

AUTORITA' PORTUALE NORD SARDEGNA

COMUNE DI PORTO TORRES

PORTO CIVICO DI PORTO TORRES

Hub portuale di Porto Torres –Prolungamento  
dell'antemurale di ponente e resecazione banchina alti  
fondali

## **STUDIO D'IMPATTO AMBIENTALE**

**Ai sensi del D.lgs 152/06 e successive integrazioni**

**(Allegato VII del D.Lgs 4/2008)**

### **Quadro di Riferimento Progettuale**

**Studio specialistico 2.** Morfodinamica costiera: analisi storica ed aggiornamento del modello di analisi del campo d'onda incidente sul lungomare Balai

Dicembre 2016



## AUTORITA' PORTUALE NORD SARDEGNA

APPALTO DELLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA SULLA BASE DEL PROGETTO PRELIMINARE E PER LA REALIZZAZIONE DEI LAVORI PER IL PROLUNGAMENTO DELL'ANTEMURALE DI PONENTE E DELLA RESECAZIONE DELLA BANCHINA ALTI FONDALI DEL PORTO CIVICO DI PORTO TORRES. CIG 5630886220; CUP B21G11000040001

### **PROGETTO DEFINITIVO**

**Morfodinamica costiera: analisi storica ed aggiornamento del modello di analisi del campo d'onda incidente sul lungomare Balai**



Impresa

# sales

Costituendo Raggruppamento Temporaneo di Progettisti



SEACON s.r.l.

Ing. Lucio Abbadessa



GEOTECHNICAL ENGINEERING



Ing. Marco Pittori

Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA .....</b>	<b>1</b>
<b>3. ANALISI DI INTERAZIONE TRA OPERE ED ASSETTO IDRODINAMICO DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. ANALISI DEL CAMPO D'ONDA INCIDENTE SUL LUNGOMARE BALAI.....</b>	<b>18</b>
4.1. CENNI SUL MODELLO MATEMATICO.....	21
4.2. CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO.....	22
4.3. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO: DISCRETIZZAZIONE DELLE SPECCHIO ACQUEO E CONDIZIONI AL CONTORNO .....	23
4.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI .....	25
4.5. ANALISI DEI RISULTATI.....	36
4.6. CONCLUSIONI.....	37

### Indice delle figure

Figura 1 unità fisiografica tratta dal Programma d'Azione Coste Sardegna 2013 .....	2
Figura 2 individuazione dell'area costiera compresa nell'unità fisiografica .....	2
Figura 3 individuazione dell'area costiera oggetto di analisi storica.....	3
Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali .....	1
Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali .....	2
Figura 6 Ambito costiero di indagine .....	3
Figura 7 Località "scoglio lungo". è evidente la protezione naturale creata dai bassi fondali affioranti.....	4
Figura 8 passeggiata a mare, protetta con piccola scogliera e riporto in sabbia - opere realizzate tra febbraio e maggio 2005.....	4
Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino.....	7
Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino.....	8
Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC.....	9
Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa.....	10
Figura 13 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A.....	11
Figura 14 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2014 - 2016 transetto A.....	12
Figura 15 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B .....	12
Figura 16 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B .....	13
Figura 17 immagine aerea con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.....	14
Figura 18 immagine aerea, estesa ad un fascia litoranea di 30km circa, con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale. ....	14
Figura 19 tratto di costa ad est del porto esteso oltre 2km.....	15
Figura 20 fotografie del tratto roccioso.....	16
Figura 21 immagine aerea del tratto su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona, fino ad una distanza di 15Km dal porto ed estratto del SIC. ....	17
Questa affermazione è avvalorata dai valori di altezza d'onda calcolati sulle spiaggette prospicienti il porto e riportati in figura 22, che appaiono addirittura più bassi di quanto non lo siano nella configurazione di PRP. ....	18
Figura 23 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres.....	18
Figura 24. Configurazione attuale su aerofoto.....	19
Figura 25. Configurazione di progetto su aerofoto .....	20
Figura 26. Individuazione delle "pocket beaches" oggetto di studio.....	21
Figura 27. Dominio di calcolo con indicazione delle direzioni di provenienza delle onde.....	23
Figura 28. Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni.....	24
Figura 29. Configurazione di progetto: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni.....	24
Figura 30. Configurazione di progetto: indicazione dei coefficienti adottati per le simulazioni.....	25
Figura 31. Configurazione attuale: agitazione ondosa (320°N – 7s).....	26
Figura 32. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (320°N - 7s).....	27

Figura 33. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 320°N .....	27
Figura 34. Configurazione attuale: agitazione ondosa (350°N - 9s).....	28
Figura 35. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (350°N - 9s).....	29
Figura 36. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 350°N .....	29
Figura 37. Configurazione attuale: agitazione ondosa (20°N - 9s).....	30
Figura 38. Configurazione di progetto. agitazione ondosa (20°N - 9s) .....	31
Figura 39. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 20°N .....	32
Figura 40. Configurazione attuale: agitazione ondosa (50°N - 9s).....	33
Figura 41. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (50°N - 9s).....	33
Figura 42. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 50°N .....	34
Figura 43. Configurazione attuale: agitazione ondosa (70°N - 7s).....	35
Figura 44. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (70°N - 7s).....	35
Figura 45. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 70°N .....	36

## 1. PREMESSA

La presente relazione specialistica illustra le analisi di morfodinamica costiera e gli studi sulla variazione del campo d'onda incidente, connessi all'intervento di *Adeguamento tecnico funzionale al Piano Regolatore Portuale del porto civico di Porto Torres –Prolungamento dell'antemurale di ponente e resecazione banchina alti fondali* .

Il documento è stato condotto in risposta al parere regionale prot. n. 0015482 del 09.08.2016 espresso da parte della Regione Sardegna – Direzione Generale dell'Ambiente durante il procedimento di verifica di assoggettabilità a VIA delle opere previste nel progetto. Nel citato parere è sottolineato come *“la proposizione di opere suscettibili di introdurre perturbazioni in un contesto di tale valenza e sensibilità dovrebbe muovere da un'analisi storica dell'evoluzione della linea di costa ... valutando cartografie e foto aeree storiche, e valutando altresì le tendenze evolutive conseguenti alla realizzazione ... Dovrebbero essere ricostruite le modalità con le quali le nuove opere interagiscono con l'assetto idrodinamico (moto ondoso e correnti) e sedimentologico dell'unità fisiografica ed i possibili effetti sullo stesso, verificando in particolare la possibilità di alterazione significativa di tali dinamiche ... tramite il supporto di un apposito modello matematico...”*

Allo scopo è stato redatto il presente studio strutturato come segue:

- analisi storica dell'evoluzione della linea di costa;
- analisi di interazione tra opere ed assetto idrodinamico dell'unità fisiografica con conseguente definizione del dominio suscettibile di alterazioni;
- modello matematico teso a valutare la variazione del campo di moto ondoso nel dominio individuato: analisi del campo d'onda incidente sul lungomare Balai.

## 2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA

Il porto si colloca nell'unità fisiografica Pta li Francesi Stintino.

Per prossimità geografica e per sensibilità ambientale l'analisi sugli effetti di dinamica costiera sarà estesa al tratto evidenziato in giallo nelle figure seguenti.

