate con altezza superiore a 1.75m rappresentano lo 8.95%, e di queste lo 0.66% ha altezza superiore a 3.0m.

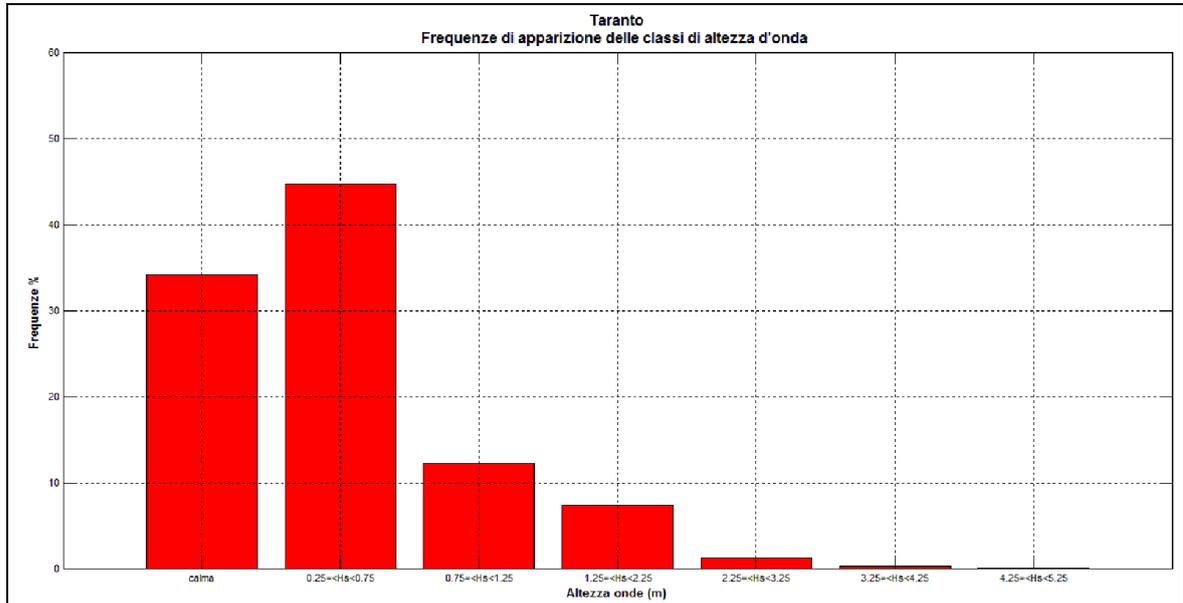


Figura 3.1.1.7 - Frequenze di apparizione annuali delle classi di altezza d'onda.

Nella figura 3.1.1.8 e nella tabella 3.1.1.4 i dati ondametrici della boa di Taranto sono stati ordinati per periodo di picco e per direzione di provenienza della mareggiata.

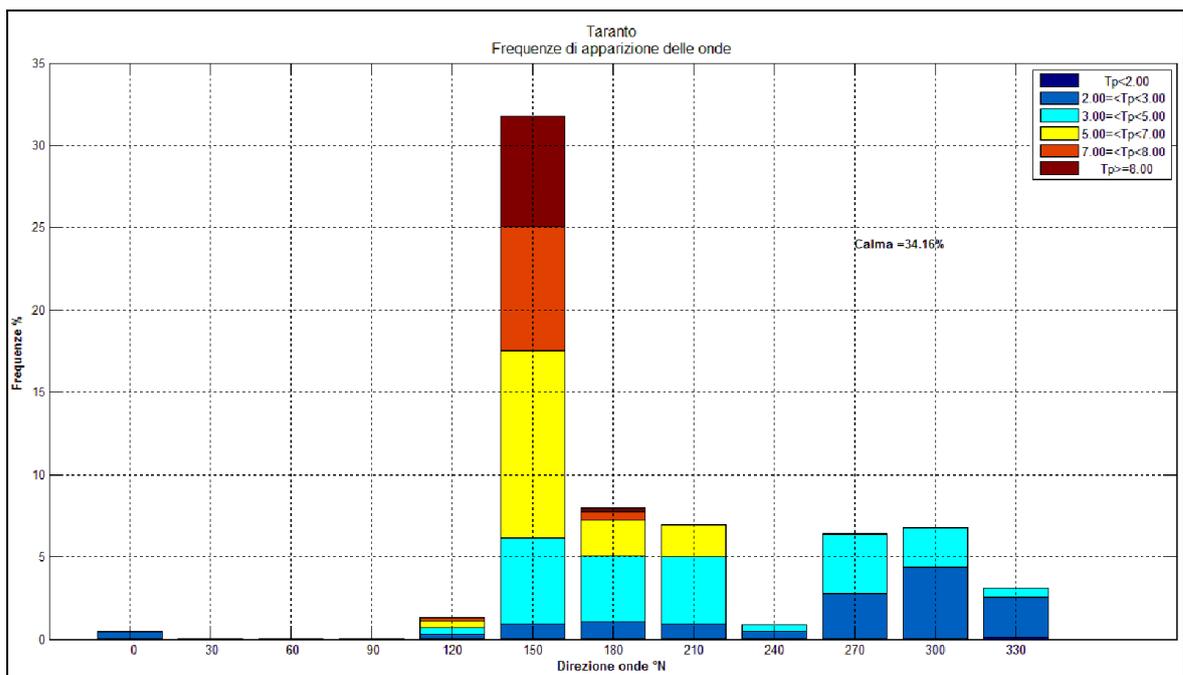


Figura 3.1.1.8 - Classificazione delle onde per periodo di picco e per direzione del moto ondoso.



dir (°N)	periodo di picco T_p (s)						totale
	$T_p < 2.0$	$2.0 \leq T_p \leq 3.0$	$3.0 \leq T_p \leq 5.0$	$5.0 \leq T_p \leq 7.0$	$7.0 \leq T_p \leq 8.0$	$T_p \geq 8.0$	
0	0.03	0.40	0.06	0.00	0.00	0.00	0.49
30	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
60	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
120	0.01	0.29	0.43	0.37	0.20	0.06	1.37
150	0.05	0.89	5.21	11.36	7.56	6.69	31.77
180	0.04	1.00	4.03	2.17	0.50	0.27	7.99
210	0.04	0.89	4.08	1.94	0.01	0.01	6.96
240	0.00	0.47	0.41	0.00	0.00	0.00	0.89
270	0.01	2.76	3.63	0.02	0.00	0.00	6.41
300	0.05	4.34	2.40	0.00	0.00	0.00	6.78
330	0.16	2.42	0.54	0.00	0.00	0.00	3.12
TOT	0.40	13.48	20.80	15.86	8.27	7.03	65.84

Tabella 3.1.1.4 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso ordinate per periodo di picco e per direzione.

Dall'analisi dei dati si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 3 e 5 secondi (20.80%), seguite dalle onde con periodo compreso tra 5 e 7 secondi (15.86%); le onde con periodo di picco minore di 3 secondi rappresentano il 13.88% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7 secondi costituiscono il 15.30%.

Nelle tabelle da 3.1.1.5 a 3.1.1.8 sono state riportate le percentuali di apparizione del moto ondoso suddivise per le quattro stagioni; le frequenze di apparizione stagionale sono state rappresentate nei grafici di figura 3.1.1.9.

dir (°N)	altezza significativa H_s (m)										TOT
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	
0	0.59	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
30	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
60	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.85	0.25	0.14	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35
150	20.26	11.07	6.00	3.22	1.51	0.48	0.44	0.19	0.10	0.03	43.29
180	4.89	1.97	0.77	0.24	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	7.93
210	3.30	2.88	0.80	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.21
240	0.37	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45
270	6.30	0.89	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.32
300	7.80	1.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.85
330	2.71	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.13
TOT	47.11	18.68	7.87	3.78	1.58	0.48	0.46	0.19	0.10	0.03	80.27

Tabella 3.1.1.5 - percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione invernale.



dir (°N)	altezza significativa Hs (m)										
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	TOT
0	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
30	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
120	1.35	0.23	0.10	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	1.72
150	18.23	6.05	2.44	0.80	0.34	0.13	0.02	0.00	0.00	0.00	28.02
180	6.31	1.44	0.40	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33
210	6.34	1.56	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.10
240	1.10	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.17
270	4.69	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.84
300	4.33	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
330	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18
TOT	44.73	9.61	3.15	0.98	0.36	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	59.02

Tabella 3.1.1.6 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione primaverile.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)										
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	TOT
0	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48
30	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
60	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
120	0.76	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80
150	8.23	1.89	0.72	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.91
180	7.00	0.69	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.94
210	6.82	1.01	0.14	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
240	1.60	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61
270	6.96	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.07
300	7.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.18
330	4.20	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.22
TOT	43.26	3.82	1.11	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.29

Tabella 3.1.1.7 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione estiva.



dir (°N)	altezza significativa Hs (m)										
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	TOT
0	0.65	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66
30	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
60	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
90	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
120	0.86	0.48	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43
150	19.64	10.10	6.59	3.05	1.32	0.54	0.27	0.20	0.06	0.01	41.78
180	4.43	1.60	1.08	0.43	0.12	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	7.72
210	2.35	1.56	0.47	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.61
240	0.38	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41
270	5.94	0.73	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.81
300	6.34	0.73	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.13
330	2.94	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.27
TOT	43.59	15.57	8.40	3.69	1.49	0.59	0.28	0.21	0.06	0.01	73.88

Tabella 3.1.1.8 - Percentuali di apparizione del moto ondoso durante la stagione autunnale.

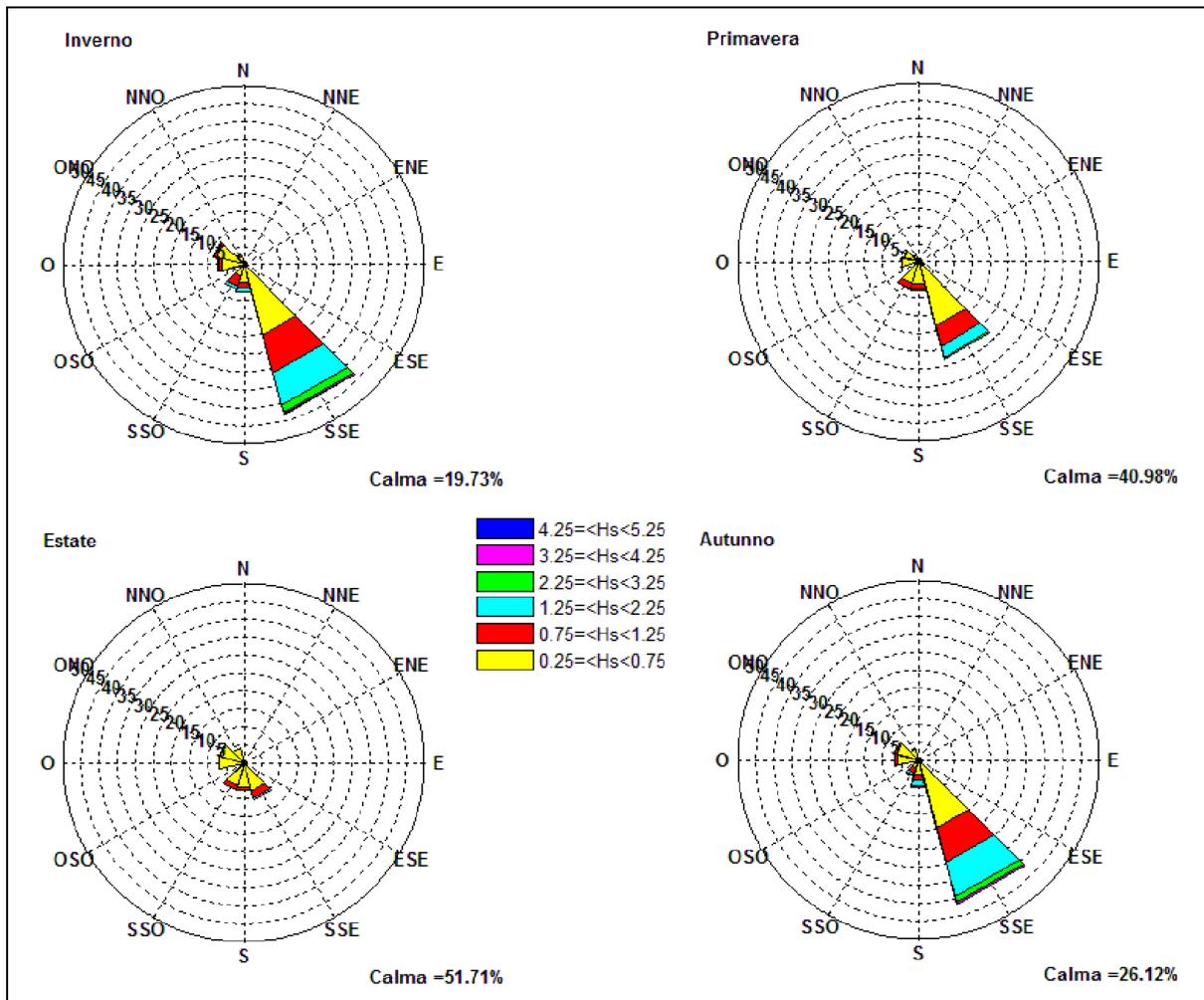


Figura 3.1.1.9 - Frequenze di apparizione stagionali (boa di Taranto).



Se si analizzano i dati ondametrici registrati su base stagionale si osserva che:

- in inverno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da SSE (43.29%), seguite da quelle da ONO (8.85%) e da Sud (7.93%); il 66.84% delle onde ha altezza minore di 0.75m, mentre le onde con altezza compresa tra 0.75 e 1.75m rappresentano il 26.55%, ed infine le onde di altezza superiore a 3.0m costituiscono l' 1.26% delle osservazioni totali stagionali;
- in primavera le calme rappresentano il 40.98% degli eventi registrati mentre le mareggiate più frequenti sono quelle da SSE (28.02%), seguite dalle mareggiate da Sud (8.33%); le onde di altezza superiore a 3.0m costituiscono appena lo 0.18% delle osservazioni totali stagionali;
- in estate le calme rappresentano il 51.71% del totale degli eventi registrati; le frequenze di apparizione maggiori provengono da SSE (10.91%), seguite dalle onde da SSO (8.00%); durante la stagione estiva si registra la più alta percentuale di onde di altezza inferiore a 0.75m (94.97%);
- in autunno le frequenze di apparizione maggiori spettano alle mareggiate da SSE (41.78%); il 69.71% delle onde ha altezza minore di 0.75m, mentre le onde con altezza compresa tra 0.75 e 1.75m rappresentano il 23.97%, ed infine le onde di altezza superiore a 3.0m costituiscono lo 1.14% delle osservazioni totali stagionali.



3.1.2 ANALISI DEI DATI

Dall'applicazione del metodo della trasposizione geografica delle registrazioni della boa di Taranto al paraggio di Porto Cesareo sono stati ricavati i dati riportati nella tabella 3.1.2.1; nello specifico le mareggiate ricostruite al largo di Porto Cesareo sono state ordinate per classi di altezza d'onda di 0.5m e per settori di provenienza di 30°, avendo considerato come calma le altezze d'onda inferiori a 0.25m.

I dati ricostruiti sono stati quindi elaborati determinando le frequenze di apparizione annuali delle onde riportate in tabella 3.1.2.2, e rappresentate nel diagramma polare di figura 3.1.2.1.

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											totale
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	1101	128	21	0	0	0	0	0	0	0	0	1250
30	194	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204
60	66	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
90	40	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42
120	380	89	26	6	4	1	0	0	0	0	0	506
150	7132	3083	1572	825	352	130	65	34	16	3	0	13212
180	11622	4364	2416	1127	420	182	84	72	26	15	3	20331
210	4559	1989	927	347	140	44	8	1	0	0	0	8015
240	1187	43	29	14	2	0	0	0	0	0	0	1275
270	6023	2695	609	138	57	5	0	0	0	0	0	9527
300	4328	2215	429	54	9	2	0	0	0	0	0	7037
330	1158	274	53	0	0	0	0	0	0	0	0	1485
TOT	37790	14895	6082	2511	984	364	157	107	42	18	3	62953

Tabella 3.1.2.1 – Numero di apparizioni annuali delle classi di altezza d'onda al largo di Porto Cesareo

dir (°N)	altezza significativa Hs (m)											totale
	0.25 0.75	0.75 1.25	1.25 1.75	1.75 2.25	2.25 2.75	2.75 3.25	3.25 3.75	3.75 4.25	4.25 4.75	4.75 5.25	5.25 5.75	
0	1.33	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51
30	0.23	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25
60	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
90	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
120	0.46	0.11	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
150	8.59	3.71	1.89	0.99	0.42	0.16	0.08	0.04	0.02	0.00	0.00	15.91
180	13.99	5.25	2.91	1.36	0.51	0.22	0.10	0.09	0.03	0.02	0.00	24.48
210	5.49	2.40	1.12	0.42	0.17	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65
240	1.43	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.54
270	7.25	3.25	0.73	0.17	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.47
300	5.21	2.67	0.52	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.47
330	1.39	0.33	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.79
TOT	45.50	17.93	7.32	3.02	1.19	0.44	0.19	0.13	0.05	0.02	0.00	75.79

Tabella 3.1.2.2 – Percentuali annuali di apparizioni delle classi di altezza d'onda al largo di Porto Cesareo

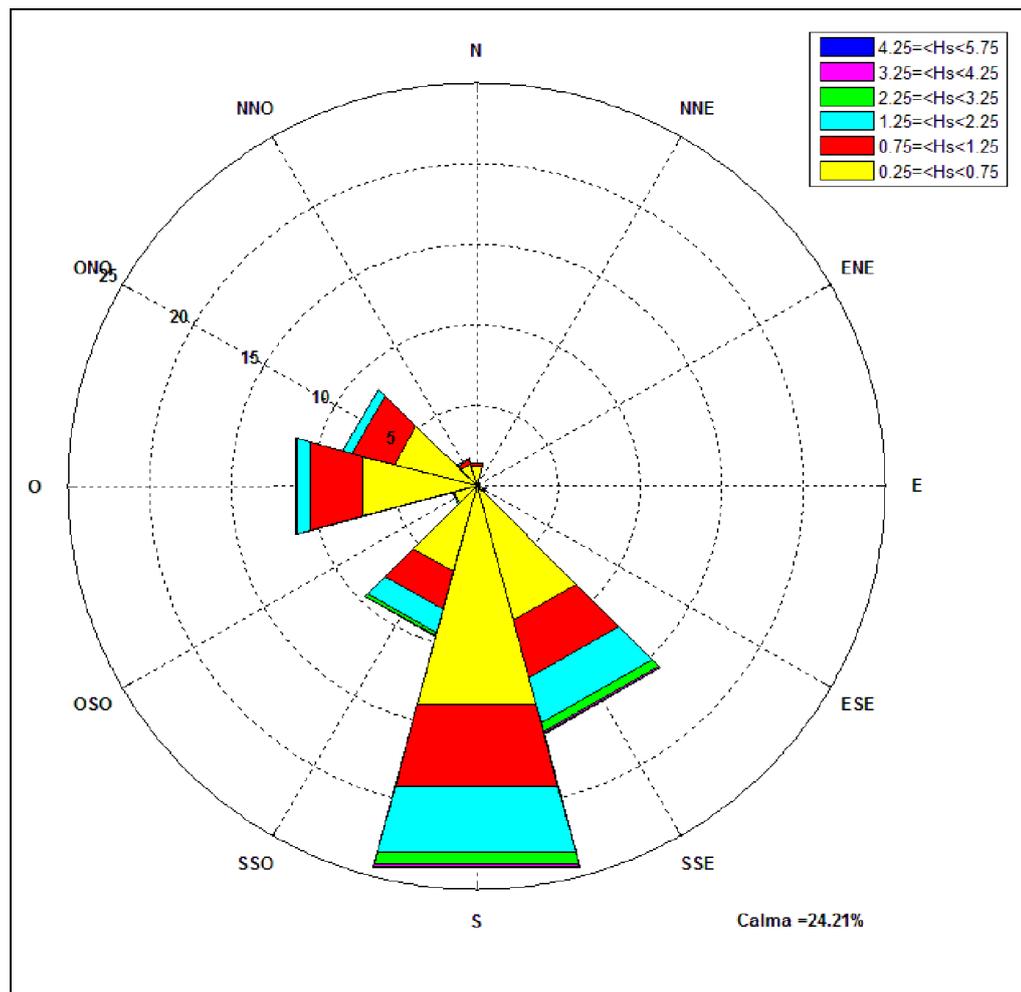


Figura 3.1.2.1 - Percentuali annuali di apparizione del moto ondoso al largo di Porto Cesareo

Gli stessi risultati sono stati rappresentati attraverso un istogramma in cui le calme ($H_s < 0.25$ m) sono state separate dal moto ondoso (figura 3.1.2.2).

- Il settore di traversia del paraggio di Porto Cesareo, come si può osservare dalla figura 3.1.2.1, risulta concentrato tra le direzioni $150^\circ N$ (15.91%) e $300^\circ N$ (8.47%), con una sensibile percentuale di mareggiate da Sud (24.48%). Le mareggiate con altezza d'onda minore di 0.75m costituiscono il 69.71% del totale (calma 24.21%), e solo lo 0.83% delle mareggiate ricostruite ha altezza maggiore di 3.0m, e proviene principalmente da SSE. Gli eventi caratterizzati da un'altezza d'onda compresa tra 0.75m e 1.75m rappresentano il 25.26% del totale delle mareggiate e provengono soprattutto da Sud.

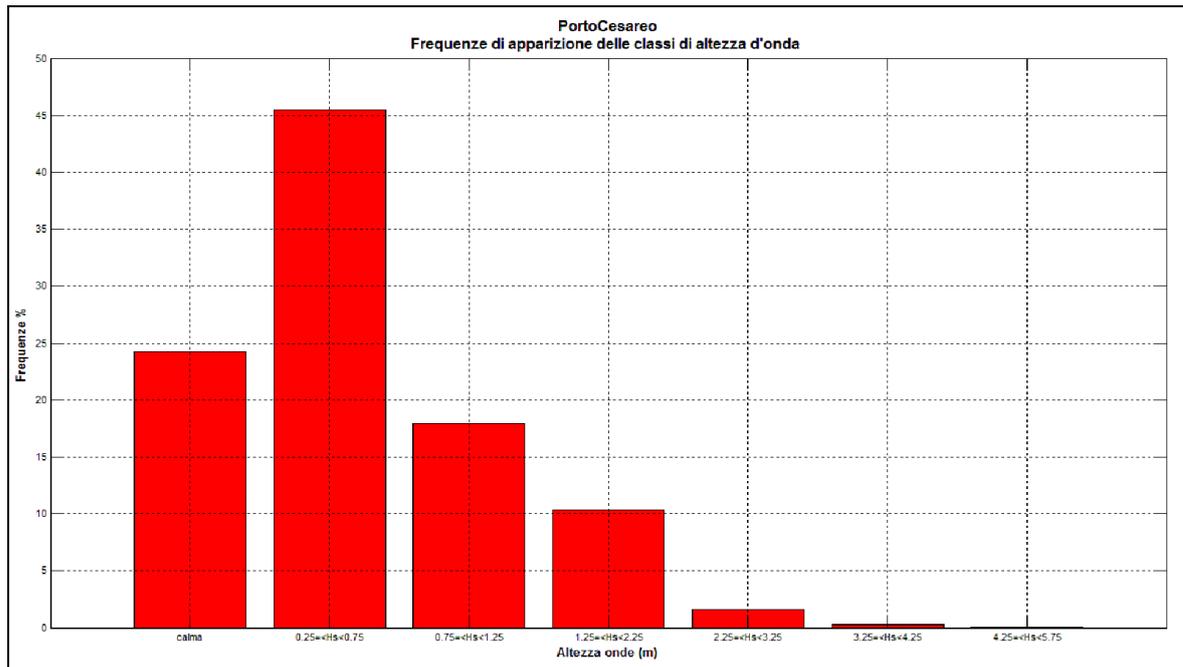


Figura 3.1.2.2 - Frequenze di apparizione annuali delle classi di altezza d'onda al largo di Porto Cesareo.

Se si classificano le onde secondo il periodo di picco T_p (tabella 3.1.2.3; figura 3.1.2.3) si osserva che la frequenza di apparizione maggiore spetta alle onde con periodo compreso tra 3 e 5 secondi (31.89%) seguite dalle mareggiate con periodo nell'intervallo 5 ÷ 7 secondi (21.34%); le onde con periodo di picco minore di 3s rappresentano il 6.47% del totale, mentre le onde con periodo maggiore di 7s costituiscono il 16.10%.

dir (°N)	periodo di picco T_p (s)						totale
	$T_p < 2.0$	$2.0 \leq T_p \leq 3.0$	$3.0 \leq T_p \leq 5.0$	$5.0 \leq T_p \leq 7.0$	$7.0 \leq T_p \leq 8.0$	$T_p \geq 8.0$	
0	0.00	0.96	0.54	0.01	0.00	0.00	1.51
30	0.00	0.19	0.04	0.01	0.00	0.01	0.25
60	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.01	0.08
90	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05
120	0.01	0.15	0.18	0.24	0.02	0.01	0.61
150	0.04	0.61	2.69	5.02	3.56	4.00	15.91
180	0.04	1.11	6.70	8.76	3.59	4.27	24.48
210	0.00	1.06	3.46	4.58	0.48	0.07	9.65
240	0.00	0.36	1.09	0.08	0.01	0.00	1.54
270	0.00	0.50	9.09	1.84	0.03	0.02	11.47
300	0.00	0.67	6.98	0.80	0.01	0.01	8.47
330	0.00	0.71	1.07	0.01	0.00	0.00	1.79
TOT	0.09	6.38	31.89	21.34	7.72	8.39	75.79

Tabella 3.1.2.3 – Percentuali di apparizioni annuali per classi di periodo.

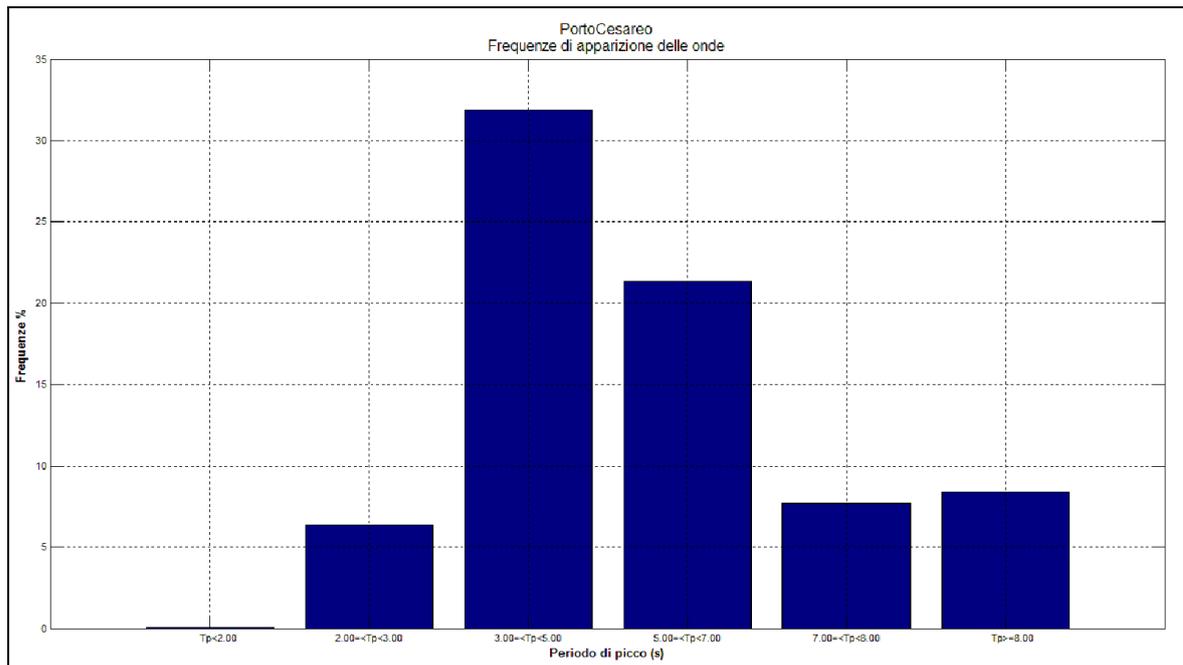


Figura 3.1.2.3 - Classificazione delle onde per classe di periodo.

Nella figura 3.1.2.4 è riportata infine la classificazione delle mareggiate per classe di periodo T_p e per direzione di provenienza del moto ondoso.

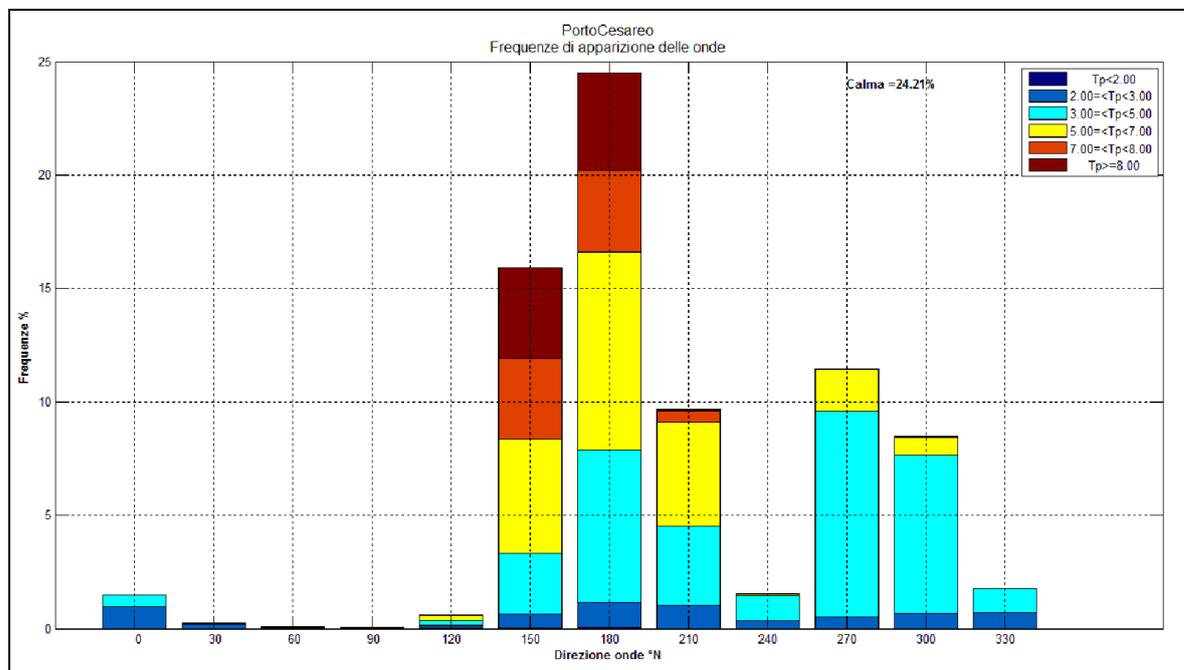


Figura 3.1.2.4 - Classificazione delle onde per classe di periodo e per direzione del moto ondoso.



3.1.3 RELAZIONE PERIODO – ALTEZZA

La correlazione tra l'altezza d'onda al largo e il periodo di picco corrispondente è stata individuata attraverso l'analisi dei dati ricostruiti adottando la seguente formulazione matematica:

$$T = \alpha * H_s^\beta$$

dove:

- T è il periodo dell'onda espresso in secondi;
- H_s è l'altezza d'onda significativa espressa in metri;
- α , β sono dei coefficienti di correlazione.
-

I dati d'onda sono stati suddivisi in classi di altezze congruenti all'interno di intervalli di ampiezza pari a 0.25m. Per ogni altezza d'onda H_{si} sono state tabulate tutte le n direzioni di provenienza, i corrispondenti n periodi e gli m numeri di apparizione b_s .

Si è ricavato allora il periodo riferito alla i-esima onda come:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^m T_{sj} * b_s}{m} \text{ espresso in secondi.}$$

Una volta calcolato il periodo d'onda T_i per ogni altezza d'onda H_{si} è stata quindi valutata la regressione fra i valori di T_i ed i valori di H_{si} , riportata in figura 3.1.3.1.

In particolare sono state ricavate le seguenti leggi di correlazione tra l'altezza d'onda significativa – periodo medio T_m e periodo di picco T_p :

$$T_p = 5.851 H_s^{0.417}$$

$$T_m = 4.604 H_s^{0.382}$$

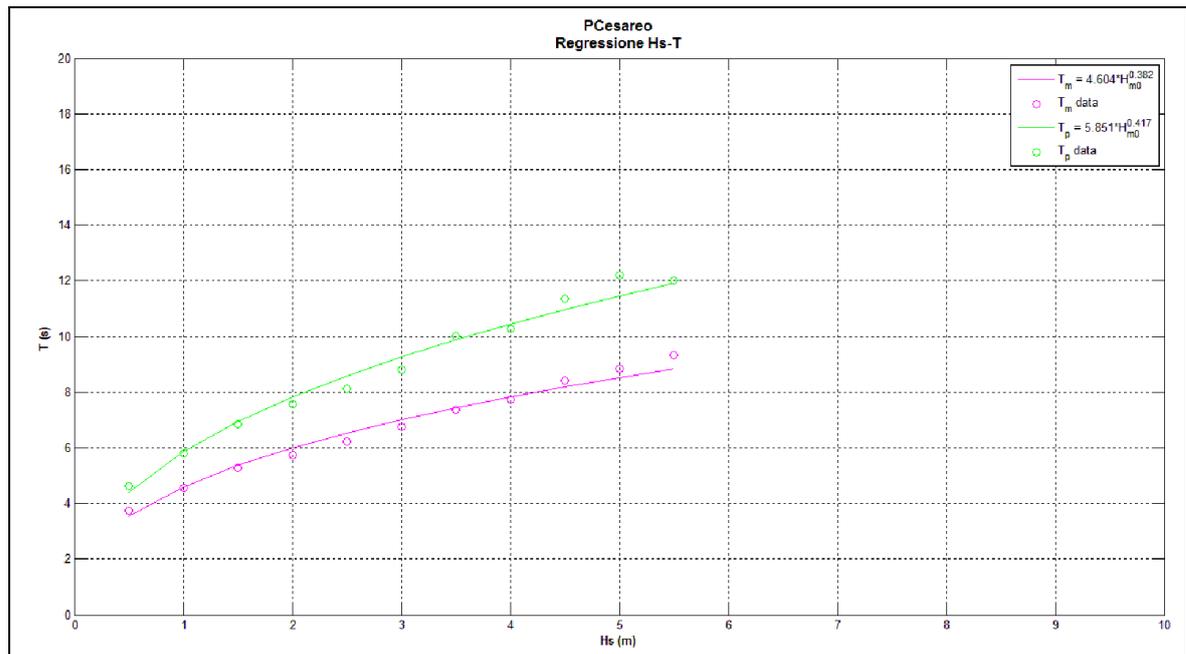


Figura 3.1.3.1 - Curva di regressione altezza significativa - periodo di picco e periodo medio.



3.1.4 EVENTI ESTREMI

Gli eventi estremi di moto ondoso al largo di un paraggio sono utili ai fini della progettazione di un'opera marittima in quanto per il dimensionamento delle strutture è necessario conoscere l'altezza d'onda massima cui esse saranno sottoposte nel loro tempo di vita.

Trattandosi di eventi stocastici, le altezze d'onda non possono essere calcolate con metodi deterministici e quindi il margine di incertezza dei risultati ottenuti è insito nel problema stesso. I metodi probabilistici in uso consistono nella ricerca di una legge di distribuzione rappresentativa del campione di dati disponibile ed in una successiva estrapolazione di detta legge fino a tempi di ritorno congrui con l'importanza e le esigenze dello studio. Per tempo di ritorno T_r si intende l'intervallo temporale fra due eventi di uguale intensità, ovvero, nel caso specifico, il tempo in cui una data altezza d'onda possa essere eguagliata o superata una sola volta.

Nel presente studio la determinazione degli eventi estremi al largo del paraggio di Porto Cesareo è stata effettuata applicando il metodo di trasposizione geografica degli eventi estremi di moto ondoso (*Gencarelli et al.*, 2006) che sfrutta la definizione di *spread parameter* $\gamma_{50,10}$ (*Goda*, 2001; *Goda*, 2004). Infatti, la conoscenza del valore di tale parametro, pari al rapporto tra H_{50} ed H_{10} , cioè tra le altezze con tempi di ritorno pari rispettivamente a 50 ed a 10 anni, unita alla stima di H_{10} , ottenibile anche con dati rivenienti da pochi anni di osservazione, permette il calcolo di H_{50} , anche nei casi in cui la stima con il metodo tradizionale non è resa possibile dalla brevità stessa della serie storica.

La boa ormeggiata al largo di Taranto appartiene all'area ionica in cui il valore stimato di $\gamma_{50,10}$ è pari a 1.13 (*Gencarelli et al.*, 2006).

La statistica delle onde estreme richiede prioritariamente la definizione delle mareggiate indipendenti che vanno a costituire la serie tronca. La selezione delle mareggiate è stata qui eseguita utilizzando la definizione proposta da *Boccotti* (2000) che ha definito *mareggiata* una successione di stati di mare in cui l'altezza significativa supera una soglia h_{crit} , senza poi scendere al disotto di essa per intervalli temporali superiori a 12 ore. La soglia h_{crit} viene fissata uguale a 1.5 volte l'altezza significativa media.

Particolare attenzione è stata posta nell'individuazione degli eventi indipendenti; così come proposto da *Mathiesen et al.* (1994), è stato individuato il minimo della funzione di autocorrelazione della serie storica, ottenendo che l'indipendenza degli eventi è verificata quando l'intervallo tra due mareggiate consecutive è pari ad almeno 48 ore.

Il calcolo delle onde estreme è stato effettuato applicando il metodo POT (Peak Over Threshold - Atlante dei Mari Italiani) (*Goda, 1988*) sia all'intero dataset di dati registrati dalla boa di Taranto, sia in riferimento ai due settori angolari in cui la traversia è stata suddivisa, assegnando a ciascuno di essi una diversa soglia H_T per la selezione della serie tronca (tabella 3.1.4.1, figura 3.1.4.1). La scelta del valore di soglia, a causa dall'esiguità del campione a disposizione, è stata vincolata dall'esigenza che la serie tronca contenesse almeno un evento in un anno. Allo scopo di assegnare le onde ai diversi settori omogenei individuati si è fatto riferimento alla direzione media della mareggiata.

Settore	Taranto
I	120 - 180
II	180 - 330

Tabella 3.1.4.1 - Settori direzionali omogenei espressi in °N.

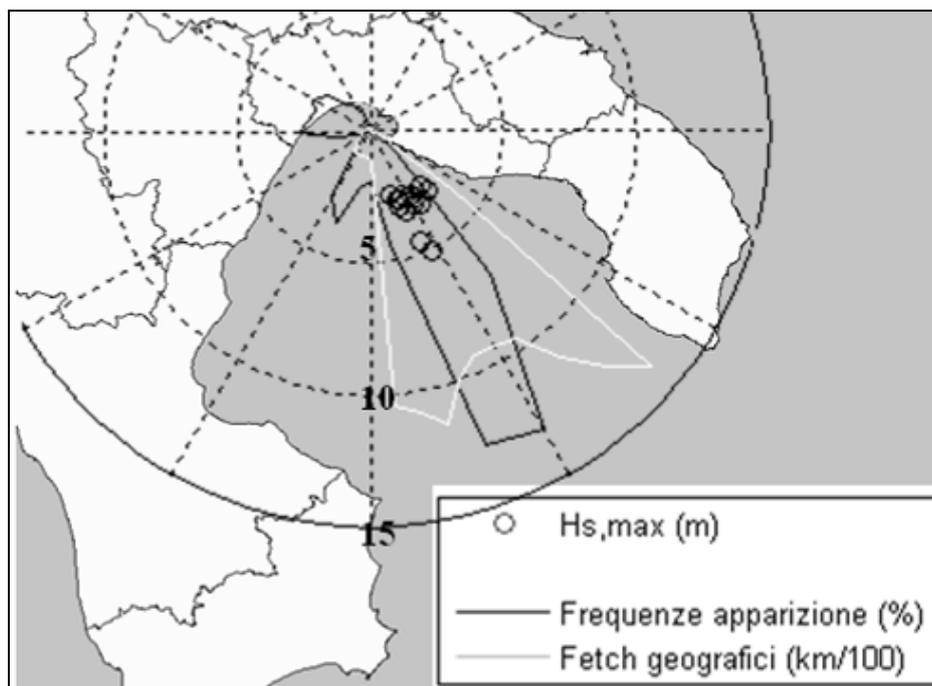


Figura 3.1.4.1 – Suddivisione della traversia di Taranto in settori angolari omogenei.



Una volta definito il campione è stata individuata la distribuzione probabilistica rappresentativa degli eventi statistici tra le seguenti funzioni di distribuzione a lungo termine:

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \quad \text{distribuzione di Fisher-Tippet I (FT-I o Gumbel);}$$

$$F(H_s \leq \hat{H}_s) = 1 - e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^k}} \quad \text{distribuzione di Weibull;}$$

dove:

$F(H_s \leq \hat{H}_s)$ è la probabilità che H_s non superi il valore di soglia di altezza significativa, \hat{H}_s ;

B è il parametro del sito;

A è il parametro di scala;

k è il parametro di forma.

Il valore di k è stato posto pari a 0.75, 1.00, 1.40 e 2.00.

I parametri A e B sono stati determinati verificando l'adattabilità ai dati delle 5 funzioni, attraverso un'analisi di regressione lineare effettuata con il metodo dei minimi quadrati e considerando le distribuzioni che offrono il più alto grado di correlazione.

Successivamente, i valori dell'altezza d'onda significativa, per differenti periodi di ritorno T_r , sono stati calcolati, per le funzioni di probabilità considerate, mediante la seguente espressione:

$$H_{sr} = \hat{A}y_r + \hat{B}$$

dove:

$$y_r = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{\lambda T}\right)\right] \quad \text{(secondo la Fisher-Tippet I)}$$

$$y_r = [\ln(\lambda T)]^{1/k} \quad \text{(secondo la Weibull)}$$

H_{sr} rappresenta l'altezza d'onda significativa, associata ad un periodo di ritorno T ;

λ numero medio degli eventi per anno = NT/K ;



K lunghezza della registrazione dei dati di moto ondoso.

I risultati ottenuti adattando le diverse distribuzioni al campione statistico sono riportati nella Tabella 3.1.4.2, nella quale k, A e B sono i parametri caratteristici della distribuzione di Weibull.

Paraggio	Settore	H_T	k	A	B
Porto Cesareo	I	2.5	1.4	1.1328	1.5867
	II	1.5	1.4	0.7036	0.9936
	Traversia	2.5	1.0	0.6832	2.5139

Tabella 3.1.4.2 - Parametri della legge di distribuzione di Weibull..

Nella tabella 3.1.4.3 sono riportate le massime altezze significative al largo calcolate per assegnati tempi di ritorno T_r relative all'intero paraggio esaminato.

Tempo di ritorno (anni)	$H_{s \max}$ (m)	T_D (s)
100	7.02	11.95
75	6.82	11.78
50	6.54	11.54
25	6.07	11.11
20	5.92	10.97
10	5.44	10.52
5	4.97	10.05
1	3.87	8.87

Tabella 3.1.4.3 - Eventi estremi relativi all'intero settore di traversia.

La tabella 3.1.4.4 riporta le massime altezze significative relative al I settore di traversia adottato, compreso tra le direzioni 120°N - 180°N, e calcolate con la distribuzione di Weibull rappresentata in figura 3.1.4.2.



Tempo di ritorno (anni)	H_s max (m)	T_p (s)
100	6.50	11.50
75	6.36	11.38
50	6.17	11.20
25	5.82	10.88
20	5.70	10.77
10	5.33	10.41
5	4.94	10.03
1	3.93	8.94

Tabella 3.1.4.4 - Eventi estremi relativi al I settore ($120^\circ N - 180^\circ N$).

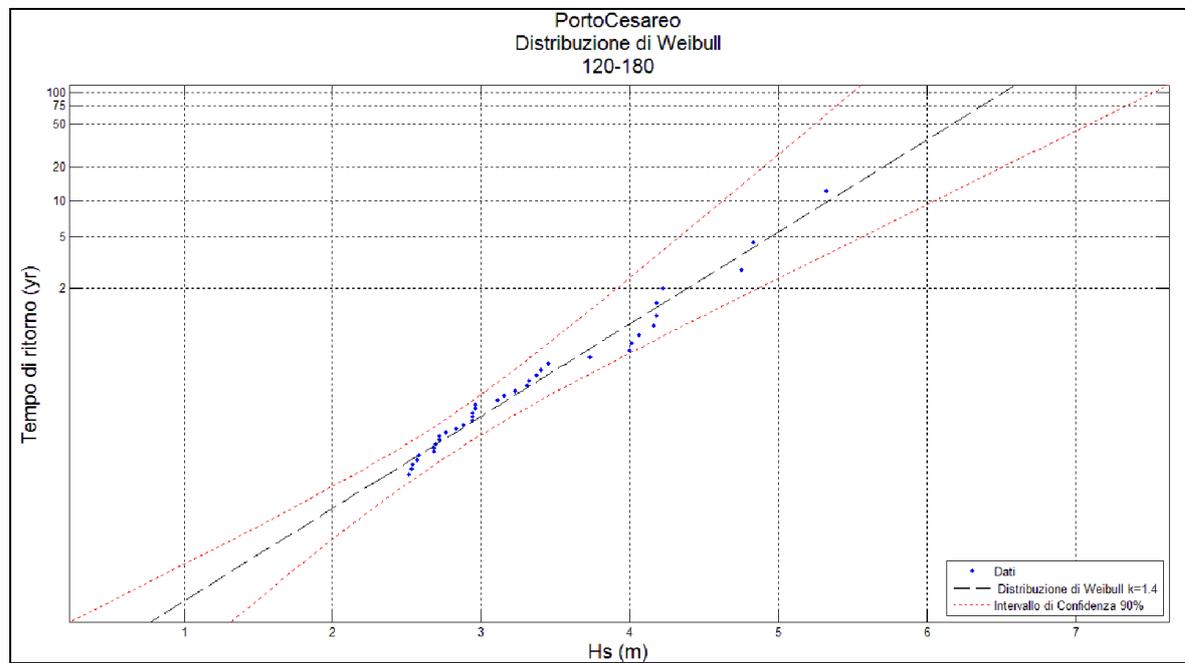


Figura 3.1.4.2 - Valori estremi di altezza d'onda relativi al I settore $120^\circ N - 180^\circ N$ (Weibull $k=1.4$).

La tabella 3.1.4.5 riporta le massime altezze significative relative al II settore di traversia adottato, compreso tra le direzioni $180^\circ N - 330^\circ N$, e calcolate con la distribuzione di Weibull rappresentata in figura 3.1.4.3.



Tempo di ritorno (anni)	$H_{s \max}$ (m)	T_p (s)
100	4.22	9.26
75	4.13	9.17
50	4.01	9.03
25	3.80	8.79
20	3.73	8.71
10	3.51	8.45
5	3.28	8.17
1	2.69	7.40

Tabella 3.1.4.5 - Eventi estremi relativi al II settore ($180^\circ N - 330^\circ N$).

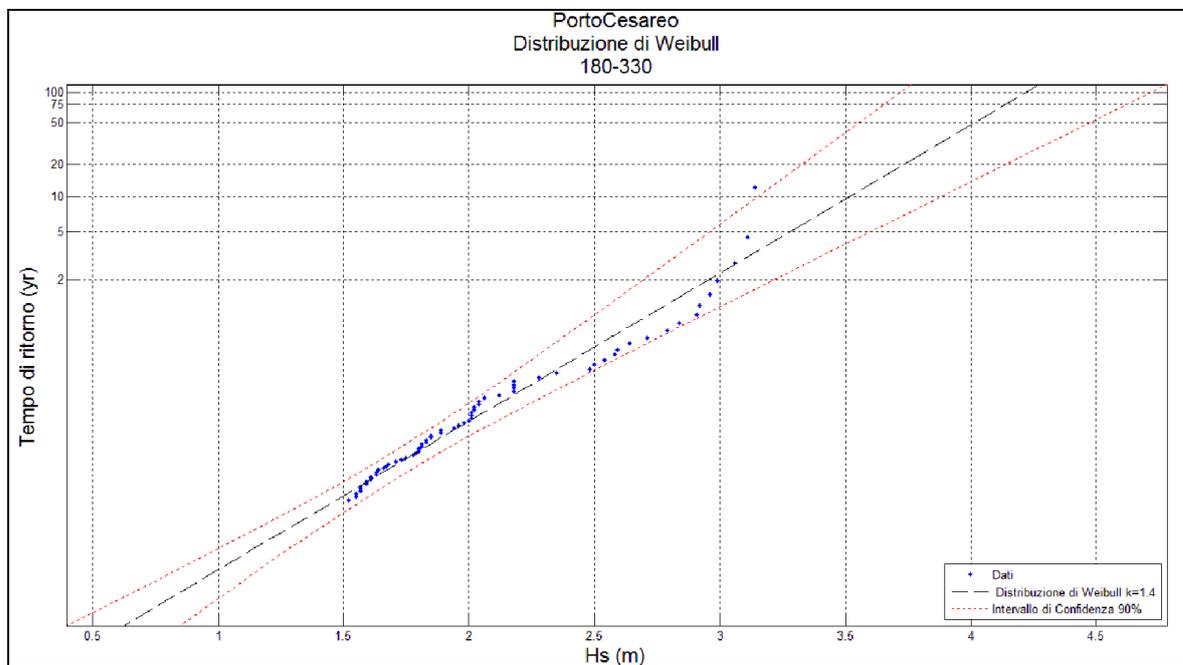


Figura 3.1.4.3 - Valori estremi di altezza d'onda relativi al II settore $180^\circ N - 330^\circ N$ (Weibull $k=1.4$).



3.1.5 ONDE EQUIVALENTI

Oltre alla modellazione del clima meteomarinario medio al largo, ai fini della caratterizzazione della dinamica dei litorali in esame, risulta utile conoscere il clima meteomarinario equivalente annuale, ovvero la cosiddetta onda di modellazione o morfologica o equivalente.

Il clima meteomarinario equivalente è stato valutato ricavando per ciascuna delle direzioni prescelte e per l'intero paraggio la mareggiata energeticamente equivalente all'intera serie storica disponibile.

L'onda di modellazione è caratterizzata da un'altezza d'onda H ed un periodo d'onda T , rappresentativi del contenuto energetico per il settore considerato. Tale onda è in grado di indurre effetti sul litorale equivalenti a quelli indotti da tutte le onde sulla base delle quali è stata calcolata.

L'altezza d'onda energeticamente equivalente per ciascuna direzione è stata calcolata con la relazione:

$$H_s = \sqrt{\frac{\sum_i H_{si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i}{\sum_i T_{pi} \cdot t_i}}$$

in cui la sommatoria è estesa al numero di mareggiate che compete a ciascuna direzione considerata e H_{si} , T_{pi} e t_i sono rispettivamente l'altezza significativa, il periodo di picco e la durata di ciascuna mareggiata.