7.2.18. UF. 18 - Pta di li Francesi - Stintino

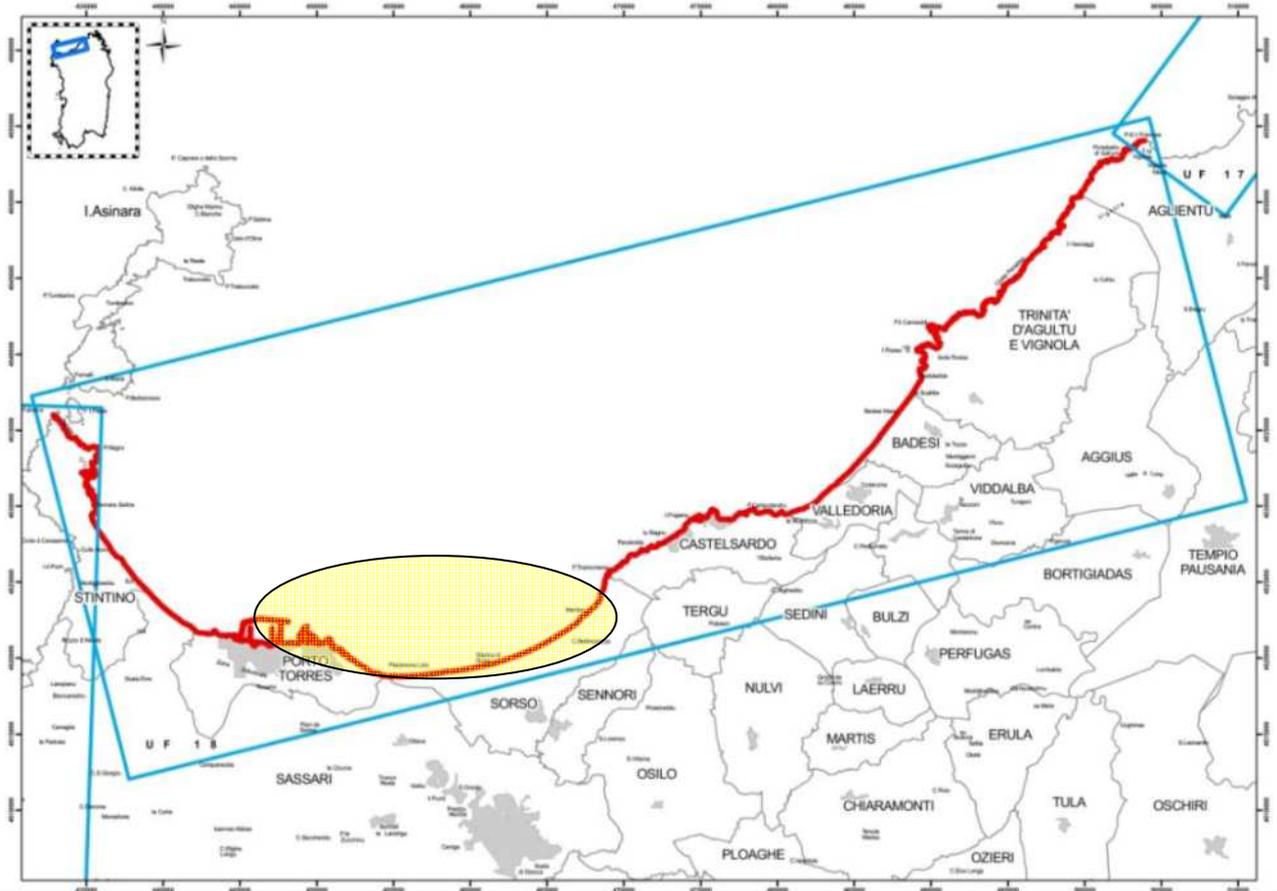


Figura 1 unità fisiografica tratta dal Programma d'Azione Coste Sardegna 2013



Figura 2 individuazione dell'area costiera compresa nell'unità fisiografica

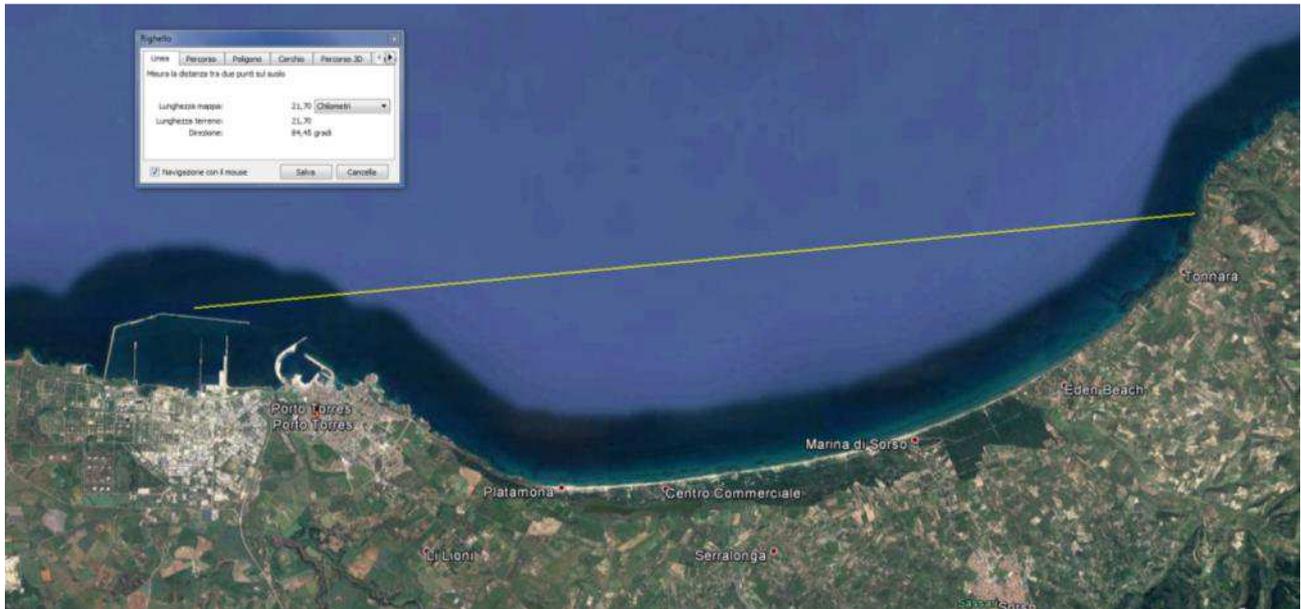


Figura 3 individuazione dell'area costiera oggetto di analisi storica

L'analisi storica è stata condotta sulla base delle immagini aeree disponibili sul sito web <http://www.sardegnaeoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/> e delle immagini più recenti reperibili su google earth pro.

La prima immagine disponibile, sul tratto di costa di interesse, è del 1954, nella quale si nota già la presenza del porto civico. Nel 1977 nasce il molo del porto industriale, che trova completa definizione nell'immagine storica del 1998.

La successione storica delle immagini viene riportata di seguito (Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali) e consente immediatamente di evidenziare che:

- nel 1954 le opere foranee del porto civico avevano un aggetto sulla costa pari a circa 700 m;
- nel 1968 si nota un prolungamento di circa 300m, il molo ha raggiunto un aggetto sulla costa pari a circa 1Km;
- nel 1998 si evidenzia la presenza del porto industriale immediatamente ad ovest del porto civico, con un aggetto sulla costa pari a 1,5 Km.

Il porto civico esiste ed esplica il suo effetto sui fenomeni di dinamica costiera, da almeno 60 anni; dagli anni '90 esiste anche il porto industriale, che con il suo notevole aggetto ha di fatto reso il porto civico un'opera minore, sottoflutto alla traversia dominante ed impedisce di fatto che il porto civico stesso possa influire idrodinamicamente il sistema costiero verso ovest.

Se si confrontano la più antica (1954) e la più recente (2016) immagine aerea disponibile (Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali) si nota immediatamente come non vi siano stati fenomeni di accumulo o erosione a ridosso delle opere portuali di difesa dei due porti, tantomeno tra i due porti industriale e civico stessi. Nel tratto di costa ove i due porti sono stati realizzati, ed oltre per diversi km sia verso ovest che verso est, infatti la costa si presenta rocciosa così come i fondali immediatamente prospicienti. Di fatto non vi sono sedimenti nella fascia attiva in grado di generare fenomeni di accumulo o di erosione, se vi fossero stati avrebbero già ampiamente manifestato, nel corso di oltre 50 anni di presenza delle infrastrutture, i propri effetti.

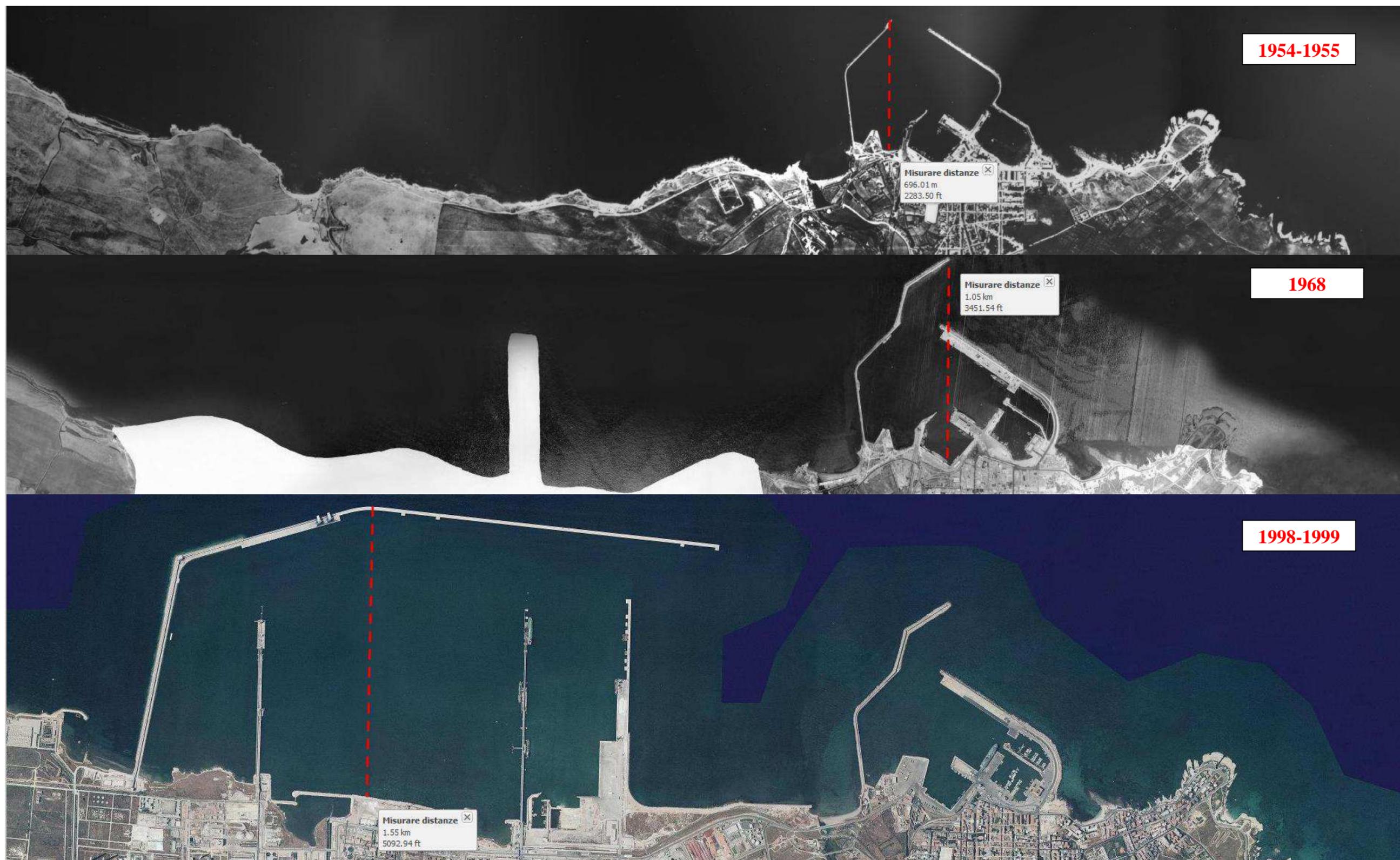


Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali



Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali

Volendo approfondire l'indagine ed andando ad indagare le possibili unità fisiografiche sulle quali il progetto di prolungamento possa generare dei potenziali effetti significativi, bisogna quindi orientarsi ad est del porto civico, atteso che ad ovest risulta totalmente schermato dal porto industriale.

Osservando quindi oltre 15 km di costa ad est dell'infrastruttura da realizzare, il dominio di interesse individua tre unità fisiografiche distinte, le prime due omogenee per caratteristiche orografiche ma separate dal promontorio di San Gavino:

- 1. Sub-unità fisiografica compresa tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino – estensione complessiva circa 900 m;**
- 2. Sub-unità fisiografica compresa tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC di Platamona - estensione complessiva circa 3.8 Km**
- 3. Sub-unità fisiografica comprendente la spiaggia del SIC di Platamona - estensione complessiva di circa 10 Km**

In particolare, in questa sede, verrà sviluppata una analisi storica per tutti i tratti di interesse, mentre per il tratto più prossimo al porto verranno, nel paragrafo successivo, analizzati i risultati di un apposito modello idrodinamico sviluppato per la valutazione della variazione del campo di agitazione ondosa incidente.

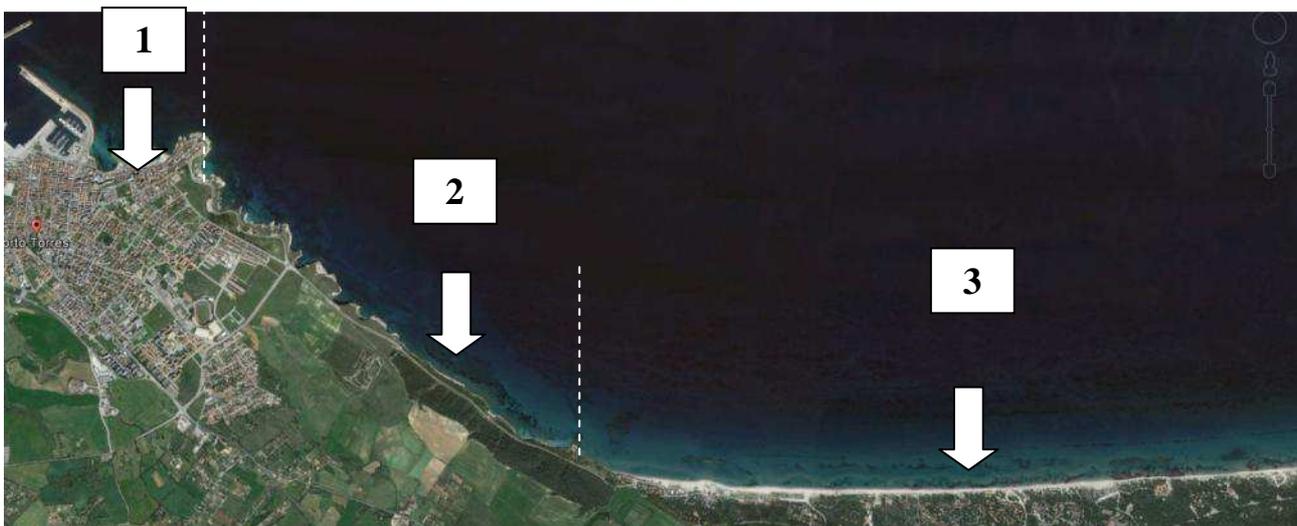


Figura 6 Ambito costiero di indagine

### **1. Sub-unità fisiografica compresa tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino**

Questo tratto di costa ha una estensione di 900m circa.

Il tratto di costa in esame si presenta come rocciosa, frastagliata, con scogli sommersi su bassi fondali e con scogli emersi a formare piccole protezioni costiere. Ad eccezione di un tratto di circa 40 m a ridosso dello “scoglio lungo” in cui è presente un piccolo accumulo sabbioso, non vi sono spiagge.



Figura 7 Località "scoglio lungo". è evidente la protezione naturale creata dai bassi fondali affioranti.

La prima raccolta di immagini rappresentativa del tratto di costa di interesse (Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino) mostra come lo stesso non abbia subito modifiche nel cinquantennio indagato, nonostante il porto civico abbia viceversa subito notevoli modifiche nella conformazione dei moli. Si veda in proposito Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali.

La raccolta di foto relativa al decennio successivo (Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino) introduce un elemento di novità rappresentato da un intervento realizzato tra i mesi di febbraio e maggio del 2005, di realizzazione di una passeggiata sul mare protetta da un molo in scogli naturali, associato ad un possibile intervento sversamento di sabbia. Si nota come il molo posto a protezione delle ondate provenienti dal primo quadrante protegga tutta l'area della passeggiata e della micro spiaggia artificiale realizzata in radice del molo stesso. Il sistema negli ultimi dieci anni è stabile e si rinviene solo nel 2016 un ulteriore intervento di sversamento artificiale di sabbie a ridosso della radice del molo. Anche tale analisi avvalorata la tesi che non vi siano naturali apporti di sedimenti positivi (accumulo) o negativi (erosione) nell'area di indagine



Figura 8 passeggiata a mare, protetta con piccola scogliera e riporto in sabbia - opere realizzate tra febbraio e maggio 2005

## 2. Sub-unità fisiografica compresa tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC

Questo tratto di costa ha una estensione di 3,8Km circa.

Il tratto di costa in esame si presenta anch'esso come roccioso, frastagliato, con scogli sommersi su bassi fondali e con scogli emersi a formare piccole protezioni costiere. Ad eccezione di due piccole baie (definibili certamente come pocket beach – senza contributi esterni) subito a ridosso del promontorio di San Gavino, ove troviamo un ridotto deposito sabbioso, per il resto del tratto la costa risulta sostanzialmente priva di sabbie.

Nell'avvicinarsi alla spiaggia del SIC di Platamona, inizia una sottile lingua di sabbia, fino al capo di su cui si trova la Torre di Abbacurrente.

In considerazione di quanto sopra la raccolta di immagini selezionata per questo tratto di costa (Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC) è molto snella poiché il tratto è roccioso ed evidentemente non interessato da modifiche morfologiche.

## 3. Sub-unità fisiografica comprendente la spiaggia del SIC di Platamona

Questo tratto di costa ha una estensione di 10Km circa. Presenta una spiaggia ad ampiezza variabile, ma sempre continua senza interruzione.

Prima di procedere all'analisi fotografica storica è interessante analizzare i documenti tecnico-scientifici reperibili online.

Il documento ISPRA “Repertorio nazionale degli interventi di ripristino 1b - Sardegna - Lavori di risanamento e recupero ambientale dello stagno di Platamona” (<http://www.isprambiente.gov.it/files/ecosistemi-marini/1b-sardegna-risanamento-stagno-platamona.pdf>) illustra un intervento di ripristino previsto dal Piano Integrato territoriale SS 01 – POR Sardegna misura 1.5 tra gli anni 2007-2008.

Il documento riguarda la messa in servizio di un dispositivo di tutela per il segmento di arenile corrispondente alla discesa a mare n°3 della spiaggia di Platamona. Qui, infatti, la fenomenologia di degrado risulta particolarmente evidente. Il profilo dunale risulta appiattito e sono visibili sui piazzali e sulle strade gli accumuli sabbiosi prodotti dall'azione eolica. L'intervento si prefigge un insieme di accorgimenti orientati a determinare un processo di ricostituzione del cordone dunale originario mediante l'intercettazione delle sabbie interessate dall'azione eolica con tecniche di ingegneria naturalistica e tradizionale.

Al di là dell'intervento specifico, il documento rappresenta una preziosa fonte di informazioni sullo stato della spiaggia del SIC. Sul documento si legge infatti:

*“L'impovertimento della spiaggia in atto è, con ogni evidenza, imputabile essenzialmente all'azione eolica che agisce su un sistema dunale denudato dal la vegetazione a causa del calpestio e delle attività di pulizia dell'arenile. La compromissione del profilo naturale della duna, determinata dall'impianto della pineta o, ancora peggio, l'interruzione da parte di piazzali di parcheggio e strutture murarie rigide, determina l'innesco di un inarrestabile processo di asportazione della coltre soffice di sabbia, e la sua dispersione nell'ambiente retrostante (pineta o aree agricole) senza alcuna possibilità di recupero. Il fenomeno prosegue inesorabilmente su tutta la superficie della spiaggia attiva, non più adeguatamente tutelata dalla presenza di essenze psammofile, fino a produrre, con l'allontanamento delle sabbie asciutte superficiali, un sostanziale appiattimento del profilo emerso. Il fenomeno, inoltre, si ripercuote naturalmente anche sui tratti di spiaggia contigui dotati di profili in condizioni accettabili, incidendo dunque in misura rilevante sulla consistenza dello stock detritico complessivamente disponibile. Il processo è, nella particolare situazione, parzialmente mascherato dal*

*fatto che l'arenile in questione rappresenta il tratto di recapito finale del detrito marino dell'intero sistema fisiografico rappresentato dal Golfo dell'Asinara e, la quota di sabbie dispersa annualmente viene, di fatto, parzialmente ricostituita dai continui apporti."*

In sostanza vengono denunciati dei fenomeni di criticità, legati all'azione del vento ed alla mancanza di essenze arboree in grado di contrastare l'azione erosiva. Tuttavia in termini globali si assiste ad una sostanziale stabilità, almeno in termini di apporti marini positivi o negativi.

Informazioni più aggiornate riguardano un evento del 2013 quando un forte vento e numerose mareggiate hanno ridisegnato la fisionomia della costa tra la torretta di Abbacurrente e il bar La Torre: sotto la scalinata che porta all'arenile, la sabbia è stata inghiottita dal mare e al posto delle decine di metri quadrati di spiaggia è rimasta solo qualche roccia e un lastrone di argilla. L'Amministrazione Comunale ha adottato la strategia dell'attesa e del monitoraggio, anche avallata dalle tesi secondo cui il bilancio globale tenda alla relativa stabilità. Il professore del dipartimento di Scienze Ambientali e Naturali dell'Università di Sassari, Vincenzo Pascucci ha infatti dichiarato "... Nella stagione primaverile e in quella estiva, la sabbia che in questa settimana è stata imprigionata dal mare tornerà al suo posto. E salvo particolari eventi climatici, nel giro di poche settimane tutto dovrebbe tornare come prima..." L'ultimo evento di erosione costiera risale a più di vent'anni fa: era il 1988. Da quel momento la spiaggia ha sempre conservato la sua linea, senza arretrare di un centimetro.

Per poter verificare quanto illustrato ed evidenziare eventuali, sensibili, variazioni verranno individuati due transetti significativi in punti in cui sono presenti di punti fissi che consentano di misurare la profondità della spiaggia. Si veda l'immagine Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa, su cui sono indicate le posizioni dei transetti A e B.

### **Transetto A**

Dal confronto tra le immagini storiche (

**Figura 13 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A**) si nota che il tratto di costa sabbioso indagato, interno al SIC, ha avuto una lunga fase di stabilità, certificata da immagini storiche che vanno dal 1968 ad 2014. La costruzione o modifica delle opere foranee dei porti non ha in alcun modo inciso sulla linea di costa. A partire dall'immagine del 2014 si assiste ad un fenomeno di arretramento stimato in 10m circa e confermato dall'immagine 2016. Tale tendenza potrebbe non essere definitiva ma solo dovuta al ristretto arco temporale (2 anni) di accertamento. Il trend evolutivo dovrà essere monitorato.