Analogamente il periodo da associare alla suddetta altezza d'onda è stato ricavato come media pesata dei periodi delle singole mareggiate rispetto alle relative durate secondo la relazione:

$$T_p = \frac{\sum_i T_{pi} \cdot t_i}{\sum_i t_i}$$

Per quanto riguarda l'individuazione dell'onda caratterizzante l'intero paraggio, si considerano ovviamente tutte le mareggiate calcolate nell'intero settore di traversia procedendo al calcolo dell'altezza e del periodo con la stessa metodologia innanzi descritta. In questo caso però si è reso necessario anche il calcolo della direzione di provenienza della mareggiata equivalente. A tale scopo, il flusso di energia è stato



trattato come un vettore, le cui componenti hanno consentito di ricavare la direzione media con la seguente relazione:

$$\phi = \arctan \left[\frac{\sum_i H_{Si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i \cdot \sin \vartheta_i}{\sum_i H_{Si}^2 \cdot T_{pi} \cdot t_i \cdot \cos \vartheta_i} \right]$$

Dall'elaborazione complessiva dei dati di onda ottenuti dalla trasposizione geografica delle registrazioni ondametriche della boa di Taranto, sono stati ricavati i valori delle onde equivalenti riportati nella tabella 3.1.5.1, riferite al settore di traversia del paraggio in esame.

Alle direzioni SSE e Sud compete l'altezza d'onda energeticamente equivalente più elevata pari a 1.22m, con una frequenza di apparizione pari rispettivamente a 20.99% e 32.30%. L'onda caratteristica dell'intero paraggio ha un'altezza di 1.11m, periodo pari a 5.35s e direzione di provenienza 178°N.

	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	0	0.59	2.94	625.0
	30	0.43	3.25	102.0
	60	0.49	4.08	34.5
	90	0.46	2.76	21.0
	120	0.81	4.54	253.0
	150	1.22	6.68	6606.0
	180	1.22	6.08	10165.5
	210	1.09	4.99	4007.5
	240	0.59	3.57	637.5
	270	0.87	4.22	4763.5
	300	0.84	4.01	3518.5
	330	0.68	3.24	742.5
PARAGGIO	178	1.11	5.35	31476.5

Tabella 3.1.5.1 - Onde equivalenti annue.

Suddividendo i dati di onda in funzione della stagione, sono stati altresì determinati i valori di altezza d'onda equivalenti stagionali riportati nelle tabelle seguenti.



	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	0	0.79	3.27	157.0
	30	0.47	2.79	10.0
	60	0.61	4.00	3.0
	90	0.51	2.73	6.5
	120	0.92	4.54	65.5
	150	1.38	7.06	2333.5
	180	1.31	6.52	2906.0
	210	1.34	5.80	903.0
	240	0.97	3.96	50.5
	270	1.05	4.58	1134.0
	300	0.97	4.33	917.0
	330	0.83	3.58	148.5
PARAGGIO	176	1.28	5.96	8634.5

Tabella 3.1.5.2 - Onde equivalenti invernali.

	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	0	0.42	2.75	91.5
	30	0.38	3.25	21.0
	60	0.36	3.25	8.0
	90	0.50	2.99	8.5
	120	0.84	4.13	90.5
	150	0.93	6.35	1715.0
	180	0.95	5.54	2772.5
	210	0.89	4.77	1380.5
	240	0.58	3.57	230.0
	270	0.69	4.03	1130.5
	300	0.67	3.78	861.0
	330	0.54	3.08	172.5
PARAGGIO	180	0.88	5.04	8481.5

Tabella 3.1.5.3 - Onde equivalenti primaverili.

	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	0	0.42	2.74	199.0
	30	0.43	3.03	37.0
	60	0.38	3.23	18.0
	90	0.00	0.00	0.0
	120	0.46	3.60	25.0
	150	0.70	5.32	431.5
	180	0.75	4.64	1261.5
	210	0.76	4.23	1134.0
	240	0.44	3.44	303.0
	270	0.62	3.82	1338.5
	300	0.63	3.67	916.0
	330	0.54	3.00	250.0
PARAGGIO	213	0.68	4.06	5913.5

Tabella 3.1.5.4 - Onde equivalenti estive.



	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	0	0.58	2.98	177.5
	30	0.45	3.62	34.0
	60	0.64	8.08	5.5
	90	0.31	2.46	6.0
	120	0.75	5.36	72.0
	150	1.26	6.81	2126.0
	180	1.39	6.71	3225.5
	210	1.38	5.69	590.0
	240	0.81	3.94	54.0
	270	1.02	4.53	1160.5
	300	0.97	4.29	824.5
	330	0.81	3.47	171.5
PARAGGIO	176	1.27	5.94	8447

Tabella 3.1.5.5 - Onde equivalenti autunnali.



3.2 MOTO ONDOSO SOTTOCOSTA

Nel presente paragrafo è riportato lo studio con cui sono state determinate le condizioni ondose sottocosta calcolate a seguito dell'elaborazione di piani d'onda ottenuti attraverso l'applicazione di un idoneo modello matematico.

L'elaborazione dei piani d'onda ha permesso di valutare le modifiche in forma, altezza, direzione e celerità che le onde subiscono nella loro propagazione da largo verso riva.

Le caratteristiche delle onde variano, infatti, a causa di fenomeni quali lo shoaling, la rifrazione, la diffrazione, la riflessione e il frangimento, associati a fenomeni non lineari dovuti alle interazioni fra le stesse onde e tra le onde e i fondali.

3.2.1 IL MODELLO MATEMATICO SWAN

La propagazione del clima ondoso da largo verso riva è stata simulata con il modello numerico **SWAN**, acronimo di **Simulating WAVes Nearshore**, la cui implementazione è stata sviluppata dal Dipartimento di Meccanica dei Fluidi dell'Università di Delft.

Lo SWAN permette di ottenere stime reali dei parametri d'onda in aree costiere, laghi ed estuari una volta note le condizioni del fondo, del vento e delle correnti. In particolare, il modello simula lo sviluppo degli spettri d'onda che viaggiano da acque profonde verso acque poco profonde, come nel caso del moto ondoso che si propaga verso riva.

Nel modello SWAN sono rappresentati i seguenti processi di propagazione d'onda:

- propagazione lungo lo spazio geografico;
- rifrazione dovuta a variazioni del fondale marino e della corrente;
- shoaling dovuto a variazioni del fondale marino e della corrente;
- bloccaggio e riflessione da parte di correnti in direzione opposta;
- trasmissione, bloccaggio o riflessione da parte di ostacoli.

Inoltre, nello SWAN vengono rappresentati i seguenti processi di generazione e dissipazione d'onda:

- generazione dovuta al vento;
- dissipazione dovuta alla rottura in cresta (whitecapping);



- dissipazione dovuta alla rottura d'onda indotta dalla profondità;
- dissipazione dovuta all'attrito sul fondo;
- interazioni onda-onda (quadruple e triple);
- diffrazione a tergo di ostacoli;
- variazione del livello marino associata alla propagazione del moto ondoso durante le mareggiate (wave setup).

In funzione dei molteplici processi che l'algoritmo di calcolo del modello riesce a simulare, attraverso la sua applicazione nel caso del paraggio di Porto Cesareo è stato possibile riprodurre con buona approssimazione le trasformazioni delle onde estreme e delle onde equivalenti (o di modellazione) dal largo fino alla costa in prossimità dei litorali esaminati.

Il modello SWAN può essere utilizzato in condizioni sia stazionarie sia non stazionarie, considerando coordinate sia cartesiane (nel caso di piccole scale), sia sferiche (nel caso di piccole e grandi scale). Nel modello SWAN le onde sono descritte attraverso la densità d'azione spettrale dell'onda bidimensionale anche quando sono presenti fenomeni non lineari (ad esempio nella zona dei frangenti). La ragione fondamentale per l'utilizzo dello spettro anche in condizioni fortemente non lineari è che, anche in tali condizioni, è possibile definire con buona accuratezza la distribuzione spettrale del momento del secondo ordine delle onde (sebbene esso non è sufficiente per descrivere le onde da un punto di vista statistico).

Lo spettro utilizzato in SWAN è la densità d'azione spettrale $N(\sigma, \theta)$ anziché la densità di energia spettrale $E(\sigma, \theta)$ poiché, in presenza di correnti, la densità d'azione spettrale viene conservata mentre non lo è la densità d'energia.

Le variabili indipendenti sono la frequenza relativa σ e la direzione d'onda θ (la direzione normale alla cresta dell'onda di ogni componente spettrale). La densità d'azione è funzione della densità d'energia e della frequenza relativa:

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma}$$

Nella presente modellazione, l'evoluzione dello spettro d'onda è descritta attraverso la seguente equazione del bilancio d'azione spettrale valida per coordinate cartesiane, che rappresenta l'equazione fondamentale di tutta la teoria dello SWAN:



$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial z} c_z N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

In tale equazione il primo termine di sinistra rappresenta la variazione della densità d'azione spettrale rispetto al tempo; il secondo, il terzo e il quarto termine rappresentano la propagazione dell'azione nello spazio geografico (con le velocità di propagazione c_x , c_y e c_z riferite, rispettivamente, alle direzioni x , y e z); il quinto termine rappresenta la variazione della frequenza relativa dovuta alle variazioni di profondità e delle correnti (con la velocità di propagazione c_σ riferita allo spazio delle frequenze σ); il sesto termine, l'ultimo dei termini di sinistra dell'equazione, rappresenta la rifrazione indotta dalla profondità e dalla corrente (con la velocità di propagazione c_θ riferita allo spazio delle direzioni d'onda θ). Le espressioni per descrivere tali velocità di propagazione sono date dalla teoria dell'onda lineare di Stokes al 1° ordine. Il termine S , che è comunque funzione della frequenza e delle direzioni d'onda ($S = f(\sigma, \theta)$), presente nei termini a destra dell'equazione del bilancio d'azione spettrale, rappresenta il termine sorgente rispetto agli effetti della generazione, della dissipazione e delle interazioni non lineari onda-onda.

Le onde propagate con lo SWAN vengono definite da un valore di altezza d'onda, H_s , di periodo di picco, T_p , e di direzione di provenienza rispetto al Nord cartografico. Nelle propagazioni effettuate con lo SWAN è stato utilizzato uno spettro di tipo JONSWAP con γ (coefficiente di picco dello spettro) pari a 3.3, assumendo un range di direzioni spettrali pari a 180°, una frequenza minima dello spettro $f_1 = 0.01\text{Hz}$, e una frequenza massima $f_2 = 0.5\text{Hz}$. Il frangimento del moto ondoso per raggiunto limite di profondità è stato definito nell'input del programma in base al rapporto limite $H_s/d = 0.78$, in cui d è la profondità del fondale.

L'applicazione del modello prevede la definizione di una griglia di base rappresentativa della batimetria del paraggio; l'output del modello consiste nella definizione delle condizioni ondose, in ciascun nodo della griglia di calcolo fissata, espresse in termini di altezza d'onda, periodo e direzione.

Il modello SWAN è stato applicato in tre separate sessioni di simulazioni in cui sono state riprodotte le trasformazioni dal largo verso costa dei seguenti set di onde:

- onde energeticamente equivalenti del paraggio per la stima del trasporto solido longitudinale potenziale;



-
- onde estreme con tempo di ritorno $T_r = 10$ anni, per la definizione delle condizioni ondose sottocosta ai fini della verifica delle aree a terra inondabili da mare;
 - onde estreme con tempo di ritorno $T_r = 50$ anni, per la definizione delle condizioni ondose sottocosta ai fini della verifica delle aree a terra inondabili da mare.

3.2.2 GRIGLIE DI CALCOLO

Il primo passo nello studio di propagazione del clima ondoso dal largo verso la riva con il modello SWAN ha riguardato la preparazione di griglie di calcolo ricavate dalla batimetria in corrispondenza del paraggio di Porto Cesareo.

Le quote batimetriche sono state desunte dalle carte nautiche della zona prodotte dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM). Sono state utilizzate le tavole IIM n. 27 e n. 28, in scala 1:100.000; le tavole IIM sono state informatizzate e georeferenziate secondo la rappresentazione conforme di Gauss-Boaga con reticolato piano nel sistema nazionale (Gauss-Boaga) riferito all'ellissoide Roma 40 (figura 3.2.2.1).

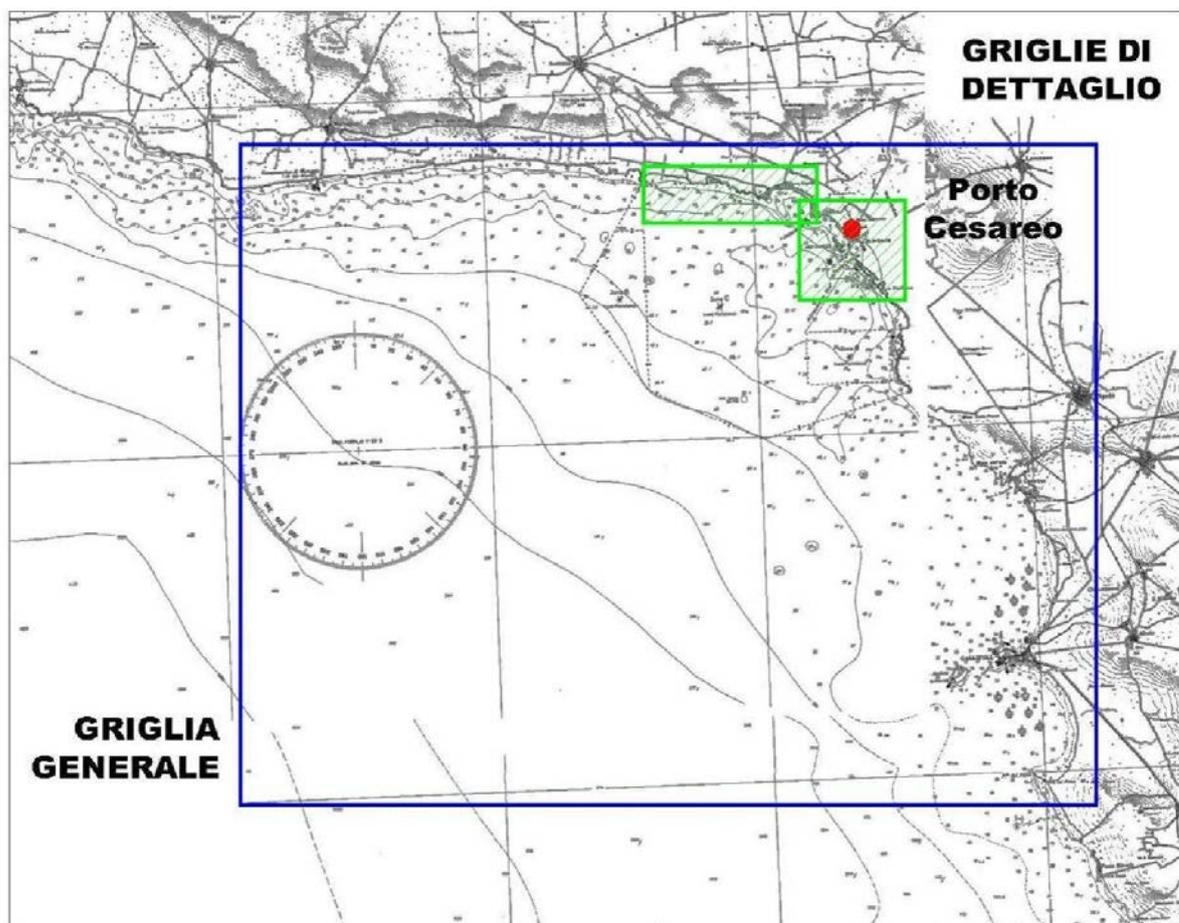


Figura 3.2.2.1 - Carta nautica IIM con individuazione delle griglie di calcolo.

Per lo studio di dettaglio dell'area più prossima alla costa, le informazioni IIM sono state integrate con i dati estratti da un rilievo batimetrico di dettaglio effettuato nell'ambito del perimetro dell'Area Marina Protetta di Porto Cesareo (figura 3.2.2.2), fornito dal Comune di Porto Cesareo.

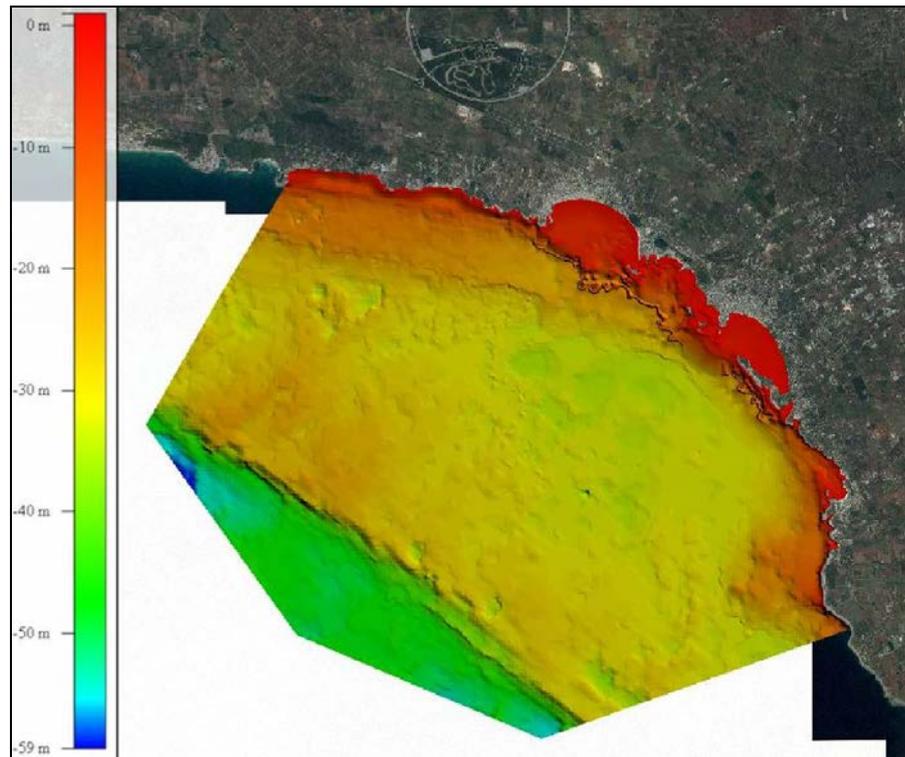


Figura 3.2.2.2 – Rilievo batimetrico di dettaglio utilizzato per la definizione delle griglie di calcolo.

Utilizzando un software commerciale di topografia, attraverso l'interpolazione per triangolazione delle quote batimetriche ricavate dalle tavole IIM e dal rilievo batimetrico di dettaglio effettuato, è stato ricostruito il modello digitale della batimetria da cui infine sono stati ricavati i valori di profondità nei nodi di griglie di calcolo prefissate.

Per l'applicazione del modello sono state determinate una griglia generale e due griglie di dettaglio; le griglie adottate sono orientate con l'asse delle X secondo la direzione Est (90°N), e con l'asse Y, perpendicolare al primo, ed orientato secondo la direzione Nord (0°N).

La griglia generale, a maglia quadrata con passo di lunghezza pari a 100m (figura 3.2.2.1; figura 3.2.2.3), copre un ampio tratto di mare al fine di poter studiare tutte le mareggiate che investono il litorale in studio. Essa è costituita da 350 righe (//

asse X) e 450 colonne (// asse Y) ed ha origine nel punto di coordinate Gauss-Boaga 2733900E, 4430450N.

Per gli studi di dettaglio sono state invece definite due griglie a maglia quadrata con passo 10m che coprono tutto il tratto di litorale rientrante nei limiti del territorio comunale di Porto Cesareo; le due griglie di dettaglio inquadrano rispettivamente il tratto di costa settentrionale e quello meridionale del litorale di Porto Cesareo (figura 3.2.2.4, figura 3.2.2.5).

Nella tabella 3.2.2.1 sono sintetizzate le caratteristiche delle griglie batimetriche di calcolo implementate nel modello SWAN.

GRIGLIA	maglia	origine		inclinazione	n. righe	n. colonne
		E Gb	N Gb			
generale	100 x 100	2733900	4430450	0° N	350	450
dettaglio (NORD)	10 x 10	2755100	4461300	0° N	910	300
dettaglio (SUD)	10 x 10	2763300	4457220	0° N	555	602

Tabella 3.2.2.1 - Griglie batimetriche di calcolo implementate nel modello SWAN.

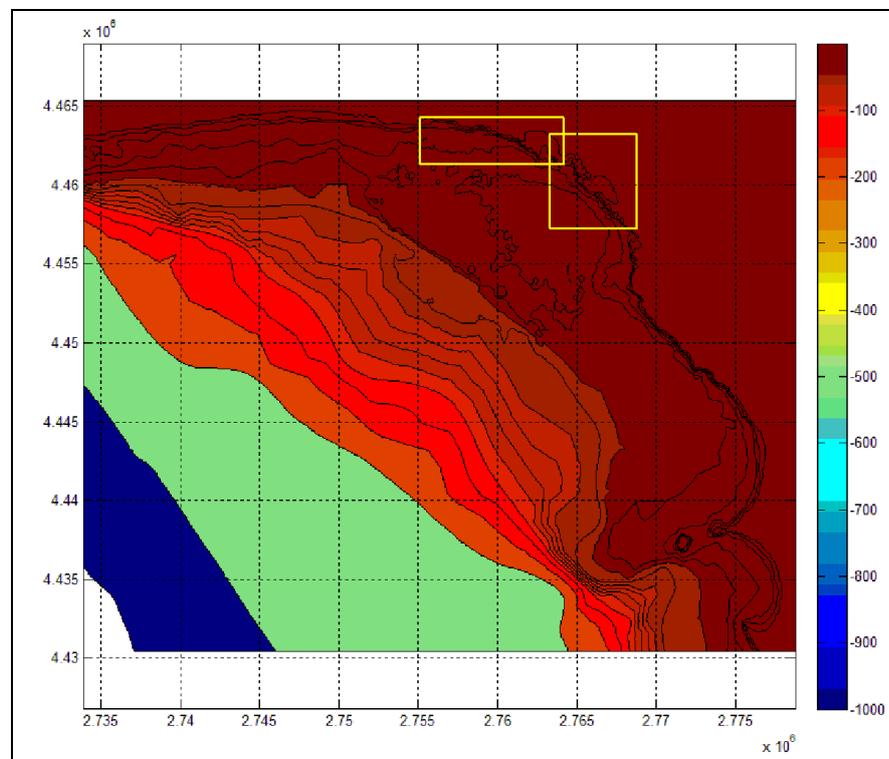


Figura 3.2.2.3 - Griglia batimetrica generale implementata nel modello SWAN.

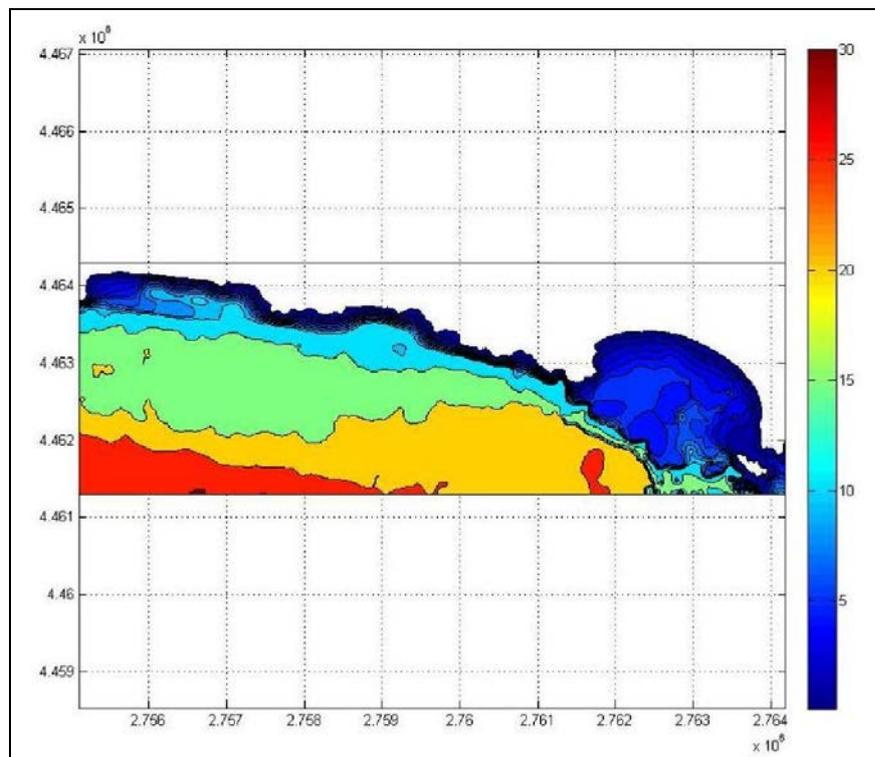
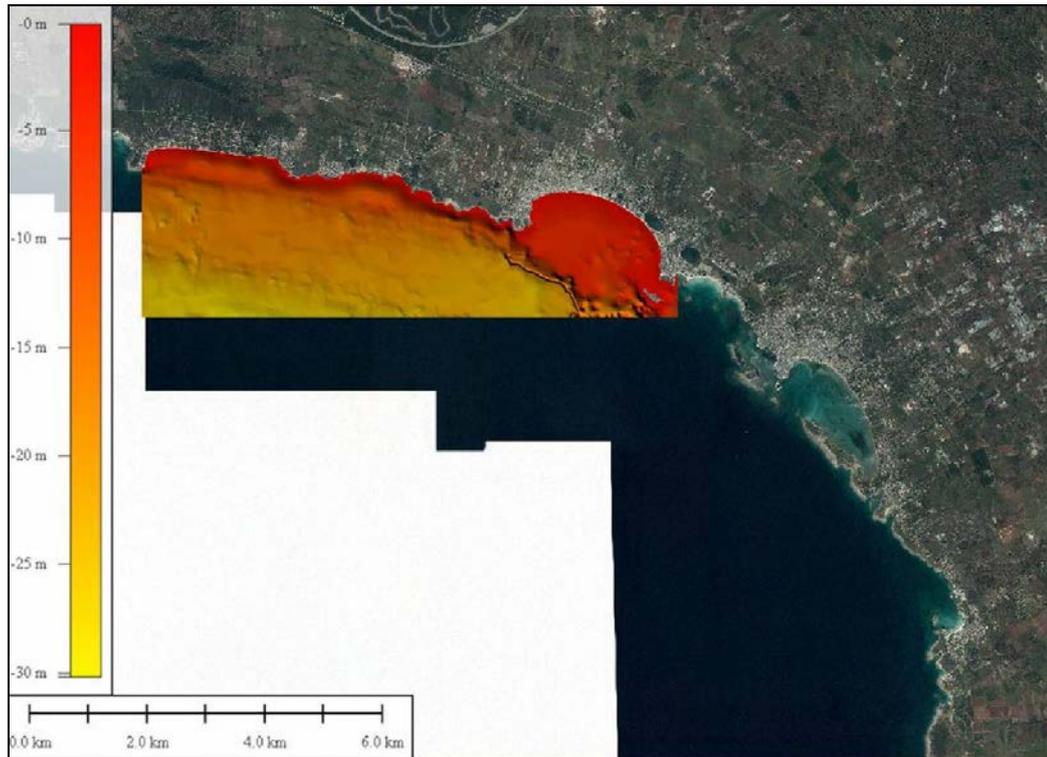


Figura 3.2.2.4 - Griglia batimetrica di dettaglio implementata nel modello SWAN (tratto NORD).

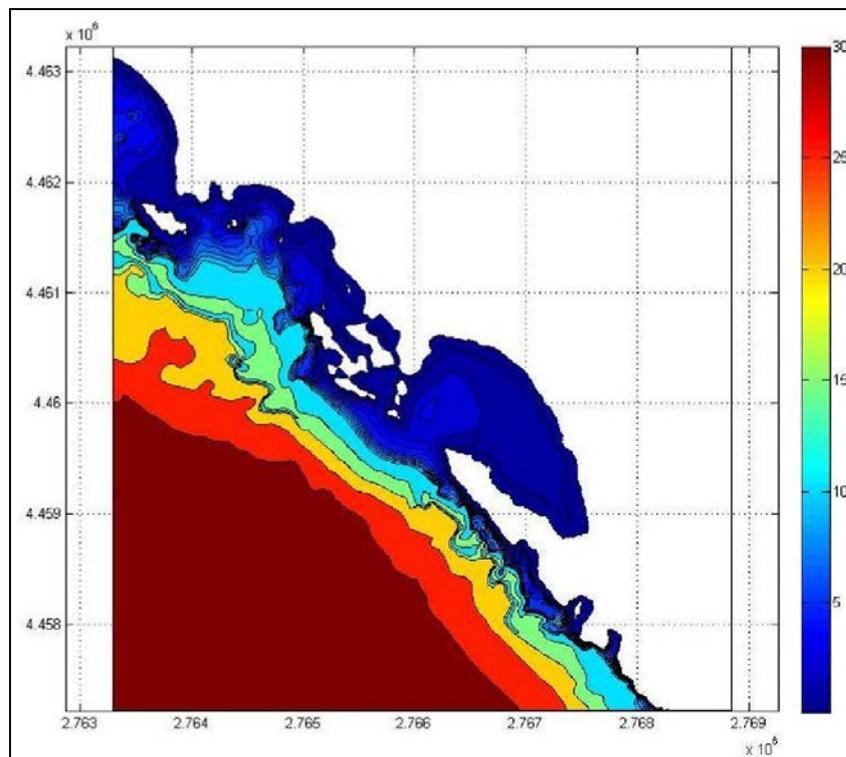
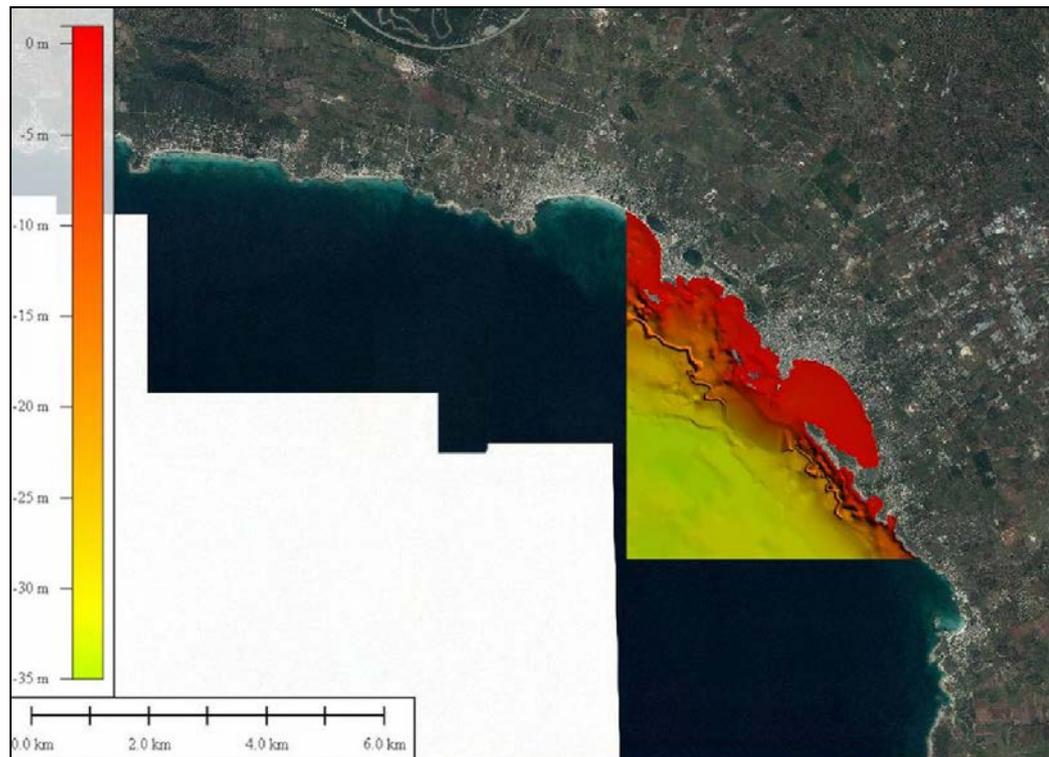


Figura 3.2.2.5 - Griglia batimetrica di dettaglio implementata nel modello SWAN (tratto SUD).



3.2.3 PROPAGAZIONE DEGLI EVENTI ESTREMI

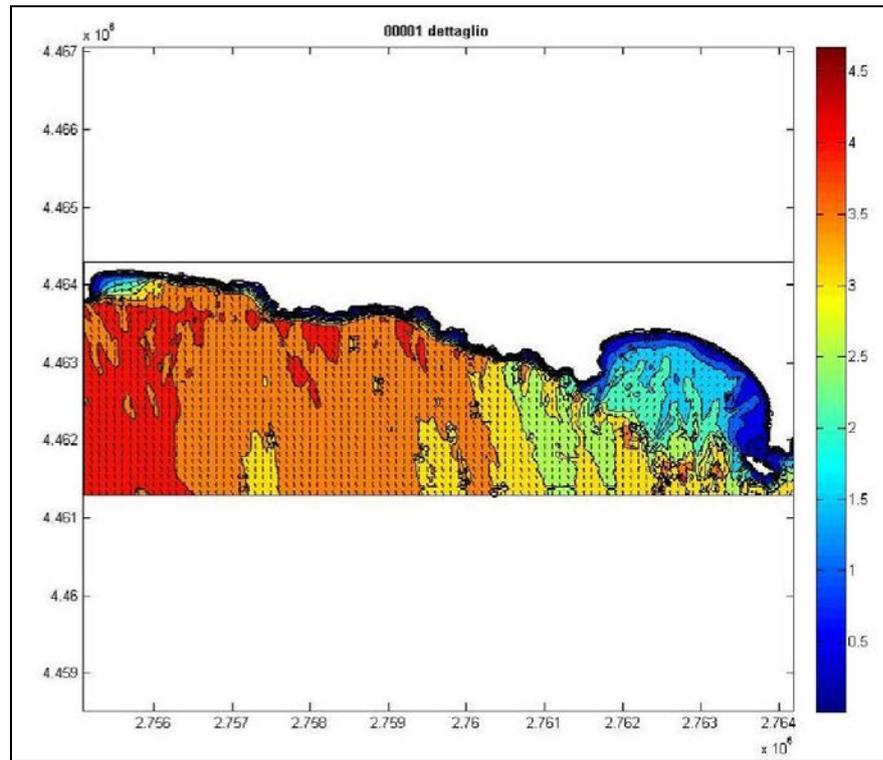
Nel modello SWAN sono stati riprodotti i piani d'onda relativi alle onde estreme con tempo di ritorno T_r 10 anni e T_r 50 anni, riportate nella tabella 3.2.3.1.

dir (°N)	onde al largo	
	$T_r = 50$ anni	
	H_s (m)	T_p (s)
150	6.17	11.20
180	6.17	11.20
210	4.01	9.03
240	4.01	9.03
270	4.01	9.03

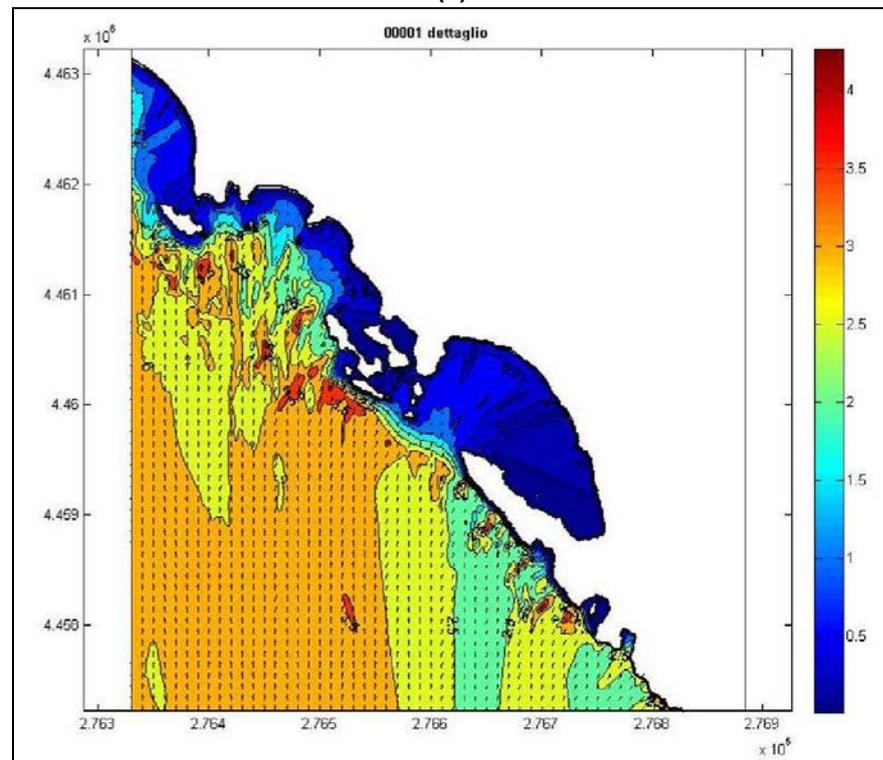
Tabella 3.2.3.1 - Onde estreme simulate con il modello SWAN.

Le figure seguenti riportano le mappe di agitazione ondosa sottocosta ottenute con le condizioni ondose al largo relative alle mareggiate con T_r 50 anni; le figure indicate con pedice (a) si riferiscono al tratto di litorale a Nord, mentre le figure con pedice (b) si riferiscono al settore meridionale.

I risultati del modello SWAN relativi alle mareggiate con tempo di ritorno T_r 10 anni e T_r 50 anni hanno consentito di determinare, tra l'altro, i valori del wave setup per i diversi tratti di costa che sono stati impiegati per determinare le zone inondabili da mare.

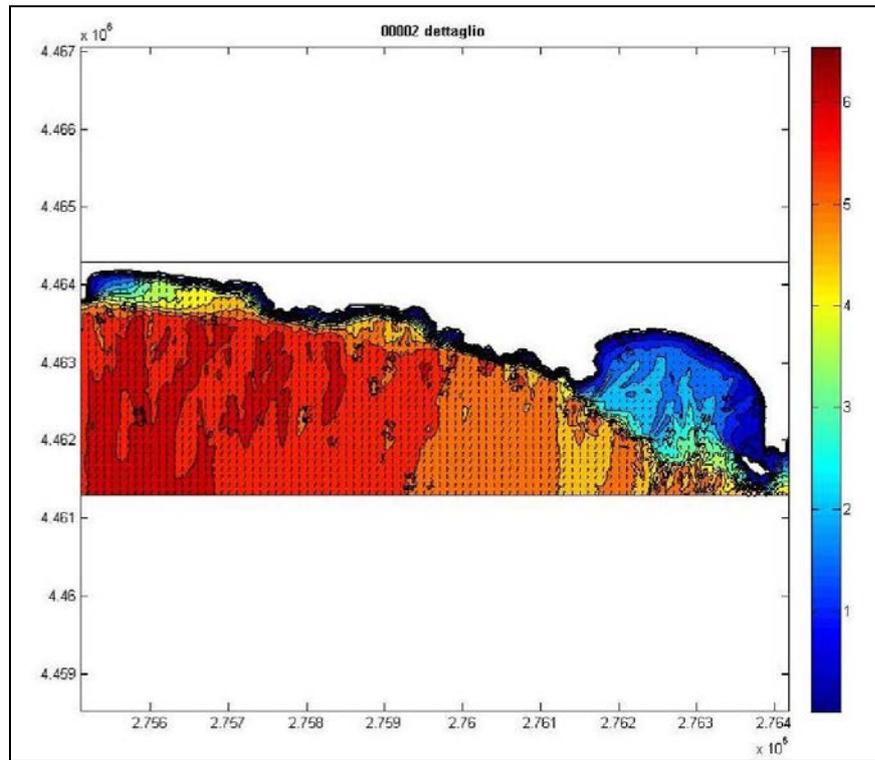


(a)

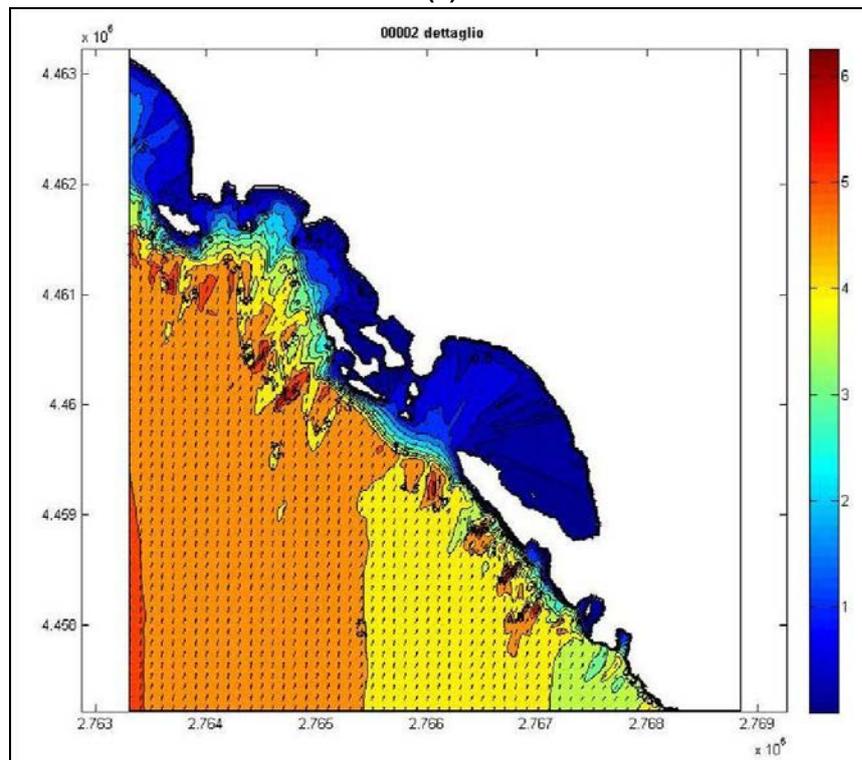


(b)

Figura 3.2.3.1 - Onda T_r 50 - dir $150^\circ N$ - $H_s = 6.17m$ - $T_p = 11.20s$.

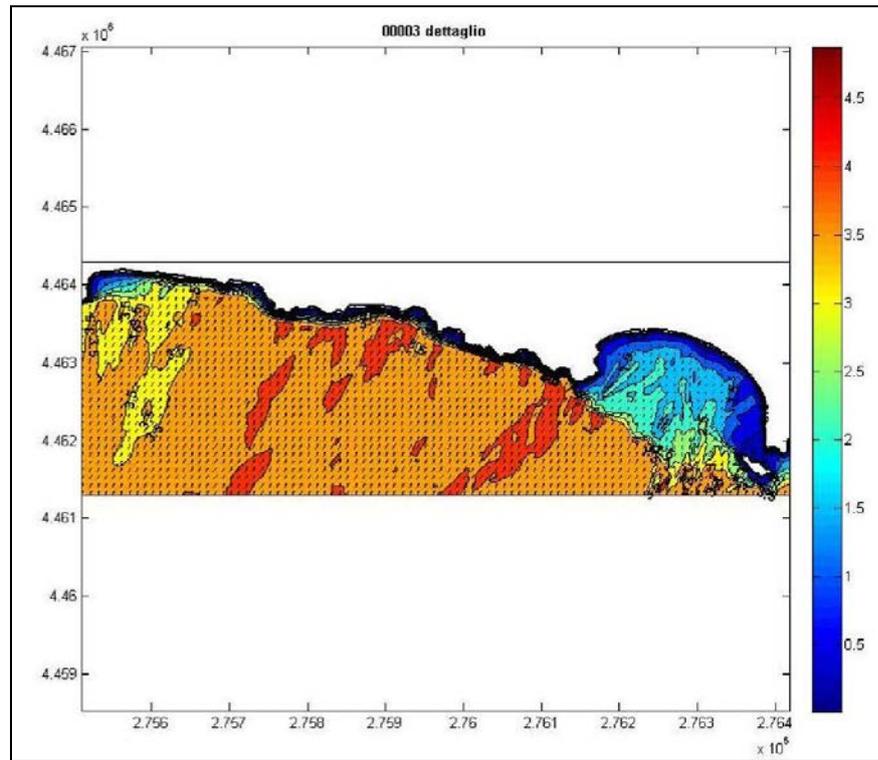


(a)

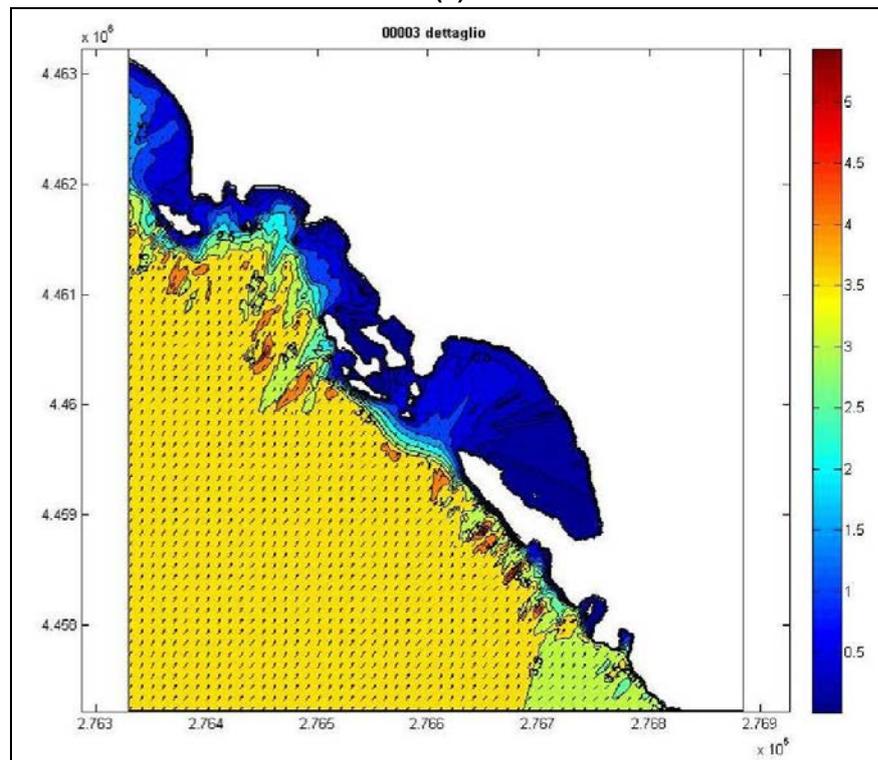


(b)

Figura 3.2.3.2 - Onda T_r 50 - dir $180^\circ N$ - $H_s = 6.17m$ - $T_p = 11.20s$.

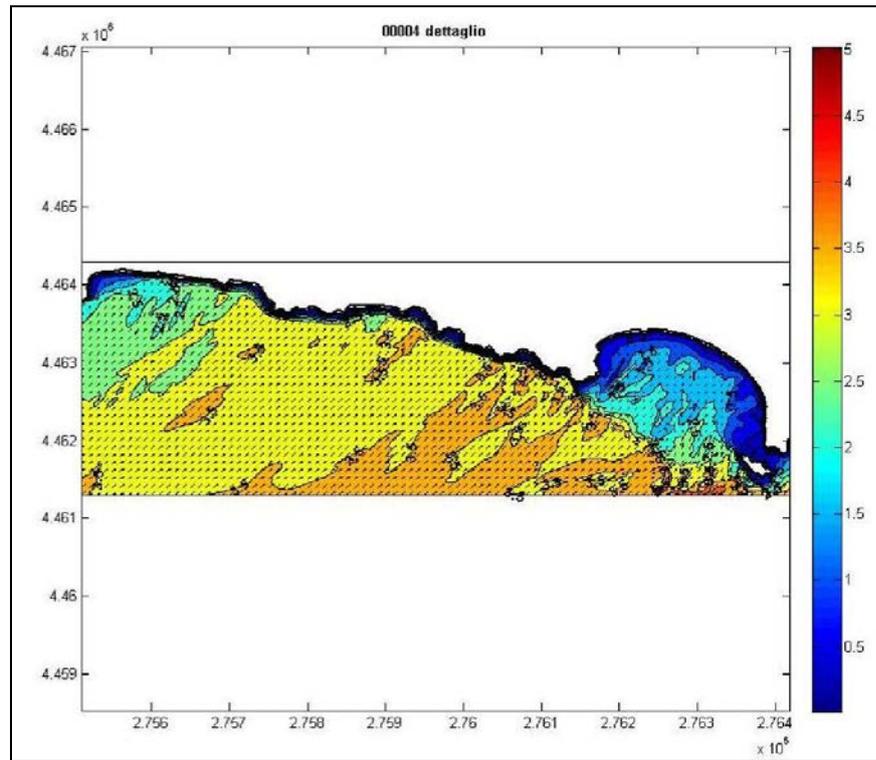


(a)

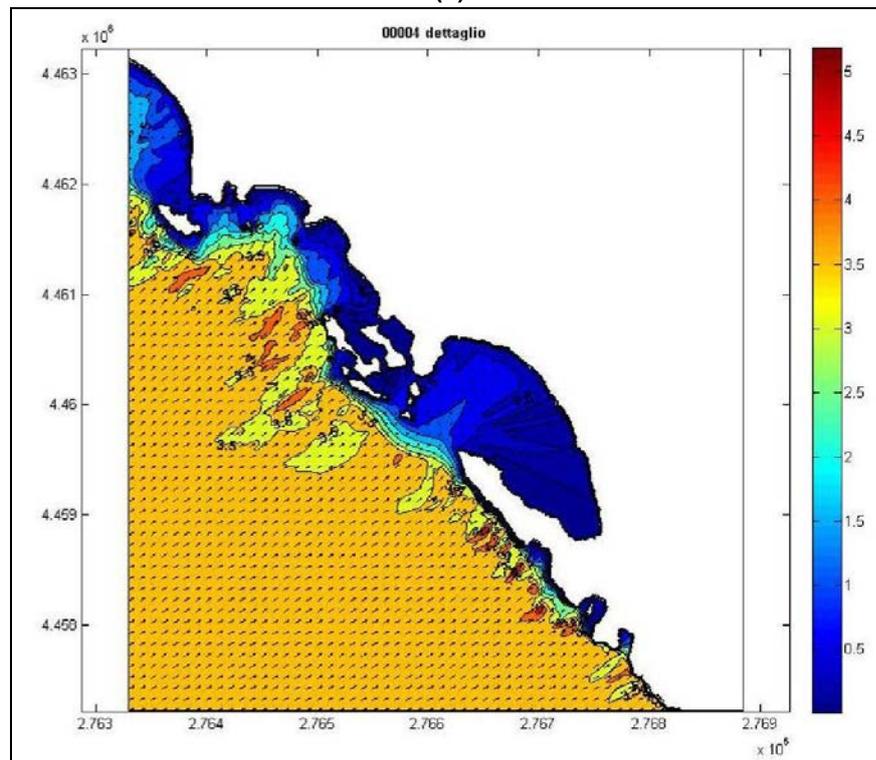


(b)

Figura 3.2.3.3 - Onda T_r 50 - dir $210^\circ N$ - $H_s = 4.01m$ - $T_p = 9.03s$.