### **Transetto B**

L'esame del transetto manifesta, analogamente al precedente, una relativa stabilità. Benché le prime due immagini storiche ( **Figura 15 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B**) sembrano denunciare un arretramento pari a 10m circa nel 1998, la successiva raccolta di immagini (**Figura 16 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B**) manifesta un ritorno alla situazione originaria. È possibile che la misurazione del 1998 sia imputabile ad una condizione particolare di mare, la spiaggia ha di fatto mantenuto nel tempo ampiezza pressoché costante.

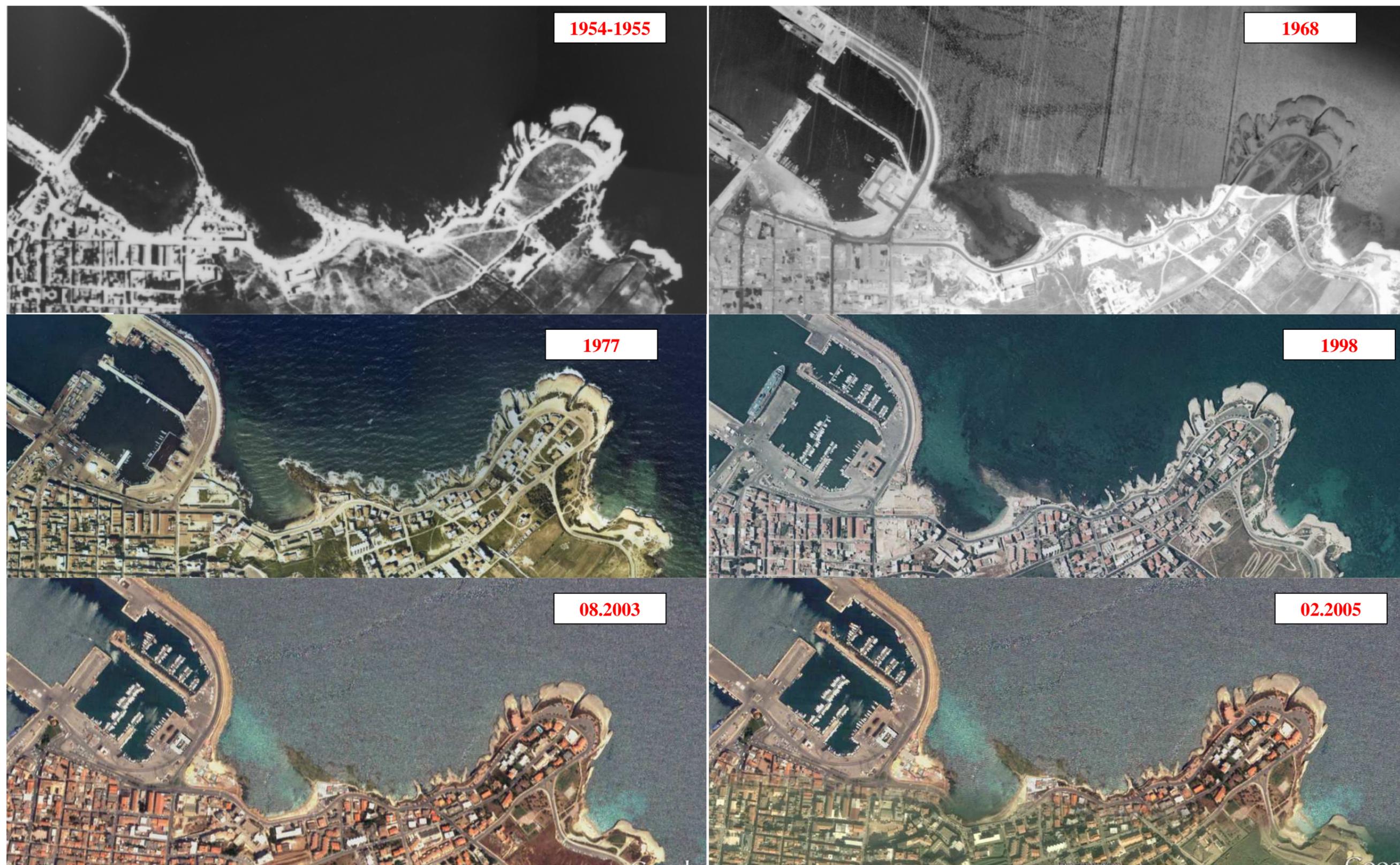


Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino



Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino

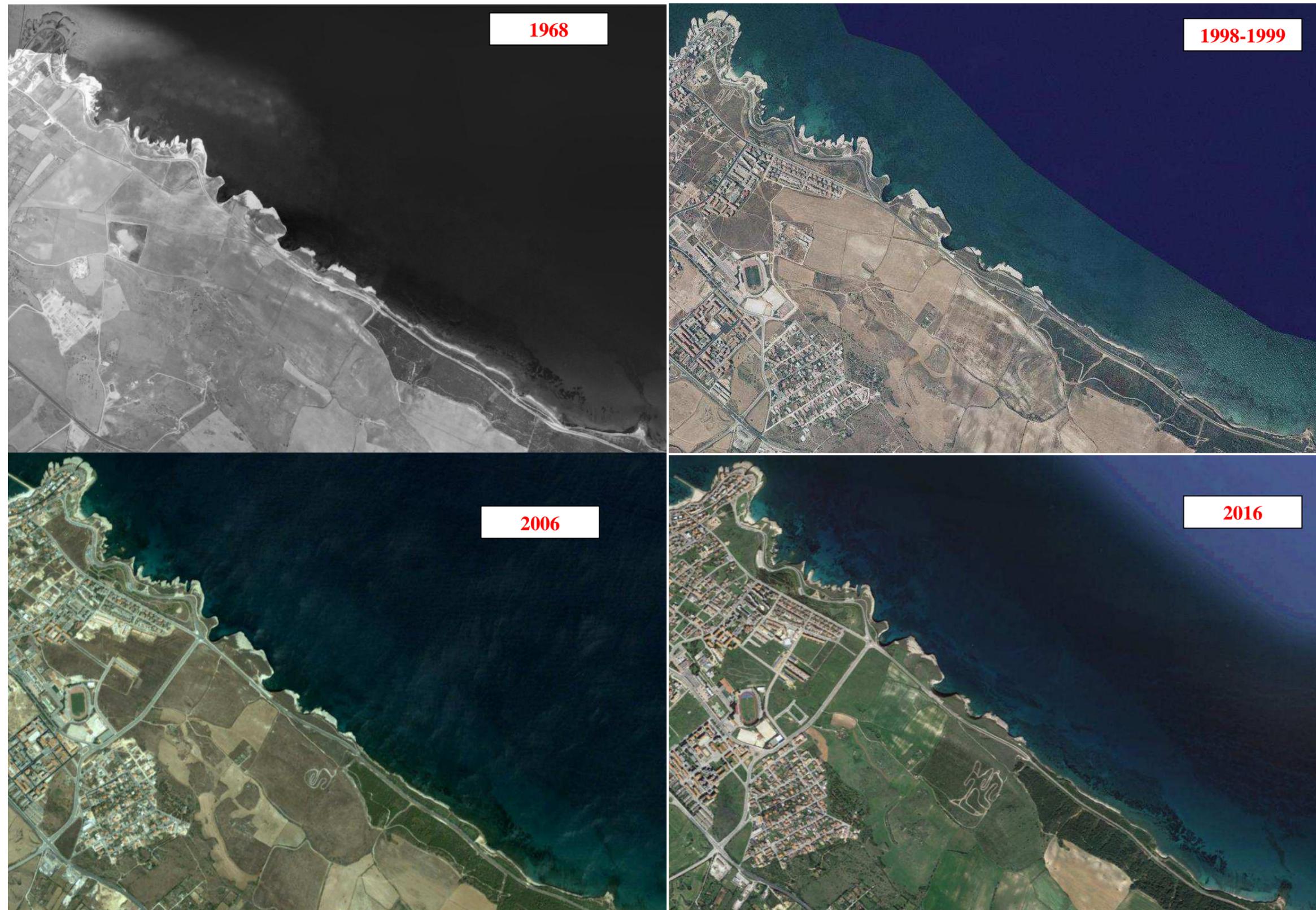


Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC

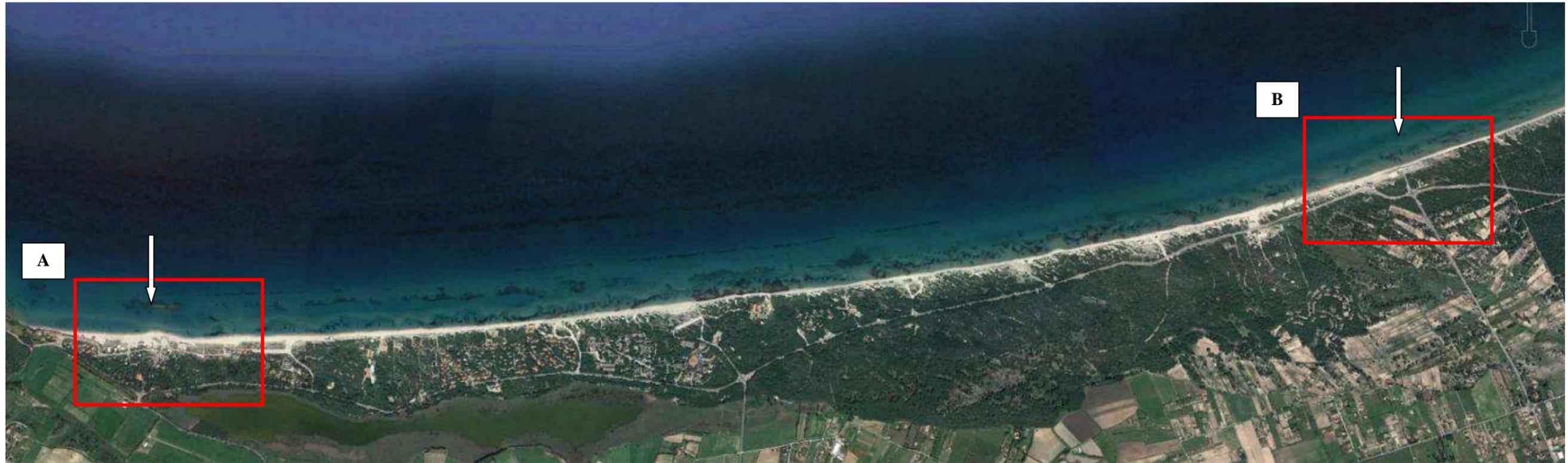


Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa

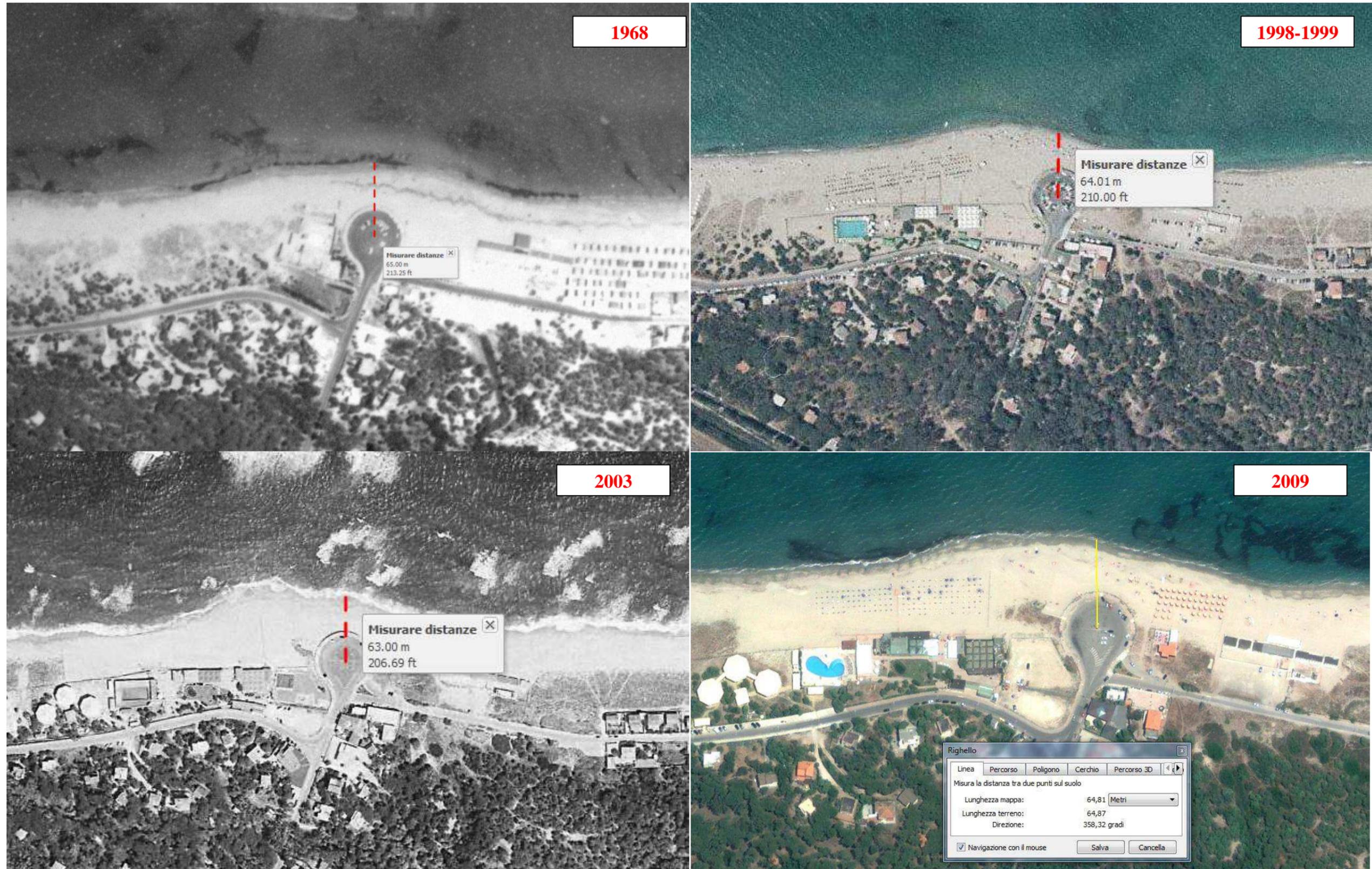