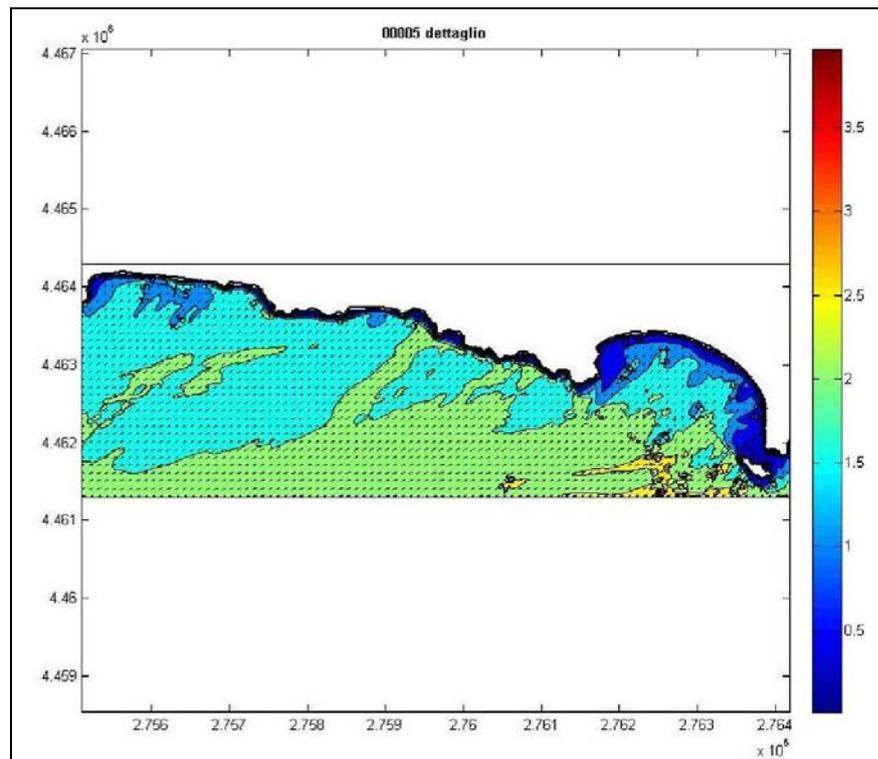


(a)

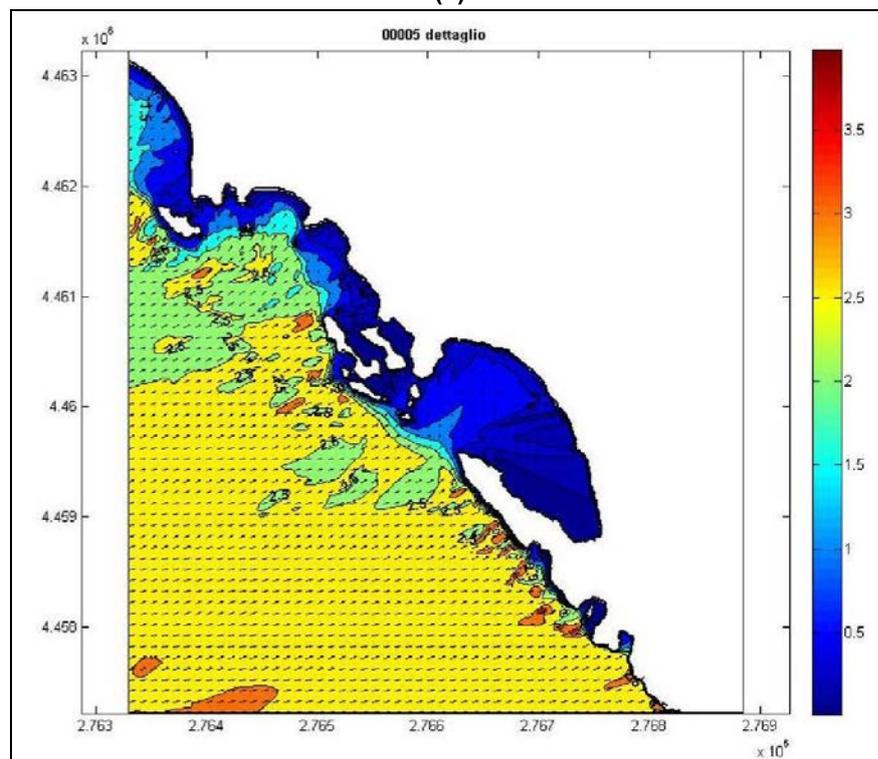


(b)

Figura 3.2.3.4 - Onda T_r 50 - dir 240°N - $H_s = 4.01m - T_p = 9.03s$.



(a)



(b)

Figura 3.2.3.5 - Onda T_r 50 - dir $270^\circ N$ - $H_s = 4.01m$ - $T_p = 9.03s$.



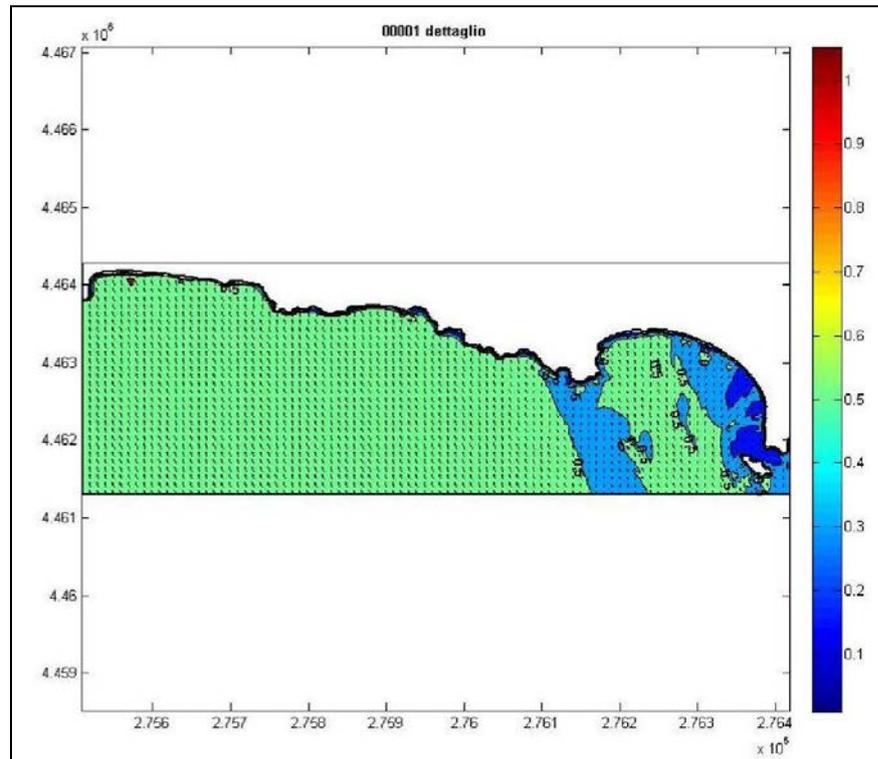
3.2.4 PROPAGAZIONE DELLE ONDE DI MODELLAZIONE

Nel modello SWAN sono stati altresì riprodotti i piani d'onda relativi alle onde di modellazione, o morfologiche, riportate nella seguente tabella; i valori indicati sotto sono riferiti ai risultati delle elaborazioni effettuate a partire dai dati ondametrici della boa di Taranto.

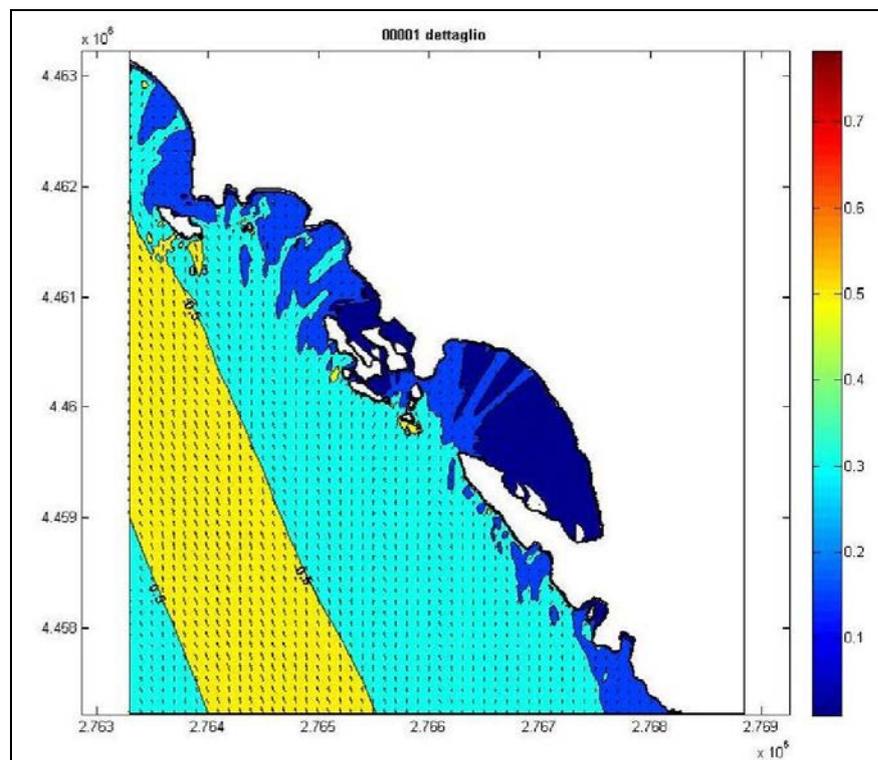
	direzione (°N)	H_s (m)	T_p (s)	durata(ore)
	150	1.22	6.68	6606.0
	180	1.22	6.08	10165.5
	210	1.09	4.99	4007.5
	240	0.59	3.57	637.5
	270	0.87	4.22	4763.5
PARAGGIO	178	1.11	5.35	31476.5

Tabella 3.2.4.1 - Onde equivalenti annue.

Le figure seguenti riportano le mappe di agitazione ondosa sottocosta ottenute con le condizioni ondose al largo di cui alla tabella precedente; le figure indicate con pedice (a) si riferiscono al tratto di litorale a Nord, mentre le figure con pedice (b) si riferiscono al settore meridionale.

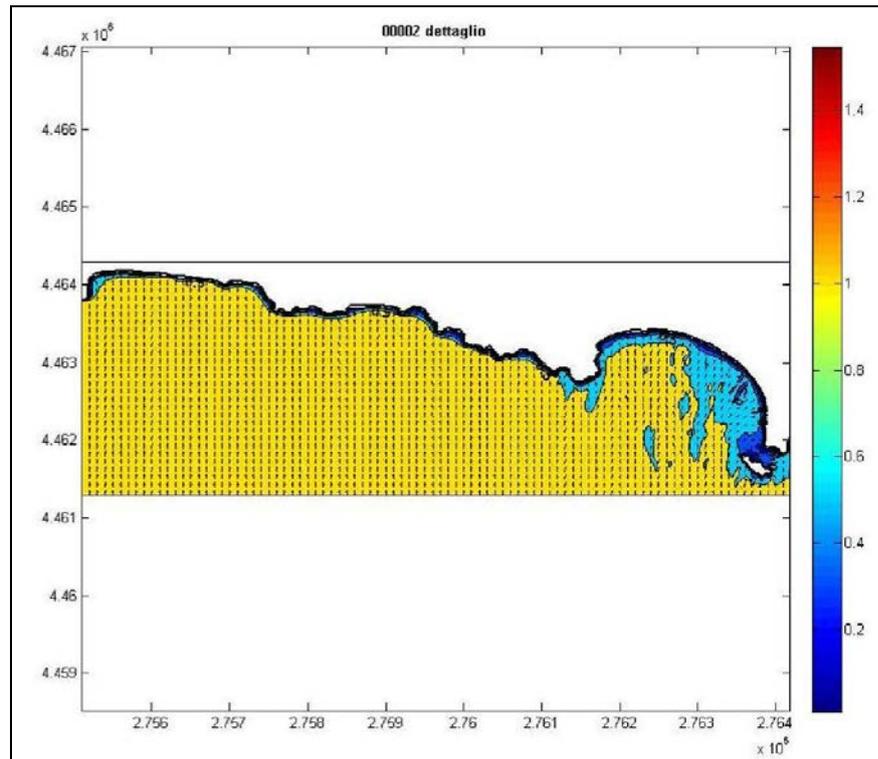


(a)

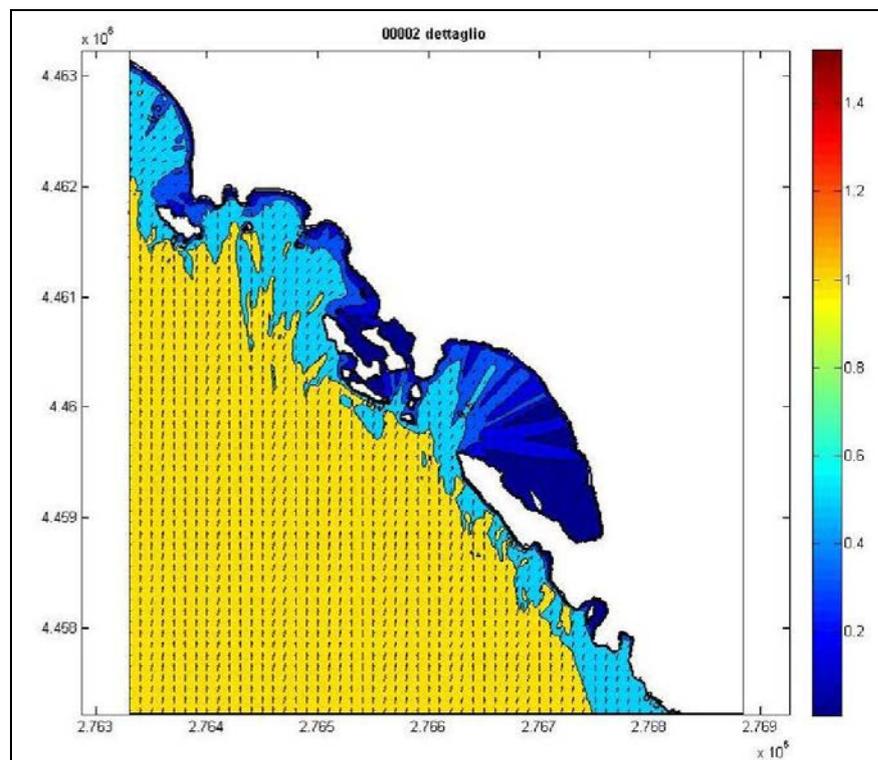


(b)

Figura 3.2.4.1 - Onda morfologica da SSE (150°N) - $H_s = 1.22m$ - $T_p = 6.68s$.

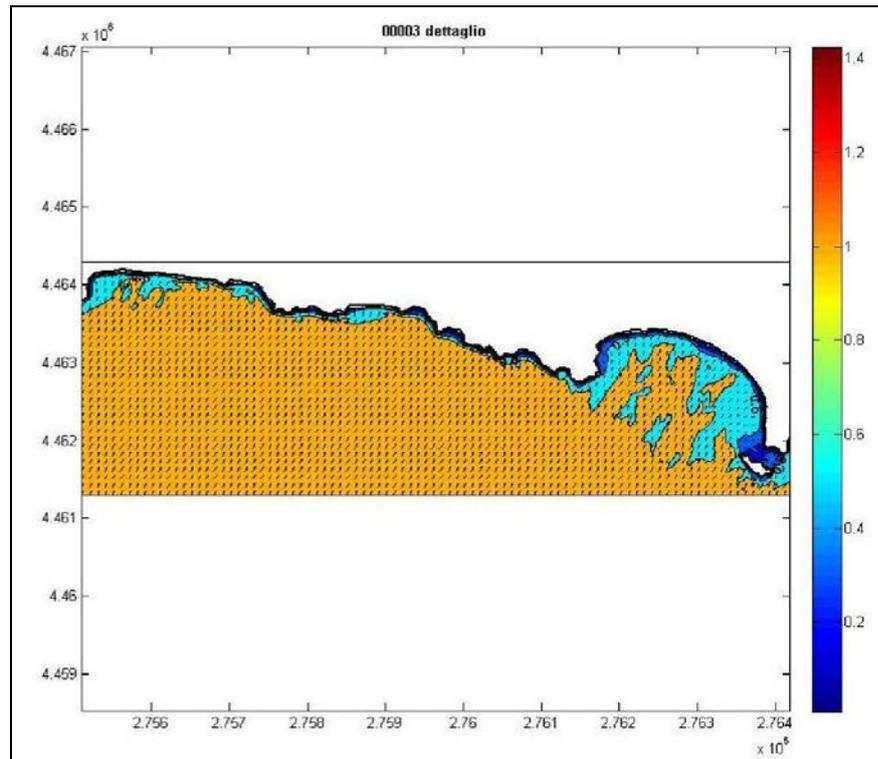


(a)

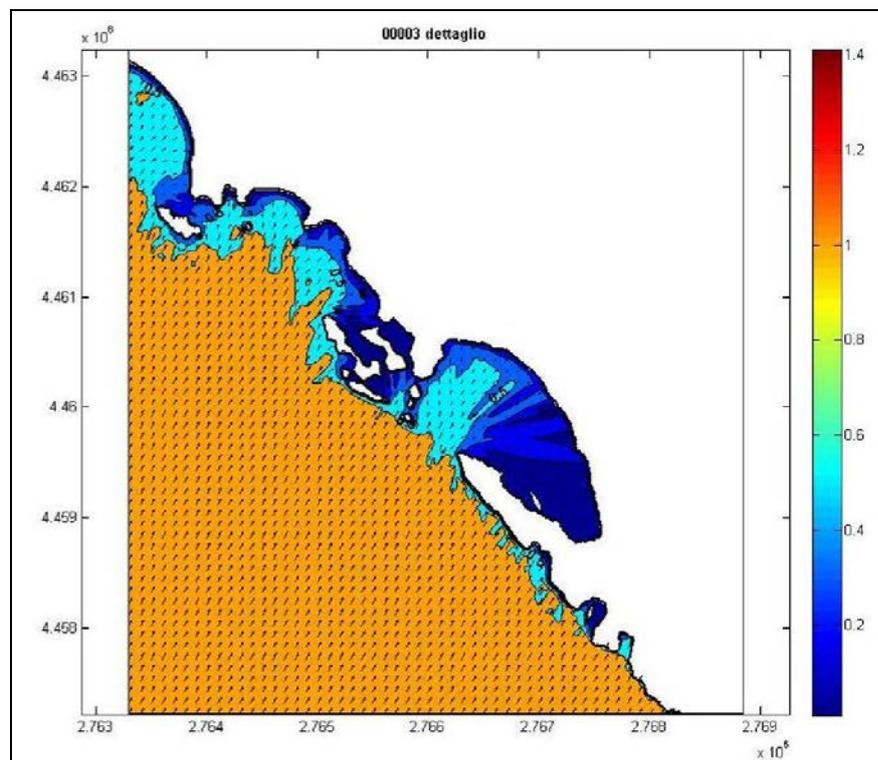


(b)

Figura 3.2.4.2 - Onda morfologica da SUD (180°N) - $H_s = 1.22m$ - $T_p = 6.08s$.

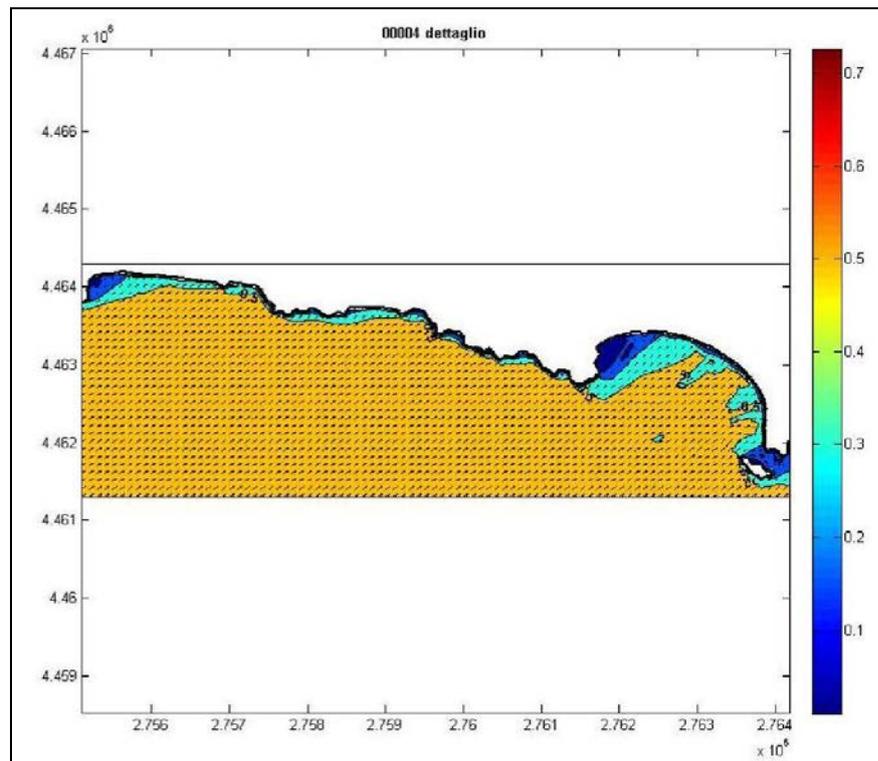


(a)

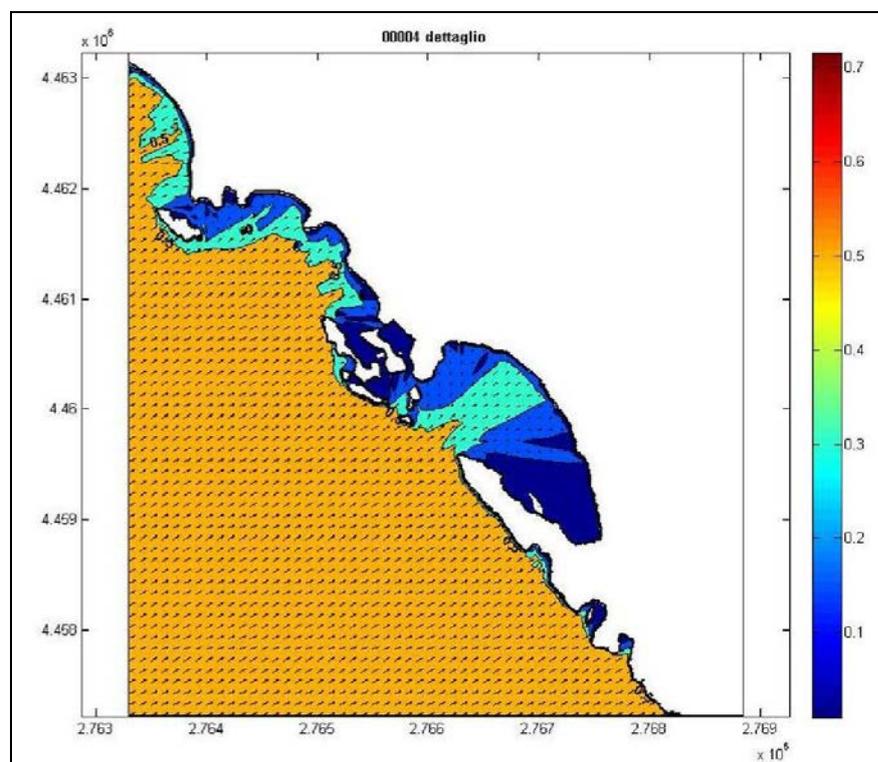


(b)

Figura 3.2.4.3 - Onda morfologica da SSO (210°N) - $H_s = 1.09m$ - $T_p = 4.99s$.

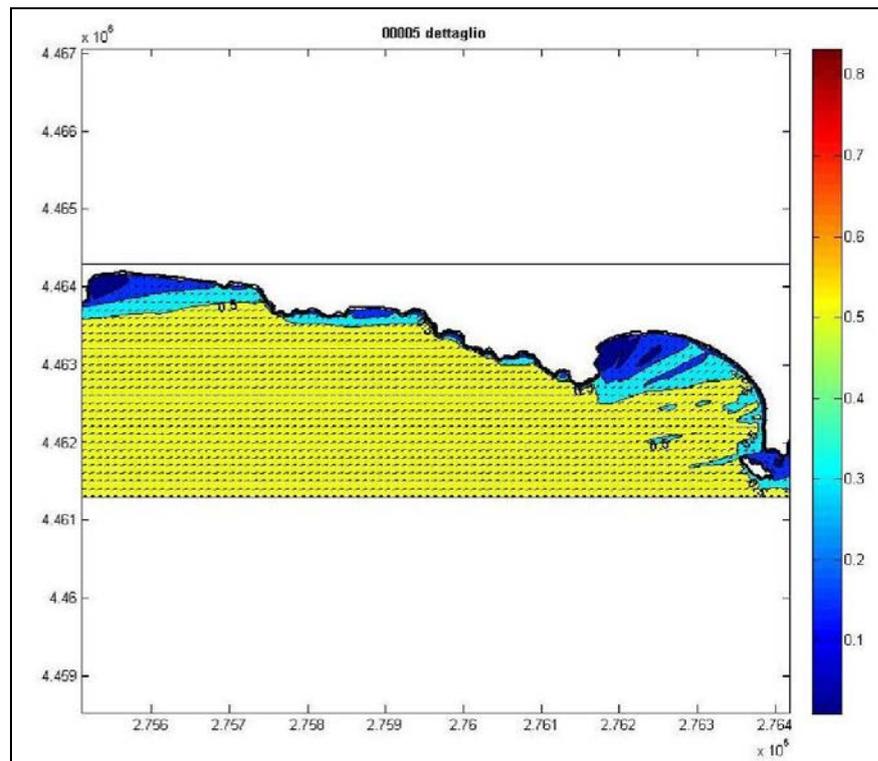


(a)

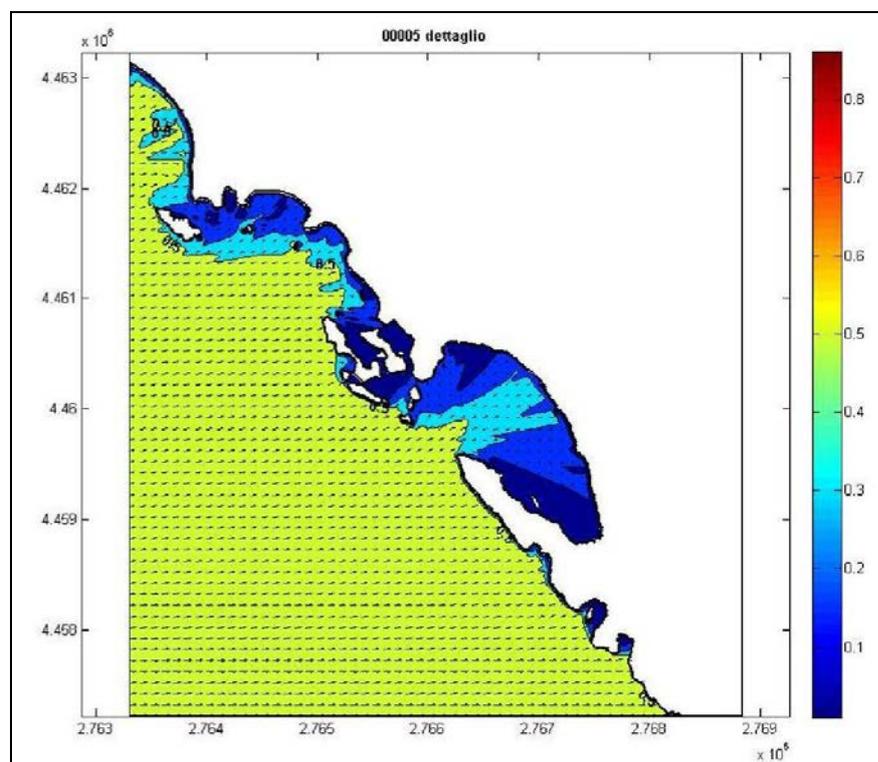


(b)

Figura 3.2.4.4 - Onda morfologica da OSO (240°N)- $H_s = 0.59m$ - $T_p = 3.57s$.

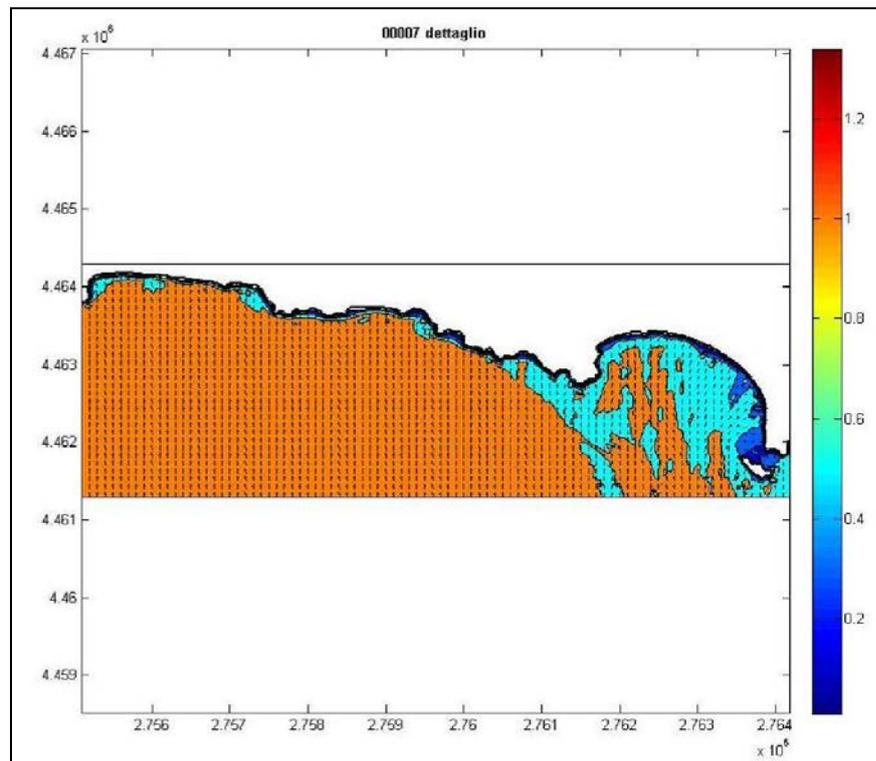


(a)

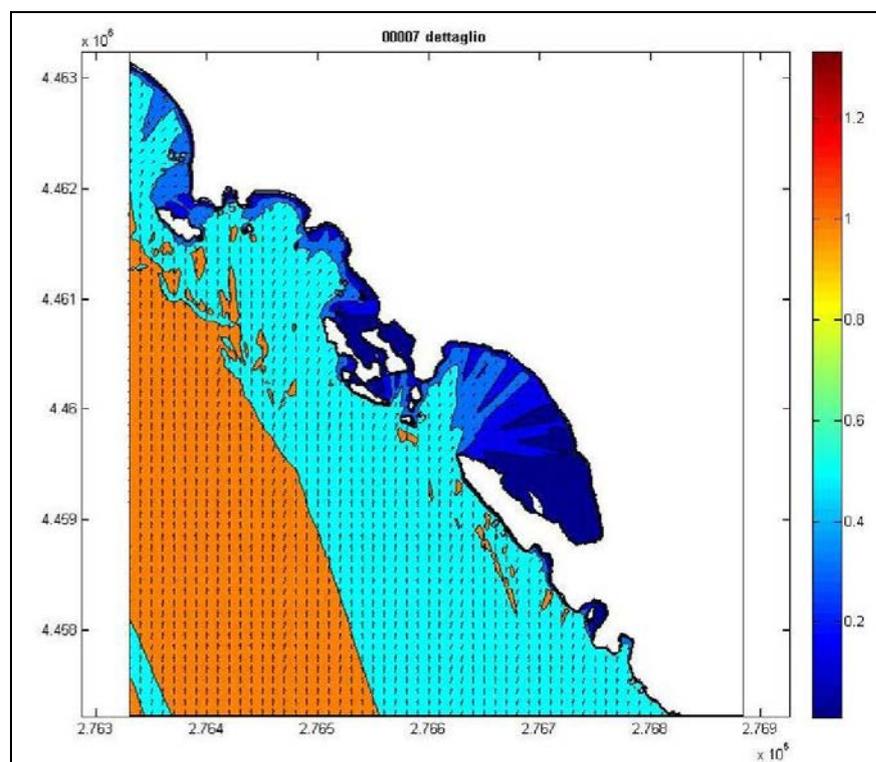


(b)

Figura 3.2.4.5 - Onda morfologica da OVEST (270°N) - $H_s = 0.87m$ - $T_p = 4.22s$.



(a)



(b)

Figura 3.2.4.7 - Onda morfologica PARAGGIO – dir 178°N - $H_s = 1.11m$ – $T_p = 5.35s$.



3.2.5 PROFONDITA' DI CHIUSURA

Nel presente studio è stato eseguito il calcolo teorico della cosiddetta profondità di chiusura, o profondità di moto attivo dei sedimenti, che delimita lato mare la fascia litoranea interessata dal trasporto solido e da apprezzabili modifiche dei fondali per effetto di fenomeni di deposito o di erosione.

A tal fine è stata applicata la nota formula di Hallermaier che lega questa profondità all'altezza d'onda significativa superata 12 ore all'anno secondo la formula:

$$h_c = 2,28 H_{so} - 10,9 H_{so}^2/L_o$$

o quella modificata da Berkemeier:

$$h_c = 1,75 H_{so} - 9,2 H_{so}^2/L_o$$

dove:

- H_{so} rappresenta l'altezza d'onda significata al largo superata in media 12 ore/anno pari a circa 3.94m (figura 3.2.5.1 - ricostruzione del clima medio annuo a partire dai dati ondametrici della boa di Taranto);
- $L_o = gT_m^2/2\pi$ è la lunghezza dell'onda di altezza H_{so} pari a circa 94m;
- $T_m = T_p/1.25$ rappresenta il periodo medio dell'onda al largo superata in media 12 ore/anno pari a circa 7.77s.

Applicando la formula di Hallermaier si ottiene una profondità di chiusura h_c pari a circa 7.2m, mentre con la formula di Berkemeier si ottiene un valore minore pari a circa 5.4m.

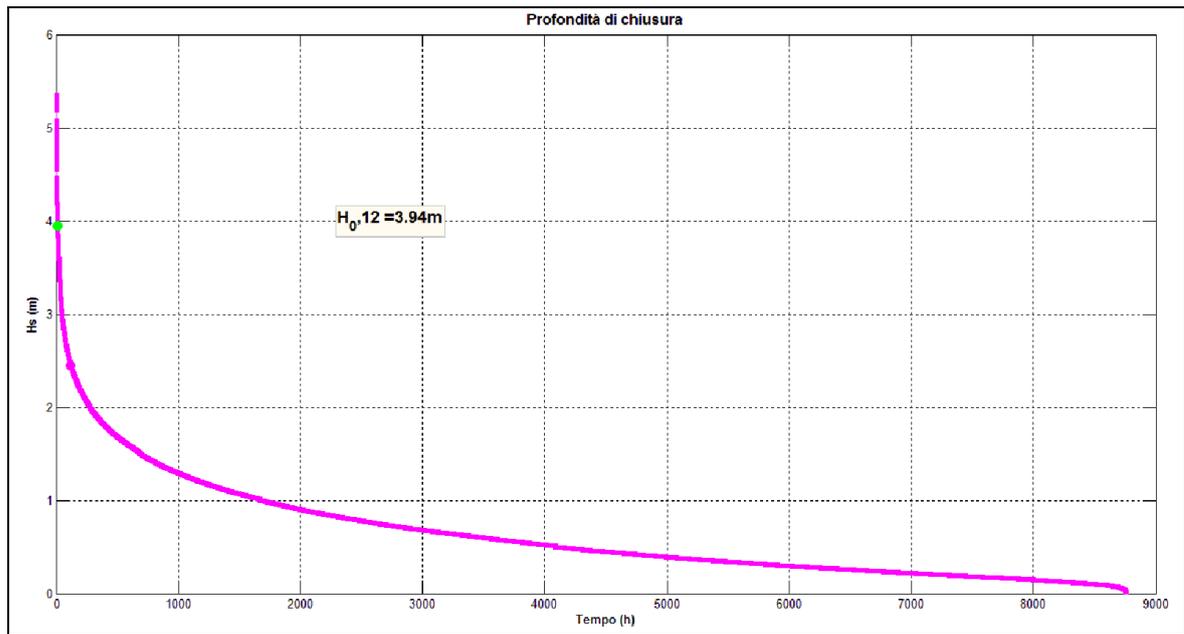


Figura 3.2.5.1 - Durate di apparizione delle altezze d'onda al largo di Porto Cesareo.



4 VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

Il livello del mare, in condizioni dinamiche, è dato dalla somma del livello medio, del wind setup, del wave setup e della marea. Ai fini della determinazione delle condizioni ondose in grado di determinare l'inondazione delle aree a ridosso della linea di riva lungo il litorale del territorio comunale di Porto Cesareo, è necessario analizzare le varie componenti che concorrono a definire il livello del mare e determinare le cause che ne producono le variazioni.



4.1 IL LIVELLO DEL MARE

La valutazione dei rischi lungo la fascia costiera è diventata, negli ultimi anni, di fondamentale importanza nella definizione delle politiche ambientali e di protezione civile. L'elevata attenzione è, in primo luogo, attribuibile allo sfruttamento intensivo delle zone costiere sottoposte a un progressivo aumento della popolazione residente ed a una crescente concentrazione di attività, le quali rendono le zone costiere sempre più importanti dal punto di vista socio - economico (*Eurosion, 2004*)

La *Gestione Integrata delle Zone Costiere* (GIZC) sottolinea la necessità di definire una zona di setback (*Sano et al., 2011*) come area, con una larghezza minima di 100 metri dal limite massimo di risalita del moto ondoso raggiunto dalle mareggiate invernali, nella quale non è permessa nessuna costruzione.

Il protocollo della GIZC (*UNEP, 2008*) stabilisce che la zona deve essere delimitata "*tenendo conto, tra l'altro, delle aree direttamente e negativamente colpite dai cambiamenti climatici e rischi naturali*".

La variazione del livello del mare è un fenomeno legato a vari fattori ambientali e fisici, globali e locali, con una forte variazione temporale. La questione è di grande importanza in quanto l'innalzamento del livello medio del mare porta all'arretramento delle spiagge sabbiose ed all'aumento del rischio di inondazione delle zone costiere basse (*Sanchez - Arcilla et al., 2011*).

In Italia, negli ultimi anni, sono stati condotti diversi studi per valutare le aree costiere a rischio di ingressione marina a causa dell'aumento del livello del mare (*Antonioli e Leoni, 2007*) ed a causa di eventi meteorologici (*Armaroli et al., 2009; Martinelli et al., 2010*). Tutti questi studi si concentrano sulle aree costiere basse lungo il mare Adriatico, che si caratterizzano per i fenomeni di innalzamento di livello del mare indotti dalla combinazione di alta marea astronomica ed alti livelli di marea meteorologica, causati dalla bassa pressione e venti forti da Sud che spingono l'acqua verso la parte settentrionale del bacino.

Studi simili sono stati condotti, negli ultimi anni, nella Regione Puglia la cui costa presenta numerosi tratti a rischio di inondazione costiera a causa della presenza di aree depresse o comunque con quote di poco superiori al livello medio mare locale, ed a causa della progressiva scomparsa dei cordoni dunari (*Antonioli e Leoni, 2007*).



La variazione del livello medio del mare a lungo termine (*IPPC, 2013*) è stata inclusa nella definizione degli scenari futuri; nel caso specifico dei litorali sabbiosi l'aumento del livello medio mare ha come diretta conseguenza l'aumento dei fenomeni erosivi in atto e l'intensificazione degli effetti delle mareggiate sul litorale.

4.1.1 ANALISI DEI LIVELLI DEL MARE RILEVATI

Il livello del mare nel Mediterraneo ed in particolare in Adriatico mostra ampie fluttuazioni interannuali e pluriennali, principalmente a causa delle condizioni meteorologiche (Raicich, 2003).

Dalla figura 4.1.1.1, nella quale è riportato il livello medio mare registrato dal mareografo della stazione di Venezia, si osservano delle fluttuazioni temporali non trascurabili, legate a cambiamenti periodici dei fattori ambientali.

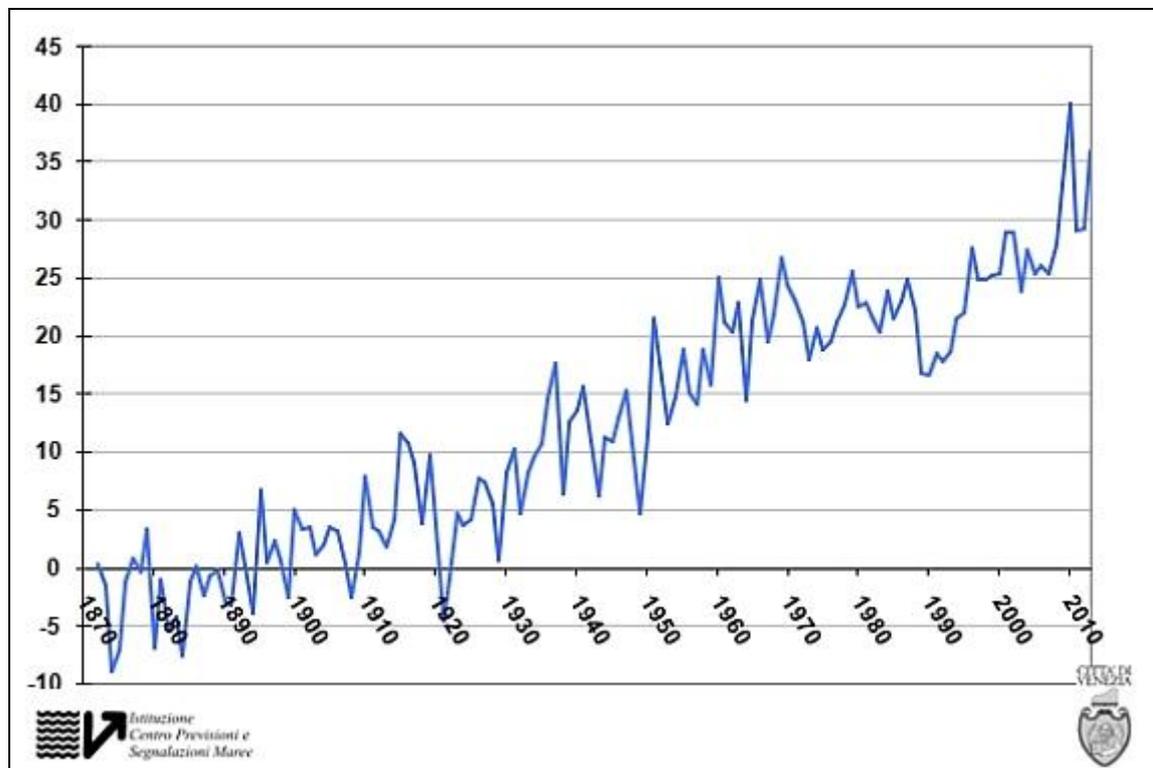


Figura 4.1.1.1 – Livello medio mare registrato dal mareografo della stazione di Venezia.

Queste periodicità possono essere evidenziate effettuando l'analisi spettrale dei dati. Dalle varie indagini finora eseguite è risultato che, su tutti i mari, compaiono sempre oscillazioni con periodi prossimi a quelli indicati dalla successione fondamentale 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11.2, 16, 22.4, 32, 44.8 anni. Purtroppo, la conoscenza è alquanto scarsa per i periodi più lunghi (Mosetti, 2007).

Vista la complessità del fenomeno, tra l'altro influenzato anche da fattori locali, si capisce l'ampio ed articolato dibattito che negli ultimi anni si è aperto nella



comunità scientifica internazionale e, recentemente, anche in quella nazionale, sull'attendibilità dei risultati dei diversi modelli di previsione messi a punto, se non opportunamente calibrati (*Petrillo, 2007*).

Nel corso dell'ultimo secolo, inoltre, da quando sono disponibili misure di livello continue e affidabili, il livello relativo RSLR (*Relative Sea Level Rise*) del Mare Adriatico è aumentato tra 0.5 ± 0.2 mm/anno e 1.2 ± 0.1 mm/anno (*Marcos e Tsimplis, 2008; Raicich, 2003*), mentre nel Nord Adriatico il mareografo di Venezia ha registrato una variazione di 2.5 ± 0.1 mm/anno anche a causa della subsidenza indotta da interventi antropici.

Nel periodo 2007 - 2009 si è osservato un improvviso aumento del livello medio mare nel Mar Mediterraneo, come riportato da *Tsimplis et al. (2013)* e *Landerer e Volkov (2013)*, e come si nota dalla figura 4.1.1.1. Tutti i mareografi ubicati lungo le coste adriatiche e ioniche hanno fatto registrare simili incrementi con punte di circa 150 mm nell'Adriatico settentrionale unitamente ad un netto incremento di eventi estremi con diversi eventi alluvionali.

Proprio a causa di questi ultimi avvenimenti, al fine di definire il livello medio mare attuale e stimare gli eventi estremi, sono state analizzate le serie storiche di livello registrate dai mareografi più prossimi all'area di studio.

Lo studio delle oscillazioni del livello marino in corrispondenza del paraggio di Porto Cesareo è stato effettuato utilizzando i dati acquisiti dalla stazione mareografica di Taranto (Rete Mareografica Nazionale gestita dall'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e dalla stazione mareografica di Porto Cesareo (Rete di Monitoraggio Meteomarinò della Regione Puglia realizzata con fondi POR Puglia 2000 – 2006) (figure 4.1.1.2 – 4.1.1.3). Al fine di verificare la coerenza dei dati registrati nelle due stazioni con quanto registrato nelle stazioni ubicate lungo il litorale regionale, l'analisi è stata estesa anche alle stazioni della Rete Mareografica Nazionale presenti nel basso e medio Adriatico (Ortona, Vieste, Bari, Otranto).

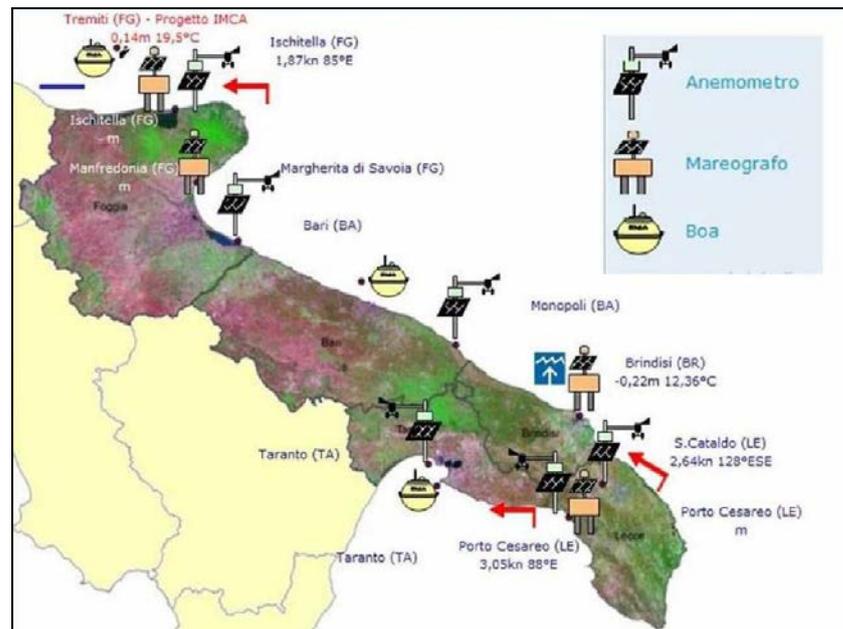


Figura 4.1.1.2 - Rete di Monitoraggio Meteomarinario della Regione Puglia.



Figura 4.1.1.3 - Stazione mareografica di Porto Cesareo.

Nelle figure seguenti è riportato l'andamento del livello marino registrato rispettivamente dal mareografo di Taranto (1999 – 2013) (figure 4.1.1.4 e 4.1.1.5) e da quello di Porto Cesareo (2007 – 2013) (figura 4.1.1.6). L'ampiezza delle oscillazioni registrate risulta dell'ordine delle decine di centimetri e sono compatibili con le variazioni del livello del mare dovute alla marea nel Mar Adriatico che sono mediamente dell'ordine dei 30 cm.

Dalle figure si nota che nel paraggio in esame il livello medio mare ha una forte variazione stagionale; infatti, nei primi mesi dell'anno si ha un netto abbassamento del livello medio mare.

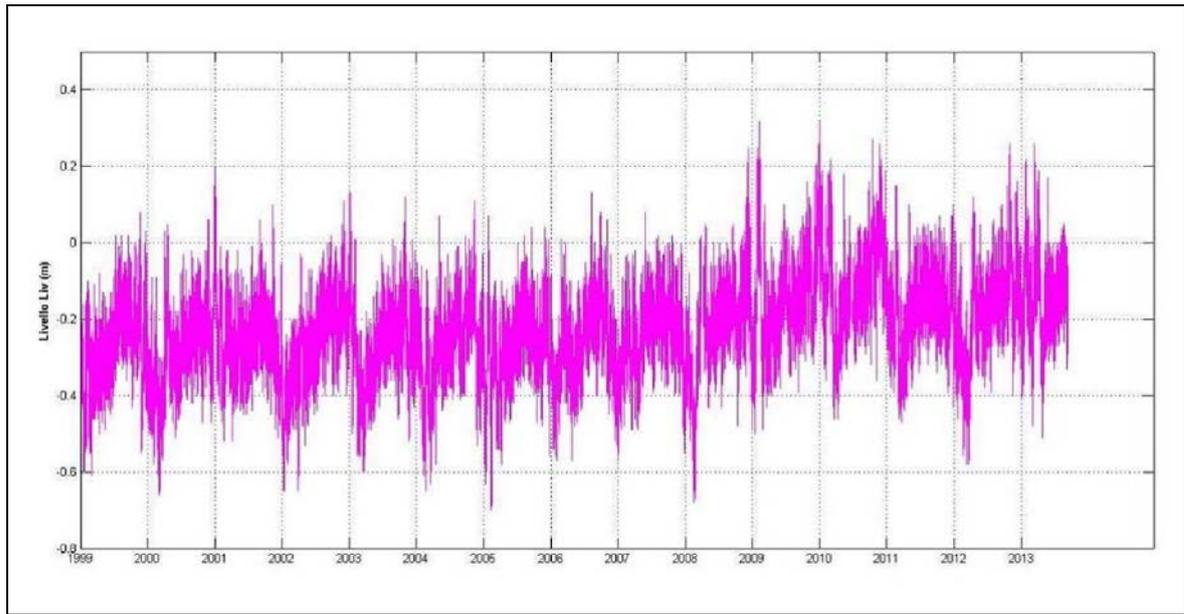


Figura 4.1.1.4 - Dati orari di livello acquisiti dal mareografo di Taranto dal 1999 al 2013.

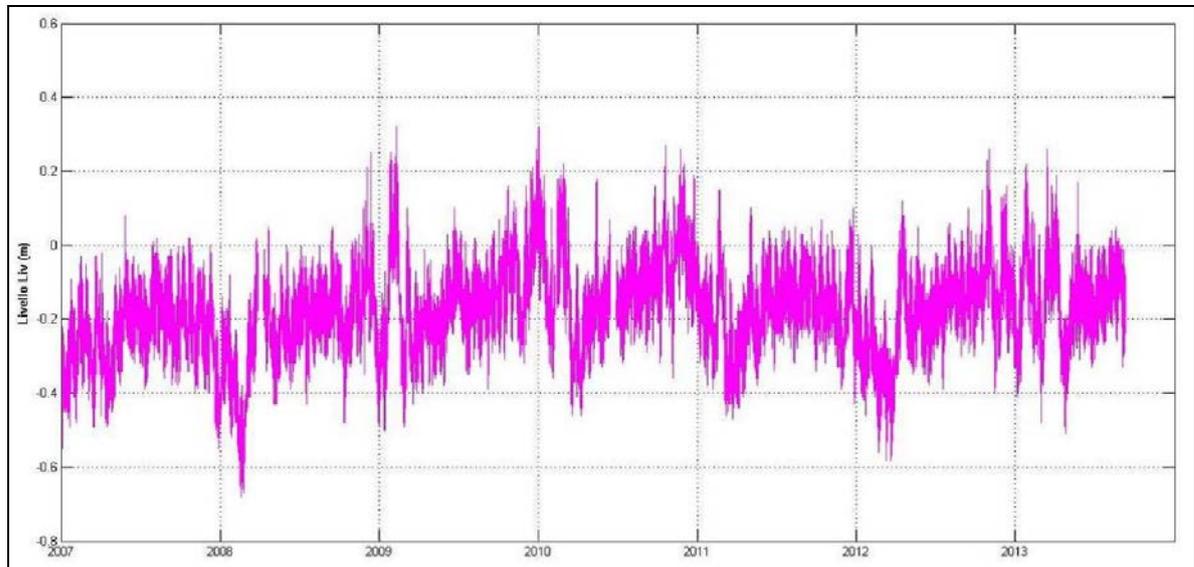


Figura 4.1.1.5 - Dettaglio dei dati orari di livello acquisiti dal mareografo di Taranto dal 2007 al 2013.

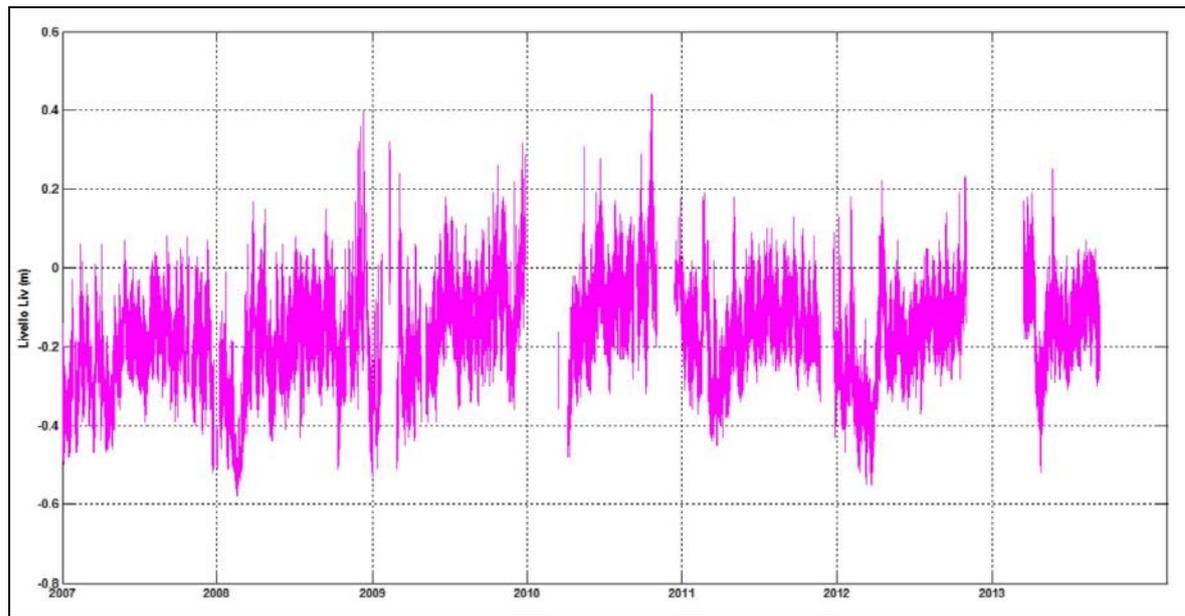


Figura 4.1.1.6 - - Dati orari di livello acquisiti dal mareografo di Porto Cesareo dal 2007 al 2013.

Nella figura 4.1.17 sono riportate le foto del 15 febbraio 2008 e del 28 settembre 2006 della zona dello scoglio dove è posizionato il mareografo della Rete di Monitoraggio Meteomarinò della Regione Puglia, dalle quali si vede la forte escursione del livello medio mare.

L'elevazione della superficie del mare registrato dai mareografi è la somma del livello medio del mare (Z_0), della marea astronomica (x) e della marea meteorologica (y) indotte dai venti, dalle tempeste e dai disturbi della pressione atmosferica (*Pugh e Vassie, 1978*):

$$\zeta(t) = x(t) + y(t) + Z_0$$

Le registrazioni orarie di livello, prima di procedere all'analisi, sono state sottoposte ad un controllo di qualità per l'identificazione di dati anomali, spike ed errori di temporizzazione.

L'applicazione dell'analisi armonica alle serie storiche, effettuata utilizzando il software T-TIDE (*Pawlowicz et al., 2002*), ha permesso un ulteriore controllo di qualità sui dati con cui i record relativi agli anni di osservazione con valori delle costanti armoniche non coerenti per il sito sono stati scartati.



15 FEBBRAIO 2008



28 SETTEMBRE 2006

Figura 4.1.1.7 – Foto del 15 febbraio 2008 e del 28 settembre 2006 della zona dello scoglio dove è posizionato il mareografo.



Il valore del livello medio mare annuale è stato calcolato dai dati osservati con l'applicazione di filtri numerici (*Doodson, 1954*) come illustrato nel Volume I del IOC "Manual on Sea Level Measurement and Interpretation" (*Unesco, Intergovernmental Oceanographic Commission, 1985 e 2006*). Nella tabella 4.1.1.1 sono riportati i valori medi annuali ricavati dalle serie temporali rilevate, considerando l'anno meteorologico che inizia il 01 settembre e termina il 31 agosto, al fine di evitare la scissione della stagione invernale.

Anno	STAZIONE					
	Ortona	Vieste	Bari	Otranto	Taranto	Porto Cesareo
1999	-0.124	-0.198	-0.216		-0.292	
2000	-0.042	-0.114	-0.159		-0.243	
2001	-0.113	-0.17	-0.214	-0.291	-0.3	
2002	-0.074	-0.133	-0.162	-0.229	-0.258	
2003	-0.084	-0.127	-0.194	-0.243	-0.274	
2004	-0.085	-0.118	-0.178	-0.253	-0.27	
2005	-0.082	-0.118	-0.177	-0.248	-0.269	
2006	-0.095	-0.132	-0.178	-0.256	-0.245	
2007	-0.107	-0.143	-0.184	-0.268	-0.254	-0.214
2008	-0.039	-0.095	-0.134	-0.227	-0.177	-0.162
2009	0.028	-0.041	-0.074	-0.168	-0.124	-0.109
2010	0.008	-0.051	-0.083	-0.181	-0.146	-0.137
2011	-0.047	-0.109	-0.148	-0.247	-0.203	-0.195
2012	0.037	-0.026	-0.071	-0.185	-0.134	-0.126

Tabella 4.1.1.1 - Livelli medi annuali.

L'analisi dei livelli medi annuali in tutte le stazioni esaminate (figura 4.1.1.8) mostra un generalizzato aumento del livello a partire dal 2008 con differenze tra il 2007 e il 2009 dell'ordine della decina di centimetri. L'andamento riferito all'anno 2011 registra una diminuzione dei livelli fin quasi a raggiungere i dati precedenti il 2009, cui è seguito nel 2012 un nuovo aumento del livello medio mare tuttora in corso. Dall'analisi della figura è importante inoltre evidenziare la sensibile corrispondenza delle curve riferite al mareografo di Taranto ed a quello di Porto Cesareo.

Ciò è in accordo con *Tsimplis et al. (2013)* e *Landerer e Volkov (2013)*; infatti, in entrambi gli studi, gli autori riportano un improvviso aumento del livello medio del



mare che è stato correlato alla forzante a larga scala *North Atlantic Oscillation* (NAO) che induce l'ingresso di grandi masse d'acque nel Mar Mediterraneo.

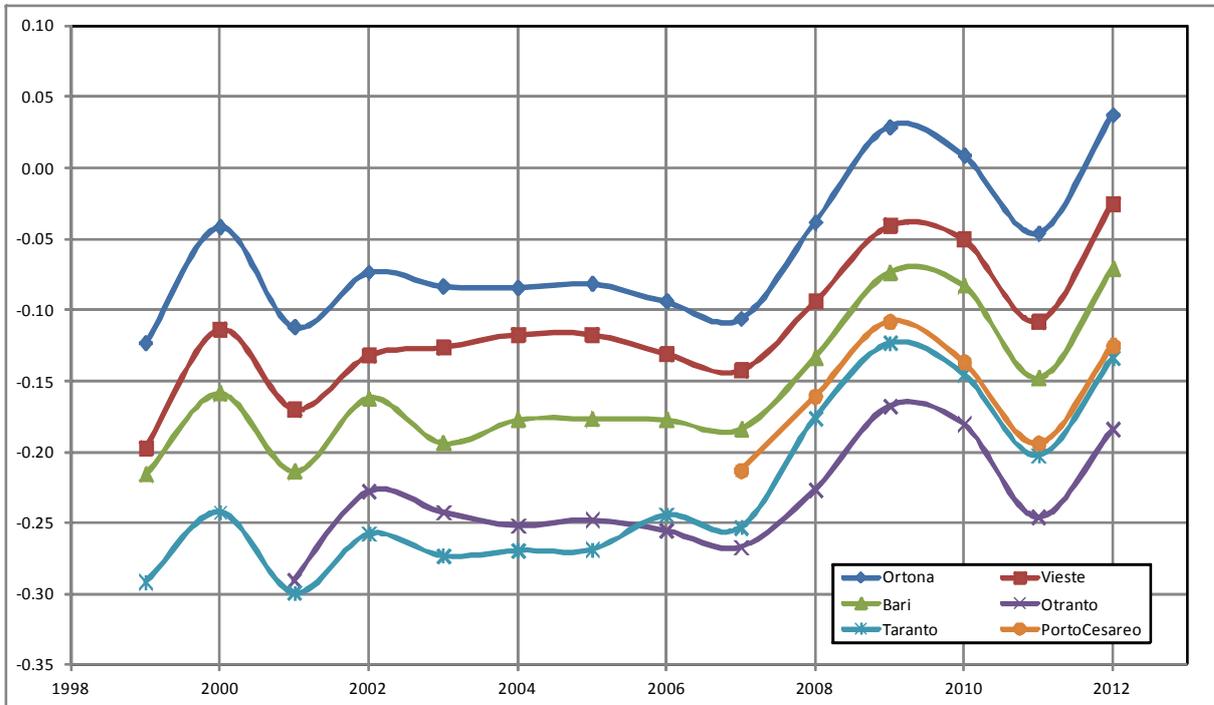


Figura 4.1.1.8 - Livelli medi annuali.

Ai fini di analizzare l'andamento della linea di riva in funzione delle variazioni del livello medio mare, sono stati determinati i valori medi annuali di sollevamento nel periodo 1992 – 2011, e sono stati ipotizzati i sollevamenti previsti nel periodo 2012 – 2022 ($T_r = 10$ anni) e 2012 – 2072 ($T_r = 50$ anni).

Per il periodo 1992 – 2011 si sono presi in considerazione i valori medi annuali rilevati nelle stazioni riportate nella figura 4.1.1.8, di cui è stata stimata una tendenza media (tabella 4.1.1.2).

Per gli altri periodi è stato utilizzato un grafico dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013*) (figura 4.1.1.9), ricavando una tendenza minima ed una massima (tabella 4.1.1.2).

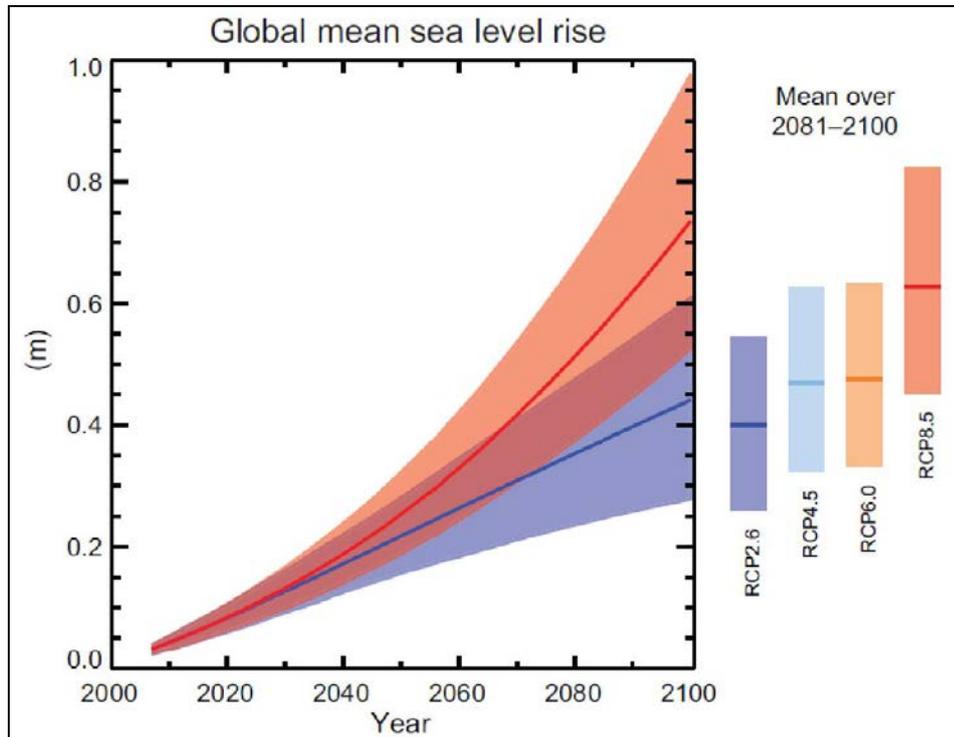


Figura 4.1.1.9 – Livello medio mare globale (IPCC, 2013).

PERIODO	RIFERIMENTO		
1992 - 2011	Tendenza media delle stazioni mareografiche di: Ortona, Vieste, Bari, Otranto e Taranto		
	+5.6 mm/anno	TOTALE: + 106 mm	
2011 – 2021 (T _r 10 anni)	Tendenza media delle stazioni mareografiche di: Ortona, Vieste, Bari, Otranto e Taranto		
	+5.6 mm/anno	TOTALE: + 56 mm	
2011 – 2061 (T _r 50 anni)	IPCC, 2013		
	MINIMO	+2.5 mm/anno	TOTALE: + 125 mm
	MASSIMO	+6.1 mm/anno	TOTALE: + 305 mm

Tabella 4.1.1.2 – Variazioni medie del livello medio mare nei diversi periodi.



Dalla tabella 4.1.1.2 si osserva che la tendenza media delle stazioni mareografiche di Ortona, Vieste, Bari, Otranto e Taranto, è quasi uguale a quella massima prevista dall'IPCC, 2013.

A causa dell'innalzamento del livello del mare verificatosi negli ultimi anni nel Mar Mediterraneo è stata condotta un'approfondita analisi sugli eventi estremi (*Bruno e al., 2014*), aggiornando lo studio di *Marcos et al. (2009)*, i quali hanno analizzato i valori estremi di livello del mare, con serie storiche aggiornate al 2006, stimando i valori con tempo di ritorno di 50 anni per le osservazioni di livello del mare e dei residui di marea per 73 mareografi situati lungo la costa del Sud Europa.

La statistica degli eventi estremi è stata condotta soltanto sulla serie dati acquisiti dalla stazione mareografica di Taranto che, rispetto alla serie storica registrata a Porto Cesareo, risulta più lunga e con una maggiore continuità nell'acquisizione.

L'analisi è stata condotta sulle 3 serie storiche costituite dai dati di livello registrati dal mareografo, dai dati di livello registrati e corretti rispetto al livello medio mare dell'anno considerato, e sui residui meteorologici.

I dati di livello osservati, come precedentemente descritto, risultano essere costituiti dalla somma dei contributi derivanti dal livello medio mare locale, dalla marea astronomica e dalla cosiddetta marea meteorologica.

La correzione del livello osservato rispetto al livello medio mare dell'anno considerato consente di svincolarsi dal livello medio mare locale, variabile a seconda del sito di riferimento, permettendo quindi un confronto tra i risultati ottenuti nelle diverse stazioni e prescindendo, inoltre, dalle variabilità interannuali del livello medio annuale.

Le serie storiche di residuo meteorologico sono state ricostruite sottraendo dal livello osservato la marea astronomica calcolata utilizzando le costanti armoniche con il rapporto segnale/rumore superiore a 2 (*Pawlowicz et al., 2002*).

Lo studio qui presentato fornisce una stima della distribuzione di probabilità degli eventi estremi del livello osservato, del livello corretto e del residuo meteorologico utilizzando una *Distribuzione Generalizzata di Pareto* (GPD) applicata alle tre serie tronche costituite dai 5 valori massimi registrati in ogni anno estrapolati dalle tre serie storiche di riferimento.



La statistica degli eventi estremi condotta sui dati registrati a Taranto (tabella 4.1.1.3) mostra un aumento significativo dei valori estremi osservati di livello del mare, mentre si osserva che gli estremi dei valori corretti rispetto al livello medio ed i residui di marea sono molto simili a quelli stimati da *Marcos et al. (2009)* utilizzando i dati aggiornati al 2006. Ciò significa che i maggiori livelli osservati nel periodo 2007-2012 sono imputabili, in larga parte, alla variazione del livello medio mare e non a fenomeni meteorologici locali.

Tempo di ritorno (anni)	5	10	50	100
Livello osservato (m)	0.188	0.235	0.302	0.319
Livello corretto (m)	0.417	0.461	0.492	0.495
Residuo di marea (m)	0.344	0.381	0.407	0.410

Tabella 4.1.1.3 - Statistica degli eventi estremi.



4.1.2 WAVE SETUP

Con l'espressione wave setup si indica il sovralzato dovuto alle onde, ovvero la variazione del livello marino associata alla propagazione del moto ondoso durante le mareggiate, soprattutto nella zona più prossima alla riva.

Durante la propagazione delle onde dal largo verso la costa, infatti, si verifica dapprima un piccolo abbassamento del livello medio del mare nella zona dei frangenti (wave setdown), cui segue un successivo innalzamento progressivo verso costa (wave setup). I due termini wave setup e wave setdown rappresentativi del fenomeno, possono essere calcolati utilizzando diversi metodi.

Nel presente studio il calcolo del sovralzato d'onda (wave setup) è stato eseguito utilizzando il modello matematico **SWAN**, acronimo di **Simulating WAVes Nearshore**, già utilizzato per la riproduzione dei piani d'onda.

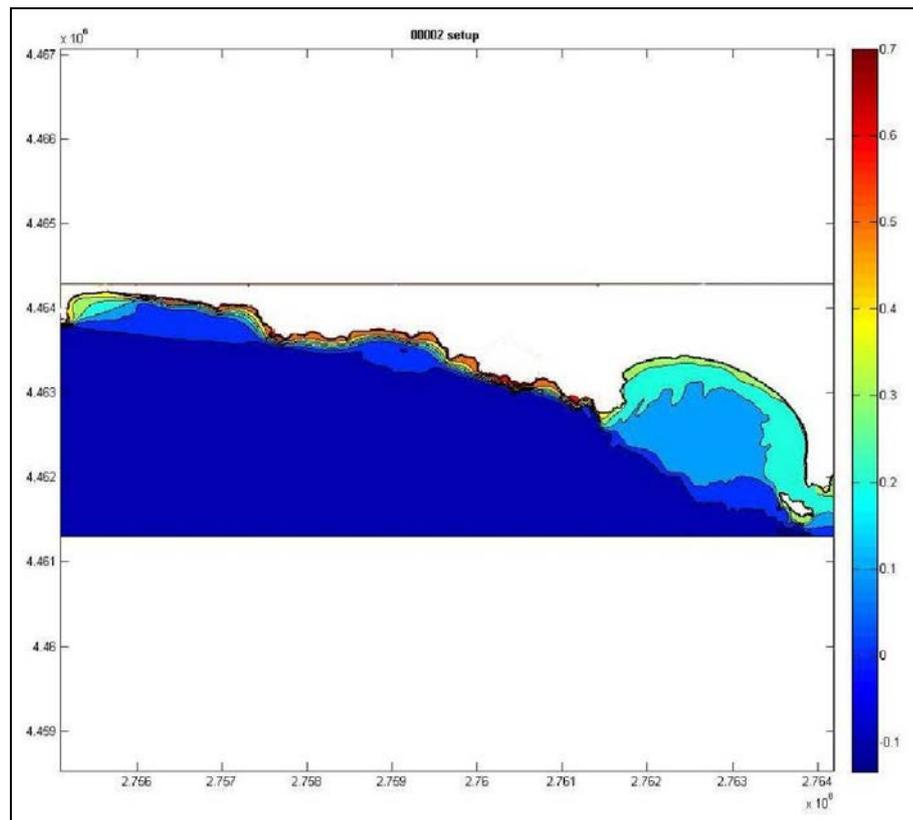
Il codice di calcolo SWAN, infatti, è un modello in grado di riprodurre la propagazione del moto ondoso di onde irregolari associando un algoritmo per il calcolo del sovralzato dell'onda.

Con il modello SWAN sono stati determinati i valori puntuali del wave setup lungo tutta la costa in esame, secondo celle di discretizzazione con passo di 5 metri. Questi valori, come si riferirà al capitolo 5, sono stati adottati come input per il modello utilizzato per la stima delle aree inondabili (FLO 2D).

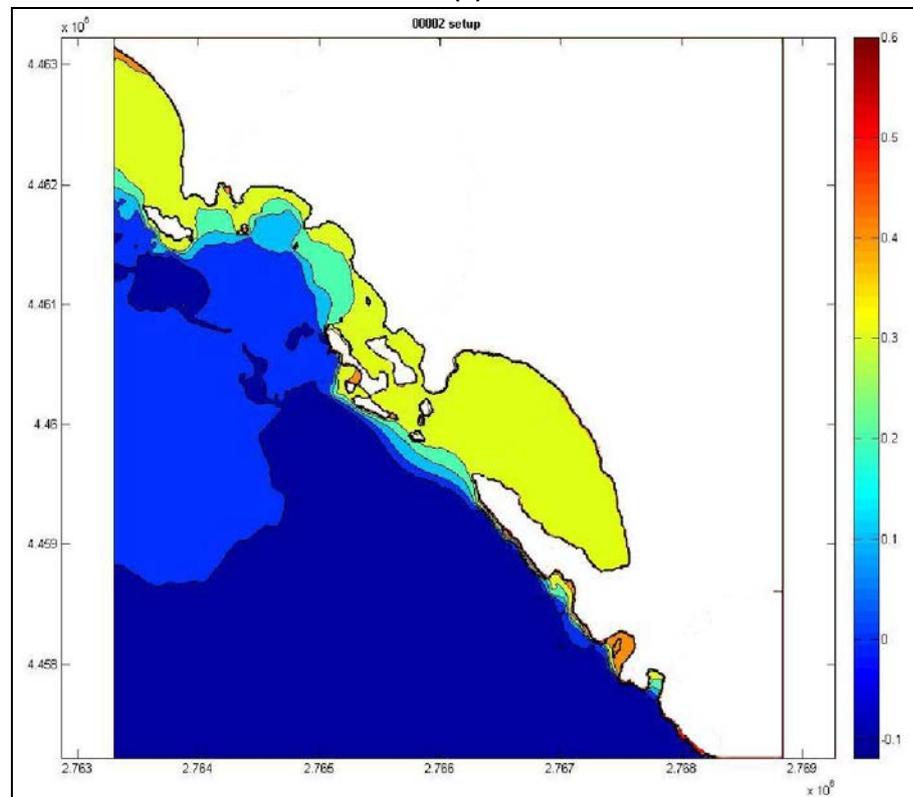
Nel modello sono state propagate le onde estreme da Sud con tempo di ritorno T_r pari rispettivamente a 10 anni ed a 50 anni. Nello specifico sono stati calcolati i valori di wave setup sottocosta determinati dalle onde al largo aventi rispettivamente altezza significativa H_s pari a 5.33m e periodo di picco T_p pari a 10.41s (T_r 10 anni), ed H_s pari a 6.17m e T_p pari a 11.2s (T_r 50 anni).

Nelle figure seguenti sono riportate le mappe cromatiche con i valori di wave setup sottocosta; le figure indicate con pedice (a) si riferiscono al tratto di litorale a Nord, mentre le figure con pedice (b) si riferiscono al settore meridionale.

Dall'analisi delle figure si evince che in prossimità della battigia i valori del wave setup associati alla mareggiata da Sud con tempo di ritorno T_r di 50 anni, risultano compresi tra +10cm e +70cm, mentre nel caso della mareggiata con T_r pari a 10 anni sono compresi tra +10cm e +50cm.

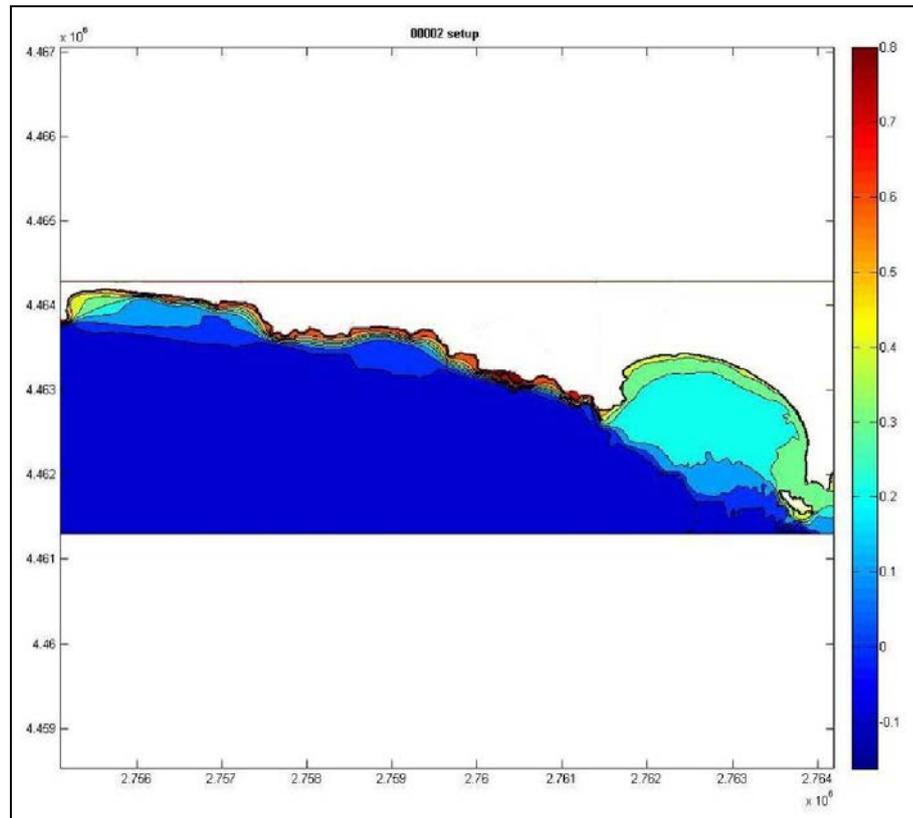


(a)

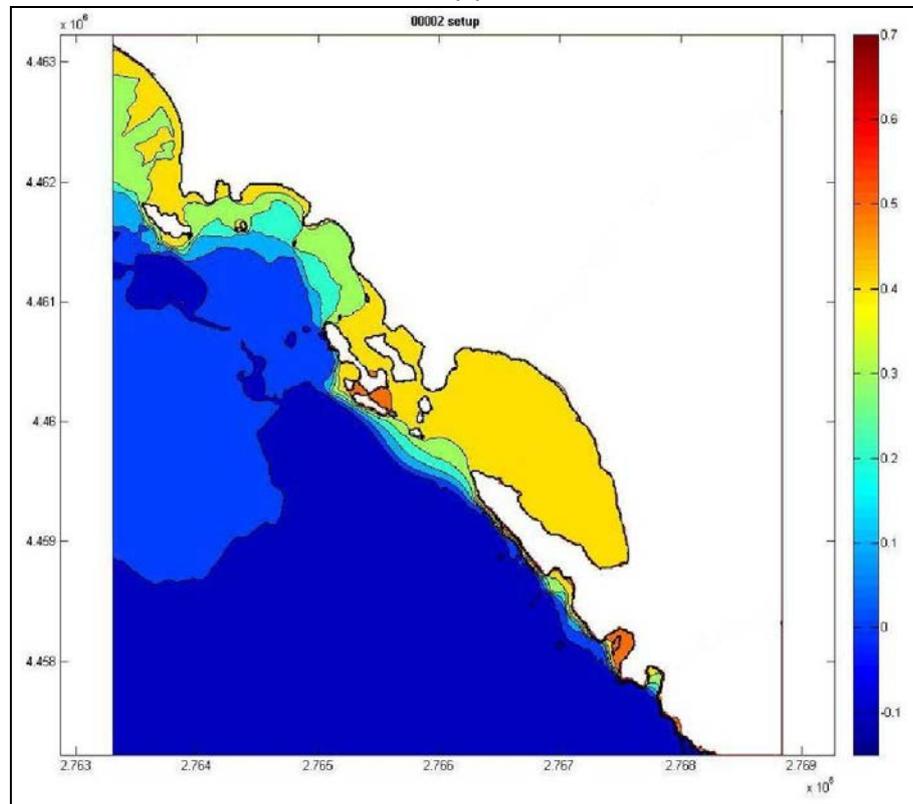


(b)

Figura 4.1.3.1 – Onda al largo da Sud con T_r 10 anni.



(a)



(b)

Figura 4.1.3.2 – Onda al largo da Sud con T_r 50 anni.



4.1.3 INFLUENZA DEL LIVELLO MEDIO MARE SULLA POSIZIONE DELLA LINEA DI RIVA

Il livello medio mare, come si è detto, influenza notevolmente la posizione della linea di riva.

Sull'argomento uno dei primi studi fu quello di *Bruun P.* del 1962. Erano gli anni in cui si incominciavano a studiare i profili delle spiagge, sia sotto l'azione di attacchi ondosi erosivi che ripascitivi, ricercando leggi per descrivere il *profilo di equilibrio di una spiaggia*.

In quelli anni e nei successivi si faceva riferimento al caso schematico bidimensionale in cui, ovviamente, era influente il trasporto trasversale ed assente quello longitudinale. Gli studi venivano condotti sia con rilievi di campo che su modelli 2D in laboratorio. Quindi la formula di Bruun è applicabile solo a casi particolari e non può essere utilizzata per litorali dove il trasporto longitudinale è molto consistente.

La formula di Bruun, con tutti i suoi limiti, ha avuto largo impiego nella progettazione di opere.

Negli ultimi anni gli studi di pianificazione e gestione della fascia costiera, che ha assunto ed assume sempre più una forte valenza economica e sociale, sono molto aumentati per tener conto dei fenomeni erosivi innescati sia dalle azioni antropiche sulla fascia costiera e nei bacini idrografici sia per l'innalzamento del livello medio mare, per cui sono ripresi gli studi sull'argomento con approcci tridimensionali più consistenti (*Bruun (1988)*, *Coopera et al. (2004)*, *Fitzgerald et al. (2008)*, *Rollason et al. (2010)*, *Ranasingher et al. (2012)*).

La formula di Bruun è stata ripresa da diversi autori con critiche non sempre giuste e non tenendo presente che essa era stata formulata per uno schema bidimensionale.

Pur con le limitazioni rilevate la formula di Bruun evidenzia, in modo molto semplice e significativo, la dipendenza della posizione della linea di riva dal livello medio mare.

Per spiagge con duna retrostante, come in molti casi si ritrovano a Porto Cesareo, si possono avere due casi: la linea di riva è lontana dalla duna, quest'ultima quindi non è interessata dalla dinamica costiera (figura 4.1.3.1), o la linea di riva è a ridosso della duna, quest'ultima è interessata dalla dinamica costiera (figura 4.1.3.2).

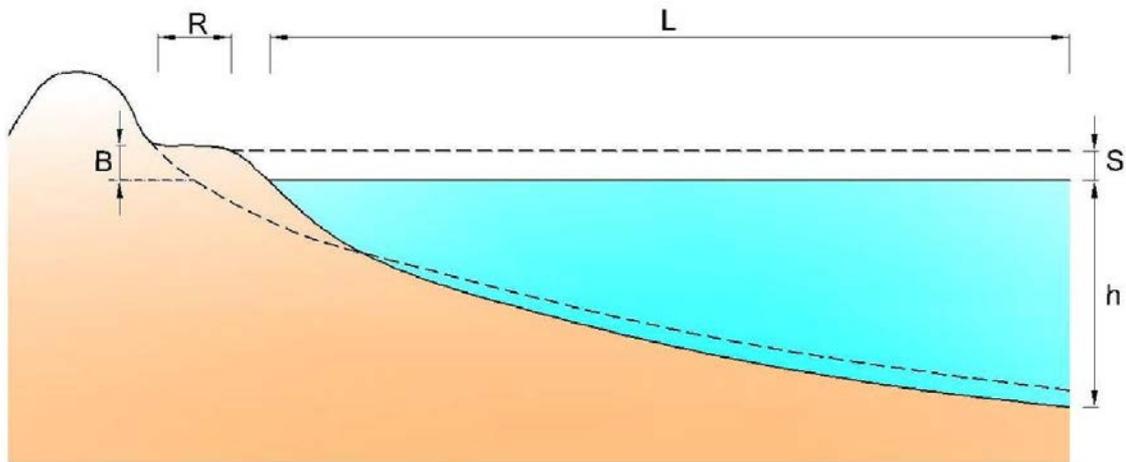


Figura 4.1.3.1 – “Profili di equilibrio di una spiaggia” prima e dopo l’innalzamento del livello medio mare nel caso in cui l’erosione non interessa la duna.

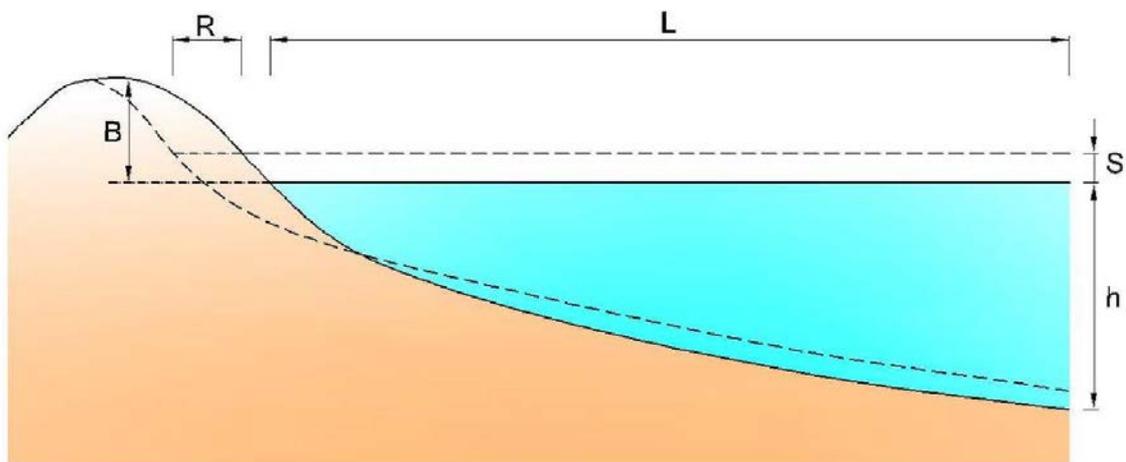


Figura 4.1.3.2 – “Profili di equilibrio di una spiaggia” prima e dopo l’innalzamento del livello medio mare nel caso in cui l’erosione interessa la duna.

La regola di Bruun, applicata a “profili di equilibrio” bidimensionali prima e dopo l’innalzamento del livello medio mare, lega l’arretramento della linea di riva, R, al sollevamento del livello medio mare, S, attraverso alcune grandezze significative dei “profili di equilibrio”:

$$\frac{R}{S} = \frac{L}{B + h} \quad (4.1.3.1)$$



dove h è la profondità di chiusura, L la distanza tra la linea di riva e la posizione della profondità di chiusura, e B l'altezza della spiaggia emersa erosa in corrispondenza della linea di riva.

Definendo la pendenza media del profilo della spiaggia sommersa attiva, β , come:

$$\operatorname{tg} \beta = L/h \quad (4.1.3.2)$$

la (4.1.3.1) diviene:

$$\frac{R}{S} = \frac{1}{\frac{B}{L} + \operatorname{tg} \beta} \quad (4.1.3.3)$$

Dalla (4.1.3.3) si nota che, a parità di altre condizioni, l'arretramento aumenta al diminuire della pendenza della zona attiva della spiaggia sommersa e che la presenza della duna, o di una spiaggia emersa alta, limita l'arretramento della linea di riva in quanto la spiaggia emersa riesce a fornire meglio i sedimenti necessari per il riequilibrio del bilancio sedimentario.

Dalla (4.1.3.3) per spiagge con piccola pendenza (ad esempio $\operatorname{tg} \beta = 0.01 - 0.02$) l'arretramento relativo R/S risulta compreso tra 50 – 100.

Come si è detto innanzi, studi recenti (*Ranasinghe et al., 2012*) hanno trovato che la regola di Bruun nelle analisi su lunghi periodi di tempo è spesso sovrastimante in quanto non tiene conto del trasporto di sedimenti da aree contigue per effetto delle correnti longitudinali.

Per i litorali in esame alcune considerazioni saranno riportate nel Capitolo 7.



5 STIMA DELLE AREE INONDABILI

5.1 MODELLO FLO-2D

Per valutare l'estensione delle aree costiere a rischio ingressione marina è stato utilizzato il software commerciale FLO-2D. Questo è un modello matematico idrologico-idraulico bidimensionale (2D) in grado di simulare la propagazione di onde di piena e di colate detritiche in bacini idrografici anche in funzione dell'interazione con le varie ostruzioni e strutture che caratterizzano le aree antropizzate tra le quali ponti, argini e tombini. Esso permette di simulare un'inondazione su una topografia complessa e con una data scabrezza. Il codice di calcolo è una combinazione tra modello idrologico e modello idraulico e richiede per ogni simulazione di inondazione principalmente due tipi di informazione: quella associata alle quote (modello digitale del terreno, DTM) e quella idraulica.

La topografia della superficie di flusso potenziale è rappresentata da un sistema di griglie quadrate. Agli elementi di griglia sono assegnati le quote ricavate da un'interpolazione dei punti del DTM.

Attraverso il programma di pre-processor GDS (Grid Developer System), presente nel pacchetto FLO-2D, si genera il sistema a griglia assegnando le quote alle singole celle. Il GDS sovrappone le griglie sui punti del DTM ed interpolando per mezzo di particolari punti, detti filtri, determina le quote di ogni elemento di griglia.

Il procedere dell'onda di piena sul dominio di flusso è controllato dalla topografia e dalla resistenza al deflusso.

La simulazione dell'inondazione che si sviluppa in due dimensioni è portata a termine tramite l'integrazione numerica alle differenze finite dell'equazione del moto e dell'equazione di continuità.

Nel presente studio il modello FLO-2D è stato applicato per riprodurre l'effetto del sovrizzo del livello medio mare, in termini di ingressione di acqua marina nelle aree costiere, attraverso la simulazione di un opportuno idrogramma di input implementato in corrispondenza della linea di riva.

L'idrogramma di input è stato ricavato attraverso la stima dei contributi dei fenomeni che determinano il sovrizzo del livello del mare (livello medio mare, marea astronomica, marea meteorologica e *wave setup*), definiti nei precedenti paragrafi.



In particolare sono stati simulati i seguenti scenari:

1. scenario attuale (§ 5.2.1);
2. scenario con tempo di ritorno T_r di 10 anni (§ 5.2.2);
3. scenario con tempo di ritorno T_r di 50 anni (§ 5.2.3).

Per tutte le applicazioni è stato utilizzato un rilievo DTM fornito dall'Area Marina Protetta di Porto Cesareo; il DTM in parola è stato ricavato da riprese aeree effettuate nell'anno 2011.

Le quote del terreno sono riferite allo *zero IGM*, ossia al livello medio mare registrato dal mareografo di Genova nel periodo 1937 – 1942. In base alle registrazioni del mareografo di Porto Cesareo (figura 4.1.1.7), nel 2011 il livello medio mare locale risultava pari a -0.13m dallo *zero IGM* di Genova.

Nella preparazione della griglia base di calcolo del modello è stato tenuto conto della presenza di alcuni bacini a marea presenti nelle aree retrodunali e collegati al mare attraverso una serie di canali. Per simulare l'ingressione marina attraverso tali varchi, è stata assegnata la quota ortometrica zero sia ai canali che ai bacini.



5.2 APPLICAZIONE DEL MODELLO

5.2.1 SCENARIO ATTUALE

La simulazione riferita allo scenario attuale considera i soli effetti della marea e dell'innalzamento del livello medio mare previsto nei prossimi 10 anni. A partire dal valore del livello medio mare locale riferito al 2011 (-0.13m rispetto allo zero IGM di Genova), è stata ipotizzata l'azione del sovrizzo futuro previsto del livello del mare nei prossimi 10 anni (+56 mm, che nelle simulazioni è stato arrotondato a +0.06 m), a cui è stato sommato il contributo di una marea astronomica caratteristica dell'area in esame (+0.15m).

In particolare lungo il litorale in esame è stato simulato un idrogramma di input del modello che partendo dal livello del mare pari a -0.07m (livello medio mare 2011 + sovrizzo l.m.m. T_r 10), raggiunge linearmente dopo 3 ore un livello del mare pari a +0.08m (valore iniziale + marea astronomica), per ritornare nuovamente al valore iniziale di -0.07m dopo ulteriori 3 ore.

Questa simulazione indica la posizione che raggiunge la linea di riva in assenza della marea meteorologica e del wave setup.

La simulazione dello stato attuale, anno 2011, coincide sostanzialmente con quella dello scenario con tempo di ritorno T_r di 10 anni in assenza di marea meteorologica e del wave setup.

I risultati della simulazione per le diverse aree sono stati analizzati nel Capitolo 7.



5.2.2 SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI

Nella simulazione riferita allo scenario con tempo di ritorno T_r 10 anni è stato tenuto conto di tutti i fenomeni che determinano la variazione del livello medio mare sottocosta, ossia:

- aumento del l.m.m. previsto nei prossimi 10 anni (+56 mm, che nelle simulazioni è stato arrotondato a +0.06 m);
- componente tidale e meteorologica (marea astronomica + marea meteorologica: +0.46m per T_r 10 anni);
- wave setup locale (valori, come visto al paragrafo 4.1.2, variabili per T_r 10 anni da +0.10m a +0.50m).

A partire dal valore del livello medio mare locale riferito al 2011 (-0.13m rispetto allo zero IGM di Genova) cui è stato sommato il sovralzato futuro previsto del livello del mare nei prossimi 10 anni (+56 mm ~ +0.06m), per un valore iniziale del tirante idrico sottocosta pari a -0.07m, è stato quindi simulato un idrogramma di input del modello che raggiunge dopo 3 ore il massimo valore +0.39m (valore iniziale + somma di wave setup locale, componente tidale e meteorologica), e ritorna al valore iniziale (-0.07m) dopo ulteriori 3 ore.

I valori del wave setup adottati, come si è detto al paragrafo 4.1.2, sono quelli ricavati dall'applicazione del modello SWAN, attraverso cui è stato possibile definire i valori puntuali di wave setup sottocosta in celle con passo di 5 metri.

I risultati della simulazione per le diverse aree sono stati analizzati nel Capitolo 7.



5.2.3 SCENARIO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI

Per quanto riguarda lo scenario con tempo di ritorno T_r 50 anni, è stata dapprima simulata la sola azione del sovralzato futuro previsto del livello del mare nei prossimi 50 anni (+305 mm, che nelle simulazioni è stato arrotondato a +0.30m), a cui è stato sommato il contributo di una marea caratteristica dell'area in esame (+0.15m).

A partire dal valore del livello medio mare locale riferito al 2011 (-0.13m rispetto allo zero IGM di Genova), lungo il litorale in esame è stato simulato un idrogramma di input che partendo dal livello del mare pari a +0.17m (livello medio mare 2011 + sovralzato l.m.m. T_r 50), raggiunge linearmente dopo 3 ore un livello del mare pari a +0.32m (valore iniziale + marea), per ritornare nuovamente al valore iniziale di +0.17m dopo ulteriori 3 ore.

Analogamente alla simulazione riferita allo scenario con tempo di ritorno T_r 10 anni, anche in questo caso è stata riprodotta la condizione che tiene conto di tutti i fenomeni che determinano la variazione del livello medio mare sottocosta, ossia:

- aumento del l.m.m. previsto nei prossimi 50 anni (+ 305mm, che nelle simulazioni è stato arrotondato a +0.30m);
- componente tidale e meteorologica (marea astronomica + marea meteorologica: +0.49m per T_r 50 anni);
- wave setup locale (valori variabili per T_r 50 anni da +0.10m a +0.70m).

A partire dal valore del livello medio mare locale riferito al 2011 (-0.13m rispetto allo zero IGM di Genova) cui è stato sommato il sovralzato futuro previsto del livello del mare nei prossimi 50 anni (+305 mm ~ +0.30m), per un valore iniziale del tirante idrico sottocosta pari a +0.17m, è stato quindi simulato un idrogramma che raggiunge dopo 3 ore il massimo valore (somma di wave setup locale, componente tidale e meteorologica), e ritorna al valore iniziale (+0.17m) dopo ulteriori 3 ore.

I risultati delle simulazioni per le diverse aree sono stati analizzati nel Capitolo 7.



6 EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA

L'evoluzione della linea di riva è funzione dell'interazione tra diversi fattori naturali e antropici. I fenomeni erosivi possono essere definiti come l'avanzamento del mare rispetto alla terra. Per definire un fenomeno erosivo e per poterlo quantificare è necessario osservare l'evoluzione della linea di riva per un periodo di tempo sufficientemente lungo al fine di eliminare l'influenza della stagionalità, di eventi episodici (mareggiate) e di dinamiche sedimentarie locali.

Nel presente studio è stata ricostruita l'evoluzione del litorale negli ultimi venti anni attraverso l'analisi delle linee di riva ricavate da una serie di riprese aeree della zona effettuate in epoche diverse.

In particolare sono state digitalizzate, ed opportunamente sovrapposte per il confronto, le linee di riva riferite ai seguenti anni:

- ortofoto 1992 (figura 6.1);
- ortofoto 1997 (figura 6.2);
- ortofoto 2005 (figura 6.3);
- ortofoto 2008 (figura 6.4);
- ortofoto 2011 (figura 6.5).

Nella procedura di digitalizzazione e sovrapposizione delle varie linee di riva si è cercato di minimizzare, con una attenta analisi, le inevitabili approssimazioni dovute a diverse cause:

- incertezza nella georeferenziazione delle immagini aeree legata agli errori nella procedura di posizionamento dei punti di riferimento noti;
- incertezza, in alcuni casi, nella individuazione della linea di riva dalle immagini aeree a causa della difficoltà di interpretazione delle foto aeree (presenza di bagnanti o natanti, presenza di onde, depositi di posidonia sulla battigia, ecc);
- mancanza di indicazioni sulle condizioni di marea a cui le immagini aeree si riferiscono; in funzione della pendenza della spiaggia, infatti, a piccole variazioni di marea possono corrispondere consistenti escursioni della linea di riva desumibile;

- non omogeneità tra le linee di riva ricavate da immagini aeree relative a profili di spiaggia invernali (ad esempio ortofoto 2005 e 2011) rispetto alle linee di riva estratte da immagini aeree scattate in periodo estivo (ortofoto 1992, 1997 e 2008).

La inevitabile presenza di tali approssimazioni portano a ritenere non significativi scarti puntuali fra due linee di riva compresi tra -3 e +3 m.

L'estrazione della linea di riva relativa da ciascun supporto cartografico disponibile è stata effettuata in ambiente ArcGIS della ESRI e per la loro analisi è stato utilizzato il DSAS, applicativo dello stesso software ArcGIS.

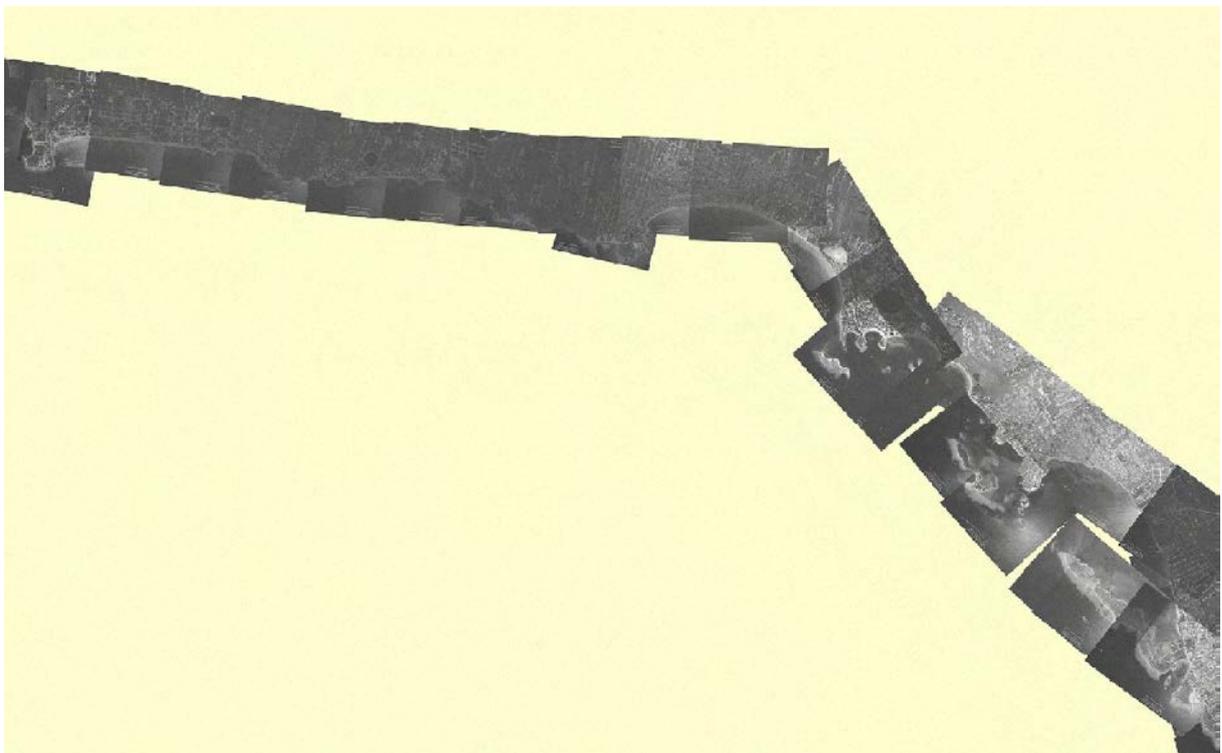


Figura 6.1 – Ortofoto 1992.