Figura 13 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A

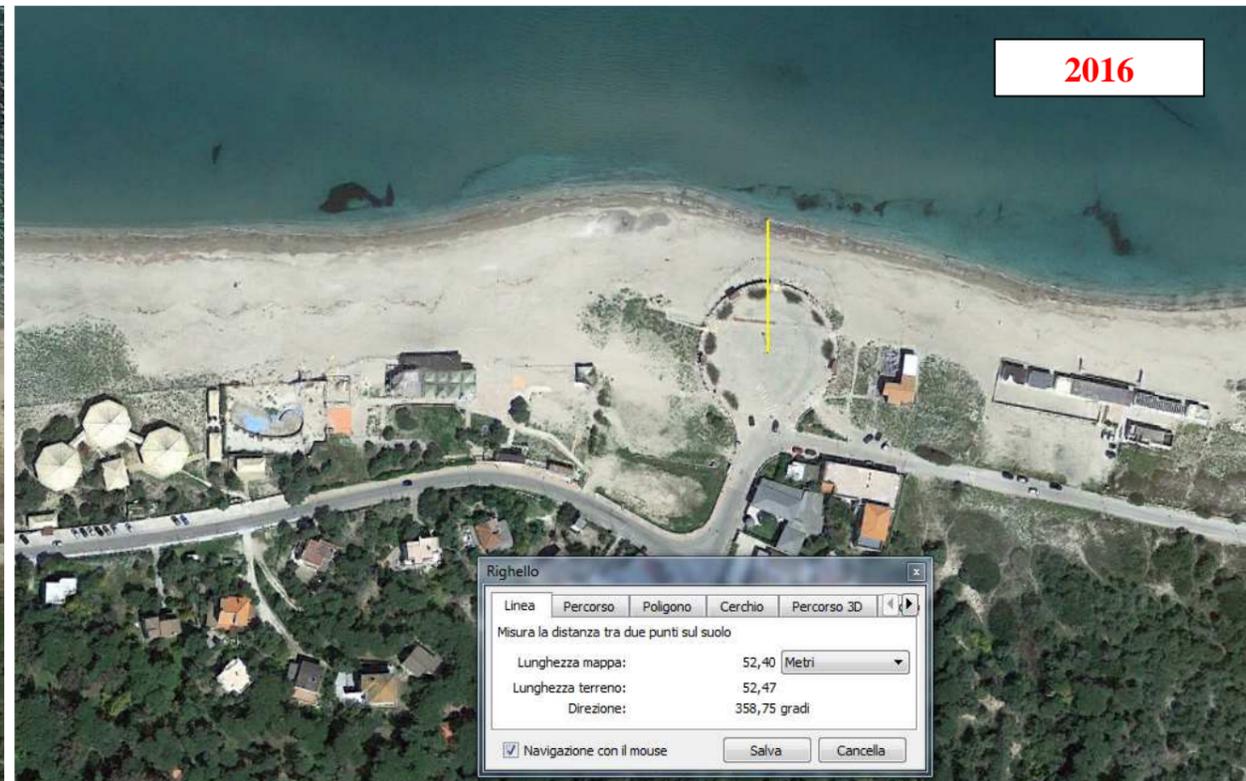
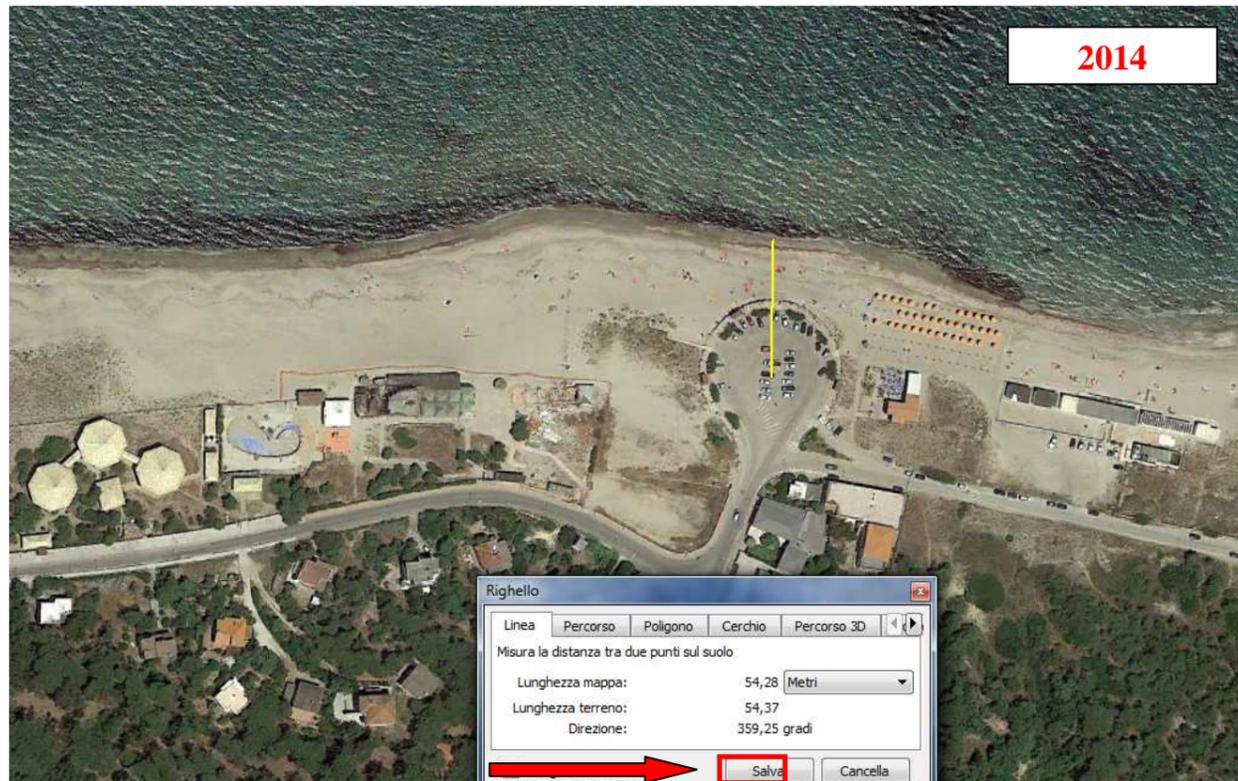


Figura 14 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2014 - 2016 transetto A



Figura 15 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B



Figura 16 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B

### 3. ANALISI DI INTERAZIONE TRA OPERE ED ASSETTO IDRODINAMICO DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA

A. Innanzi tutto l'analisi delle immagini storiche di cui al paragrafo precedente, nonché le evidenze in situ consentono di affermare che, **oggettivamente, nel sito di progetto, non vi è alcun fenomeno di trasporto solido. Non vi sono infatti fenomeni di accumulo né tra i due porti, industriale e civico, né nei tratti di costa immediatamente ad est ed ad ovest degli stessi.** Essendo i due porti esistenti da decenni qualsiasi fenomeno di accumulo avrebbe ad oggi ampiamente manifestato i suoi effetti.

Le **caratteristiche dell'opera in progetto** e la **morfologia costiera** contribuiscono a fugare ogni dubbio di impatto sui litorali, il tutto come illustrato ai punti seguenti.

B. Per ciò che concerne le caratteristiche proprie dell'opera va evidenziato che **il previsto prolungamento del molo di ponente non aggetta sul profilo di costa oltre l'esistente molo del porto industriale**, pertanto il molo di ponente del porto civico risulta messo in ombra dal porto industriale e non ha alcuna possibilità di esplicare i propri effetti sul litorale ad ovest dello stesso. Ciò anche in ragione del fatto che le mareggiate provengono prevalentemente dal primo quadrante.

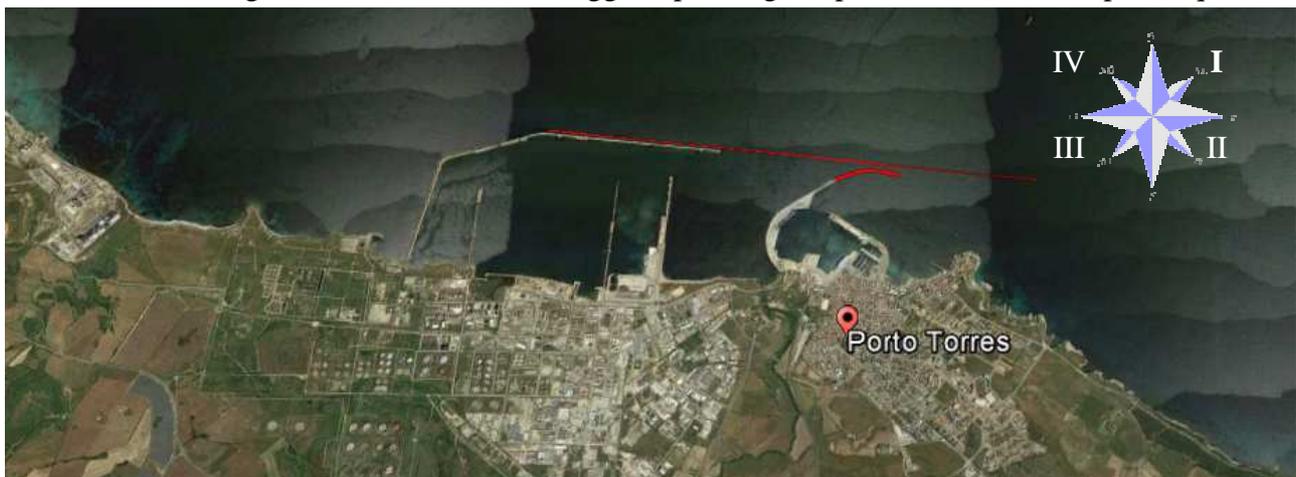


Figura 17 immagine aerea con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.



Figura 18 immagine aerea, estesa ad un fascia litoranea di 30km circa, con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.

- C.** Non meno importante è la considerazione che l'intervento di prolungamento del molo di ponente avverrà su fondali compresi tra -15m e -20m sul lmm, pertanto ben **al di fuori della fascia attiva** in termini di dinamica litoranea, notoriamente compresa entro la batimetrica -6 o al massimo -7 sul l.m.m. Ciò vuol dire che l'intervento si attua su batimetriche più profonde di quelle per le quali esistono movimenti di sabbie dovuti a correnti marine e moto ondoso.
- D.** Ulteriori considerazioni in grado di avvalorare la tesi della mancanza di effetti sul litorale provengono dalla **morfologia costiera ad est del porto**. Ovviamente la zona ovest non verrà esaminata per le motivazioni già espresse al punto B.
- È fondamentale evidenziare come il primo tratto di costa ad est del porto oltre il promontorio, esteso oltre 2Km, **sia assolutamente roccioso**, pertanto non soggetto a fenomeni erosivi per effetto del trasporto dei sedimenti.



Figura 19 tratto di costa ad est del porto esteso oltre 2km



Figura 20 fotografie del tratto roccioso

E. Per ciò che concerne il tratto litoraneo su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona tutte le considerazioni suesposte sulla:

- oggettiva assenza di trasposto solido;
- costruzione dell'opera al di fuori della fascia attiva;
- direzione prevalente delle onde dal I quadrante;

consentono di escludere ogni effetto del progetto sul tratto di litorale su cui insiste il SIC Stagno e ginepreto di platamona.

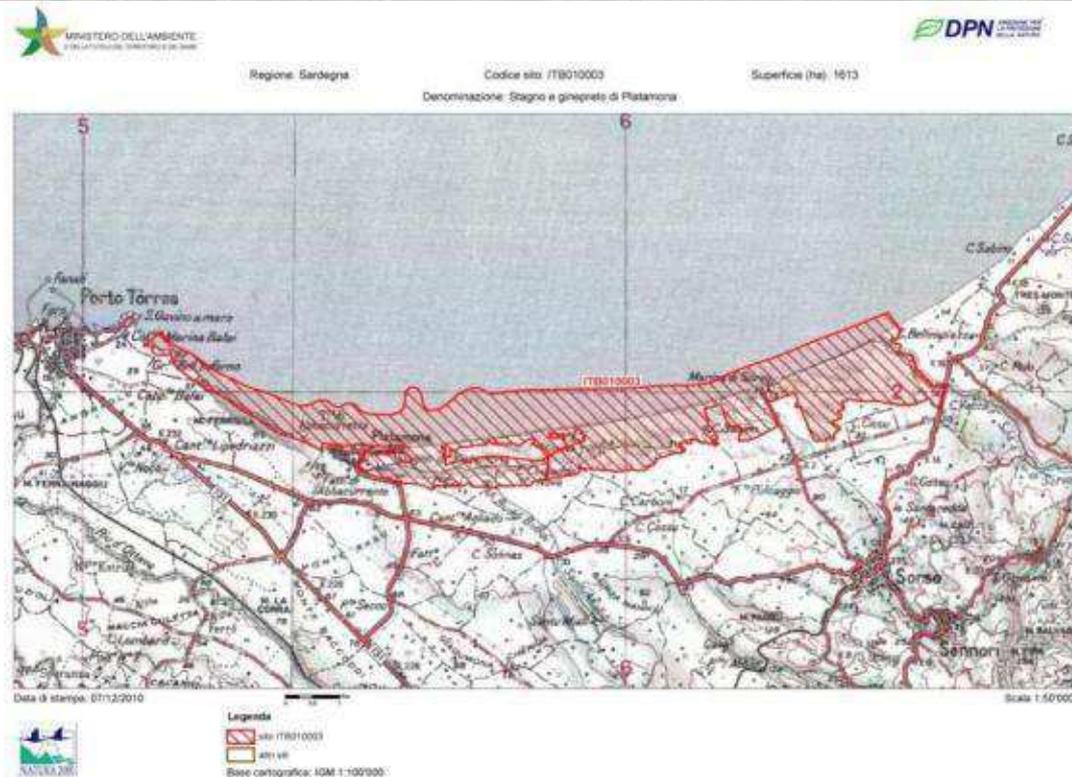
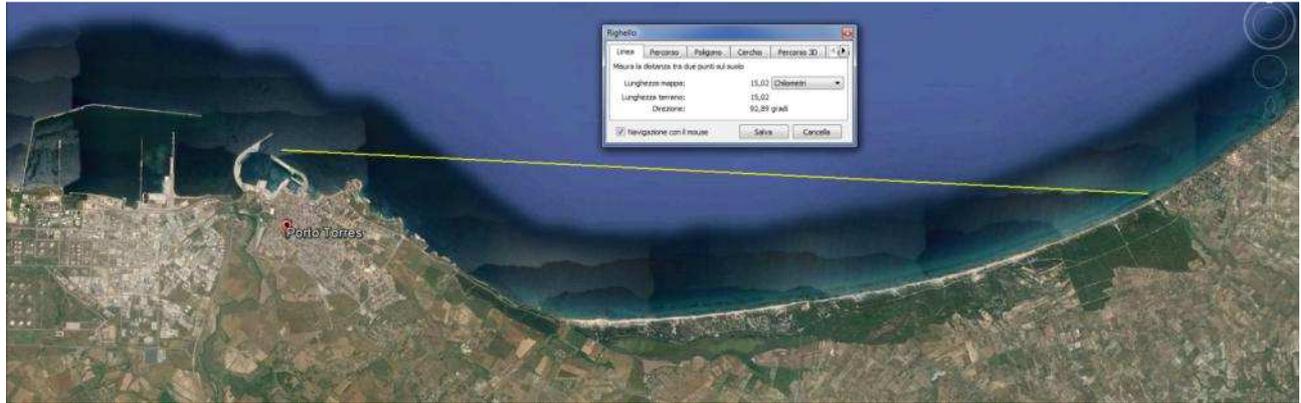


Figura 21 immagine aerea del tratto su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona, fino ad una distanza di 15Km dal porto ed estratto del SIC.