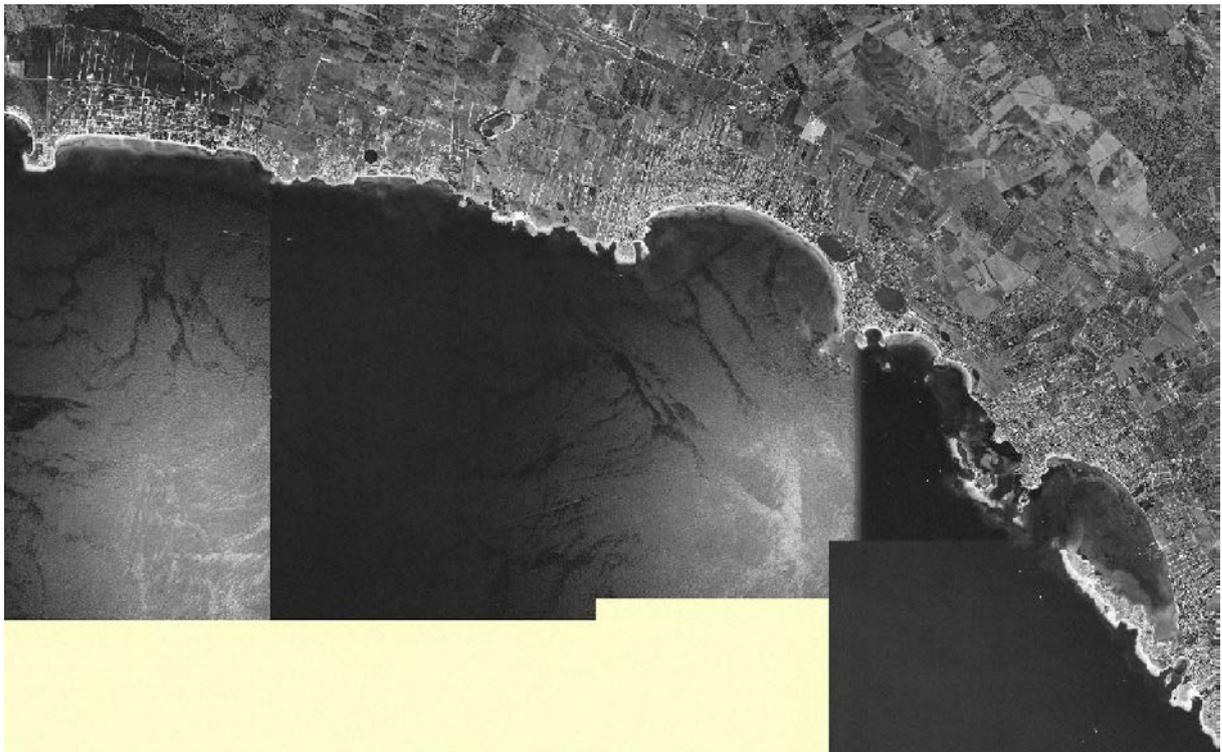


Figura 6.2 – Ortofoto 1997.



Figura 6.3 – Ortofoto 2005.



Figura 6.4 – Ortofoto 2008.

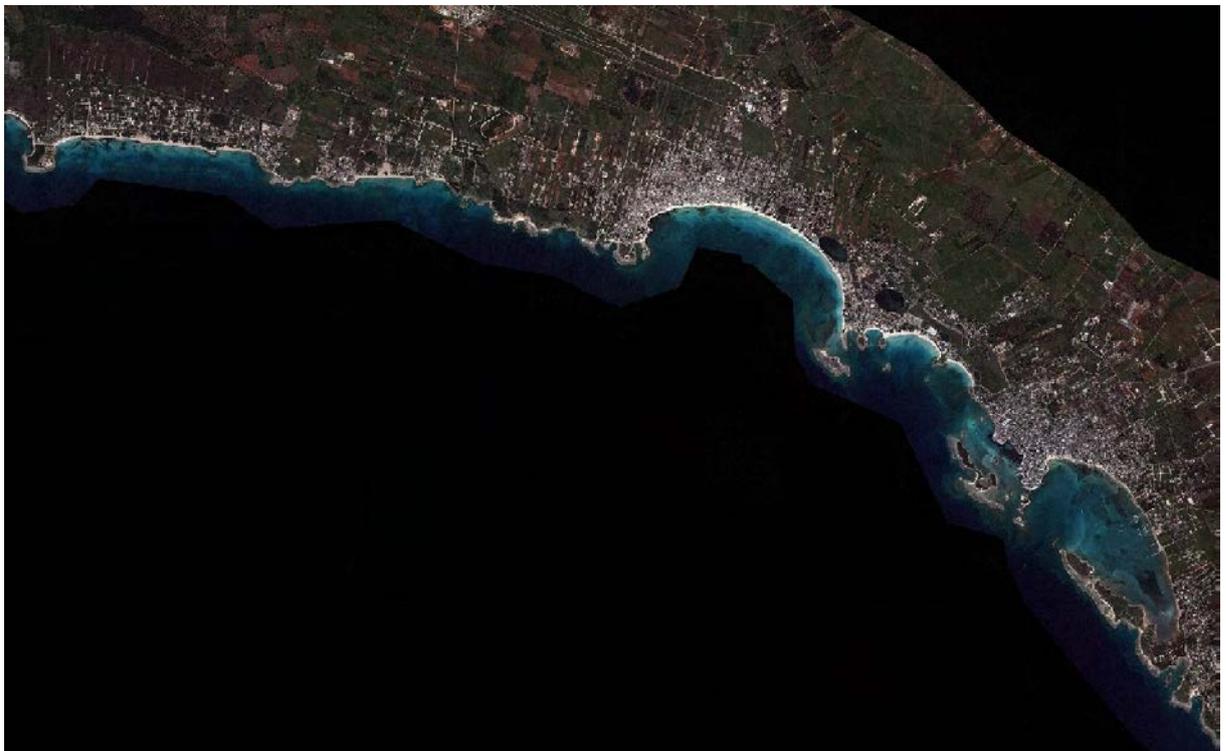


Figura 6.5 – Ortofoto 2011.



6.1 ARCGIS

Il GIS (Sistema Informativo Territoriale) è ormai recepito in tutti gli ambiti territoriali come strumento indispensabile nella pianificazione.

Un sistema GIS è costituito da un complesso di componenti informatiche (hardware e software) che consente di archiviare e gestire una notevole quantità di dati multidisciplinari riferiti a coordinate geografiche ed archiviati in forme alfanumeriche, grafiche e video.

Esso può essere impiegato per applicazioni in cartografia e come strumento di supporto alle decisioni.

Un GIS ha come obiettivo fondamentale la creazione di uno strumento flessibile e tecnologicamente avanzato per fornire ai decisori la possibilità di gestire rapidamente i dati a disposizione.

Per quanto riguarda i data base geografici, la caratteristica fondamentale di un GIS è la capacità di visualizzare i dati georeferenziati, ovvero con coordinate spaziali reali attribuite ad ogni elemento; in altre parole, le coordinate di un oggetto sono memorizzate relativamente al sistema di riferimento in cui realmente è situato l'oggetto e nelle reali dimensioni.

Per lo studio in oggetto è stato utilizzato l'ArcGIS della ESRI, il software applicativo GIS più diffuso al mondo; esso è costituito da un famiglia di prodotti estremamente ricca di funzionalità che permettono agli utenti di svolgere qualsiasi operazione GIS, dalla più semplice alla più avanzata.

6.2 DSAS

Per la quantificazione dell'evoluzione della linea di costa è stato utilizzato il DSAS, nella versione 4.3. Il DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), sviluppato dallo United States Geological Survey (USGS), funziona quale estensione del software ArcGIS. L'impiego del DSAS è basato sul tracciamento di transetti, di lunghezza e spaziatura scelti dall'operatore, perpendicolari rispetto ad una linea di riferimento, o baseline. Nel presente studio è stata adottata una numerazione crescente dei transetti da Nord verso Sud, mentre l'interasse tra i transetti è compreso tra 20 e 10 metri in funzione dell'estensione del tratto di costa esaminato.

Per ciascun transetto è stato ricavato il valore del parametro NSM (*Net Shoreline Movement*) che rappresenta la distanza fra la più recente e la più vecchia delle due linee di costa messe a confronto.

L'analisi con il DSAS per lo studio dell'evoluzione della riva è stata realizzata esclusivamente sui tratti sabbiosi, in quanto si è supposto che nell'arco temporale considerato (1992 - 2011) i tratti di costa rocciosi siano rimasti stabili. In particolare sono state individuate le 22 aree di studio riportate nella figura 6.2.1.



Figura 6.2.1 – Aree di analisi dell'evoluzione della linea di riva.



Nel Capitolo 7 per le aree individuate sarà effettuata una analisi sia dell'evoluzione della linea di riva che delle aree inondabili con le diverse ipotesi indicate nel capitolo precedente.

7 ANALISI DELLE AREE INONDABILI E DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA

Nel presente Capitolo per le 22 aree di studio individuate (figura 7.1), sono riportate le analisi sulle aree inondabili e sulla erosione del litorale indicando eventuali interventi specifici di protezione e gestione.



Figura 7.1 – Aree di analisi.

Prima di fare le considerazioni puntuali per le diverse aree è interessante fare un'analisi generale sull'erosione del paraggio considerando gli arretramenti e gli avanzamenti che si sono riscontrati dal confronto delle linee di riva estratte dalle ortofoto riprese nel 1992 e nel 2011. Si tratta di un arco di tempo di 20 anni nel quale il livello medio mare è aumentato di 106 mm (cfr. paragrafo 4.1.1).

Nello studio si sono analizzati complessivamente 618 transetti; i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 sono riportati nella tabella 7.1 e la loro distribuzione probabilistica nella figura 7.2, i dati completi sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-5.80
Variazione media annua (m/anno)	-0.31
Avanzamento massimo (m)	16.42
Arretramento massimo (m)	-46.2
Deviazione standard (m)	7.192
Curtosis	4.654
Kewness	-0.963

Tabella 7.1 – Dati sintetici dell’erosione/ripascimento del paraggio.

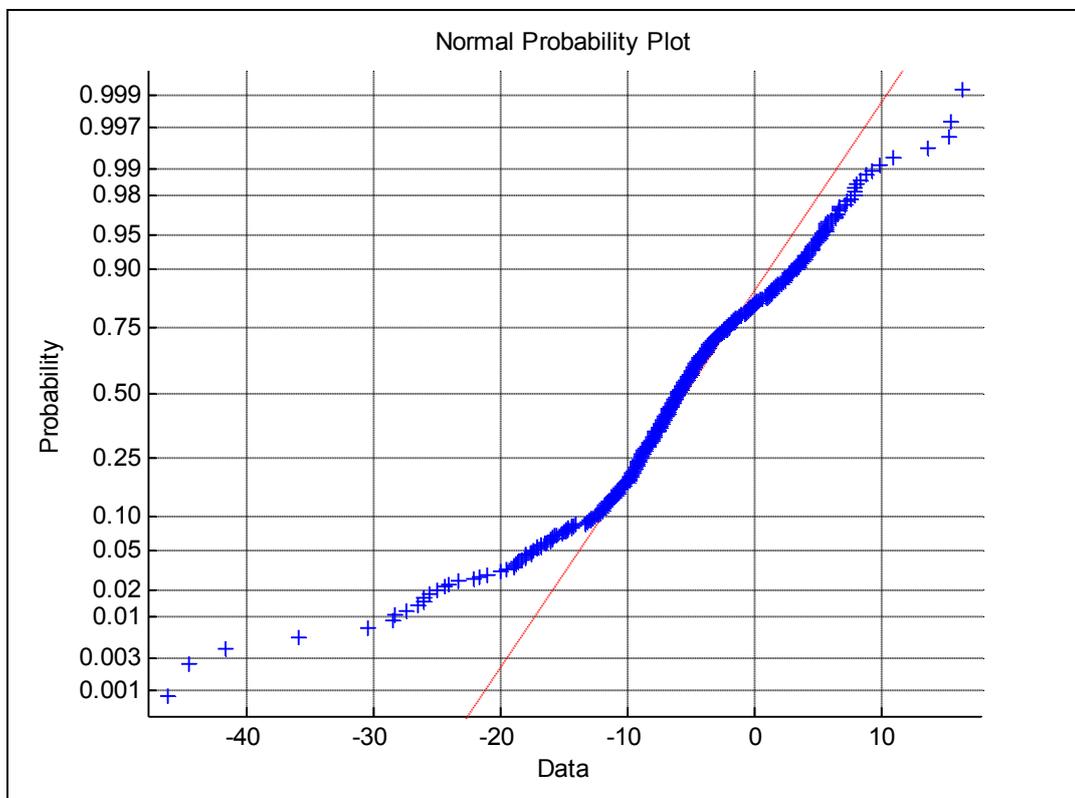


Figura 7.2 – Distribuzione probabilistica delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Dalla tabella 7.2 si nota una tendenza erosiva media del paraggio di 5.80m; su un totale di 618 transetti analizzati, infatti, 506 (82%) denunciano differenze negative. La distribuzione di probabilità delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 (figura 7.2) rivela una dissimmetria. Come si vedrà in dettaglio in seguito, la non linearità dei dati all’esterno dell’intervallo -3.0m e -12.0m, si riferisce a fenomeni erosivo/ripascitivi che si sono manifestati in alcune aree specifiche.



Dal punto di vista dell'evoluzione temporale i maggiori arretramenti della linea di riva si sono avuti nel periodo 2008 – 2011 a causa delle numerose e intense mareggiate che si sono avute nel periodo, e per effetto del sollevamento del livello medio mare che, come si è detto nel paragrafo 4.1.1, nel periodo 2008 – 2011 ha avuto un consistente innalzamento.

Infine è da osservare che il fatto che ben l'82% dei transetti esaminati rilevano, anche se con entità diverse, arretramenti porta a ritenere che una causa comune del fenomeno sia proprio il sollevamento del livello medio mare.

7.1 AREA A

Trattasi di un piccolo tratto di litorale all'estremo Ovest del paraggio di Porto Cesareo, quasi al confine con il litorale del Comune di Manduria (TA), sul quale non vi sono concessioni e lidi.

E' da notare che in questa zona, in quella confinante ad Ovest nel territorio del Comune di Manduria (Torre Colimena) ed in quelle poste ad Est, Punta Prosciutto e Lido degli Angeli, vi è un forte spiaggiamento di posidonia o. che le mareggiate più intense asportano dalla prateria presente nella area marina di fronte al litorale (figura 7.1.1) (cfr. paragrafo 2.6).

Si evidenzia qui il fenomeno per rimarcare la necessità di prevedere, a livello Comunale o Intercomunale, piani di gestione per la rimozione della posidonia o. spiaggiata, che in alcuni casi può raggiungere volumi molto elevati. Infatti, la semplice rimozione meccanica della posidonia o. spiaggiata, come spesso viene fatto, può comportare una perdita di quantità non trascurabile di sabbia dagli arenili.

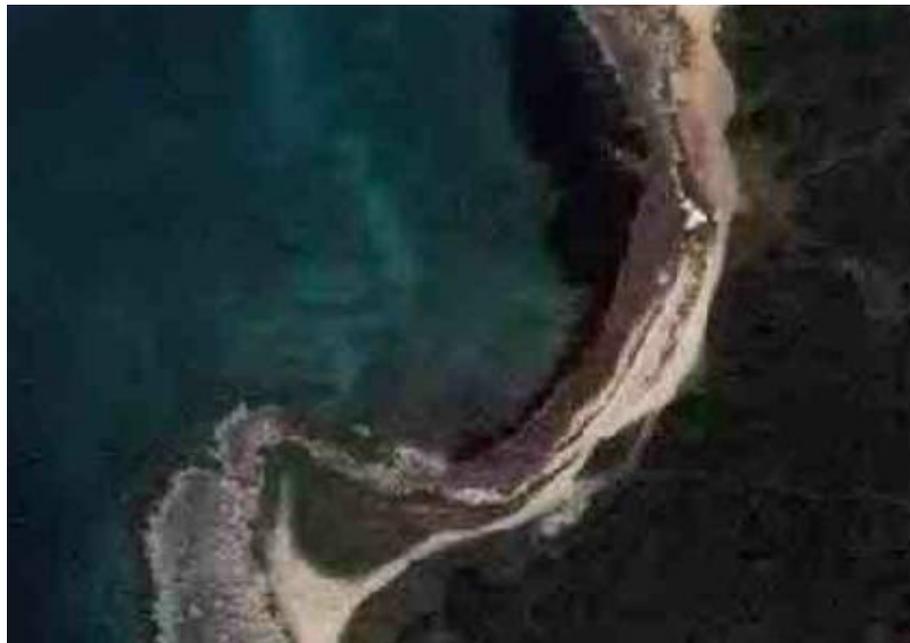


Figura 7.1.1 – Ortofoto 2011, si osserva la posidonia o. spiaggiata nell'inverno 2010 – 2011.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo “Aree inondabili_FLO2D” inserito nel GIS.

Nelle figure 7.1.2 e 7.1.3 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e marea.

Nelle figure 7.1.4 e 7.1.5 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.1.2 e 7.1.3 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r = 50$ anni, che parte dell’arenile a causa dell’innalzamento del livello medio mare e dell’escursioni di marea subirà una maggiore inondazione. Questo determinerà una erosione del litorale ed una riduzione della spiaggia emersa fruibile.

Dalle Figure 7.4 e 7.5 si nota che gran parte dell’arenile sarà interessato dalla risalita del moto ondoso; il cordone dunale in generale conterrà le escursioni salvo un piccolo tratto ove vi sarà ingressione marina.



Figura 7.1.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m ($T_r = 10$ anni).



Figura 7.1.3 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m ($Tr = 50$ anni).

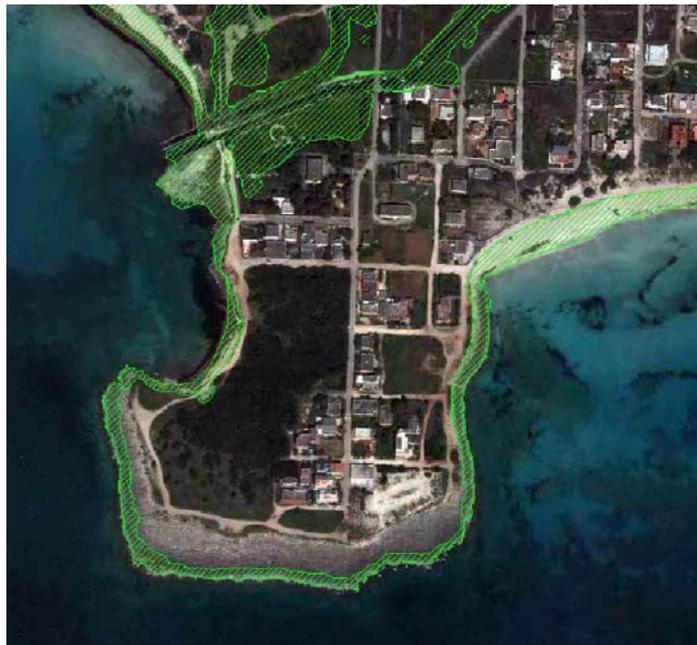


Figura 7.1.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 10$ anni).



Figura 7.1.5 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 50$ anni).

Raccomandazioni: nelle aree inondabili non potranno essere realizzate opere anche del tipo rimovibile, la duna deve essere salvaguardata e deve essere fatta una gestione dello spiaggiamento di posidonia.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 sono riportati nella tabella 7.1.1. Nelle figure 7.1.6 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

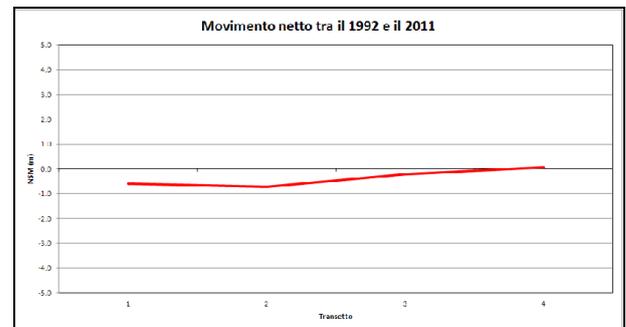
Il tratto di arenile, vista anche la sua esposizione, non ha presentato criticità nel periodo 1992 – 2011.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-0.37
Variazione media annua (m/anno)	-0.02
Avanzamento massimo (m)	0.06
Arretramento massimo (m)	-0.36
Deviazione standard (m)	0.36

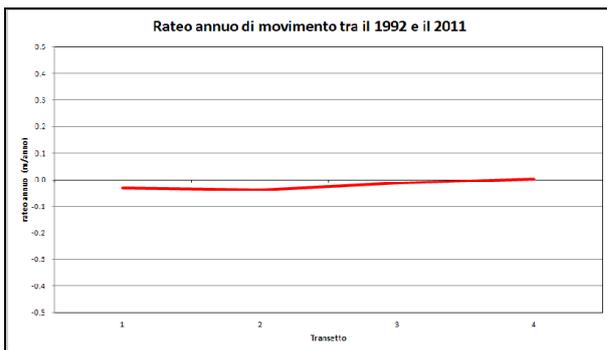
Tabella 7.1.1 – Dati sintetici dell’erosione/ripascimento del paraggio.



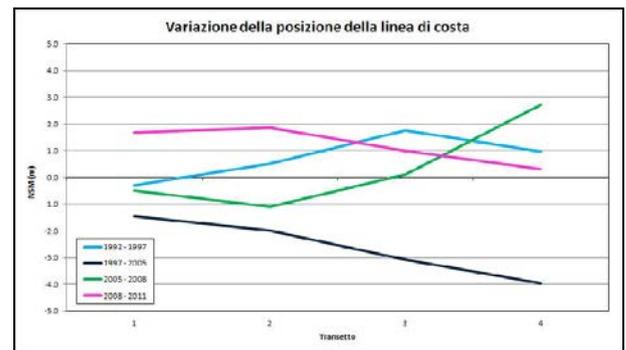
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.1.6 – Area A: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).



7.2 AREA B

L'area in esame parte da Punta Prosciutto e arriva a Punta Grossa; il tratto è suddiviso in due parti da un piccolo promontorio roccioso ad Est del quale vi è l'area di Riva degli Angeli.

Nell'area in esame non vi è antropizzazione della fascia costiera né nella zona dunale che retrodunale. Il cordone dunale non è molto compromesso, anche se sono presenti numerosi varchi e alcuni spianamenti al piede delle dune; sono presenti diversi lidi.

Anche in questa area, come in quella precedente, vi è un forte spiaggiamento di posidonia che le mareggiate più intense asportano dalla prateria presente nell'area marina di fronte al litorale (cfr. paragrafo 2.6).

Si rimarca la necessità di GESTIRE la rimozione della posidonia o spiaggiata.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nelle figure 7.2.1 e 7.2.2 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di solo sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.2.3 e 7.2.4 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.



Figura 7.2.1 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).



Figura 7.2.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).

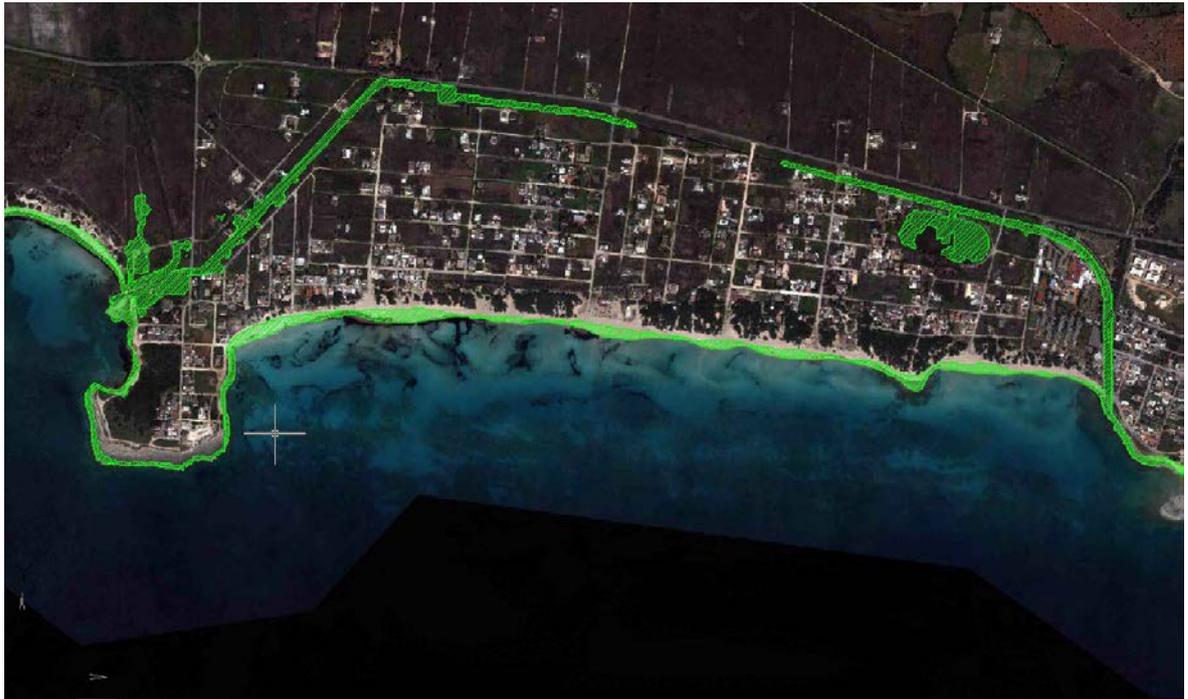


Figura 7.2.3 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup (Tr =10 anni).



Figura 7.2.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup (Tr =50 anni).



Dalle figure 7.2.1 e 7.2.2 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che parte dell'arenile a causa dell'innalzamento del livello medio mare e dell'escursioni di marea subirà una maggiore inondazione. Questo determinerà una erosione ed una riduzione della spiaggia emersa fruibile.

Dalle figure 7.2.3 e 7.4 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che gran parte dell'arenile sarà interessato dalla risalita del moto ondoso; il cordone dunale, in generale, conterrà la risalita del moto ondoso però si notano delle vie preferenziali della risalita del moto ondoso in corrispondenza di varchi tra le dune che nel tempo potrebbero portare ad una maggiore ingressione del mare.

Raccomandazioni:

- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera diminuiscono infatti la "resilienza della spiaggia" e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta;***
- ***devono essere impediti spianamenti ai piedi delle dune (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l'arretramento della linea di riva;***
- ***vista la situazione critica a causa della ridotta dimensione della fascia costiera occorre fare una migliore gestione dello spiaggiamento di posidonia ricorrendo a tecniche già consolidate, ed utilizzate in altri siti, che prevedono l'impiego della posidonia spiaggiata per la ricostruzione della duna.***

Come è stato evidenziato in un recente studio (*Geo Data Service s.r.l., 2010*), nel profilo della spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura (circa 5.4 m) il fondale marino è quasi sempre costituito da sabbia.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il presente tratto di litorale è stato classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa, eccetto un piccolo tratto tra i transetti 92-97, classificato C2, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo media.

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale nelle figure 7.2.5 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

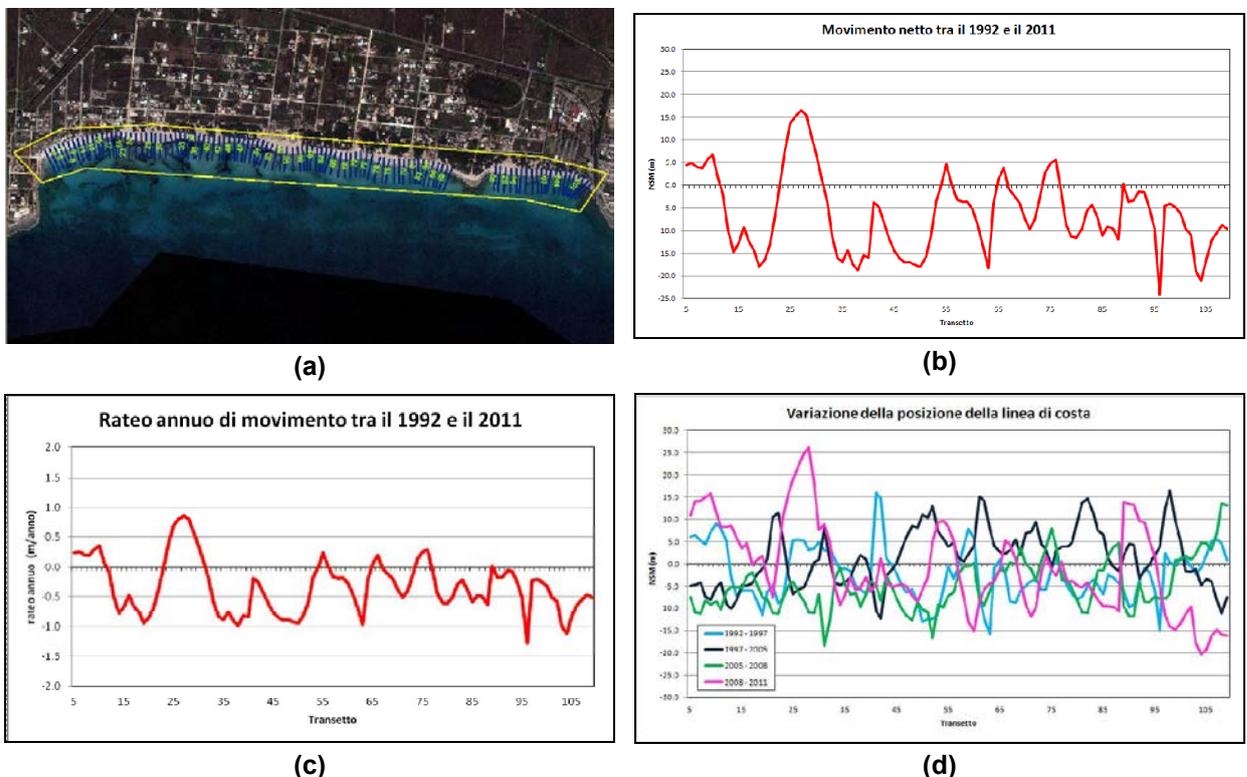


Figura 7.2.5 – Area B: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).



Dalle figure si nota la dinamicità del litorale e si osservano valori positivi anomali nel confronto fra le linee di riva del 1992 e del 2011. Da tener presente che le ortofoto del 2011 sono state riprese nella stagione invernale 2010 – 2011 per cui vi possono essere delle forti erosioni o accumuli dovuti alle mareggiate.

Da un'analisi di dettaglio si è notato che nell'ortofoto del 2011 tra i transetti 19 e 30, dove si nota un anomalo avanzamento della linea di riva (+16.42m) non riscontrato nelle evoluzioni degli altri anni analizzati, vi era un deposito di posidonia spiaggiata che ha determinato un avanzamento fittizio della linea di riva.

Come pure si notano picchi negativi (con un massimo di -24.11m) tra i transetti 95 e 109, zona di Riva degli Angeli, che certamente sono dovuti all'azione di una forte mareggiata della stagione invernale 2010 – 2011, anche se in questo caso la tendenza all'erosione nel tratto in esame è stata riscontrata anche in periodi precedenti.

Pur con le indeterminazioni innanzi indicate, dai grafici si nota una tendenza media storica all'arretramento della linea di riva come si evince anche dai dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 riportati nella tabella 7.2.1.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.31
Variazione media annua (m/anno)	-0.33
Avanzamento massimo (m)	16.42
Arretramento massimo (m)	-24.11
Deviazione standard (m)	8.62

Tabella 7.2.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento di tutto il tratto.

L'alto valore della Deviazione Standard riportato nella tabella denota la forte variabilità di comportamento dei vari tratti del litorale in esame. La dinamicità del litorale è dovuta al fatto che esso è investito quasi ortogonalmente dalle intense mareggiate provenienti da Sud, ma anche da quelle provenienti dal terzo quadrante che instaurano intense correnti longitudinali.



Per questo tratto di litorale è interessante fare alcune considerazioni per meglio comprendere l'evoluzione temporale della linea di riva in funzioni del clima meteomarinario medio del periodo.

Dalla figura 7.2.5 si nota che, in generale, nel periodo 1997 – 2005 la linea di riva di tutto il litorale ha subito, anche se con entità diverse, un consistente avanzamento; nei periodi 2005 – 2008 e 2008 – 2011 ha subito invece, anche se con entità diverse, un consistente arretramento. Questo comportamento, riscontrato anche su tutte le altre aree analizzate, dipende dal fatto che nei periodi citati sono state diverse le energie del moto ondoso ed i livelli medio mare.

Nella figura 7.2.8 è riportata l'energia per unità di lunghezza della spiaggia che in diversi anni si è avuta sulla costa ionica pugliese.

Dalla figura si nota che da ottobre 2005 ad aprile 2008 l'energia annua è stata abbastanza minore che nel periodo ottobre 2008 / aprile 2011.

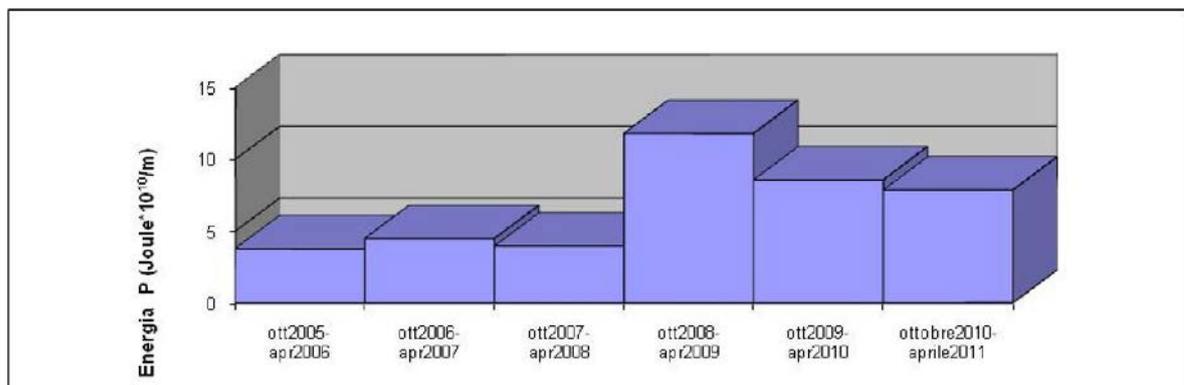


Figura 7.2.8 – Energia del moto ondoso per unità di lunghezza della spiaggia osservato sulle coste ioniche pugliesi nel periodo ottobre 2005 - aprile 2011.

Nella figura 7.2.9 si riporta nuovamente l'andamento dei livelli medio mare annuali su alcuni litorali dell'Adriatico e dello Ionio, già analizzati nel paragrafo 4.1.1; si nota che a partire dal 2007 si è avuto un incremento del livello medio mare annuale.

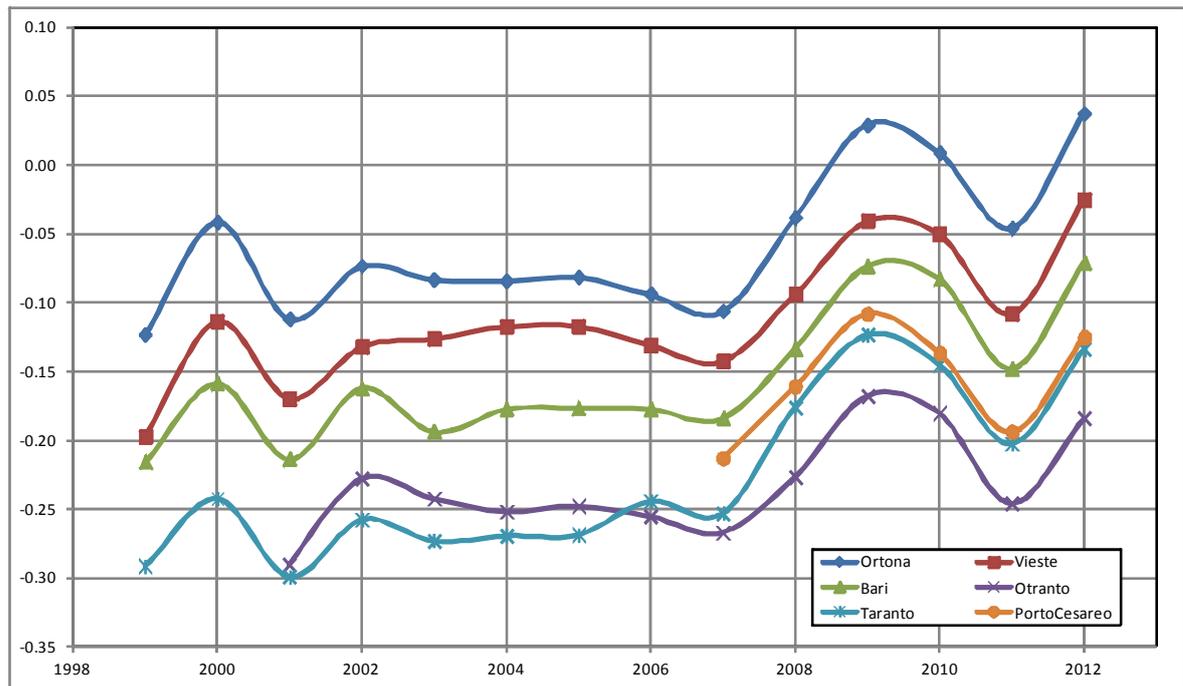


Figura 7.2.9 - Livelli medio mare annuali dal 1999 al 2012.

La presenza sul litorale sia di correnti trasversali che longitudinali non consente di applicare in modo corretto la formula di Bruun per quantizzare l'arretramento della linea di riva in funzione del sollevamento futuro del livello medio mare.

E' possibile fare una ipotesi di previsione per il futuro basandosi sull'arretramento medio del litorale riscontrato nel periodo 1992 - 2011; assunto l'arretramento medio $R = 6.31m$ ed il sollevamento del livello medio mare medio $S = 0.106m$, dalla formula di Bruun si ha un coefficiente di erosione per sollevamento medio mare $R/S = 60$.

Per fare la proiezione ai tempi di ritorno $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni, si può assumere tale valore R/S che però potrebbe risultare cautelativo poiché con l'arretramento della linea di riva sarebbero interessate all'erosione parti della spiaggia emersa con una quota maggiore della spiaggia (termine B della formula di Bruun (4.1.3.1), quindi, con maggiori volumi di sabbia disponibili per sopperire al deficit sedimentario).

Assunta tale ipotesi si avrebbe:

$$T_r = 10 \text{ anni} \quad R/S=60 \quad S=0.056m \quad R = 3m$$

$$T_r = 50 \text{ anni} \quad R/S=60 \quad S=0.305m \quad R = 18m$$



E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune varia tra i 15 e i 40m nella parte Ovest del litorale in questione, e tra 15 e 23m nella parte Est (Riva degli Angeli), per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa tra la linea di riva e il piede delle dune, specie per la zona di Riva degli Angeli.

Da qui la necessità di mettere in atto su tutto il litorale, e da subito per i tratti in cui si sono riscontrate maggiori criticità, le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

7.3 AREA C

Trattasi di un primo piccolo tratto di litorale su Punta Grossa.

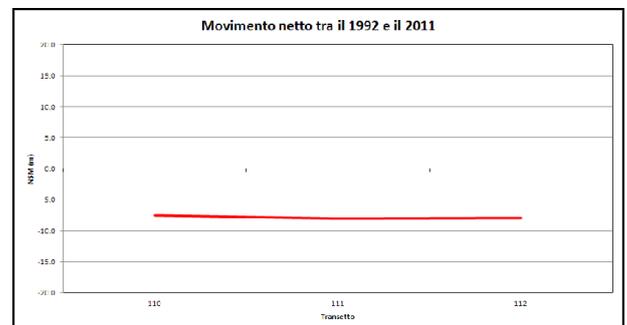
Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il presente tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

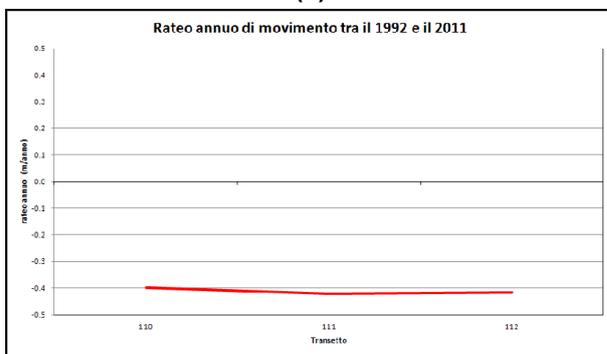
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -7.82 m; nella figura 7.3.1 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



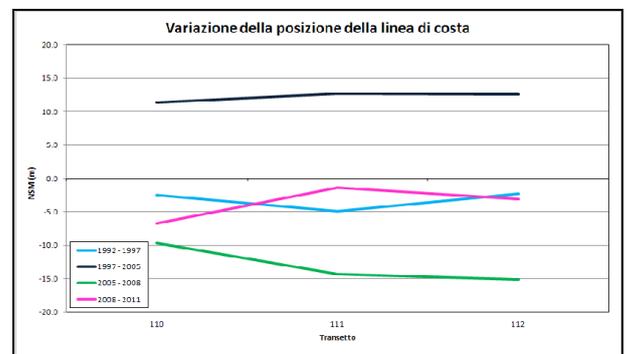
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.3.1 – Area C: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

7.4 AREA D

Trattasi di un secondo piccolo tratto di litorale su Punta Grossa.

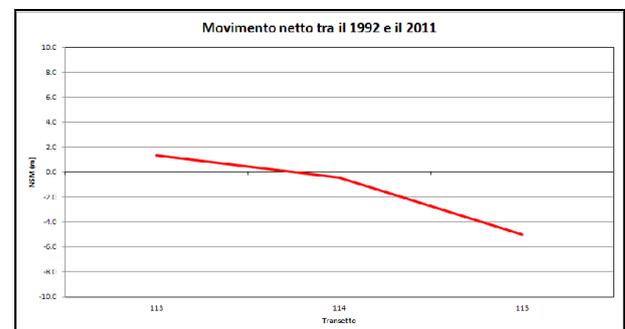
Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il presente tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

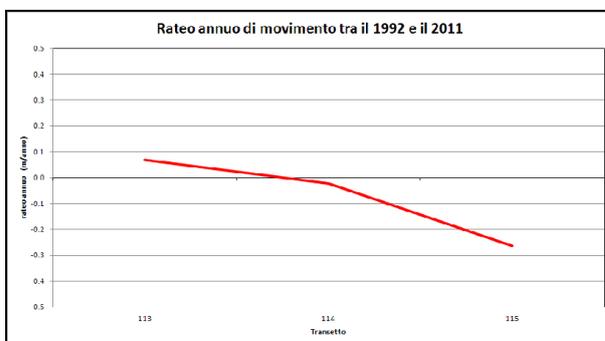
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -2.77m. Nella figura 7.4.1 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



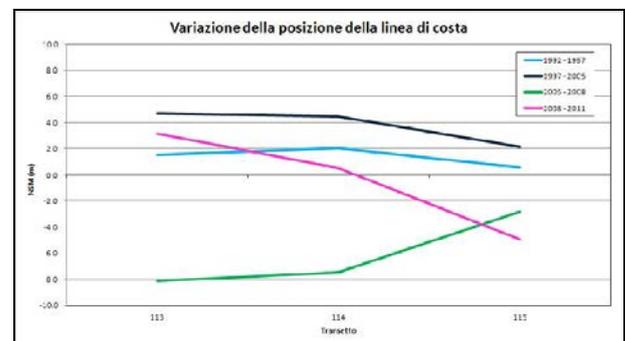
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.4.1 – Area D: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).



7.5 AREA E

Il presente tratto di litorale parte da Punta Grossa ed arriva a Torre Castiglione.

Nell'area in esame non vi è antropizzazione della fascia costiera né nella zona dunale che retrodunale; il cordone dunale è abbastanza compromesso, presenta numerosi varchi, di cui alcuni molto ampi, de alcuni spianamenti al piede delle dune; inoltre sono presenti diversi lidi alcuni dei quali con strutture fisse.

Anche in questa area, anche se in quantità minori rispetto a quelle precedenti, vi è uno spiaggiamento di posidonia o. che le mareggiate più intense asportano dalla prateria presente nell'area marina di fronte al litorale (cfr. paragrafo 2.6).

Si rimarca la necessità di GESTIRE la rimozione della posidonia o. spiaggiata.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il presente tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Come è stato evidenziato in un recente studio (*Geo Data Service s.r.l., 2010*), nel profilo della spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura (circa 5.4 m) il fondale marino è quasi sempre costituito da sabbia.

Nelle figure 7.5.1 e 7.5.2 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.5.3 e 7.5.4 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.5.1 e 7.5.2 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che parte dell'arenile a causa dell'innalzamento del livello medio mare e



dell'escursioni di marea subirà una maggiore inondazione. Questo determinerà una erosione ed una riduzione della spiaggia emersa fruibile.

Dalle figure 7.5.3 e 7.5.4 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che tutto l'arenile sarà interessato dalla risalita del moto ondoso; il cordone dunale, in generale, conterrà la risalita del moto ondoso. A causa della minore altezza della spiaggia sommersa, tuttavia, nella zona a Ovest la risalita interesserà tutta la fascia costiera fino alle dune e con alcune vie preferenziali della risalita del moto ondoso in corrispondenza di varchi che potrebbero portare nel tempo al collegamento tra la spiaggia ed il retroduna.

Raccomandazioni:

- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera diminuiscono infatti la "resilienza della spiaggia" e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta e rafforzata prioritariamente sia nella zona ad Ovest, per le criticità già evidenziate, che ad Est dove, come si vedrà in seguito, si è registrato un sensibile arretramento della linea di riva. Da evidenziare che in quest'ultima zona sono stati effettuati già alcuni interventi del genere ed altri ne sono previsti;***
- ***devono essere impediti spianamenti ai piedi delle dune (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l'arretramento della linea di riva;***
- ***vista la situazione critica a causa della ridotta dimensione della fascia costiera occorre fare una migliore gestione dello spiaggiamento di posidonia ricorrendo a tecniche già consolidate, ed utilizzate in altri siti,***

che prevedono l'impiego della posidonia spiaggiata per la ricostruzione della duna.



Figura 7.5.1 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).

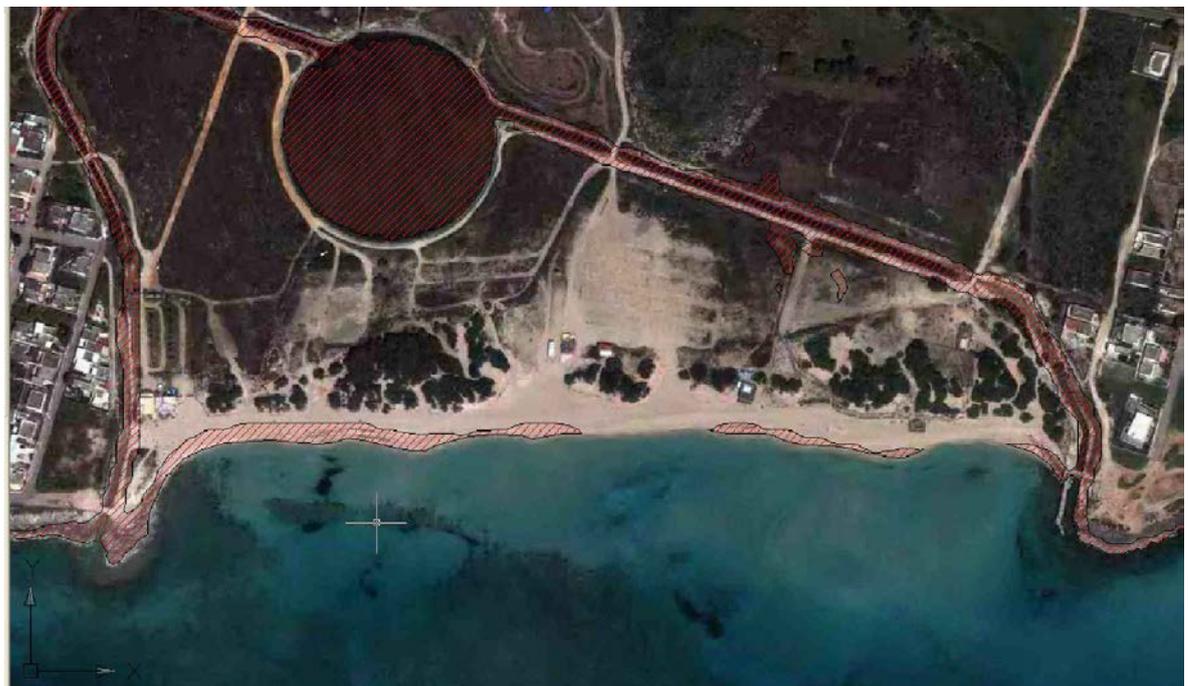


Figura 7.5.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).



Figura 7.5.3 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 10$ anni).



Figura 7.5.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 50$ anni).

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale nelle figure 7.5.5 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sono sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

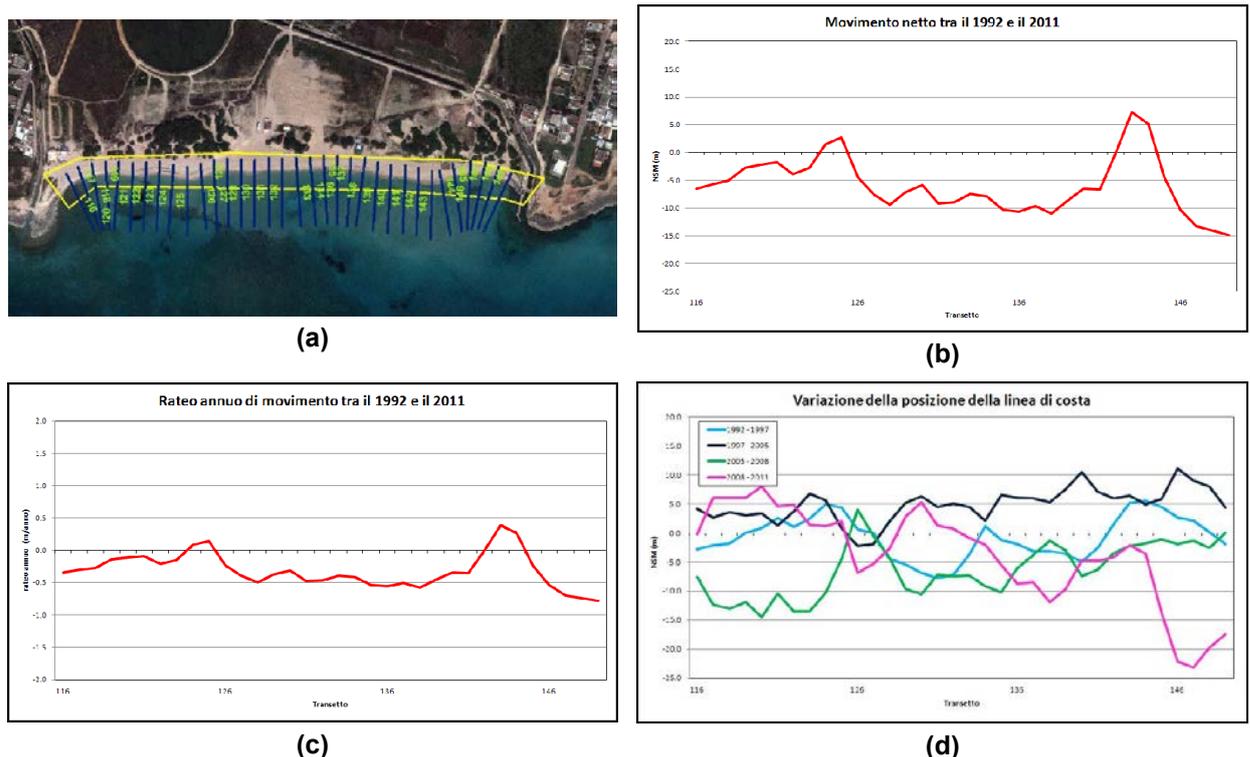


Figura 7.5.5 – Area E: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Dalle figure si nota che tutto il litorale, con eccezione di alcuni transetti, nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento che si è manifestato in modo maggiore nella parte centrale ove, negli anni, è stata distrutta la duna e sono stati effettuati degli spianamenti della spiaggia emersa.