F. Resta infine la valutazione degli effetti della realizzazione del molo sulle spiaggette immediatamente ad est del porto civico.

Questi ultimi sono stati valutati nell'ambito del PRP e quindi richiamati nel Q. progettuale di SIA negli "Effetti dell'opera sul litorale" dove si legge:

*"Lo studio proposto di seguito è stato condotto nell'ambito della progettazione delle opere per l'Adeguamento Tecnico Funzionale del PRP vigente, che prevede – come detto in premessa - le opere del presente progetto definitivo a meno del nuovo Molo di Levante...."*

*Dal confronto emerge che le nuove opere, con particolare riferimento al molo di sopraflutto, non alterano in maniera significativa il moto ondoso incidente, ovvero lungo le spiaggette prospicienti il Lungomare Balai non si riscontrano sensibili variazioni dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere e pertanto si ritiene che tali spiagge non subiranno rilevanti variazioni dal punto di vista morfodinamico."*

Questa affermazione è avvalorata dai valori di altezza d'onda calcolati sulle spiaggette prospicienti il porto e riportati in Figura 22 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres, che appaiono addirittura più bassi di quanto non lo siano nella configurazione di PRP. Dall'esame della tabella si nota inoltre come le mareggiate prese in esame, per il loro carattere di prevalenza, sono quelle provenienti dal I quadrante (nord est).

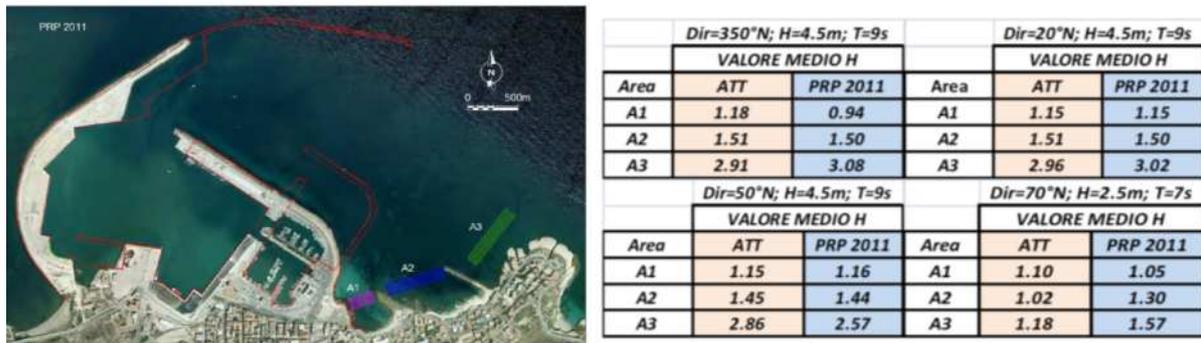


Figura 22 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres

Il modello citato è tuttavia applicato ad una configurazione portuale differente da quella presentata in questo progetto (sviluppata in una fase intermedia di PRP), pertanto nel presente studio è stata opportunamente aggiornata.

**G.** Relativamente all'effetto in fase di cantiere bisogna esaminare il tipo di lavoro che si andrà ad eseguire, non in grado di generare sensibili movimenti di sedimenti sul fondale. Si tratta in sostanza della posa in opera di cassoni per il molo di ponente e di limitate attività di dragaggio e salpamento per la resecazione. Il tipo di attività in oggetto potrà generare limitati effetti di torbidità in grado di esaurirsi nel raggio di 50m dal punto di esecuzione e comunque controllati da opportuni interventi di mitigazione quali ad esempio l'uso di panne galleggianti. Anche rispetto al tipo di lavorazioni non si riscontrano potenziali criticità nei confronti della movimentazione delle sabbie.

#### 4. ANALISI DEL CAMPO D'ONDA INCIDENTE SUL LUNGOMARE BALAI

Come anticipato al § 3 punto F, è stato condotto uno studio dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere. Tale studio, adeguando la configurazione portuale a quella effettivamente prevista dal progetto definitivo, costituisce un aggiornamento di quanto precedentemente presentato.

In sostanza, lo studio di cui al progetto preliminare ha posto a confronto lo stato attuale con la configurazione di PRP 2011, come riportata nella figura seguente.

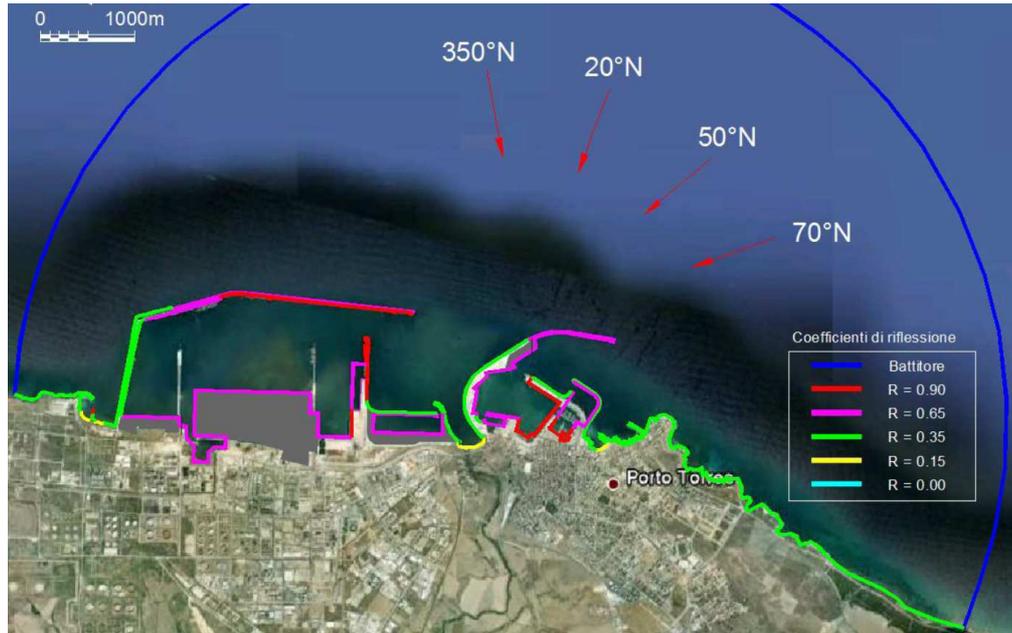


Figura 23 Configurazione di progetto modellata nel progetto preliminare

Nel presente studio invece, allo stato attuale viene contrapposta la configurazione futura come prevista dalle opere di progetto (prolungamento Molo di Levante e resecazione banchina Alti Fondali).



Figura 24. Configurazione attuale su aerofoto



Figura 25. Configurazione di progetto su aerofoto

Il modello matematico impiegato per definire il campo di moto ondoso, e descritto successivamente, è stato applicato su un dominio circolare che interessa un tratto di costa a cavallo del porto esistente lungo oltre 10 km. Ciò permette di analizzare sia il tratto di costa tra i due porti, industriale e civico, sia i tratti di costa immediatamente ad est ed ad ovest degli stessi. Tuttavia, la zona a ovest del porto civico non è stata esaminata per le motivazioni già espresse al punto B del paragrafo 3. Allo stesso modo, è stato escluso dallo studio il tratto di costa su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona (punto E § 3).

È invece interessante analizzare la situazione ad Est del porto civico, nel tratto compreso tra il porto stesso e il SIC sopra citato. Poiché oltre il promontorio su cui sorge la chiesa di San Gavino a Mare, la costa è assolutamente rocciosa ad eccezione della spiaggia di Balai, la valutazione degli effetti legati alla realizzazione del molo viene limitata alle spiaggette (“pocket beaches”) immediatamente ad est del porto, come indicato in figura.

Nelle aree indicate sono stati confrontati i livelli di agitazione ondosa che si verificano attualmente con quelli che si potranno verificare ad opere ultimate, al fine di verificare l’impatto esercitato dalla nuova opera a gettata (nuovo molo di sopraflutto).



Figura 26. Individuazione delle "pocket beaches" oggetto di studio

Nei paragrafi successivi viene rappresentato lo studio svolto ed organizzato come segue:

- descrizione del modello matematico adottato per le simulazioni;
- definizione delle configurazioni analizzate in termini di direzioni di provenienza e periodi dell'onda incidente, ricavati dai dati meteomarini riportati e commentati nell'elaborato *Relazione idraulica – Studio meteomarino* redatto dal prof. Ing. De Girolamo ed allegato al progetto definitivo, cui si rimanda per maggiori approfondimenti;
- illustrazione del dominio di calcolo definito per condurre le simulazioni numeriche;
- analisi dei risultati ottenuti e restituzioni grafiche degli output delle simulazioni elaborate.

#### 4.1. CENNI SUL MODELLO MATEMATICO

Il modello di calcolo impiegato appartiene al sistema di modellazione SMS (Surfacewater Modeling System) che consente di stimare le condizioni del moto ondoso a ridosso delle coste.

Il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alle graficizzazioni dei risultati.

Nella fase preliminare dello studio è stato utilizzato il software per la costruzione del reticolo geometrico agli elementi finiti con cui è stato discretizzato lo specchio liquido da simulare. Successivamente sono state definite all'interno del modello di calcolo le condizioni idrodinamiche al contorno ricavate dal già citato studio meteomarino.

L'applicazione del modulo CGWAVE ha quindi permesso di quantificare il campo di moto ondoso indotto lungo il tratto costiero ricadente all'interno del dominio di calcolo.

CGWAVE è un modello matematico bidimensionale agli elementi finiti sviluppato dall'Università del Maine su commissione del "U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station". È basato sull'equazione ellittica dell'onda che si propaga su fondali a lieve pendenza, (conosciuta anche come "combined refraction-diffraction equation") prima proposta da Eckart (1952) ed in seguito trattata da Berkhoff (1972, 1976) e altri, che è utilizzata per stimare le condizioni del moto ondoso a ridosso delle

coste.

CGWAVE è in grado di simulare contemporaneamente gli effetti della rifrazione, della diffrazione, della riflessione causata dalla variazione di profondità e dalle strutture, della dissipazione dell'energia dell'onda dovuta all'attrito con i fondali e al frangimento e l'effetto della dispersione non lineare dell'ampiezza dell'onda. CGWAVE analizza la trasformazione dell'onda a basse profondità nelle vicinanze della costa, quindi appartiene a quella classe di modelli matematici che operano in "local scale".