Anche per la presente area in esame, come per l'area B descritta al paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

Nella tabella 7.5.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-5.96
Variazione media annua (m/anno)	-0.31
Avanzamento massimo (m)	7.28
Arretramento massimo (m)	-14.89
Deviazione standard (m)	5.13

Tabella 7.5.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del litorale.

E' possibile fare un'ipotesi di previsione per il futuro basandosi sull'arretramento medio del litorale riscontrato nel periodo 1992 - 2011; assunto l'arretramento medio $R=5.96m$ e il sollevamento medio del livello medio mare pari a $S=0.106m$, dalla formula di Bruun si ottiene un coefficiente di erosione per sollevamento medio mare $R/S = 56$.

Per fare la proiezione futura con $T_r=10$ anni e con $T_r=50$ anni, si può assumere tale valore del rapporto R/S che però potrebbe risultare cautelativo poiché con l'arretramento della linea di riva sarebbero interessate dall'erosione parti della spiaggia emersa con una quota maggiore della spiaggia (termine B della formula di Bruun (4.1.3.1), quindi, con maggiori volumi di sabbia disponibili per sopperire al deficit sedimentario).

Assunta tale ipotesi si avrebbe:

$T_r=10$ anni $R/S=56$ $S=0.056$ m $R = 3m$

$T_r=50$ anni $R/S=56$ $S=0.305$ m $R = 17m$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra i 15 e i 30m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni diminuirebbe nella parte Ovest ed Est del litorale in modo drastico la spiaggia emersa tra la linea di riva e il piede delle dune.

Da qui la necessità di mettere in atto su tutto il litorale, e da subito per i tratti in cui si sono riscontrate maggiori criticità, le raccomandazioni innanzi



fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.



7.6 AREA F

Il presente tratto litorale in esame, lungo circa 160m, è quello denominato Camping Torre Castiglione.

Nell'area in esame non vi è antropizzazione della fascia costiera nella zona dunale, mentre vi è nella zona retrodunale lungo il tratto posto ad Ovest; il cordone dunale, assente nella zona Ovest, è abbastanza compromesso e presenta diversi varchi, inoltre è presente un lido senza strutture fisse.

Anche in questa area, anche se in maniera minore rispetto ai tratti di costa precedentemente analizzati, vi sono episodici spiaggiamenti di posidonia che le mareggiate più intense asportano dalla prateria presente nell'area marina antistante litorale (cfr. paragrafo 2.6).

Si rimarca la necessità di GESTIRE la rimozione della posidonia o spiaggiata.

Per quanto riguarda le aree inondabili il comportamento è simile a quello dell'area precedente, per cui si fanno le stesse raccomandazioni generali.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il presente tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale nelle figure 7.6.1 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sono sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

Dalle figure si nota che tutto il litorale nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento abbastanza uniforme.

Anche per l'area in esame, come per l'area B descritta al paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine ed il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

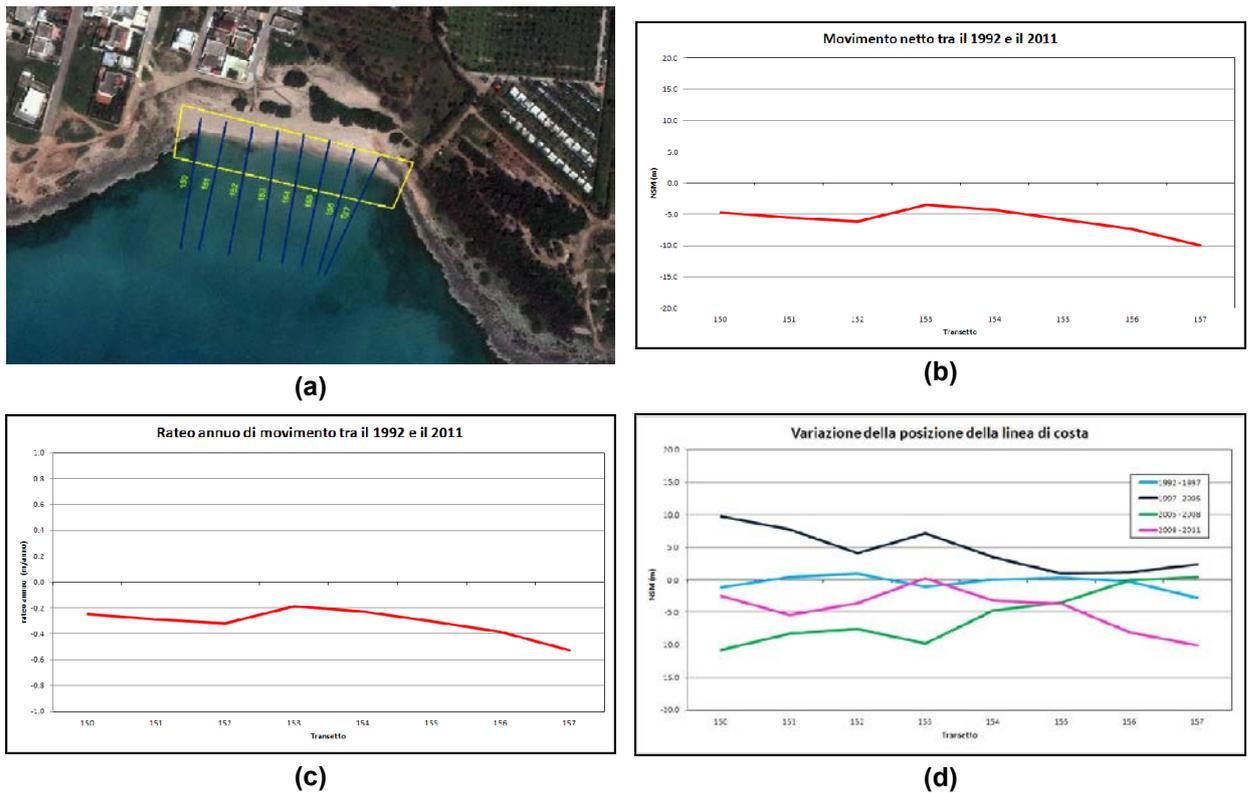


Figura 7.6.1 – Area F: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Nella Tabella 7.6.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-5.92
Variazione media annua (m/anno)	-0.31
Avanzamento massimo (m)	3.53
Arretramento massimo (m)	-10.01
Deviazione standard (m)	2.02

Tabella 7.6.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del litorale.

E' possibile fare una ipotesi di previsione per il futuro basandosi sull'arretramento medio del litorale riscontrato nel periodo 1992 - 2011; assunto l'arretramento medio $R=5.92m$ e il sollevamento medio del livello medio mare



$S=0.106$ m, dalla formula di Bruun si ha un coefficiente di erosione per sollevamento medio mare $R/S = 56$.

Per fare la proiezione futura con $T_r=10$ e con $T_r=50$ anni si può assumere tale valore che però potrebbe risultare cautelativo poiché con l'arretramento della linea di riva sarebbero interessate all'erosione parti della spiaggia emersa con una quota maggiore della spiaggia (termine B della formula di Bruun (4.1.3.1), quindi, con maggiori volumi di sabbia disponibili per sopperire al deficit sedimentario).

Assunta tale ipotesi si avrebbe:

$T_r=10$ anni $R/S=56$ $S=0.056$ m $R = 3$ m

$T_r=50$ anni $R/S=56$ $S=0.305$ m $R = 17$ m

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra i 18 e i 24m, per cui mentre il valore di R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile quello con $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa tra la linea di riva e il piede delle dune.

Da qui la necessità di mettere in atto sul litorale le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

E' da notare che per l'area B (Punta Prosciutto – Punta Grossa), l'area E (Punta Grossa – Torre Castiglione) e l'area F (Camping Torre Castiglione), che hanno una esposizione simile al moto ondoso, il coefficiente R/S della formula di Bruun è praticamente lo stesso, variando da 56 a 60.



7.7 AREE G, H, I, L, M, N, O E P

Tra Torre Castiglione e Torre Lapillo vi sono nove piccole aree sabbiose (G, H, I, L, M, N, O, P) che saranno di seguito analizzate.

Per tutte le suddette aree lo sviluppo delle zone di inondazione da mare è simile a quello analizzato per le aree precedenti, per cui si omette una descrizione di dettaglio, mentre è stata esaminata l'evoluzione della linea di riva.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, tutti i tratti di litorale in esame sono classificati C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

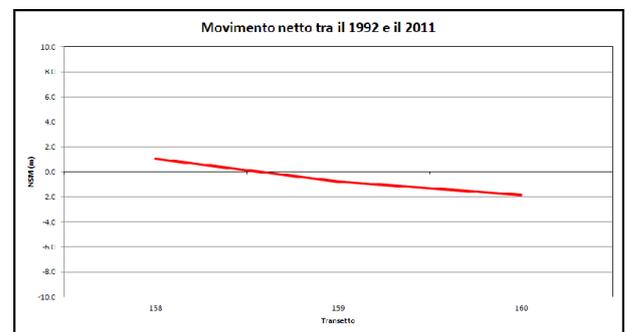
AREA G

Nelle figure 7.7.1 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

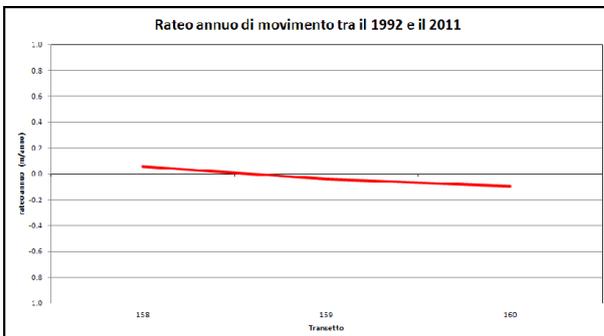
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -0.52m.



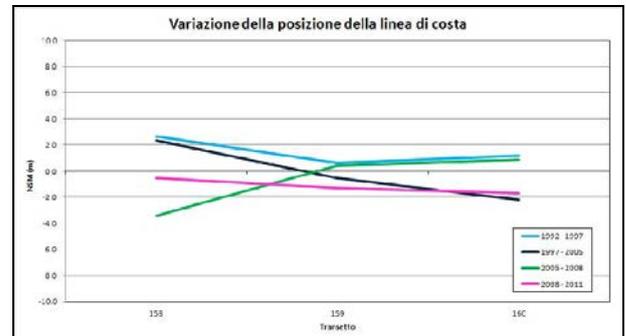
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.1 – Area G: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

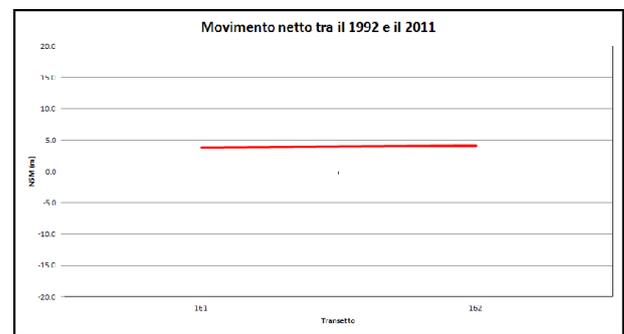
AREA H

Nelle figure 7.7.2 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

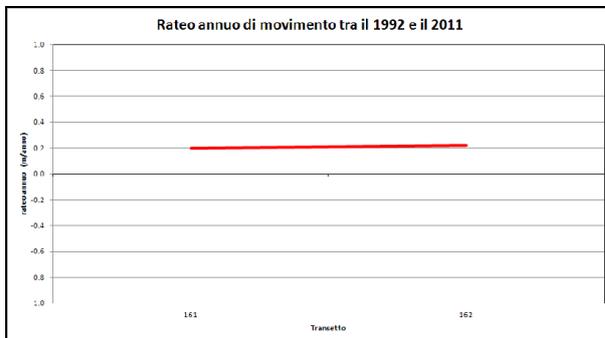
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -3.96m.



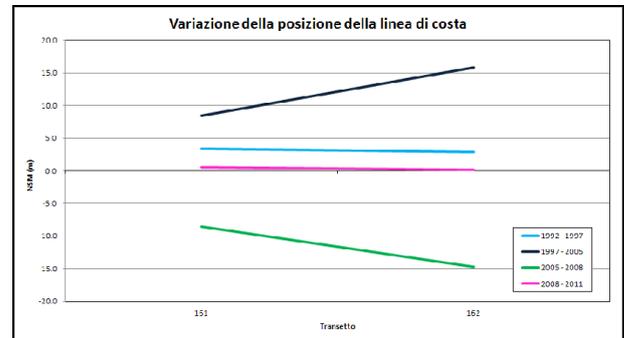
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.2 – Area H: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

AREE I e L

Le differenze medie fra le linee di riva del 2011 e del 1992 per le aree I ed L sono rispettivamente di -1.01m e -12.58m; nella figura 7.7.3 sono riportate le posizioni dei transetti.



Figura 7.7.3 – Aree I - L: posizione dei transetti.

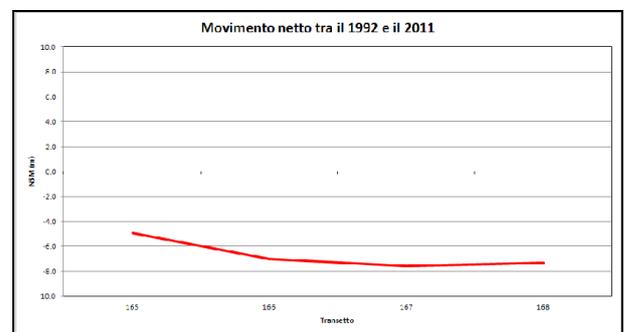
AREA M

Nelle figure 7.7.4 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

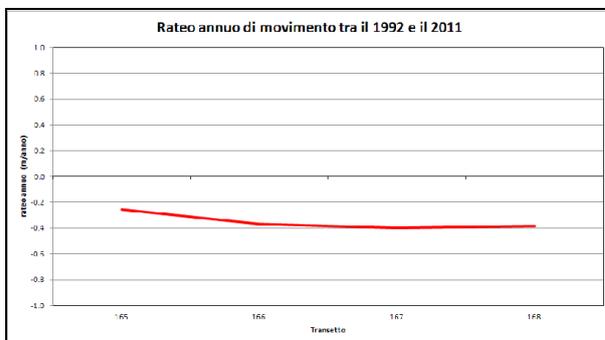
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -6.72m.



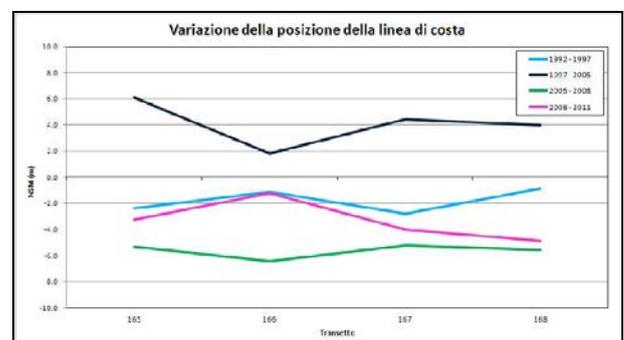
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.4 – Area M: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

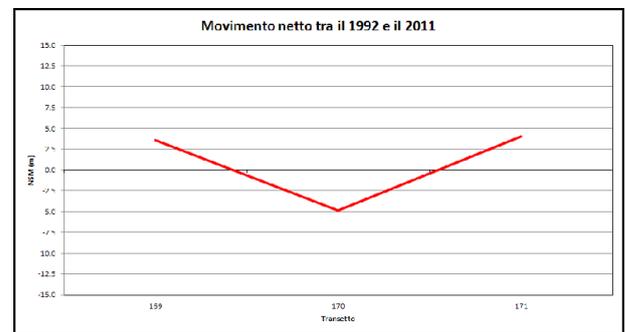
AREA N

Nelle figure 7.7.5 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

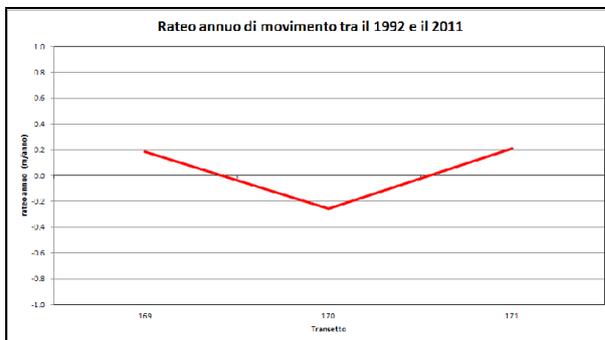
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di 0.91m.



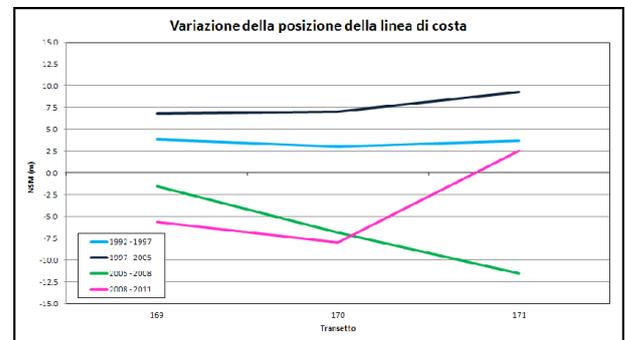
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.5 – Area N: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

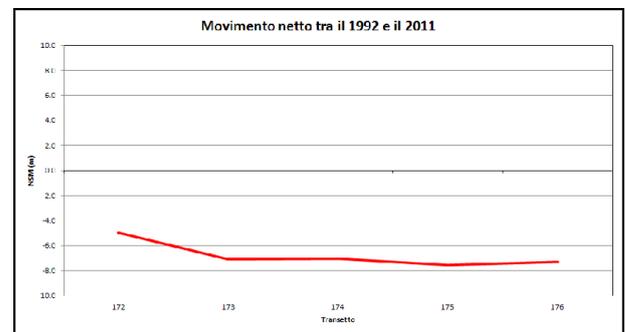
AREA O (Torre Lapillo)

Nelle figure 7.7.6 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

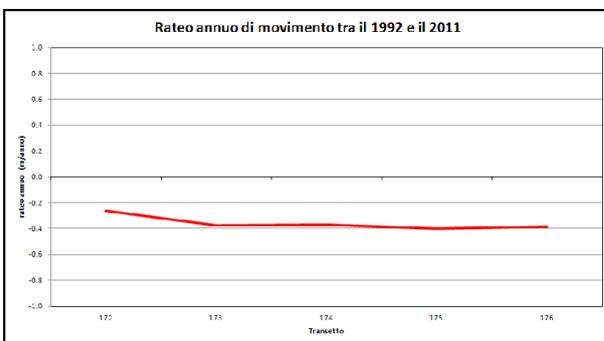
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -4.77m.



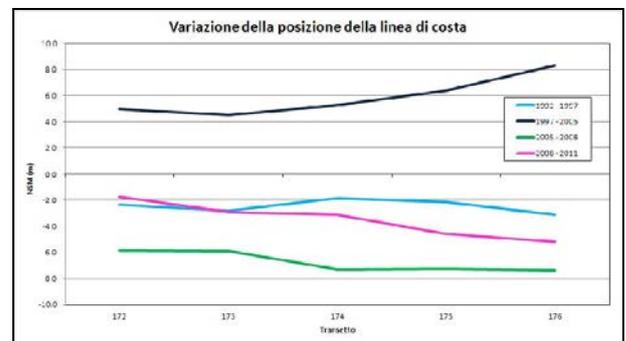
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.6 – Area O: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

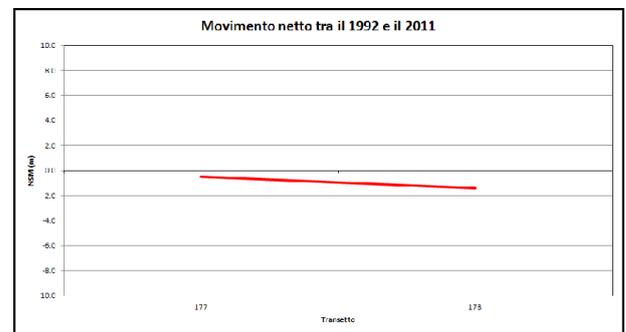
AREA P

Nelle figure 7.7.7 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

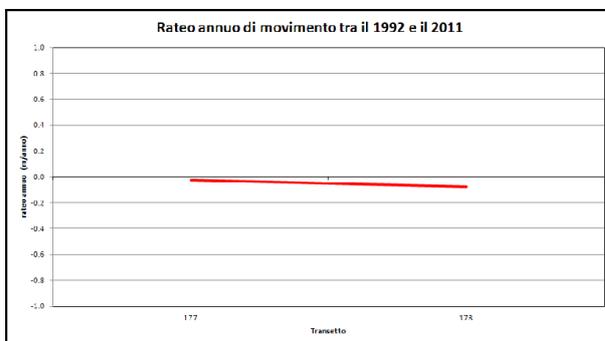
La differenza media fra le linee di riva del 2011 e del 1992 è di -0.96m.



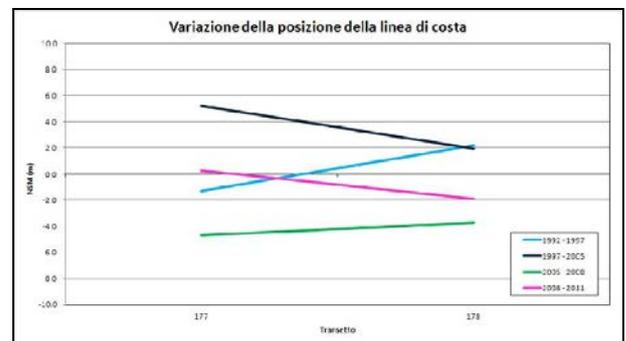
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7.7 – Area P: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

7.8 AREA Q

Il litorale in esame è denominato “Bacino Grande” e parte da Torre Lapillo ed arriva fino al promontorio di fronte all’Isola della Malva.

Nell’area in esame vi è una forte e quasi continua antropizzazione nella zona retrodunale; il cordone dunale è molto compromesso ed assente in molti tratti e, dove presente, vi sono molti varchi.

Tra il cordone dunale e la linea di riva vi sono alcune opere antropiche fisse per la balneazione e anche qualche fabbricato.

Il litorale è molto utilizzato per la balneazione per cui vi sono numerosi lidi e spiagge libere, come si può notare dalla figura 7.8.1 che riporta un’ortofoto estiva del 2008 con l’individuazione dei lidi presenti.

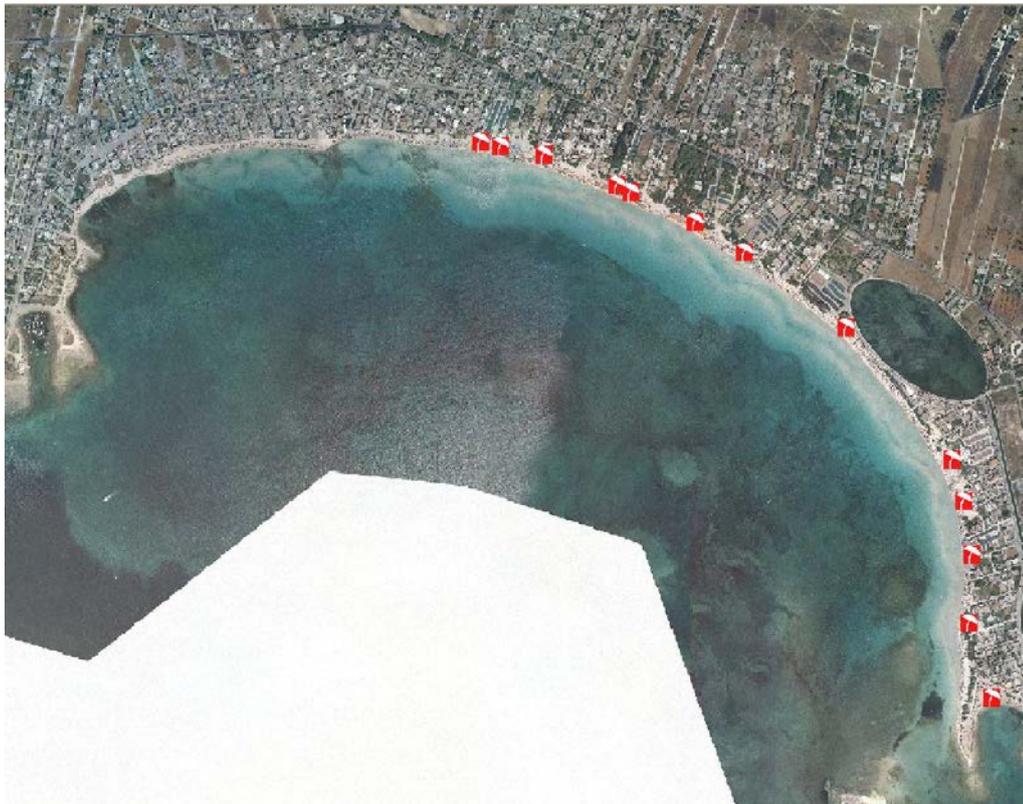


Figura 7.8.1 – Ortofoto estiva del 2008 del Bacino Grande dalla quale si nota la forte fruizione balneare.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo “Aree inondabili_FLO2D” inserito nel GIS.



Nelle figure 7.8.2 e 7.8.3 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e con $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.8.4 e 7.8.5 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e con $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.8.2 e 7.8.3 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che parte dell'arenile a causa dell'innalzamento del livello medio mare e dell'escursioni di marea subirà una maggiore inondazione. Questo determinerà una erosione ed una riduzione della spiaggia emersa fruibile.

Dalle figure 7.8.4 e 7.8.5 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che gran parte dell'arenile sarà interessato dalla risalita del moto ondoso; il cordone dunale, in generale, conterrà la risalita del moto ondoso però si creeranno delle vie di accesso preferenziali per la risalita in corrispondenza dei varchi. Nella zona Ovest del presente tratto di litorale in esame, la risalita potrà interessare tutta la fascia costiera fino alle dune e, attraverso i varchi esistenti, anche parte della retroduna ove sono presenti fabbricati.

Grazie al Consorzio di Gestione dell'Area Marina Protetta di Porto Cesareo – ed in particolare al Direttore dott. Paolo D'Ambrosio che ha fornito numerose informazioni e dati per il presente studio – è stato consultato il *Verbale di sopralluogo* redatto in data 20 ottobre 2010 circa i danni causati dalla mareggiata del 19 ottobre 2010, proveniente dal quadrante Sud.

Nel verbale si legge che la mareggiata *“ha provocato un'importante riduzione della spiaggia emersa nel tratto di costa interessato dagli stabilimenti balneari Goa, Belvedere Lido, Hookipa, Bassamarea e rispettivi tratti di spiaggia libera. In particolare, il fenomeno, sommandosi alle precedenti mareggiate, ha determinato un ulteriore abbassamento del profilo della spiaggia ed un danneggiamento del piede di duna e delle strutture dei suddetti stabilimenti balneari”*. (Vedi Foto)

Nel GIS è riportato il *Verbale di sopralluogo* ed altri dati relativi ad un monitoraggio effettuato nel 2010 su quasi tutti gli arenili; i suddetti dati sono stati forniti sempre dal Consorzio di Gestione dell'Area Marina Protetta di Porto Cesareo.

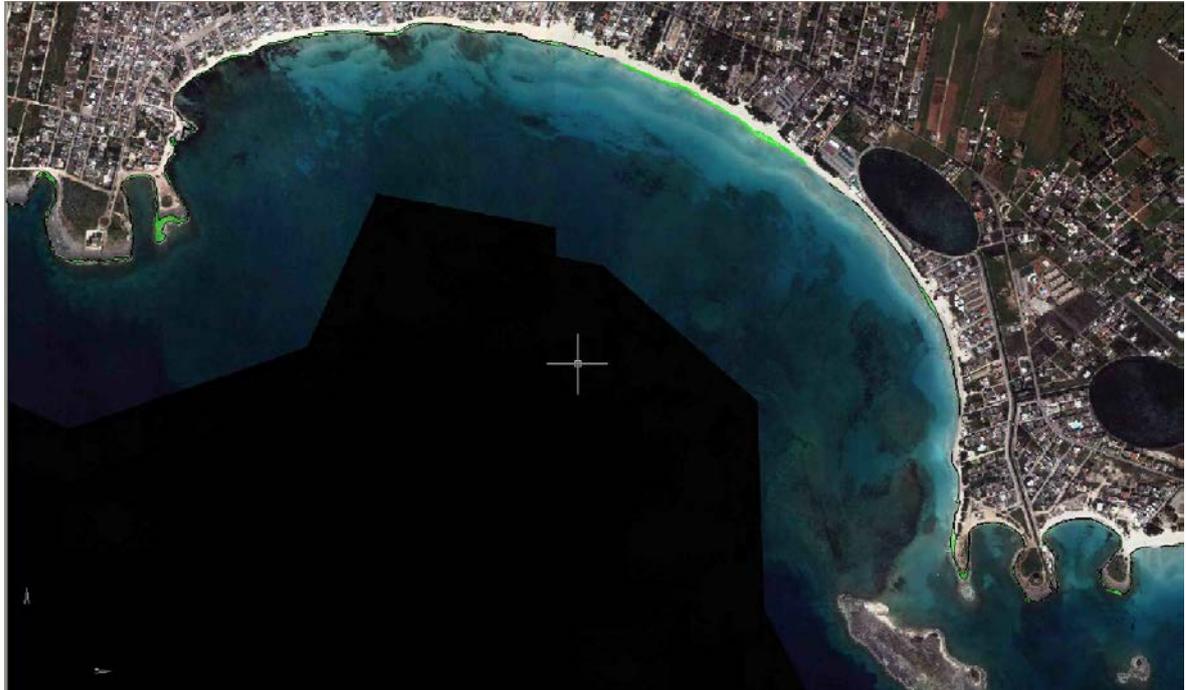


Figura 7.8.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m ($Tr = 10$ anni).

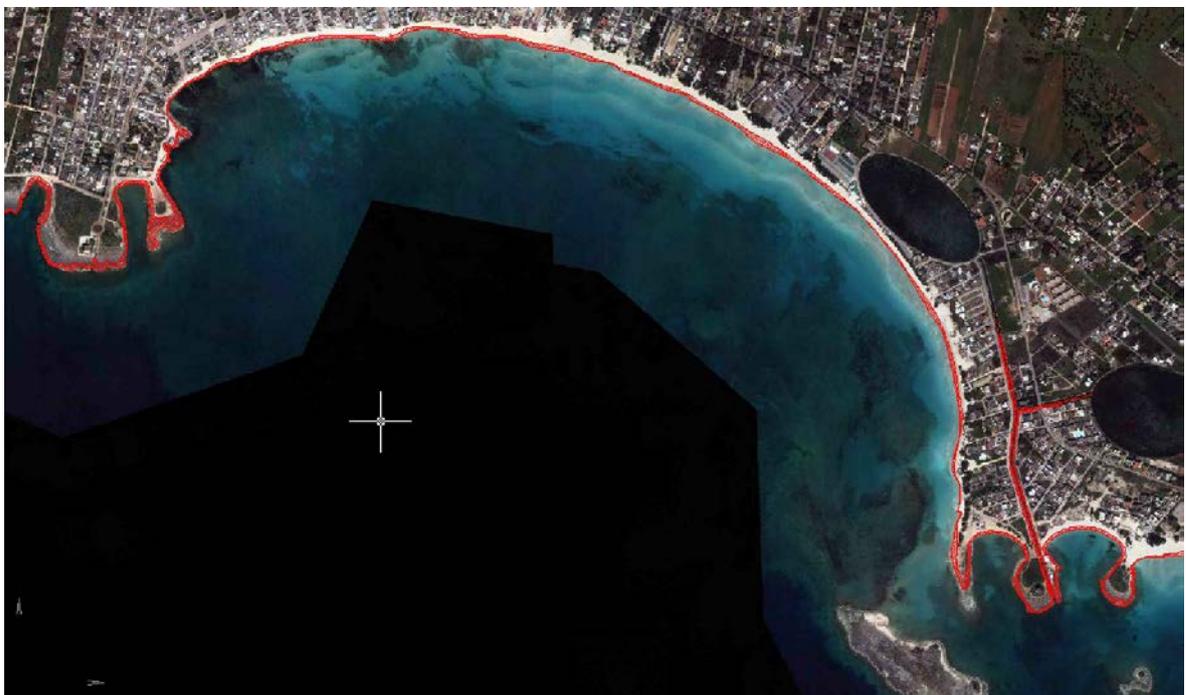


Figura 7.8.3 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m ($Tr = 50$ anni).



Figura 7.8.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 10$ anni).

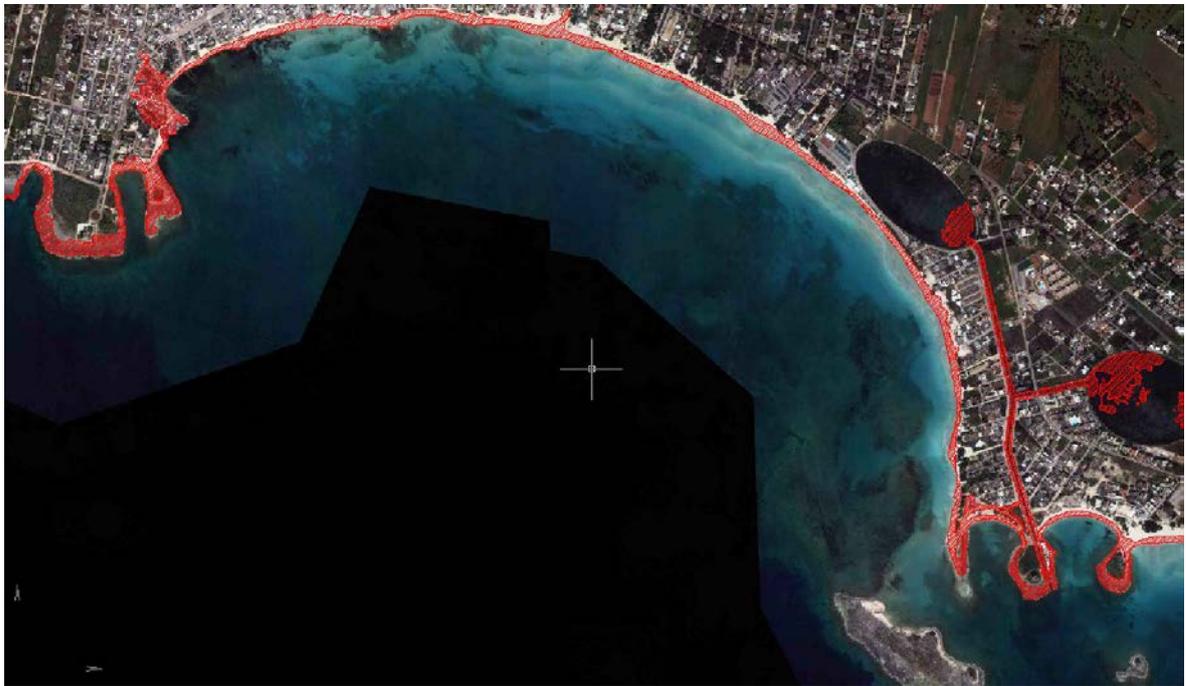


Figura 7.8.5 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 50$ anni).



Nella figura 7.8.6 è riportata un'ortofoto del volo aereo dei primi mesi del 2011 del tratto di litorale su cui sono ubicati gli stabilimenti "Bassamarea" e "Goa"; dalla figura si osserva il colore più scuro della sabbia in corrispondenza della battigia ad indicare che nei giorni precedenti vi era stata una mareggiata.

Nella figura 7.8.7 sono riportate, sulla stessa base cartografica, le zone inondabili ricavate con sollevamento medio mare di 0.06 m, marea meteorologica e wave setup per $T_r = 10$ anni; tali aree inondabili sono molto simili a quelle che si sono verificate negli anni precedenti al 2011 (a meno, ovviamente, del sollevamento medio mare previsto nei prossimi 10 anni pari a 0.06 m, che però è un'aliquota minima rispetto al sollevamento complessivo).

Dal confronto delle figure 7.8.6 e 7.8.7 si può affermare che il modello di inondazione riproduce abbastanza bene il fenomeno. Ovviamente manca in alcuni casi la puntualità della riproduzione, ciò in parte è dovuto sia per il fatto che il DTM del terreno utilizzato non è perfettamente riferito alla data degli eventi, sia per le interpolazioni effettuate sullo stesso per ricavare le quote nei nodi della griglia di calcolo del modello FLO 2D utilizzato, ed infine perché, avendo imposto come input del modello matematico un sollevamento lineare nel tempo del livello medio mare, non si riesce a riprodurre la massima risalita dovuta alle onde di maggiore altezza. Il modello FLO 2D, infatti, riproduce una condizione media di risalita.

Per brevità, non si riportano le foto allegate al già citato *Verbale di sopralluogo* del 20 ottobre 2010 fornito dal Consorzio di Gestione dell'Area Marina Protetta di Porto Cesareo, inserite nel GIS e reperibili da Google, dalle quali si vedono i danni causati dalla risalita del moto ondoso alle dune ancora esistenti ed alle strutture fisse per la balneazione presenti tra le dune e la linea di riva. Da evidenziare che la risalita intesa in modo diretto anche il fabbricato realizzato in piena fascia costiera tra i lidi Belvedere e Goa.

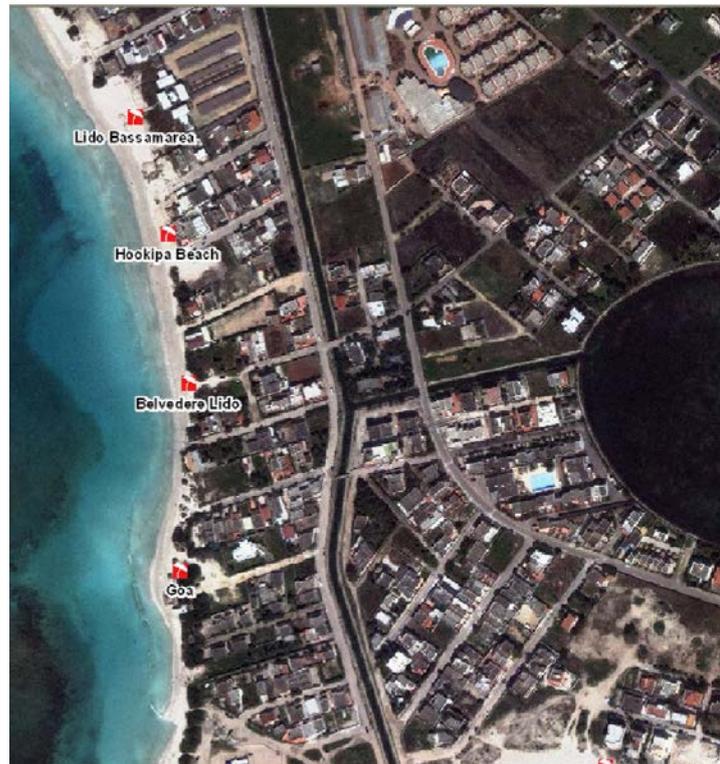


Figura 7.8.6 – Ortofoto del volo dei primi mesi del 2011 del tratto di litorale su cui sono ubicati gli stabilimenti Bassamarea e Goa.

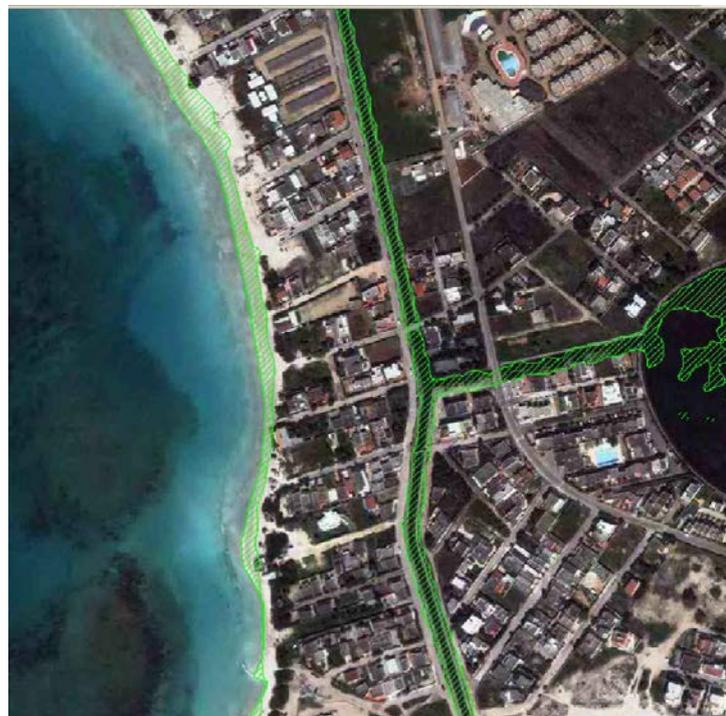


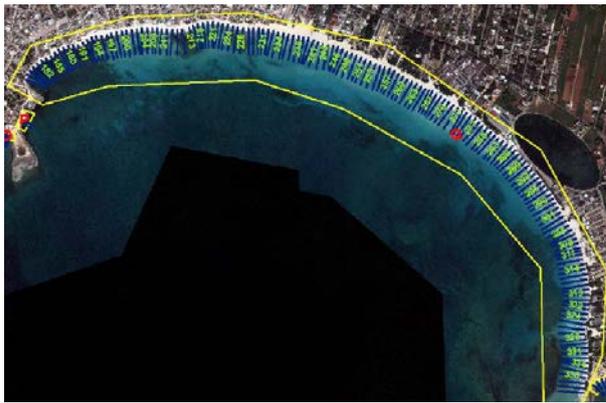
Figura 7.8.7 – Particolare delle zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 10$ anni).



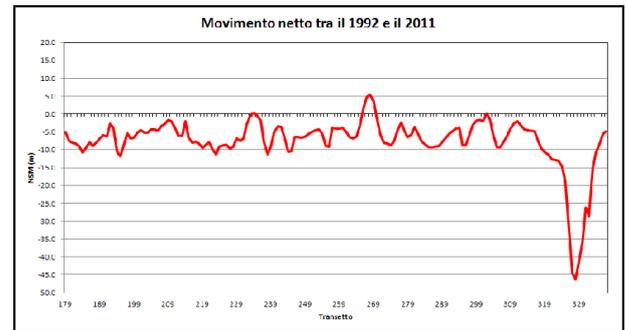
Raccomandazioni:

- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera diminuiscono infatti la “resilienza della spiaggia” e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta e rafforzata prioritariamente sia nella zona ad Ovest, per le criticità già evidenziate, che ad Est dove, come si vedrà in seguito, si è registrato un’erosione maggiore;***
- ***devono essere impediti spianamenti ai piedi delle dune (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l’arretramento della linea di riva;***
- ***vista la situazione critica a causa della ridotta dimensione della fascia costiera sarebbe opportuno che nella gestione dello spiaggiamento di posidonia o. che avviene sui lidi a Ovest del Comune fosse inserito anche il presente tratto di costa ricorrendo a tecniche consolidate, ed utilizzate in altri siti, che prevedono l’impiego della posidonia spiaggiata per la ricostruzione della duna.***

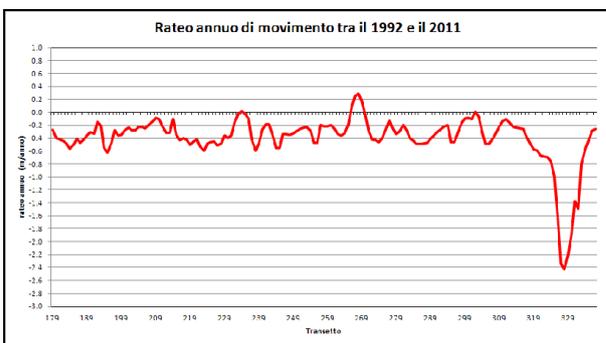
Per quanto riguarda l’evoluzione del litorale nelle figure 7.8.8 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sono sull’evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel “Dati_Linea_di_Riva.xlsx” inserito nel GIS.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.8.8 – Area Q: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

I transetti ricadenti nel presente tratto di litorale in esame vanno dal 179 al 338. Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, tra i transetti 179 e circa il 213 il tratto di litorale è classificato come C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa, mentre dal transetto 214 al 337 come C2, ossia con criticità media; in particolare per questo ultimo tratto la criticità media derivava principalmente dal forte degrado storico del cordone dunale.

Come è stato evidenziato in un recente studio (*Geo Data Service s.r.l. (2010)*), nel profilo della spiaggia sommersa fino alla profondità di chiusura (circa 5.4 m), il fondale marino non è sempre costituito da sabbia, ma vi sono zone con presenza di calcarenite. Tra la linea di riva e circa la batimetrica -3.0m vi è presenza continua di sabbia con pendenza del profilo molto bassa.



Dalle figure 7.8.8 si nota che tutto il litorale, con eccezione di alcuni transetti, nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento, che si è manifestato in modo molto marcato nella parte Est a partire da circa il transetto 311.

La generale tendenza all'arretramento è confermata dai dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 per tutti i transetti (179-338) (tabella 7.8.1).

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-7.57
Variazione media annua (m/anno)	-0.40
Avanzamento massimo (m)	5.51
Arretramento massimo (m)	-46.20
Deviazione standard (m)	7.25

Tabella 7.8.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento di tutto il litorale.

Anche per l'area in esame, come per l'area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine ed il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

E' possibile fare una ipotesi di previsione per il futuro basandosi sull'arretramento medio del litorale riscontrato nel periodo 1992 - 2011; assunto l'arretramento medio $R=7.57$ m ed il sollevamento del livello medio mare medio $S=0.106$ m, dalla formula di Bruun si ha un coefficiente di erosione per sollevamento medio mare $R/S = 71$.

Assunta tale ipotesi si avrebbe:

$T_r=10$ anni $R/S=71$ $S=0.056$ m $R = 4$ m

$T_r=50$ anni $R/S=71$ $S=0.305$ m $R = 22$ m

L'importanza della presente area del Bacino Grande e la diversa esposizione al moto ondoso lungo l'intera falcata, ha portato ad eseguire una analisi di dettaglio dividendo l'intero settore in 6 tratti.

7.8.1 PRIMO TRATTO

E' la parte ovest della falcata (dai transetti 179 e 213).

Nella figura 7.8.1.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011, da cui si evince che il tratto di litorale in esame, come si è visto al paragrafo 3.2, è esposto al moto ondoso da Sud mentre è in parte coperto dalle mareggiate provenienti dal III quadrante.

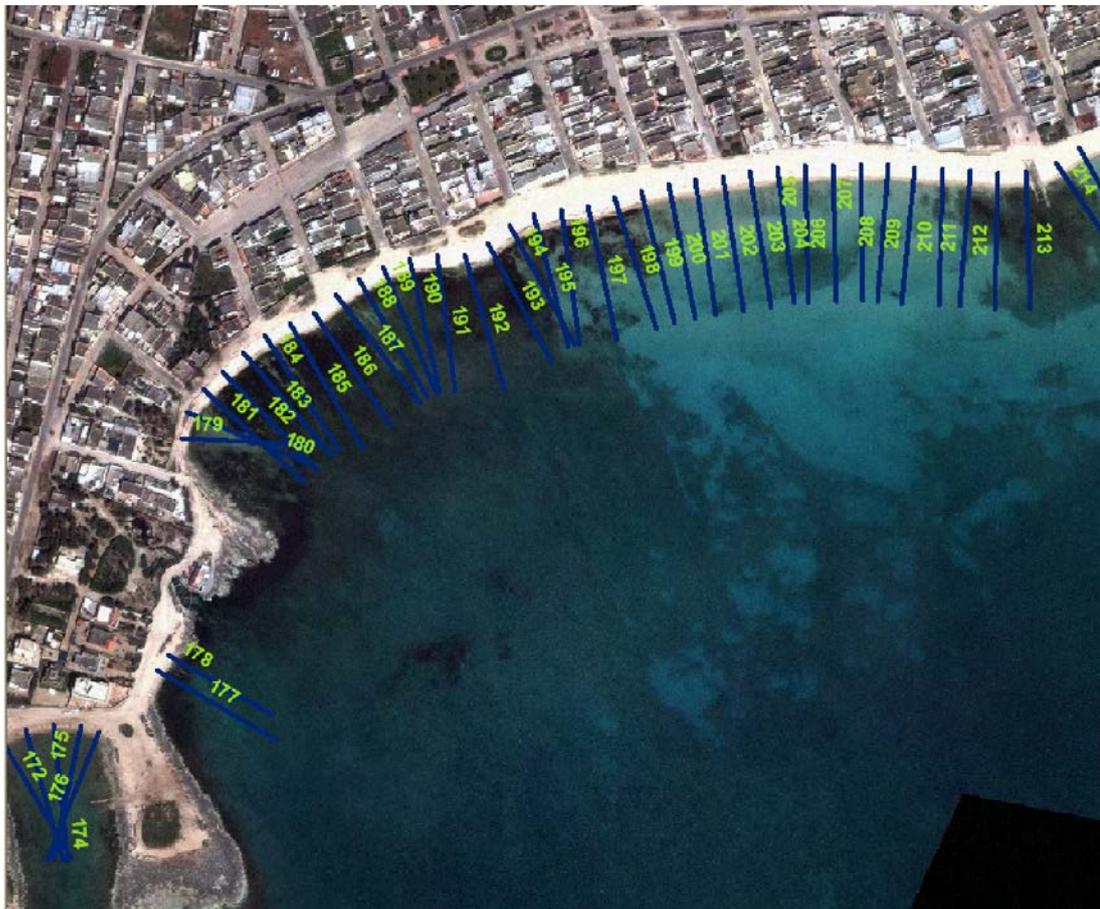


Figura 7.8.1.1 – Primo Tratto del Bacino Grande.

Come detto innanzi, nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC) il tratto è classificato come C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

Sul presente tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.1.1, non vi sono lidi e la spiaggia è di pubblica fruizione.



Nella tabella 7.8.1.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.24
Variazione media annua (m/anno)	-0.33
Arretramento minimo (m)	-1.61
Arretramento massimo (m)	-11.79
Deviazione standard (m)	2.54

Tabella 7.8.1.1 – Dati sintetici dell’erosione/ripascimento del I tratto del Bacino Grande.

I dati denunciano un arretramento della linea di riva, anche se inferiore a quella media di tutto il litorale. I valori maggiori dell’arretramento si hanno nei primi transetti del tratto ove, come si è visto, la zona inondabile è maggiore.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=59 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 4\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=59 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 18\text{m}$$

E’ da tener presente che l’attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, è in media di 25m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa fruibile.

7.8.2 SECONDO TRATTO

Il secondo tratto comprende i transetti da 180 a 241. Nella figura 7.8.2.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011. Il presente tratto, come si è visto al paragrafo 3.2, è investito ortogonalmente dalle mareggiate provenienti da Sud, mentre quelle provenienti del terzo quadrante incidono la costa con un angolo di inferiore a 90° per cui, in quest'ultimo caso, si instaurano correnti longitudinali dirette verso Est.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, la prima parte del tratto di litorale in esame, tra i transetti 214 e 223, è classificata C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa, mentre la seconda parte, tra i transetti 92 – 94, è classificata C2, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo media.

Sul tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.2.1, la spiaggia ad Ovest è libera, mentre ad Est vi sono alcuni lidi.

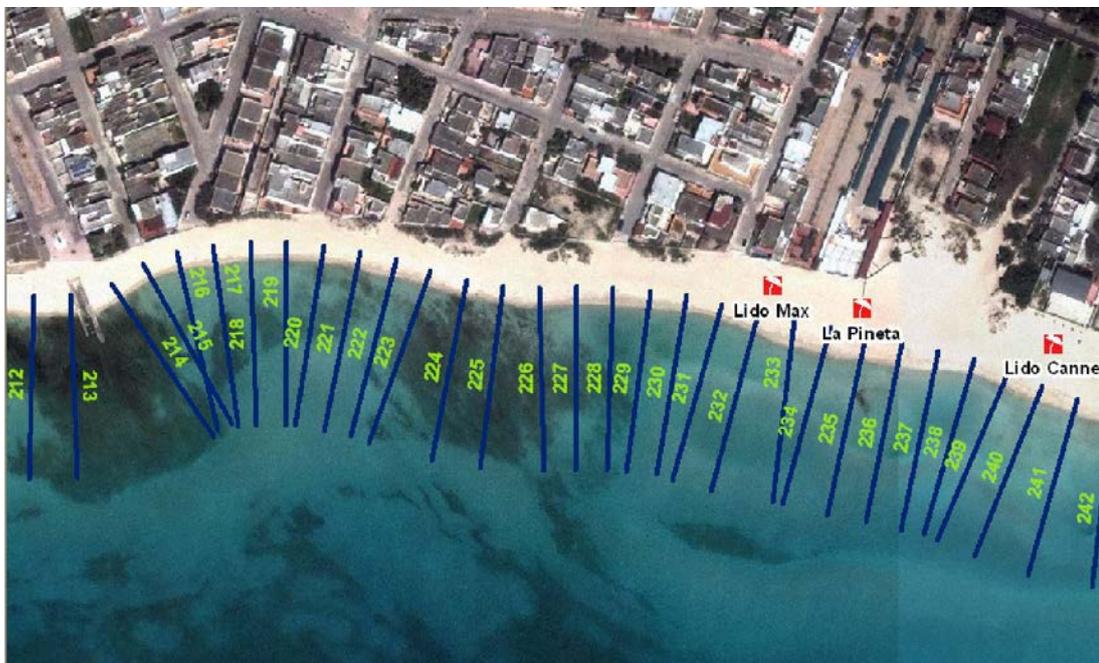


Figura 7.8.2.1 – Secondo tratto del Bacino Grande.

Nella tabella 7.8.2.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.



I dati denunciano un arretramento della linea di riva, anche se inferiore a quella media di tutto il litorale.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.85
Variazione media annua (m/anno)	-0.36
Avanzamento massimo (m)	0.36
Arretramento massimo (m)	-11.26
Deviazione standard (m)	3.39

Tabella 7.8.2.1 – *Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del secondo tratto del Bacino Grande.*

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=65 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 4\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=65 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 20\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 22 e 30m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo significativo la spiaggia emersa fruibile.

7.8.3 TERZO TRATTO

Il terzo tratto comprende i transetti da 242 a 274. Nella figura 7.8.3.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011.

Il tratto, come si è visto al paragrafo 3.2, è investito ortogonalmente dai moti ondosi provenienti da Sud e con un angolo di incidenza inferiore a 90° da quelli provenienti del III quadrante, per cui in questo caso si hanno correnti longitudinali dirette verso Est.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC) il tratto è classificato come C2, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo media.

Sul tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.3.1, vi sono diversi lidi alternati a spiagge libere.

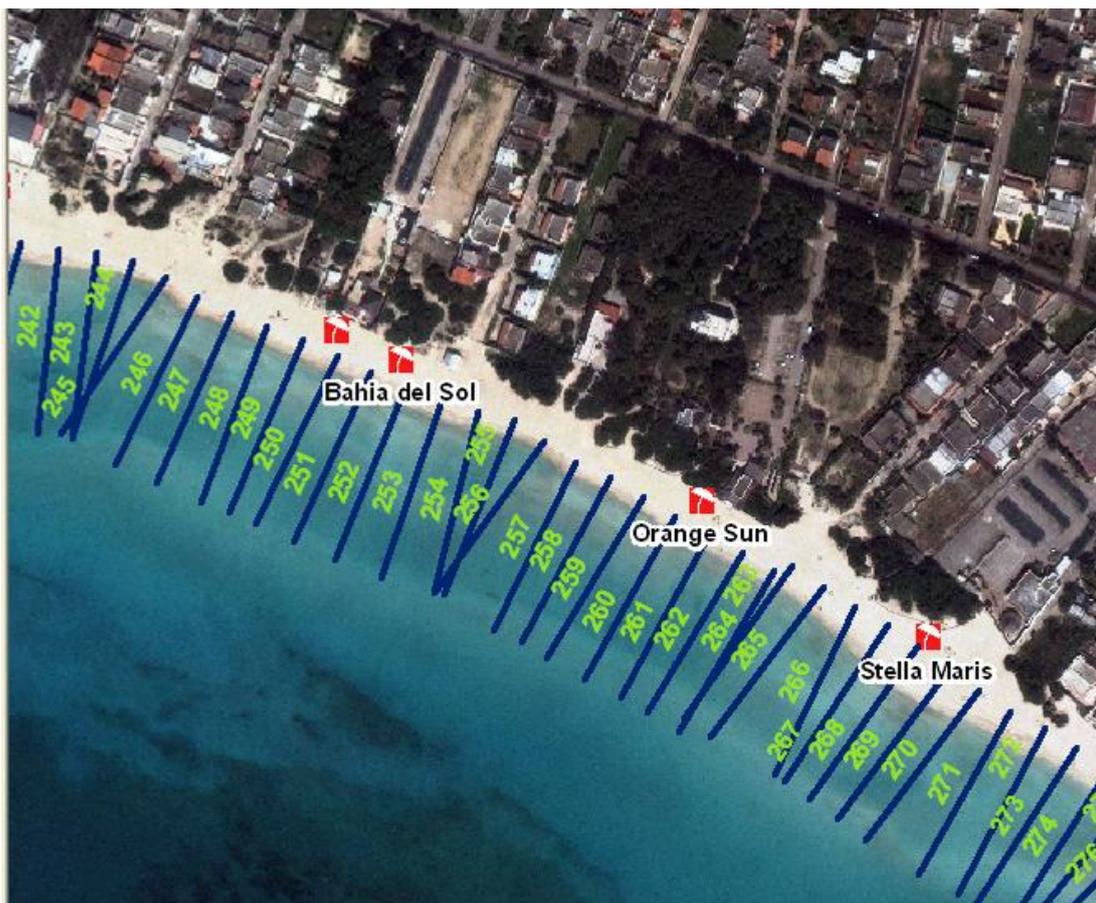


Figura 7.8.3.1 – Terzo tratto del Bacino Grande.

Nella tabella 7.8.3.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-4.80
Variazione media annua (m/anno)	-0.25
Avanzamento massimo (m)	5.51
Arretramento massimo (m)	-10.59
Deviazione standard (m)	3.85

Tabella 7.8.3.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del terzo tratto del Bacino Grande.

I dati denunciano un arretramento della linea di riva, anche se in misura inferiore a quella media di tutto il litorale e dei tratti precedenti.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=45 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 3\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=45 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 14\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 25 e 30m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo significativo la spiaggia emersa fruibile.

7.8.4 QUARTO TRATTO

Il quarto tratto è la parte centrale del Bacino Grande, comprende i transetti da 275 a 299.

Nella figura 7.8.4.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011.

Come detto innanzi, nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC) il tratto è classificato come C2, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo media.

Il tratto, come si è visto al paragrafo 3.2, è investito con un angolo di incidenza superiore a 90° dai moti ondosi provenienti da Sud e con un angolo di incidenza inferiore a 90° da quelli provenienti del III quadrante, per cui si hanno correnti longitudinali dirette sia verso Ovest che verso Est.

Sul tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.4.1, vi è un lido con infrastrutture fisse tra la duna e la linea di riva.

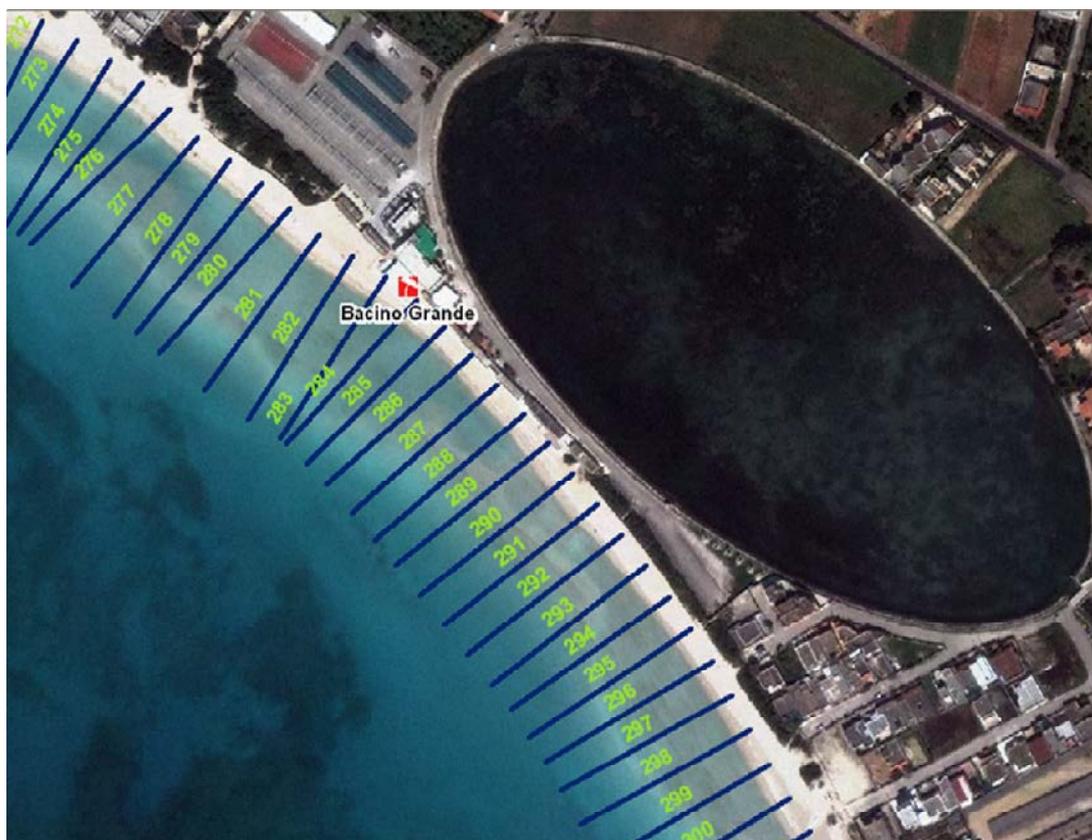


Figura 7.8.4.1 – Quarto tratto del Bacino Grande.

Nella tabella 7.8.4.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.19
Variazione media annua (m/anno)	-0.33
Arretramento minimo (m)	-1.86
Arretramento massimo (m)	-9.33
Deviazione standard (m)	2.31

Tabella 7.8.4.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del quarto tratto del Bacino Grande.

I dati denunciano un arretramento della linea di riva, anche se inferiore a quella media di tutto il litorale.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=58 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 3\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=58 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 18\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 15 e 20m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa fruibile.

7.8.5 QUINTO TRATTO

Il quinto tratto comprende i transetti da 300 a 323. Nella figura 7.8.5.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), la prima parte del tratto in esame, dal transetto 300 al transetto 316, è classificata come C2, ossia con criticità media, mentre la seconda parte è classificata C3, ossia criticità bassa.

Il tratto, come si è visto al paragrafo 3.2, è parzialmente coperto dall'Isola della Malva ai moti ondosi provenienti da Sud, mentre è investito in pieno dai moti ondosi provenienti del III quadrante, per cui si hanno correnti longitudinali prevalenti dirette verso Est.

Sul tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.5.1, vi sono diversi lidi con alcune infrastrutture fisse tra la duna e la linea di riva, alcune spiagge libere e, infine, un fabbricato, a Sud del lido Belvedere, che oggi è in prossimità della linea di riva e, come si è visto in precedenza, è investito già all'attualità dalla risalita del moto ondoso.



Figura 7.8.5.1 – Quinto tratto del Bacino Grande.



Nella tabella 7.8.5.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.29
Variazione media annua (m/anno)	-0.33
Avanzamento massimo (m)	0.09
Arretramento massimo (m)	-13.10
Deviazione standard (m)	4.00

Tabella 7.8.5.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del quinto tratto del Bacino Grande.

I dati denunciano un arretramento della linea di riva, anche se inferiore a quella media di tutto il litorale, con valori che superano i 10 m a partire dal Lido Belvedere verso Est. Ciò, come vedremo in seguito per il sesto tratto, dipende dalla bassa altezza della spiaggia sommersa e dalla piccola pendenza della spiaggia, che viene inondata anche con piccoli sollevamenti del livello del mare. A ciò deve aggiungersi l'azione delle correnti longitudinali che tendono a trasportare i sedimenti verso Sud senza esserci un compenso per l'assenza di correnti longitudinali dirette verso Nord.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=59 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 3\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=59 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 18\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 15 e 18m, mentre è di appena qualche metro in corrispondenza del fabbricato citato; alla luce di tale stato di fatto, mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora in generale accettabile, eccetto che per il fabbricato, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa fruibile.

7.8.6 SESTO TRATTO

Il sesto tratto comprende i transetti da 324 a 338. Nella figura 7.8.6.1 è riportato uno stralcio dell'ortofoto del 2011.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC) il tratto è classificato come C3, ossia con criticità bassa. Come si è già detto, e come si vedrà meglio nel seguito, a partire dal 2005, ultima ortofoto analizzata nella redazione del PRC, fino al 2011 nel presente tratto di litorale si è avuta una fortissima erosione a causa principalmente del sollevamento del livello medio mare.

Il tratto, come si è visto al paragrafo 3.2, è coperto dall'Isola della Malva dai moti ondosi provenienti da Sud mentre è investito in pieno dai moti ondosi provenienti del III quadrante, per cui instaurano correnti longitudinali prevalenti dirette verso Sud.

Sul tratto di litorale, come si vede dalla figura 7.8.6.1, nel 2011 vi era il lido Goa, con alcune infrastrutture fisse tra la duna e la linea di riva, mentre il resto era spiaggia libera.



Figura 7.8.6.1 – Sesto tratto del Bacino Grande.



Nella tabella 7.8.6.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-22.19
Variazione media annua (m/anno)	-1.17
Arretramento minimo (m)	-1.79
Arretramento massimo (m)	-46.20
Deviazione standard (m)	15.12

Tabella 7.8.6.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del sesto tratto del Bacino Grande.

I dati denunciano un forte arretramento della linea di riva, di cui nel seguito sarà fatta una analisi, con il massimo di arretramento in corrispondenza del lido Goa.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte in precedenza, si potrebbero avere i seguenti arretramenti della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=209 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 3\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=209 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 18\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 10 e 15m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora in generale accettabile, eccetto che per il fabbricato, quello relativo a $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa fruibile tendendo a spianare il piccolo promontorio dove è allocato il lido Goa.



Si ritiene necessario fare ulteriori considerazioni sull'evoluzione della linea di riva sia del quinto che del quarto tratto, che per alcuni aspetti sono comuni per le altre aree.

Su questi due tratti si hanno le seguenti condizioni particolari:

- l'altezza della spiaggia emersa è molto più bassa degli altri tratti, come si nota dalle aree inondabili che, in media, sono molto più ampie;
- la pendenza del profilo di spiaggia è molto più basso, con accumuli di sabbia ai bassi fondali;
- vi è una corrente longitudinale prevalente diretta verso Sud per cui il bilancio sedimentario risulta quasi sempre negativo;
- l'antropizzazione della fascia costiera e del cordone dunale è molto marcata.

Tutte queste condizioni hanno portato alla criticità evidenziata nel momento in cui si è avuto il sollevamento del livello del mare ed il litorale è stato investito da intense mareggiate, vedasi quanto detto per l'area B nel paragrafo 7.2.

Nelle figure 7.8.6.2 e 7.8.6.3 sono riportate due ortofoto di tali tratti di costa reperite da Google Earth, riprese il 29/03/2004 ed il 10/10/2004.

Nella prima figura, in ragione del basso livello medio mare locale che si registra nel paraggio nei mesi primaverili, si nota una fascia costiera molto ampia, specie sul promontorio sul quale è posizionato il lido Goa; nella seconda figura, con il ritorno del normale livello medio mare, e per la bassa pendenza della spiaggia, la fascia costiera è molto ridotta a causa del notevole arretramento della linea di riva.

Le due figure evidenziano la forte dipendenza della linea di riva dal livello del mare per cui a partire dal 2008, quando si è incominciato ad avere l'innalzamento del livello medio mare, si è avuto un progressivo e naturale arretramento della linea di riva.

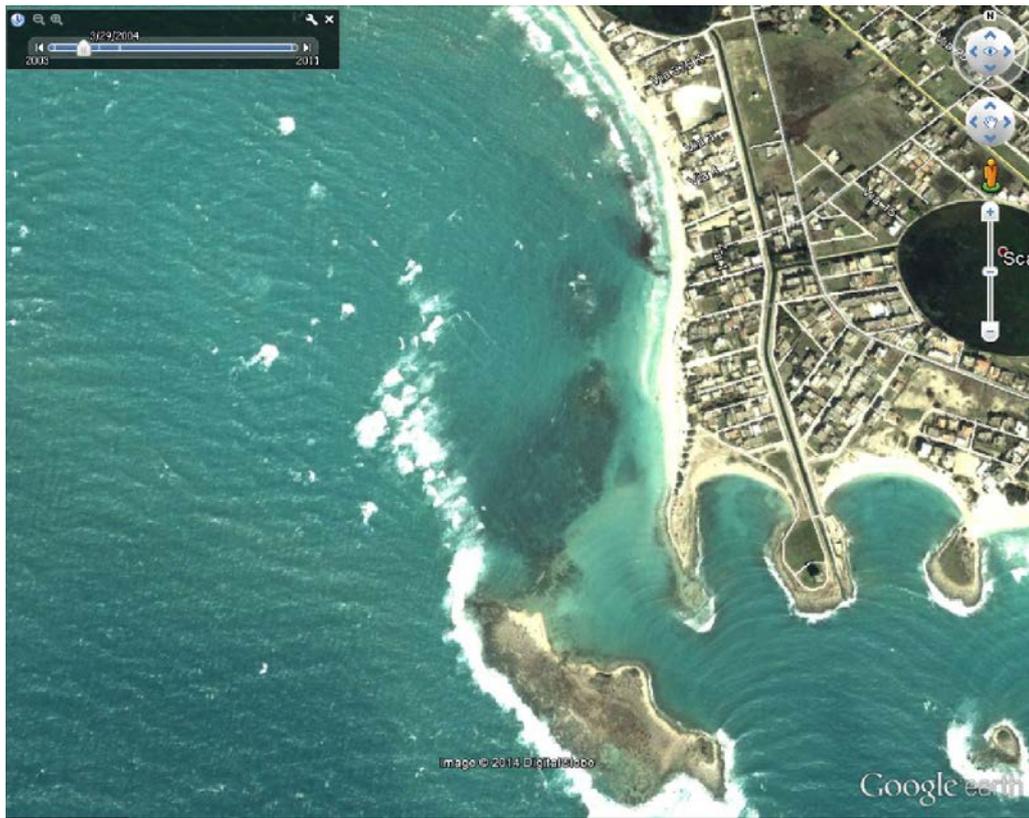


Figura 7.8.6.2 – Ortofoto ripresa il 29/03/2004 (Google Earth).

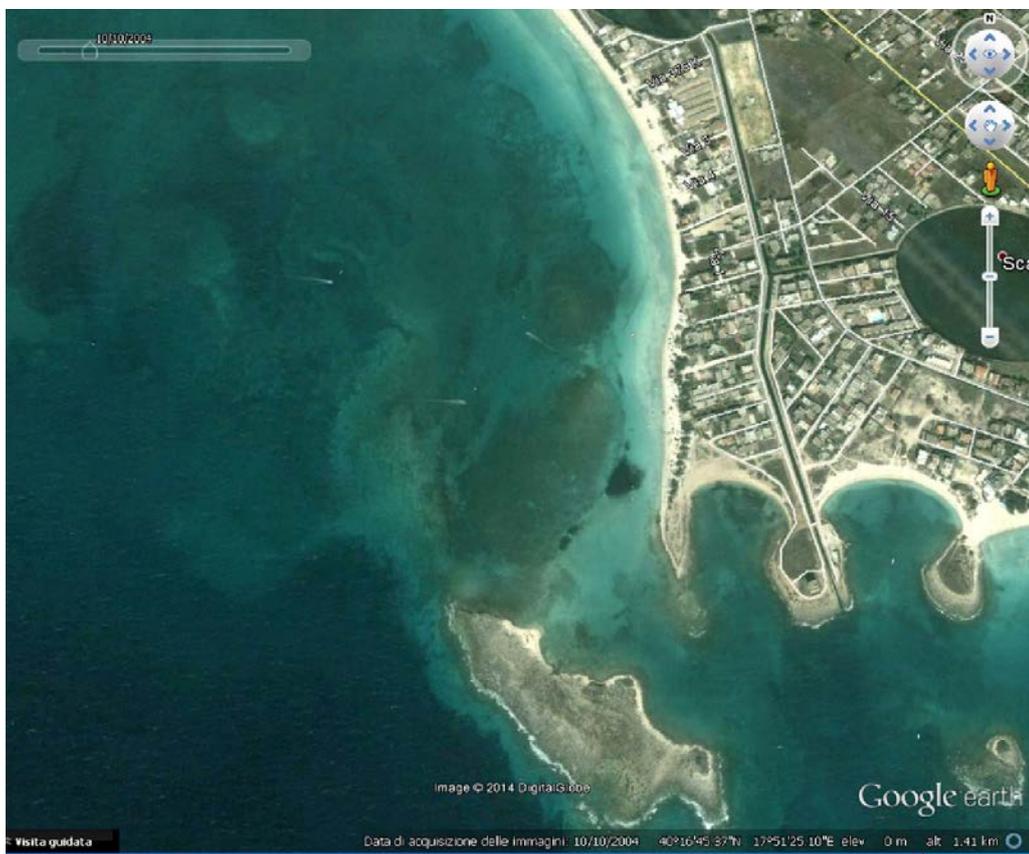


Figura 7.8.6.3 – Ortofoto ripresa il 10/10/2004 (Google Earth).

Dalle ortofoto riportate nelle figure precedenti, e da tutte le altre ortofoto storiche analizzate, lungo il litorale in esame si nota un trasporto verso Sud dei sedimenti che vanno a depositarsi in parte sui fondali del canale che divide il litorale dall'Isola della Malva, ed in parte sulla costa Nord della stessa Isola.

Questi sedimenti, trasportati verso Sud dalle correnti longitudinali prevalenti, rappresentano una perdita netta per il litorale.

Nella figura 7.8.6.4 è riportata la batimetria dei fondali, con curve batimetriche di passo un metro, sulla base cartografica dell'ortofoto del 2005 dalla quale si può osservare la direzione del moto ondoso. La diffrazione provocata dall'Isola della Malva ed i bassi fondali in corrispondenza del canale di separazione dalla costa, determinano una rotazione del moto ondoso proveniente dal III quadrante che genera una corrente longitudinale diretta verso Sud.



Figura 7.8.6.4 –Ortofoto del 2005: batimetria e moto ondoso proveniente dal III quadrante.



Gli arretramenti degli arenili nei tratti 5 e 6 avvenuti dal 2008 al 2010, per i notevoli risvolti socio-economici che comportavano, avevano allarmato molto sia gli amministratori locali che i gestori dei lidi tanto che nel 2010 veniva commissionato alla Geo Data Service s.r.l. la *“Indagine geoambientale delle spiagge di Porto Cesareo – Punta Prosciutto”* e, successivamente, dal febbraio all’aprile del 2011, per far fronte alla situazione di crisi, veniva eseguito un ripascimento del litorale dal lido Bassamarea al lido Goa seguendo la procedura di urgenza individuata dalla Circolare AOO 108 del 13.05.2010 prot. n. 9388 e dalla informativa AOO 108 del 14.06.2010 prot. n. 11976 della Regione Puglia - Assessorato alla qualità dell’Ambiente - Servizio Demanio e Patrimonio – Ufficio Demanio Marittimo.

Dettagli sul ripascimento e sui volumi di sabbia impiegata non si sono reperiti, mentre da informazioni assunte da siti quale Google e per le vie brevi, si è appreso che parte della sabbia impiegata proveniva da lidi di altra regione e parte, come indicato nello studio della Geo Data Service s.r.l., da sabbia prelevata dalle barre sommerse del litorale.

Si trattava di un intervento straordinario per far fronte alle esigenze della stagione estiva del 2011 come esplicitamente indicato nella relazione della Geo Data Service s.r.l.: *“La risistemazione delle spiagge arretrate con ripascimenti di sabbie provenienti dalle barre sommerse può rappresentare solo una soluzione stagionale e temporanea non essendo possibili interventi strutturali con i materiali disponibili in loco”*. La relazione proseguiva auspicando, peraltro, *“un piano organico di studi e di successive azioni ed interventi che deve essere realizzato attraverso la redazione del Piano delle Coste del Comune di Porto Cesareo”*.

Il ripascimento temporaneo, eseguito come si è detto con volumi di sabbia limitati, subì un primo arretramento con una mareggiata del 01 settembre 2011, e poi altri successivi tanto da vanificare l’intervento.



7.8.7 CONSIDERAZIONI FINALI SULL'AREA Q

Nella tabella 7.8.7.1 sono riassunti gli arretramenti medi osservati sui singoli tratti dal 1992 al 2011, nonché quelli che si potrebbero avere nei periodi 2011-2021 ($T_r=10$ anni) e 2011-2061 ($T_r=50$ anni).

Area Q - Bacino Grande			
Tratto	Arretramento Medio nel periodo 1992-2011 (m)	Arretramento Possibile nel periodo 2011-2021 (m)	Arretramento Possibile nel periodo 2011-2061 (m)
1	6	3	18
2	7	4	20
3	5	3	14
4	6	3	18
5	6	3	18
6	22	12	64

Tabella 7.8.7.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del Bacino Grande.

Fermo restando la **necessità di mettere in atto le raccomandazioni fatte in generale e sui singoli tratti per quanto riguarda le zone inondabili**, per far fronte all'erosione del litorale **occorre effettuare una gestione unitaria e condivisa** con tutti i soggetti, pubblici e privati, interessati allo sviluppo socio-economico del litorale.

In questa ottica **devono essere evitati Interventi singoli e puntuali** quali la messa in opera di sacchi di sabbia disposti longitudinalmente e/o trasversalmente alla linea di riva, di cui oggi è disseminato il litorale, i quali, vista la dinamica dei sedimenti, quasi sempre non fanno altro che spostare l'erosione alle spiagge contigue.



Visto la carenza di sedimenti nella spiaggia sommersa, la forte antropizzazione della spiaggia emersa, ed il sollevamento del livello medio mare, è molto improbabile un naturale avanzamento della linea di riva nei prossimi anni per cui è **necessario programmare su tutto il litorale un ripascimento artificiale non protetto di adeguate dimensioni** con sabbia ambientalmente compatibile, da reperire da fonti esterne ai litorali di Porto Cesareo. Tra questi potrebbe essere valutata la possibilità di recuperare la sabbia erosa dal quarto, quinto e sesto tratto, ed accumulatasi negli anni sulla costa Nord dell'Isola della Malva. Allo scopo occorre fare dei rilievi di dettaglio per valutare la quantità dei sedimenti accumulati che, dopo le opportune analisi, potrebbero essere utilizzati per il ripascimento periodico delle spiagge dalla mezzeria del tratto in esame, Bacino Grande, verso Est.

Inoltre, vista la forte dinamicità dei sedimenti e delle varie forzanti, **è necessario effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.**



7.9 AREE R - S

I litorali delle due aree sono concavi e posti rispettivamente a sinistra ed a destra di Torre Chianca.

Nelle due aree il cordone dunale è abbastanza compromesso, sono presenti numerosi varchi, di cui alcuni ampi, e qualche spianamento o sollevamento tra il cordone dunale e la linea di riva; inoltre sono presenti due lidi, uno dei quali, quello nell'area R, con struttura fissa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nelle figure 7.9.1 e 7.9.2 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.9.3 e 7.9.4 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.9.1 e 7.9.2 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che parte dell'arenile a causa dell'innalzamento del livello medio mare e dell'escursioni di marea subirà una maggiore inondazione. Ciò determinerà una erosione e una riduzione della spiaggia emersa fruibile.

Dalle figure 7.9.3 e 7.9.4 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che per l'area R l'arenile è quasi tutto interessato dalla risalita del moto ondoso; con $T_r=50$ anni il cordone dunale non riuscirà a contenere la risalita del moto ondoso per cui vi saranno inondazioni anche nella zona retrodunale. Nella zona Est dell'area R sembra che le sponde del canale di bonifica non riescano a contenere la corrente con la sezione attuale. Per l'area S la risalita del moto ondoso è minore ed è contenuta dal cordone dunale.



Figura 7.9.1 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).



Figura 7.9.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).



Figura 7.9.3 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 10$ anni).



Figura 7.9.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($Tr = 50$ anni).



Raccomandazioni:

- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera, come quella presente nell'area R, diminuiscono infatti la "resilienza della spiaggia" e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta e rafforzata prioritariamente sia nella zona ad Ovest, per le criticità già evidenziate, che ad Est dove, come si vedrà in seguito, si è registrato un'erosione maggiore;***
- ***devono essere impediti spianamenti o sollevamenti ai piedi delle dune, come nel caso dell'area R (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l'arretramento della linea di riva.***

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale dell'area R, nelle figure 7.9.5 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale dell'area R è classificato C2, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo media.

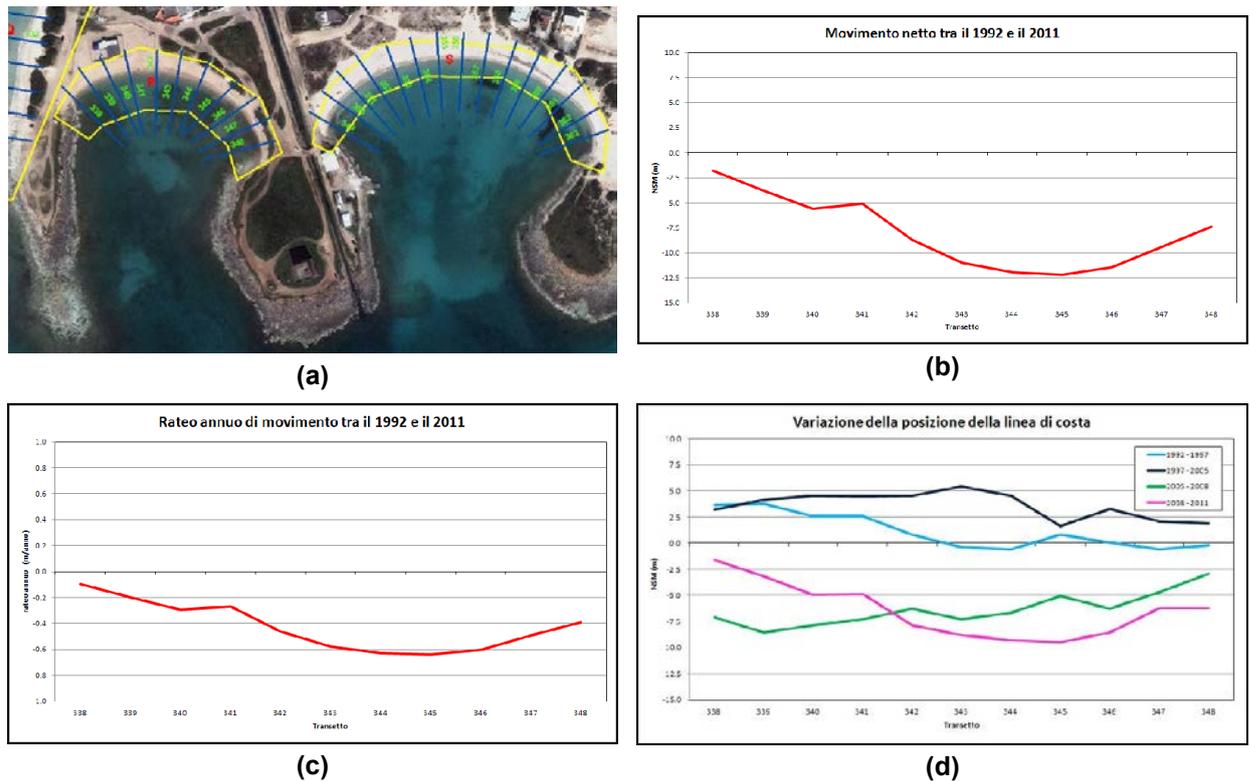


Figura 7.9.5 – Area R: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Dalle figure si nota che tutto il litorale nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento che si è manifestato in modo maggiore nella parte centrale ed orientale.

Anche per l’area R, come per l’area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull’arretramento della linea di riva.

Nella tabella 7.9.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-8.66
Variazione media annua (m/anno)	-0.46
Arretramento minimo (m)	-3.75
Arretramento massimo (m)	-12.19
Deviazione standard (m)	3.07

Tabella 7.9.1 – Dati sintetici dell’erosione/ripascimento dell’area R.



Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$T_r=10$ anni	R/S=82	S=0.056 m	R = 5m
$T_r=50$ anni	R/S=82	S=0.305 m	R = 25m

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra i 6 ed i 13 m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa tra la linea di riva e il piede delle dune.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed **effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.**

Il monitoraggio dovrebbe anche dare indicazioni sulla opportunità di effettuare un ripascimento nella zona ad Est per far fronte ad eventuali altri arretramenti della linea di riva in tale zona.

Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale dell'area S, nella figura 7.9.6 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale dell'area S è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

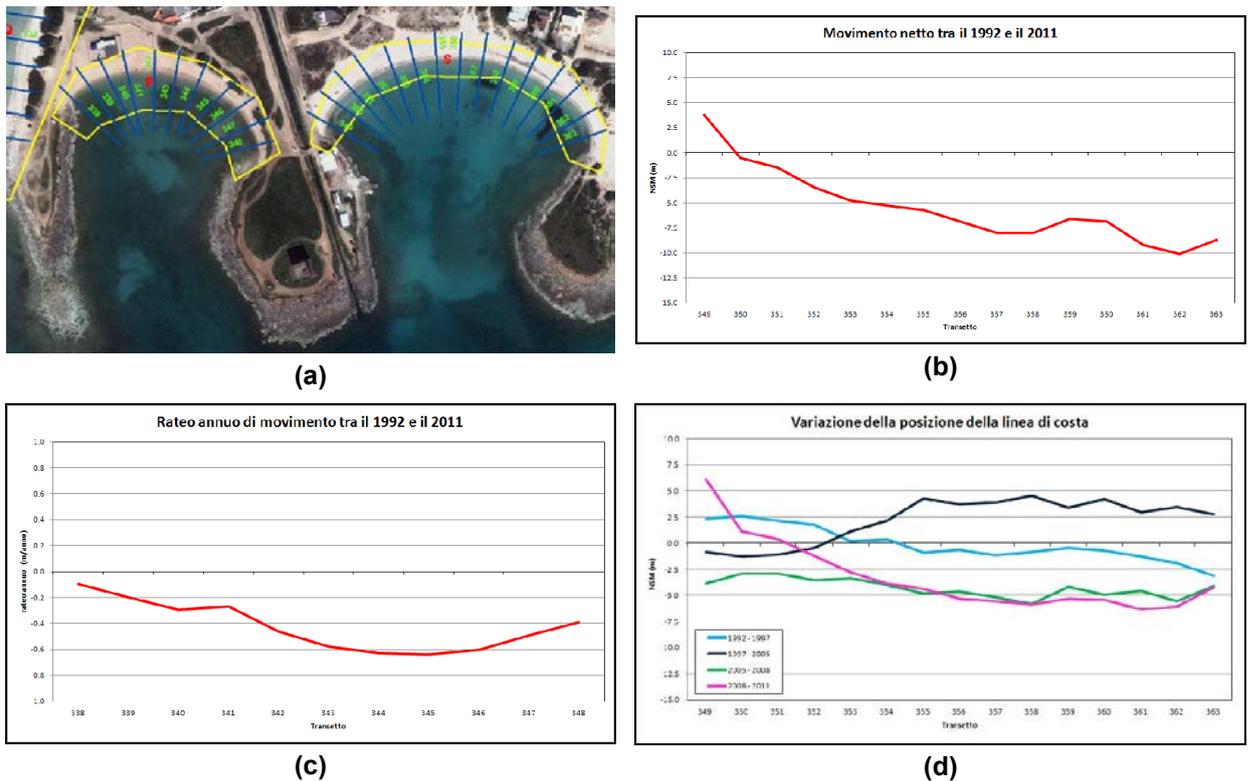


Figura 7.9.6 – Area S: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Dalle figure si nota che anche per l'area S quasi tutto il litorale nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento che si è manifestato in modo maggiore nella parte centrale ed orientale.

Dalle figure 7.9.3 e 7.9.4 si nota che nella parte orientale dell'area S con l'aumento del livello medio mare, ed il conseguente arretramento della linea di riva, si potrebbe avere l'erosione del collegamento tra la spiaggia emersa e il promontorio roccioso che comporterebbe una connessione diretta tra l'area S e la seguente area T; dalla figura 7.9.3 si nota che con $T_r=10$ anni la risalita del moto ondoso già connette le due aree. Forse questo collegamento si ha già oggi in concomitanza di eventi meteomarinari estremi, però non si hanno dati certi in merito. Questo fenomeno potrebbe portare alla formazione di una isola distaccata dal litorale. In questo tratto, in cui dal 1992 non esiste più la duna, occorre fare dei rilievi di dettaglio e ripristinare eventualmente una adeguata



altezza della spiaggia emersa in modo da evitare il fenomeno di aggiramento per risalita del moto ondoso intorno alla radice del promontorio.

Anche per l'area S, come per l'area B descritta al paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

Nella tabella 7.9.2 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 dell'area S.

Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-5.46
Variazione media annua (m/anno)	-0.29
Avanzamento massimo (m)	3.78
Arretramento massimo (m)	-10.13
Deviazione standard (m)	3.74

Tabella 7.9.2 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento dell'area S.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=52 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 3\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=52 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 16\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra 11 e 21 m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni diminuirebbe in modo drastico la spiaggia emersa tra la linea di riva e il piede delle dune.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello



medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni, specie per i punti critici evidenziati, per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

Il monitoraggio dovrebbe anche dare indicazioni sulla opportunità di effettuare un ripascimento nella zona ad Est per far fronte ad eventuali altri arretramenti della linea di riva in tale zona.



7.10 AREA T

L'area T è un litorale concavo compreso fra due promontori. La parte Ovest del litorale è coperta, in parte dall'Isola della Malva e dal promontorio, dai moti provenienti da III quadrante, mentre è investita dai moti ondosi provenienti da Sud. La parte ad Est è in parte coperta dal promontorio ai moti ondosi provenienti da Sud, mentre è esposta a quelli provenienti dal III quadrante. La parte centrale, invece, è esposta ai moti ondosi provenienti dalle due direzioni.

Il cordone dunale è abbastanza compromesso, sono presenti numerosi varchi, di cui alcuni molto ampi, e qualche spianamento tra il cordone dunale e la linea di riva; inoltre sono presenti dei lidi alcuni dei quali con struttura fissa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nelle figure 7.10.1 e 7.10.2 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.10.3 e 7.10.4 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.10.1 e 7.10.2 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che una piccola parte del litorale subirà una inondazione.

Dalle figure 7.10.3 e 7.10.4 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che l'arenile è in parte interessato dalla risalita del moto ondoso che non raggiunge mai i piedi delle dune eccetto nella parte finale ad Est.

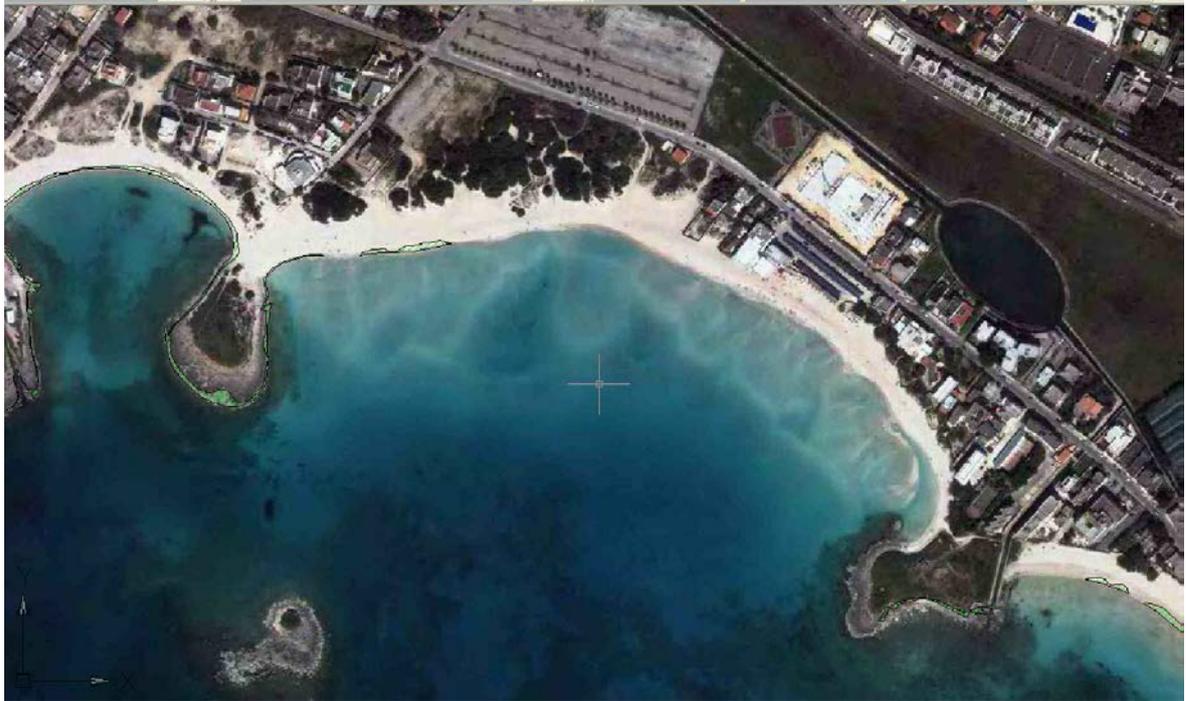


Figura 7.10.1 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).



Figura 7.10.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).



Figura 7.10.3 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup (Tr =10 anni).



Figura 7.10.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup (Tr =50 anni).

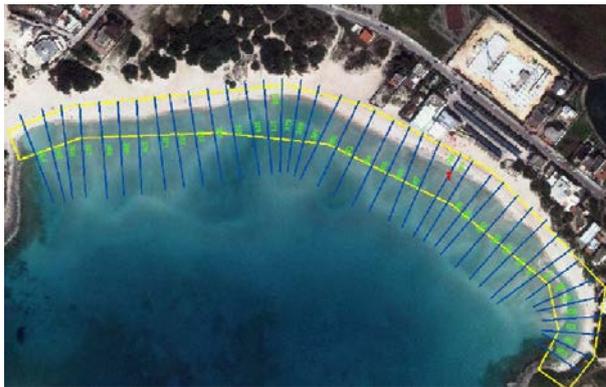


Raccomandazioni:

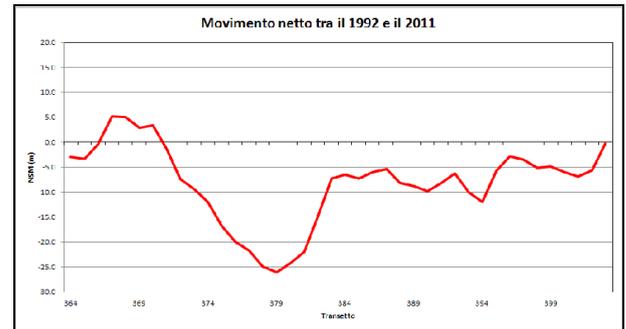
- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera diminuiscono infatti la “resilienza della spiaggia” e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta;***
- ***devono essere impediti spianamenti o sollevamenti ai piedi delle dune (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l’arretramento della linea di riva.***

Per quanto riguarda l’evoluzione del litorale, nella figura 7.10.5 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sull’evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel “Dati_Linea_di_Riva.xlsx” inserito nel GIS.

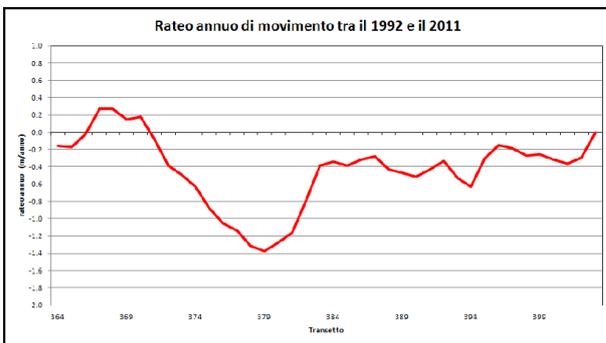
Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l’ultima l’ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all’erosione costiera di tipo bassa.



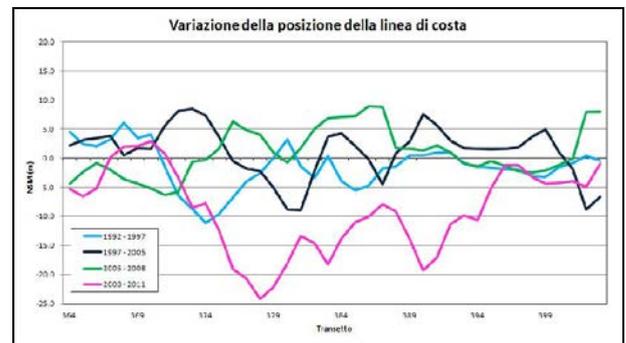
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.10.5 – Area T: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Dalle figure si nota che eccetto la parte iniziale ad Ovest, tutto il litorale nel periodo 1992 – 2011 ha subito un arretramento che si è manifestato in modo maggiore nella parte centrale e nel periodo 2008-2011.

Anche per l'area T, come per l'area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

Nella tabella 7.10.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$T_r=10$ anni	R/S=77	S=0.056 m	R = 4m
$T_r=50$ anni	R/S=77	S=0.305 m	R = 24m



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-8.19
Variazione media annua (m/anno)	-0.43
Avanzamento massimo (m)	5.12
Arretramento massimo (m)	-26.10
Deviazione standard (m)	7.96

Tabella 7.10.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento dell'area T.

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva ed il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra i 12 e i 30m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni potrebbe interessare il piede le dune più vicine alla linea di riva.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

Il monitoraggio dovrebbe anche dare indicazioni sulla opportunità di effettuare un ripascimento nell'area per far fronte ad eventuali altri arretramenti della linea di riva.



7.11 AREA U

L'area U, chiamata Scalo di Furno, è anch'essa costituita da un litorale concavo compreso fra due promontori. Il tratto è coperto dall'Isola dei Conigli dai moti ondosi provenienti da Sud, mentre è esposto ai moti ondosi provenienti dal III quadrante.

Il cordone dunale è presente solo in alcuni tratti ed è degradato, inoltre sono presenti dei lidi alcuni dei quali con struttura fissa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nelle figure 7.11.1 e 7.11.2 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.11.3 e 7.11.4 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.11.1 e 7.11.2 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che una parte consistente del litorale subirà una inondazione.

Dalle figure 7.11.3 e 7.11.4 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che l'intero arenile sarà interessato dalla risalita del moto ondoso.



Figura 7.11.1 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).



Figura 7.11.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).

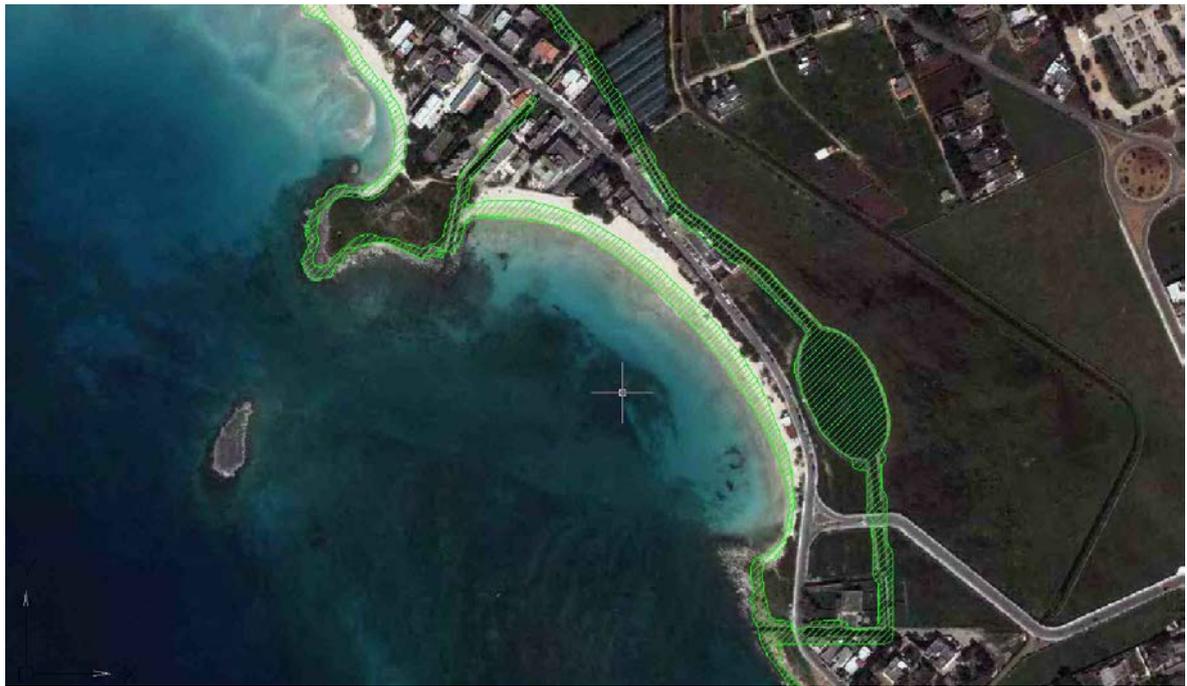


Figura 7.11.3 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 10$ anni).

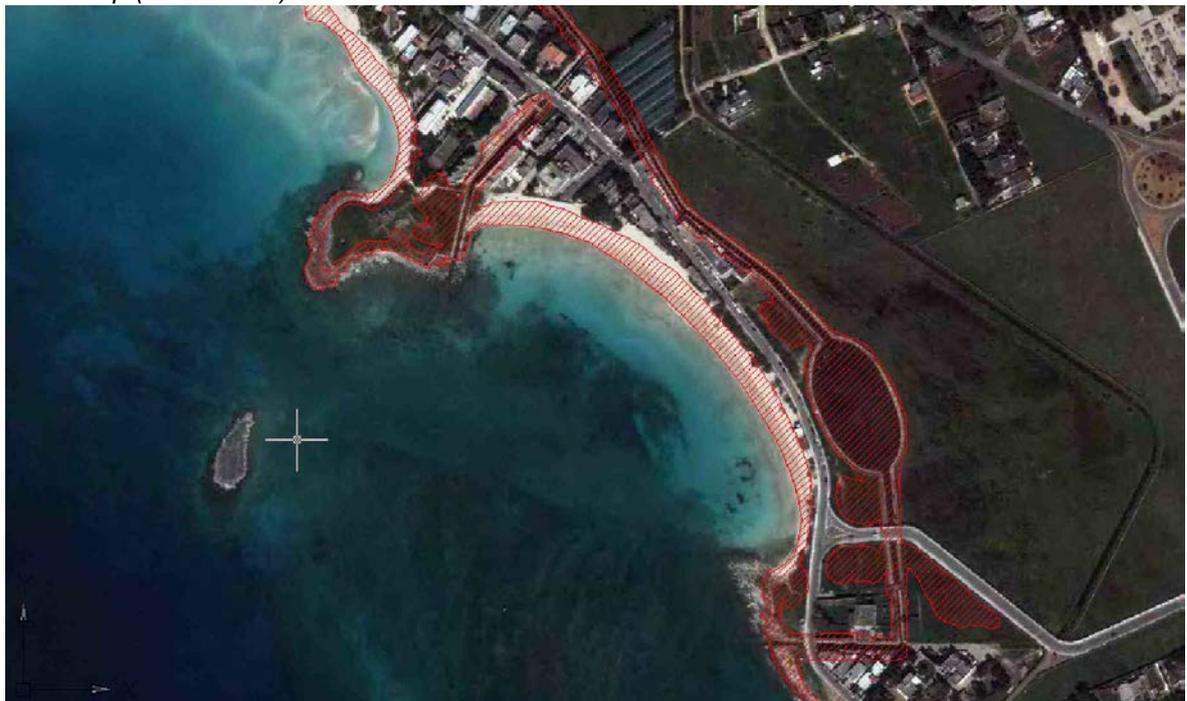


Figura 7.11.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 50$ anni).



Raccomandazioni:

- ***nelle aree inondabili, e comunque nella fascia tra il piede della duna e la linea di riva, non devono esserci opere anche di tipo rimovibile; le strutture ubicate lungo la fascia costiera diminuiscono infatti la “resilienza della spiaggia” e possono determinare riflessioni del moto ondoso che accelerano ed esaltano i fenomeni erosivi; pertanto in tale area non dovranno essere realizzate nuove opere e quelle esistenti dovranno essere spostate, se non esistono altri vincoli, nella zona retrodunale o in altre aree, incentivando, ove possibile, tali spostamenti;***
- ***la duna deve essere salvaguardata e ricostruita nei varchi dove è stata distrutta;***
- ***devono essere impediti spianamenti o sollevamenti ai piedi delle dune (cosa che avviene per creare piazzali per la sistemazione di ombrelloni ed altri accessori per la balneazione, come si rileva anche dalle ortofoto) al fine di conservare i volumi di sabbia necessari per ridurre l’arretramento della linea di riva.***

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l’ultima l’ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all’erosione costiera di tipo bassa, fino a circa il transetto 416, mentre è classificato C2, ossia con criticità media per i restanti transetti (figura 7.11.5).

Per quanto riguarda l’evoluzione del litorale, nelle figure 7.11.6 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sono sull’evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel “Dati_Linea_di_Riva.xlsx” inserito nel GIS.

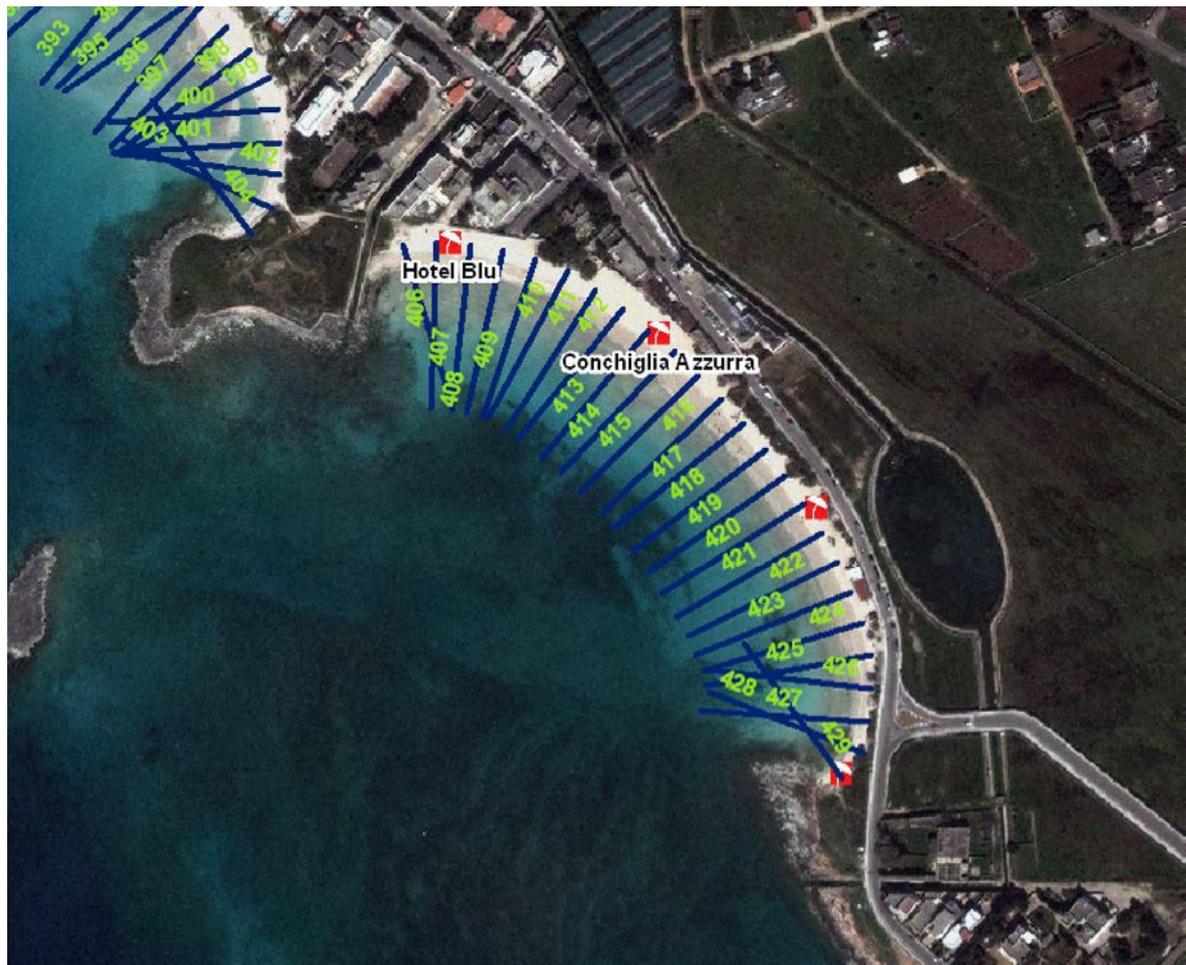
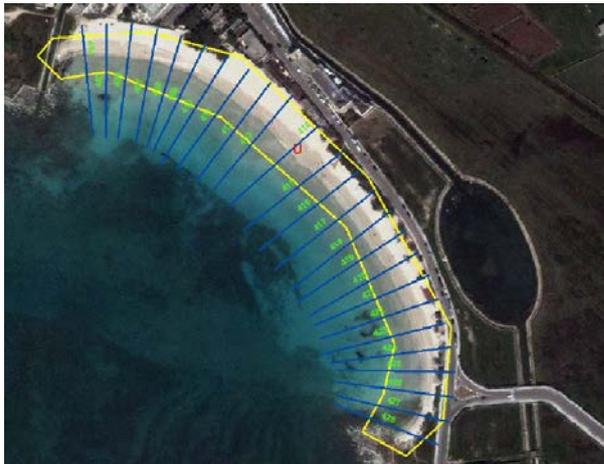


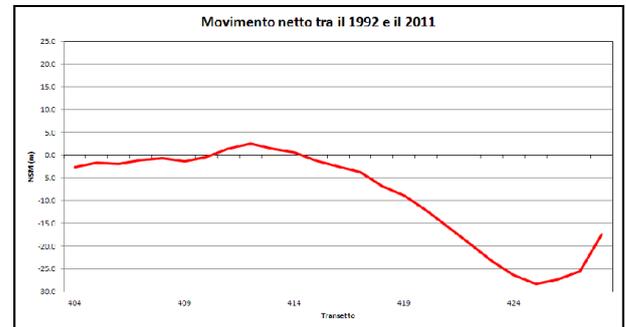
Figura 7.11.5 – Transetti esaminati.

Dalle figure 7.11.6 si nota che, fino a circa il transetto 414, il litorale è stabile, mentre è in arretramento negli altri transetti con un massimo di arretramento di - 28.36m in corrispondenza del transetto 425.

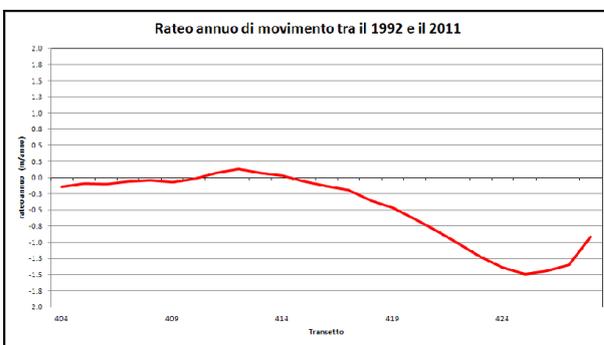
Anche per l'area U, come per l'area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.



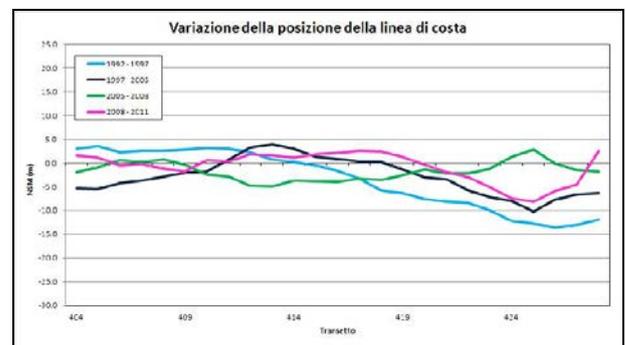
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.11.6 – Area U: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Nella tabella 7.11.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le Aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=84 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 5\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=84 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 26\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva ed il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia tra i 5 e i 30m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni prevede che gran parte della fascia costiera, specie quella ad Est, sia in erosione.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-8.91
Variazione media annua (m/anno)	-0.47
Avanzamento massimo (m)	2.59
Arretramento massimo (m)	-28.36
Deviazione standard (m)	10.63

Tabella 7.11.1 – Dati sintetici dell’erosione/ripascimento dell’area U.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell’evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

Il monitoraggio dovrebbe anche dare indicazioni sulla opportunità di effettuare un ripascimento nell’area per far fronte ad eventuali altri arretramenti della linea di riva.

7.12 AREE V - Z

Le aree V e Z comprendono la costa all'interno del Bacino della Strea (figura 7.12.1).

La prima parte della costa (area V), di colore marrone in figura, è sabbiosa, mentre la seconda parte (area Z), di colore ciano in figura, è rocciosa con sabbia al piede. Nell'area V non vi sono cordoni dunali, ma solo alcuni residui.

Come si è visto nel paragrafo 3.2, i moti ondosi provenienti da Sud interessano direttamente solo la parte Nord del bacino, mentre quelli provenienti dal III quadrante interessano direttamente una parte più ampia verso Est, ossia all'incirca quasi tutta l'area V.



Figura 7.12.1 – Bacino della Strea.

La costa rocciosa esterna della Penisola della Strea è investita direttamente da tutti i moti ondosi i quali esercitano su di essa una forte azione di sollecitazione ed erosione, anche a causa degli alti fondali antistanti, tanto da creare negli anni un varco (vedasi il particolare della figura 7.12.2), dal quale in concomitanza di moti ondosi intensi si ha tracimazione diretta nel bacino retrostante.



Figura 7.12.2 – Particolare della costa della Penisola della Strea.

Nei mesi primaverili nel Bacino della Strea si può osservare il consistente abbassamento del livello medio mare tanto che, a causa dei bassi fondali della zona interna del bacino, esso può essere attraversato a piedi da una parte all'altra della costa.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo "Aree inondabili_FLO2D" inserito nel GIS.

Nelle figure 7.12.3 e 7.11.4 sono riportate zone inondabili delle aree in esame, e anche del centro abitato di Porto Cesareo, con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e presenza di marea.

Nelle figure 7.12.5 e 7.12.6 sono invece riportate le zone inondabili delle su citate aree, con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare, marea meteorologica e wave setup.

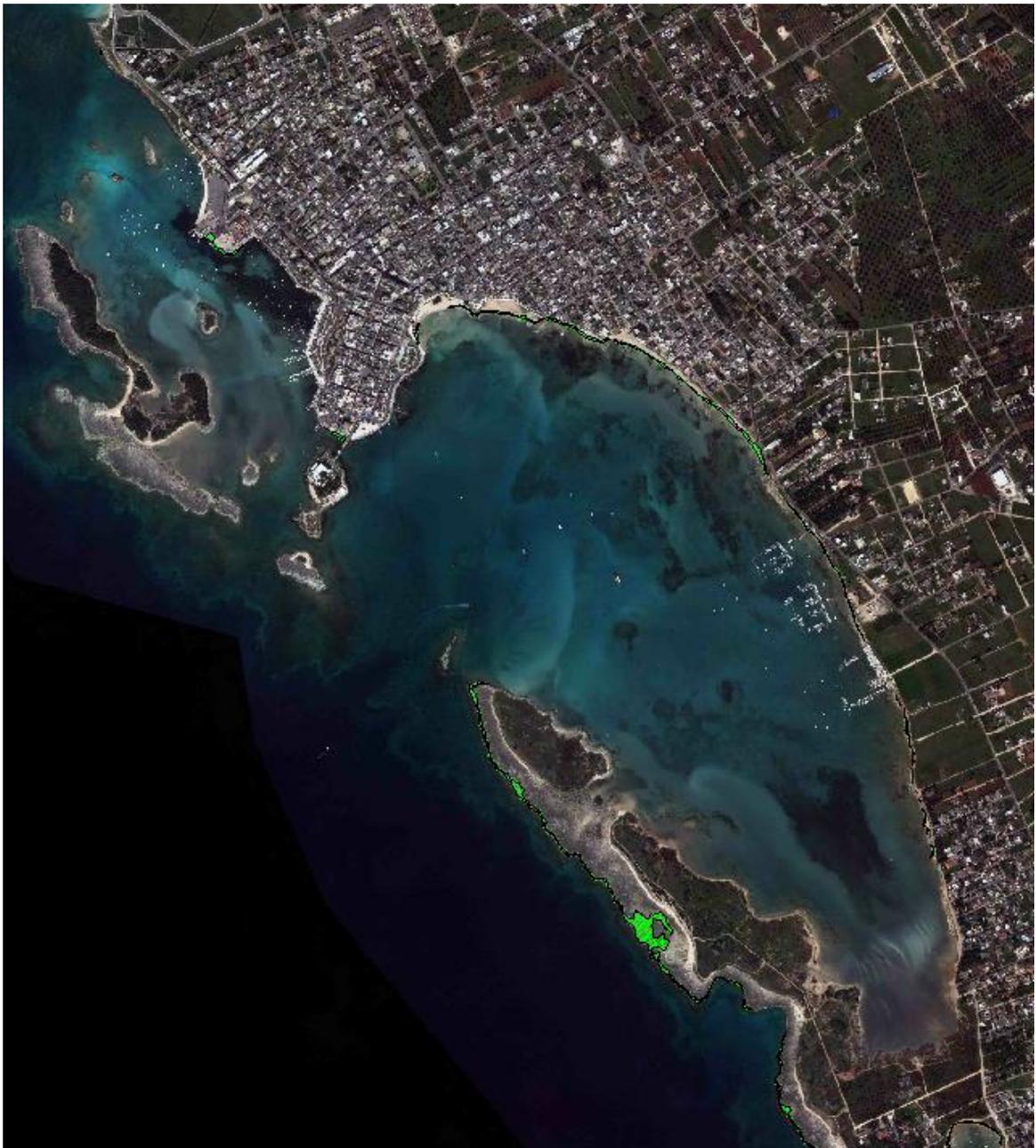


Figura 7.12.3 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m ($T_r=10$ anni).



Figura 7.12.4 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).



Figura 7.12.5 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 10$ anni).



Figura 7.12.6 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($T_r = 50$ anni).



Dalle figure 7.12.3 e 7.12.4 si nota che il solo sollevamento medio mare e la marea non crea zone inondate significative sia sulla costa del Bacino della Strea che del centro abitato.

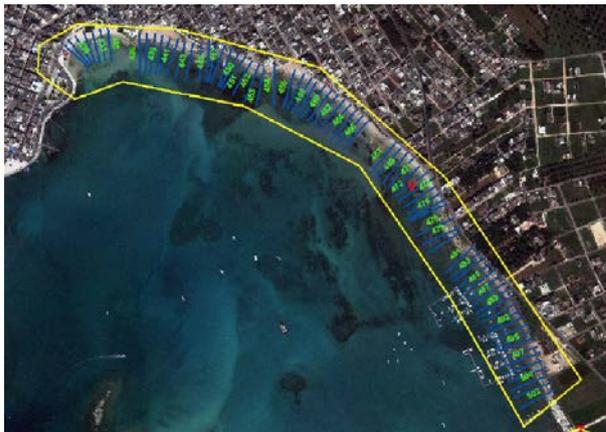
Invece dalle figure 7.12.35 e 7.12.6 si nota, ovviamente in modo maggiore per $T_r=50$ anni, che l'intera costa sarà interessata dalla risalita del moto ondoso e diverse aree del centro abitato.

Raccomandazioni per le due aree e per il centro abitato:

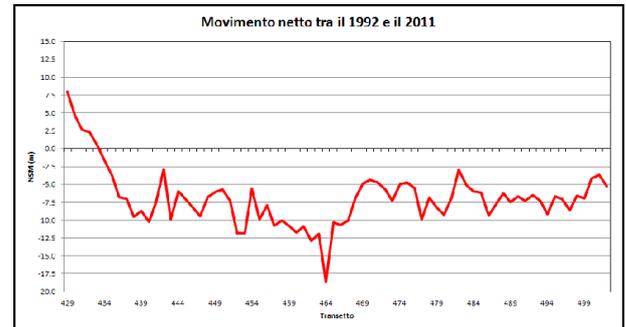
- ***per le due aree fortemente antropizzate (maggiormente la V, però vi sono ancora numerose parti non antropizzate) e per il centro abitato di Porto Cesareo, l'unica raccomandazione è quella di tener conto delle zone inondabili nelle varie Pianificazioni Comunali vietando di realizzare nuove infrastrutture ed abitazioni che nel futuro possono essere interessate dalla risalita del moto ondoso e sollevando, dove occorre, le quote delle opere di interfaccia mare-terra.***

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, tutta la costa delle aree V e Z è classificata C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

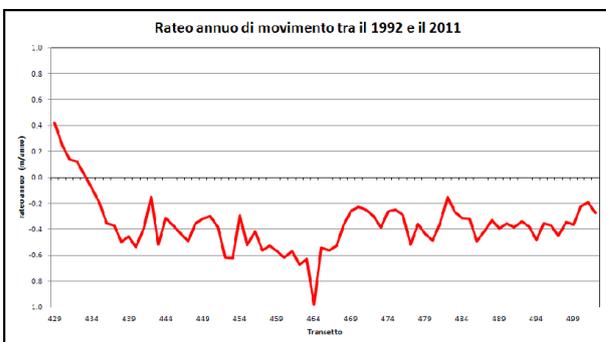
Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale, nelle figure 7.12.7 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d) dell'area V. I dati completi sono sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.12.7 – Area V: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Dalle figure 7.12.7 si nota che quasi tutto il litorale ha subito un arretramento.

Anche per l'area V, come per l'area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

Nella tabella 7.12.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 dell'area V.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$T_r=10$ anni	R/S=65	S=0.056 m	R = 4m
$T_r=50$ anni	R/S=65	S=0.305 m	R = 20m



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-6.87
Variazione media annua (m/anno)	-0.36
Avanzamento massimo (m)	8.02
Arretramento massimo (m)	-18.63
Deviazione standard (m)	3.97

Tabella 7.12.1 – *Dati sintetici dell'erosione/ripascimento dell'area V.*

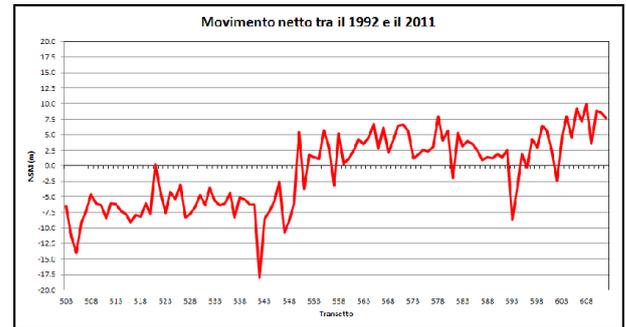
E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e le prime infrastrutture e/o abitazioni è molto variabile, da pochi metri fino a 40m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni interesserebbe gran parte della fascia costiera.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

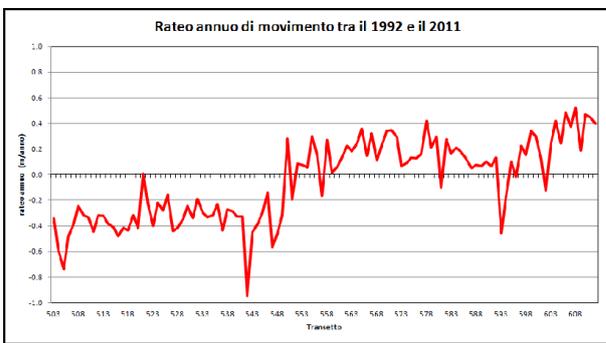
Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale, nelle figure 7.12.8 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d) dell'area Z. I dati completi sono sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



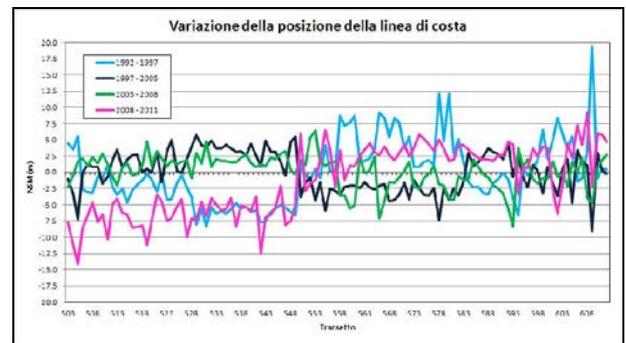
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.12.8 – Area Z: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Anche per l'area Z, come per l'area B descritta nel paragrafo 7.2, le condizioni meteomarine e il sollevamento del livello medio mare hanno fortemente influito sull'arretramento della linea di riva.

Dalle figure 7.12.8 si nota che la prima parte della costa, quella adiacente alla zona abitata, subisce un arretramento medio simile a quello dell'area V, mentre quella successiva, adiacente alla Penisola della Strea - rocciosa con una piccola parte di sabbia al piede - resta stabile.

Nella tabella 7.12.2 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992 dell'area Z.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-1.04
Variazione media annua (m/anno)	-0.05
Avanzamento massimo (m)	9.86
Arretramento massimo (m)	-18.00
Deviazione standard (m)	5.96

Tabella 7.12.2 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento dell'area Z.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=10 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 1 \text{ m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=10 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 3 \text{ m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e le prime infrastrutture e/o abitazioni è molto variabile, tra pochi metri e circa 20m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ anni interesserebbe diversi tratti della fascia costiera.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.

7.13 AREA Y

Trattasi di una parte della baietta concava all'estremo Est del paraggio di Porto Cesareo, a Nord di Torre Squillace. La parte Nord della baietta ricade nel Comune di Porto Cesareo, la restante nel territorio del Comune di Nardò (LE) (figura 7.13.1).

Sul litorale non vi sono concessioni e lidi.



Figura 7.13.1 – Ortofoto 2011 con indicata l'Area Y.

E' da notare che in questa zona, come in quelle successive ricadenti in territorio del Comune di Nardò, vi è un consistente spiaggiamento di posidonia o. che le mareggiate più intense asportano dalla prateria presente nella area marina di fronte al litorale (cfr. paragrafo 2.6).

Si evidenzia qui il fenomeno per rimarcare la necessità di GESTIRE a livello intercomunale la rimozione della posidonia o. spiaggiata, che in alcuni casi raggiunge notevoli volumi. La semplice rimozione meccanica della



posidonia piaggiata, infatti, come spesso viene fatto, può comportare una perdita di quantità non trascurabile di sabbia dagli arenili.

Per quando riguarda le aree inondabili, di seguito si riportano alcune indicazioni, mentre tutti i dettagli si possono rilevare nello strato informativo “Aree inondabili_FLO2D” inserito nel GIS.

Nelle figure 7.13.2 e 7.13.3 sono riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio mare e marea.

Nelle figure 7.13.4 e 7.13.5 sono invece riportate rispettivamente le zone inondabili con $T_r=10$ anni e $T_r=50$ anni nelle condizioni di sollevamento medio, mare marea meteorologica e wave setup.

Dalle figure 7.13.2 e 7.13.3 si nota che a causa delle basse quote della spiaggia emersa con $T_r=50$ anni gran parte del litorale, ed anche alcune zone limitrofe a Est, sono sommerse.

Dalle figure 7.13.4 e 7.13.5 si nota che tutto l'arenile, e molte aree adiacenti, sono interessate dalla risalita del moto ondoso.

Raccomandazioni:

- ***per l'area non fortemente antropizzata l'unica raccomandazione è quella di tener conto delle zone inondabili nelle varie Pianificazioni Comunali vietando di realizzare nuove infrastrutture e abitazioni che nel futuro possono esserne interessate dalla risalita del moto ondoso.***



Figura 7.13.2 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.06m (Tr =10 anni).



Figura 7.13.3 – Zone inondabili con marea e sollevamento medio mare di 0.30m (Tr =50 anni).

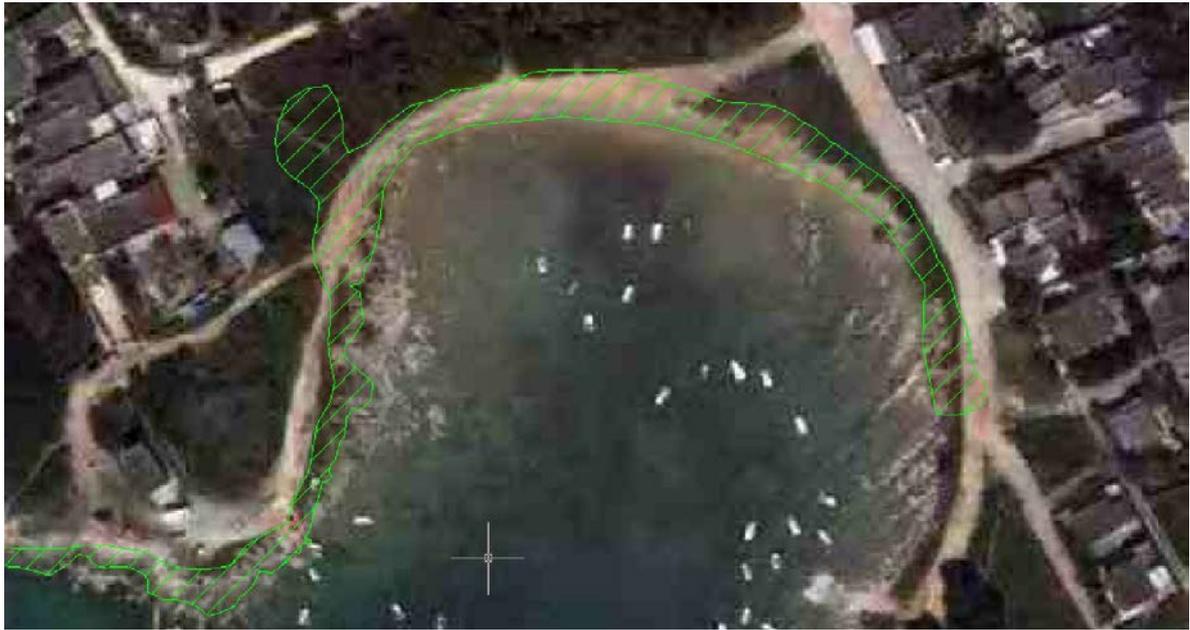


Figura 7.13.4 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.06m, marea meteorologica e wave setup ($Tr=10$ anni).

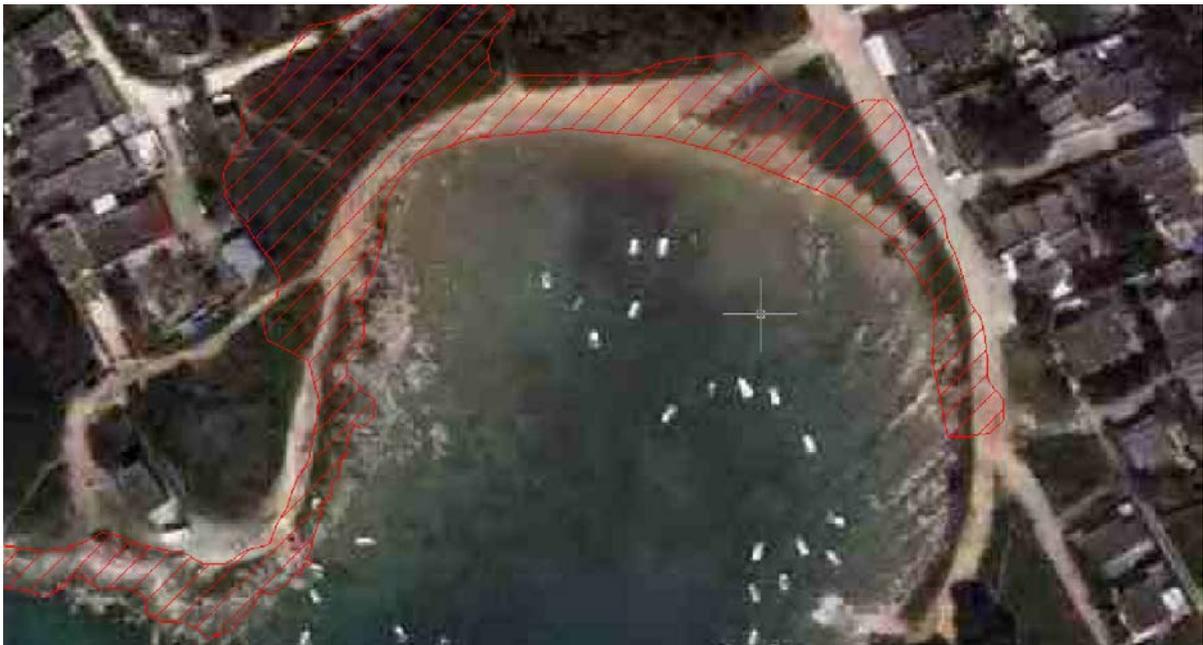


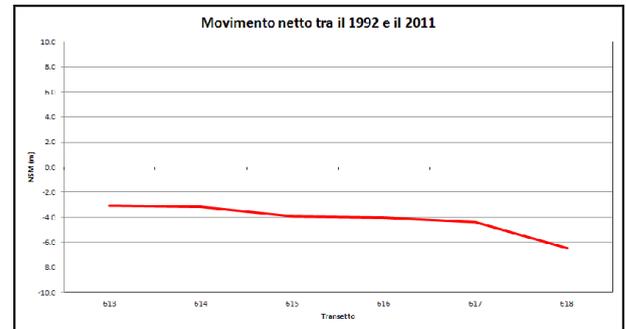
Figura 7.13.5 – Zone inondabili con sollevamento medio mare di 0.30m, marea meteorologica e wave setup ($Tr=50$ anni).

Nel Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia (PRC), redatto con dati sino al 2006, in particolare l'ultima l'ortofoto utilizzata era quella del 2005, il tratto di litorale è classificato C3, ossia con criticità all'erosione costiera di tipo bassa.

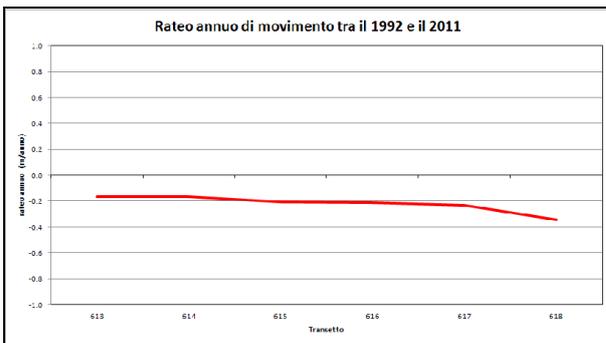
Per quanto riguarda l'evoluzione del litorale nelle figure 7.13.6 sono riportate le posizioni dei transetti (a), il diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), il rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), e la variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d). I dati completi sono sull'evoluzione del litorale sono riportati nel file Excel "Dati_Linea_di_Riva.xlsx" inserito nel GIS.



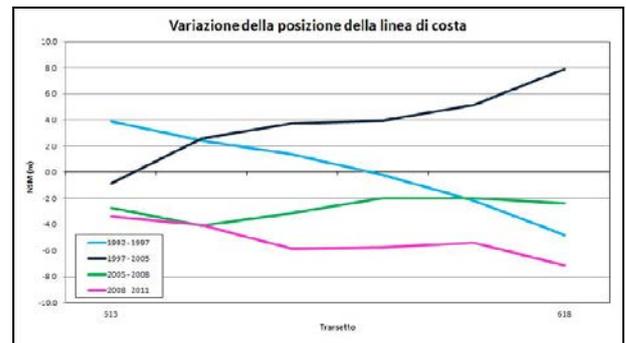
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.13.6 – Area Y: posizione dei transetti (a), diagramma del movimento netto 1992 – 2011 (b), rateo di movimento annuale 1992 – 2011 (c), variazione della posizione delle linee di costa nei periodi di osservazione esaminati (d).

Nella tabella 7.13.1 sono riportati i dati sintetici delle differenze fra le linee di riva del 2011 e del 1992.



Erosione/ripascimento medio nel periodo 1992-2011 (m)	-4.18
Variazione media annua (m/anno)	-0.22
Arretramento minimo (m)	-3.08
Arretramento massimo (m)	-6.46
Deviazione standard (m)	1.23

Tabella 7.13.1 – Dati sintetici dell'erosione/ripascimento del litorale dell'area Y.

Per il futuro, facendo le stesse ipotesi fatte per le Aree precedenti si potrebbero avere i seguenti arretramenti medi della linea di riva:

$$T_r=10 \text{ anni} \quad R/S=39 \quad S=0.056 \text{ m} \quad R = 2\text{m}$$

$$T_r=50 \text{ anni} \quad R/S=39 \quad S=0.305 \text{ m} \quad R = 12\text{m}$$

E' da tener presente che l'attuale distanza tra la linea di riva e il piede delle dune, là dove esistono ancora, varia da pochi metri a circa 10m, per cui mentre il valore di arretramento R per $T_r=10$ anni sarebbe ancora accettabile, quello con $T_r=50$ prevede che tutta la fascia costiera sia erosa.

I dati indicano la necessità di mettere in atto da subito le raccomandazioni innanzi fatte ed effettuare un monitoraggio continuo ed accurato del livello medio mare, delle condizioni meteomarine e dell'evoluzione del litorale nei prossimi anni per verificare se la tendenza ipotizzata è corretta ed eventualmente correggerla.



8 BIBLIOGRAFIA

ANTONIOLI, F., LEONI, G. (2007) - Mappa Nazionale delle aree a rischio di allagamento da parte del mare. Dossier ENEA per lo studio dei cambiamenti climatici e loro effetti. RT ENEA, pp 83.

ARMAROLI, C. CIAVOLA, P. MASINA, M., PERINI, L. (2009) - Run-up computation behind emerged breakwaters for marine storm risk assessment. *Journal of Coastal Research*, SI 56, 1612 – 1616.

BARBANO, A., CORSINI, S., MANDRONE, S., PAONE, M., ROTUNNO, M. (2006) - APAT, Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine - Servizio. Difesa delle Coste, Via Curtatone, 3 00185 Roma Italia.

BRUNO, M.F. (2010) - La rete di monitoraggio meteomarina della regione puglia: elaborazione dei dati ondametrici. In: *Atti del XXXII Convegno Di Idraulica e Costruzioni Idrauliche –Palermo*.

BRUNO, M.F., NOBILE, B., PETRILLO, A.F. (2011) - Evoluzione recente della linea di riva dell'Isola di Varano. V Congresso di LaguNet. Lesina (FG), 19-22 ottobre 2011.

BRUNO, M.F., PETRILLO, A.F., (2011) - Il livello medio mare dell'adriatico negli ultimi anni. V° Congresso di LaguNet. Lesina (FG), 19-22 ottobre 2011.

BRUNO, M.F. PETRILLO, A.F. (2012) - I risultati del monitoraggio del litorale di Trani (BT) dopo la realizzazione di opere di difesa. *Studi costieri* n. 20 2012, ISSN 1129-8588.

BRUNO, M.F., FRANCIOSO R., NOBILE B., PETRILLO A.F. (2012) - Integrated studies for coastal erosion and littoral planning: the apulian experience. *Proceedings of Coastlab12 - Ghent, Belgium* 17 - 20 September 2012.

BRUNO, M.F., PETRILLO, A.F. (2013) - La Rete di Monitoraggio Meteomarina della Regione Puglia. Workshop "Le coste pugliesi: tra prospettive di sviluppo ed esigenze di tutela" organizzato dalla Società Italiana di Geologia Ambientale – Sezione Puglia - Monopoli, 18 gennaio 2013; Hotel Lido Torre Egnazia.

BRUNO, M.F., MOLFETTA, M.G., PETRILLO, A.F. (2014) - Influence of interannual variability of mean sea level in Adriatic Sea on extreme values. *Journal of Coastal Research*, SI 70 (Proceedings of the 13th International Coastal Symposium), xx – xx. Durban, South Africa, (in press).



BRUUN, P. (1962) - Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Journal Waterways and Harbours Division*, vol. 88(1-3), pp. 117-130.

BRUUN, P. (1988) - The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two – and Three-Dimensional Usages. *Journal of Coastal Research*, 627-448.

CHIARADIA, M. T., FRANCIOSO, R., MATARRESE, R., PETRILLO, A. F., RANIERI, G. & URRUTIA, C. (2008) - Estrazione semi-automatica della linea di costa da immagini satellitari ad alta risoluzione: valutazione ed applicabilità. In: *Collana Editoriale di Studi e Ricerche dell’Autorità di Bacino della Basilicata*, N. 9. 2008.

CHURCH, J A., WHITE N. J., COLEMAN R., LAMBECK K., MITROVICA J. X. (2004) - Estimates of the Regional Distribution of Sea Level Rise over the 1950–2000 Period. *J. Climate*, 17, 2609–2625.

COOPERA, J. A. G., PILKEYB, O. H. (2004) - Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *GlobalandPlanetaryChange*43(2004)157–171 www.elsevier.com/locate/gloplacha.

DAMIANI, L., BRUNO, M., MOLFETTA, M.G., NOBILE, B. (2007) - Coastal zone monitoring in Apulia region: first analysis on meteomarine climate. In: *CD ROM Proceedings of Vth International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH 2007)*, Arizona (USA).

DAMIANI, L., PETRILLO, A.F., SAPONIERI, A. (2009) - Beach Dewatering Systems: Modelling Coastal Groundwater Flow. *Proceedings of the 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment*, 9-14 August 2009, Vancouver, pp 7304-7311, ISBN 978-90-78046-08-0.

DAMIANI, L., PETRILLO, A.F., SAPONIERI, A. (2010) - Near shore morphodynamic of drained beaches. *ICCE 2010*.

DAMIANI L., PETRILLO A.F., SAPONIERI A. (2010) - Near shore morphodynamic of a drained beach. *Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering*, Shanghai, China. Retrieved from <http://journals.tdl.org//ICCE/>

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE ACQUE E DI CHIMICA DEL POLITECNICO DI BARI (2011) - Piano Regionale delle Coste della Regione Puglia. *Rapporto tecnico 2011*.



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE ACQUE E DI CHIMICA DEL
POLITECNICO DI BARI (2010) - Studi propedeutici per la predisposizione del Piano
Stralcio della Dinamica delle Coste. Rapporto tecnico 2010.

DOODSON, A.T. (1954) - Appendix to circular-letter 4-H. The harmonic
development of the tide-generating potential. *International Hydrographic Review* 31,
37–61.

EUROSION (2004) - Living with coastal erosion in Europe: sediment and space
for sustainability. Major findings and policy recommendations of the EUROSION
project. European Commission, Directorate General Environment, Service contract
B4-3301/2001/329175/MAR/B3.

FITZGERALD, D.M., FENSTER, M.S., ARGOW, BA, BUYNEVICH IV (2008) -
Coastal impacts due to sea-level rise. *Annual Review of Earth and Planetary
Sciences*, Vol. 36, pp. 601–647.

FORBES, D.L & LIVERMAN, D.G.E. (1996) - Geological indicators in the
coastal zone. *Geoinicators - Assessing rapid environmental changes in earth
systems* (Ed. by A. R. Berger and W. J. Iams), pp. 1 75-1 92. A.A. Balkema,
Rotterdam.

GEO DATA SERVICE S.R.L. (2010). Indagine geoambientale delle spiagge di
Porto Cesareo – Punta Prosciutto.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) - Fifth Assessment
Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University
Press.

LANDERER, F. W., VOLKOV, D. L. (2013) - The anatomy of recent large sea
level fluctuations in the Mediterranean Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 40,
doi:10.1002/grl.50140.

LICHTER, M., FELSENSTEIN, D. (2012) - Assessing the costs of sea-level rise
and extreme flooding at the local level: A GIS-based approach. *Ocean & Coastal
Management*, 59, 47-62.

KOMAR, P.D. (1998) - Beach processes and sedimentation. Prentice Hall, NJ,
544.

MARCOS, M., TSIMPLIS, M. N. (2008) - Coastal sea level trends in Southern
Europe. *Geophysical Journal International*, 175(1), 70-82.



MARCOS, M., TSIMPLIS, M.N., SHAW, A.G.P. (2009) - Sea level extremes in southern Europe. *Journal of Geophysical Research*, 114, C01007, doi:10.1029/2008JC004912.

MARTINELLI, L., ZANUTTIGH, B., CORBAU C. (2010) - Assessment of coastal flooding hazard along the Emilia Romagna Littoral, IT. *Coastal Engineering*, 57(11-12), Nov-December 2010, 1042-1158. (doi:10.1016/j.coastaleng.2010.06.007)

MASE, H. (1989) - Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol 115, No. 5, pp 649-661.

MOSETTI, F. (2007). Su talune variazioni a lungo periodo del livello marino. Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste.

NIELSEN, P., HANSLOW, D.J. (1991) - Wave runup distributions on natural beaches. *Journal of Coastal Research*, 7(4), 1139-1152. Fort Lauderdale (Florida). ISSN 0749-0208.

O'BRIEN, J. S. (2005) – Modeling Tsunami Waves and Ocean Storm Surges with FLO-2D - Summer Specialty Conference of the American Water Resources Association 2005: Institutions for Sustainable Watershed Management: Reconciling Physical and Political Ecology in the Asia-Pacific.

PAWLOWICZ, R., BEARDSLEY, B., LENTZ, S. (2002) - Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers and Geosciences* 28 (2002), 929-937

PETRILLO, A.F., SELICATO F., BRUNO M.F., FONTANARI M., GIORDANO A., MAGGIO G. (2008) - Lo stato dei litorali pugliesi e la loro gestione. *Atti del Convegno Nazionale del GNRAC di Maratea 15-17 2008*.

PETRILLO, A.F. (2007). Relazione su: "Aree Costiere: Attuali e Future Criticità". Convegno su "Cambiamenti Climatici E Rischi Geologici in Puglia"; Castello di Sannicandro di Bari 30 Novembre 2007.

PETRILLO, A.F. (2008) - Relazione sul tema "Evoluzione dei litorali sabbiosi salentini" al 2° Forum sull'Ambiente "La Salvaguardia del Sistema Costiero Salentino"; Lecce 20 giugno 2008.

PETRILLO, A. F., SELICATO, F., BRUNO, M. F., GIORDANO, A., MAGGIO, G. (2009) - La gestione integrata della fascia costiera nel Piano Regionale delle Coste in Puglia. Libro "Territori costieri", pp. 384. Franco Angeli Editore, 2009. Codice ISBN 13: 9788856810189.



PETRILLO, A.F. (2009) - Relazione su: "Alcune considerazioni sugli afflussi in mare e la qualità delle acque di quest'ultimo". VII Giornata di studio sul drenaggio urbano sostenibile. Bari, 10 dicembre 2009.

PETRILLO A.F. (2009) - Relazione su: "Attività antropiche e rischio sulle coste: controllo e normativa". 13^a Conferenza Nazionale ASITA. Bari, Fiera del Levante, 1 – 4 dicembre 2009.

PETRILLO A.F. (2009) - Relazione su: "La modellistica fisica impiegata per lo studio degli interventi di recupero e riequilibrio del litorale di Marina di Massa". Convegno "Spiagge nuove per Massa". Sala APT di Marina di Massa 17 novembre 2009.

PETRILLO, A.F. (2009) - Relazione su: "La modellistica matematica e fisica per lo studio della dinamica costiera". Convegno Penisola salentina geologia e pericolosità geologiche, organizzato dall'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia presso la Sala consiliare della Provincia di Lecce - Palazzo dei Celestini, 19 giugno 2009.

PETRILLO, A.F. (2009) - Relazione su: "La modellistica fisica e numerica nella difesa dei litorali e tecniche di monitoraggio". Training Progettuale per la Costa Martinsicuro, 8 -12 Giugno 2009 Scuola Blu, via Colle di Marzio 1 - Martinsicuro (TE).

PETRILLO, A.F.; SELICATO, F.; GIORDANO, A., MAGGIO, G. (2010) - Integrated coastal management in the Regional Coastal Planning in the South of Italy. ICCCM (International Conference on Coastal Conservation and Management). April 2010, Portogallo.

PETRILLO, A.F. (2010) - Relazione su: "Evoluzione dei litorali pugliesi, con particolare riferimento a quelli dell'arco ionico". Seminario su "L'erosione costiera nel metapontino", organizzato a Matera l'8 settembre 2010 dall'Università della Basilicata.

PETRILLO, A.F. (2011) - I primi dieci anni del Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste del Politecnico di Bari: attività svolte e prospettive per il futuro. Atti del 32° Corso sulle Tecniche di Difesa dall'Inquinamento, Ed. BIOS, ISBN 978-88-97181-05-7, 15-18 giugno 2011.

PODIS (Progetto Operativo Difesa Suolo - Difesa delle Coste e Salvaguardia dei Litorali) (2005) - Analisi delle caratteristiche meteomarine al largo e a riva e



valutazione dei processi evolutivi costieri. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A.

POLITECNICO DI BARI - DIAC, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BARI - DGG, CNR – IRSA (2009) - POR 2000-2006, Programma Operativo della Regione Puglia 2000 - 2006, per il “Monitoraggio fisico degli interventi di difesa delle coste già finanziati e realizzati” e il “Miglioramento delle conoscenze di base, adeguamento e ampliamento del sistema di monitoraggio del suolo, del corpi idrici superficiali, sotterranei e costieri”. Rapp. tecn. 2009

PUGH, D.T., VASSIE, J.M. (1978) - Extreme sea levels from tide and surge probability. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(16).

RAICICH, F. (2003) - Recent evolution of sea-level extremes at Trieste (Northern Adriatic). *Continental Shelf Research*, 23(3), 225-235.

RANASINGHE, R., CALLAGHAN, D., STIVE, M. J. F. (2012) - Estimating coastal recession due to sea level rise: beyond the Bruun rule. *Climatic Change* (2012) 110:561-574 DOI 10.1007/s10584-011-0107-8.

ROLLASON, V., PATTERSON, D. & HUXLEY, C. (2010) - Assessing Shoreline Response to Sea Level Rise: An Alternative to the Bruun Rule, *Proceedings of the 19th NSW Coastal Conference*, November 2010, Batemans Bay.

SÁNCHEZ - ARCILLA, A., MÖSSO, C., SIERRA, J. P., MESTRES, M., HARZALLAH, A., SENOUCI, M., EL RAEY, M. (2011) - Climatic drivers of potential hazards. *Mediterranean coasts Regional Environmental Change* September 2011, Volume 11, Issue 3, pp 617-636.

SANO, M., JIMÉNEZ, J.A., MEDINA, R., STANICA, A., SANCHEZ-ARCILLA, A., TRUMBIC, I. (2011) - The role of coastal setbacks in the context of coastal erosion and climate change. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 943-950.

STOCKDON, H.F., et al. (2006) - Empirical parameterization of setup, swash and runup. *Coastal Engineering* 53 (2006) 573-588.

TSIMPLIS, M.N., CALAFAT, F. M, MARCOS, M., JORDÀ, G., GOMIS, D., FENOGLIO-MARC, L., STRUGLIA, M.V., JOSEY, S.A., CHAMBERS, D. P. (2013) - The effect of the NAO on sea level and on mass changes in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research Oceans*, 118, 944–952, doi:10.1002/jgrc.20078.

UNEP (2008) - Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean.



UNESCO, INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, (1985
e 2006) - Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Volume I.



9 ALLEGATI

Allegato 1: Descrizione del GIS

Allegato 2: GIS

Il Responsabile Scientifico della Convenzione
(**prof. ing. Antonio Felice PETRILLO**)