Il metodo classico "super-element", così come il nuovo metodo di approssimazione parabolica sviluppato recentemente (Xu, Panchang and Demirbilek 1996), vengono utilizzati per studiare la condizione al contorno "open boundary". Per risolvere le equazioni discretizzate viene utilizzata una procedura iterativa (metodo del gradiente coniugato) introdotta da Panchang e altri (1991) e modificata da Li (1994).

#### 4.2. CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO

Per la scelta delle forzanti di moto ondoso, oltre a tener conto degli obiettivi prefissati per lo studio, si è fatto riferimento ai risultati riportati nello studio meteomarino già richiamato.

Le simulazioni sono state condotte considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le finalità perseguite e compatibili con le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio in esame.

Più specificamente sono stati analizzati gli scenari che prevedono come forzanti di moto ondoso gli eventi rappresentativi delle condizioni più rare e gravose legate a tempeste con tempo di ritorno cinquantennale, alle quali si associano i massimi valori del campo di moto ondoso e quindi gli impatti maggiori sulle strutture e sulla costa.

Dallo studio meteomarino si evince che, sebbene gli eventi più frequenti provengano dal IV quadrante, le mareggiate più estreme si concentrano nel settore 350-50°N, alle quali si associano altezze d'onda anche superiori a 4,0 m.

Al fine di rappresentare tutte le condizioni ondose significative per lo studio in esame, si è ritenuto opportuno effettuare diverse simulazioni variando la direzione di provenienza dell'onda tra 320°N e 70°N.

In via cautelativa, le condizioni analizzate sono quelle più gravose e meno frequenti, rappresentative di eventi estremi. In altre parole, tutte le simulazioni riportate nel seguito fanno riferimento ad eventi inusuali: qualsiasi altra condizione che si dovesse verificare rispetto a quelle qui rappresentate sarebbe migliorativa.

In sintesi, le condizioni di moto ondoso sottocosta utilizzate nel modello di propagazione dell'onda sono le seguenti:

DIREZIONE	PERIODO	ALTEZZA D'ONDA
320°N	7s	3,5m
350°N	9s	4,5m
20°N	9s	4,5m
50°N	9s	4,5m
70°N	7s	2,5m

Tabella 1. Condizioni di moto ondoso considerate nelle simulazioni

Le verifiche sono state condotte sia nella configurazione attuale sia nella configurazione prevista dal progetto definitivo, con lo scopo di valutare la variazione del campo di moto ondoso indotta dalla realizzazione delle nuove opere. Nel complesso sono state eseguite 10 simulazioni.



Figura 27. Dominio di calcolo con indicazione delle direzioni di provenienza delle onde

#### 4.3. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO: DISCRETIZZAZIONE DELLE SPECCHIO ACQUEO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Per la corretta applicazione del modello SMS è stata innanzitutto costruita una griglia agli elementi finiti che descrive la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua all'interno del dominio considerato. I dati geometrici nella forma di coordinate  $xyz$  sono stati inseriti in SMS ed utilizzati come base di partenza per la costruzione della griglia agli elementi finiti.

Il risultato della discretizzazione ha condotto ad una griglia di calcolo costituita da 290.398 elementi triangolari e 148.923 nodi di calcolo nella configurazione di progetto e 289.700 elementi e 148.462 nodi nella configurazione attuale, come riportato in figura.

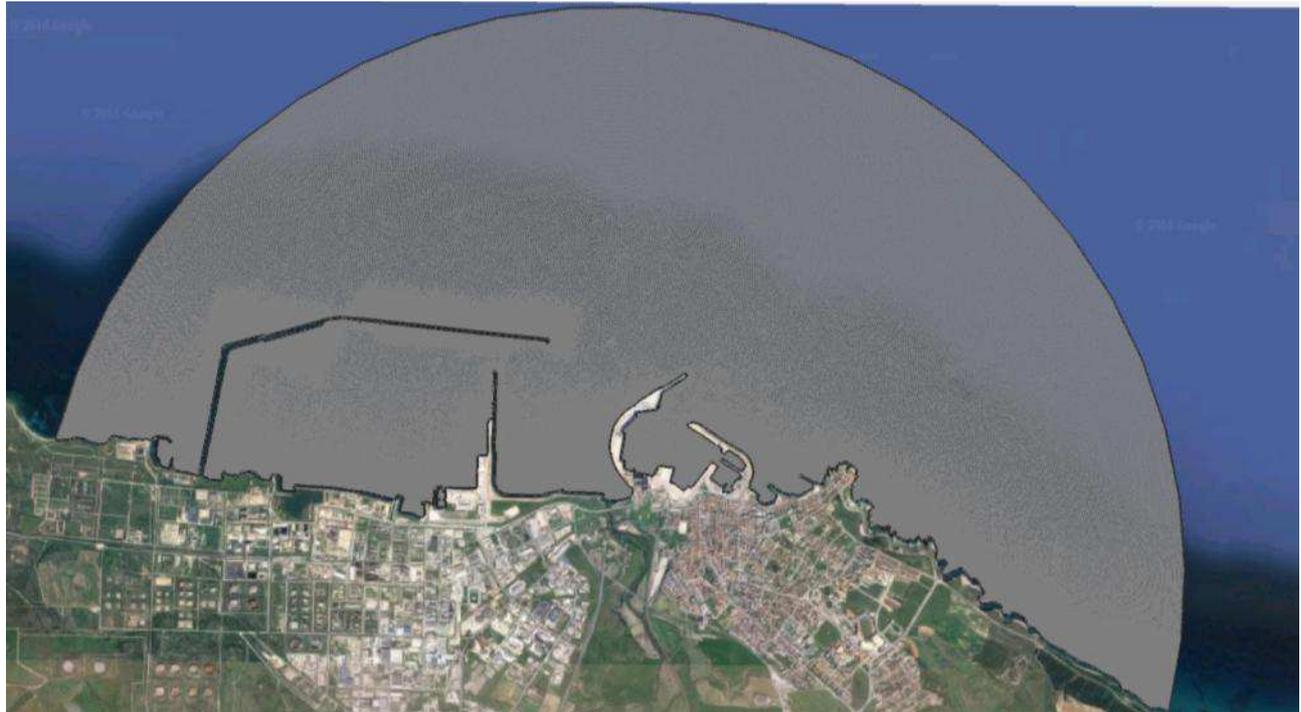


Figura 28. Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni

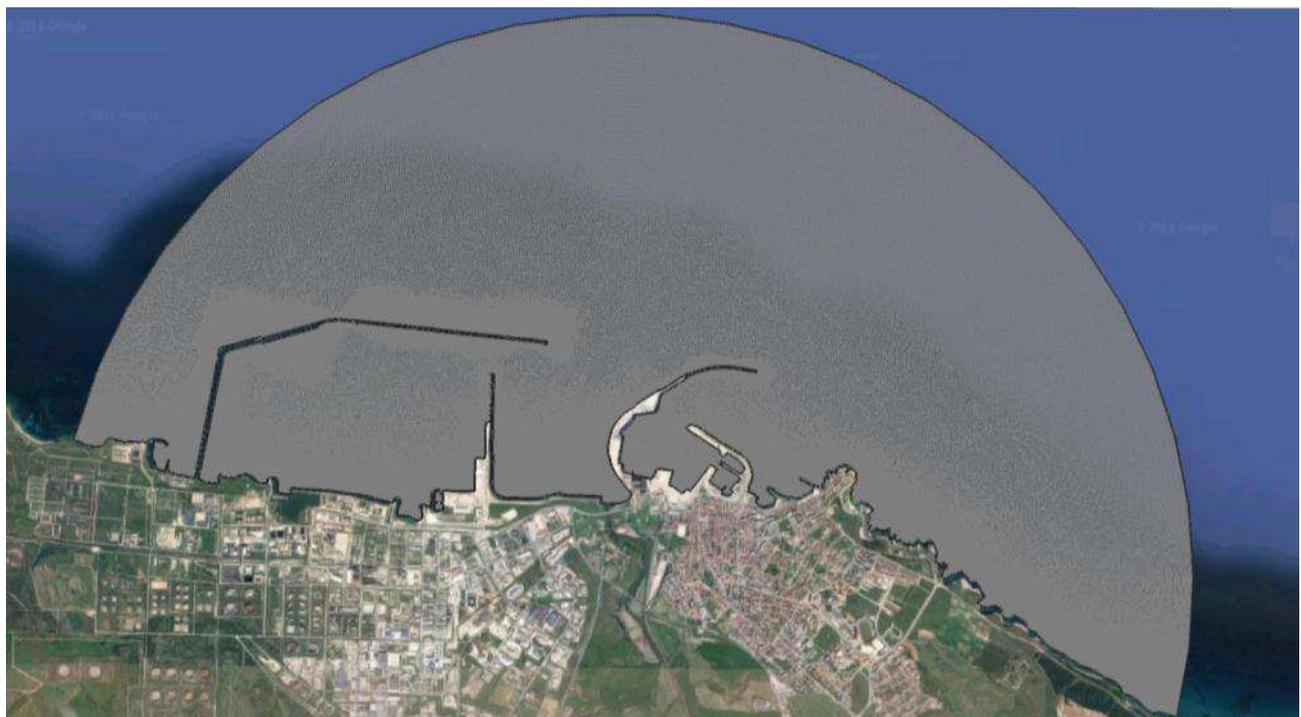


Figura 29. Configurazione di progetto: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni

Per la configurazione planimetrica discretizzata come descritto, al fine di poter determinare i livelli di agitazione ondosa causata dall'azione del moto ondoso incidente, è stato necessario definire ed impostare opportune condizioni al contorno sull'intera frontiera geometrica del dominio di calcolo.

Il contorno che delimita il settore di provenienza del moto ondoso (open ocean) è caratterizzato da condizioni di totale assorbimento ( $K=0.00$ ), mentre per quanto riguarda i contorni costituiti dalla costa e dalle opere marittime emergenti si è imposta una condizione sui coefficienti di riflessione,

assegnando a ciascuna “struttura” un predefinito valore del rapporto tra l'altezza dell'onda riflessa e l'altezza dell'onda incidente, come di seguito indicato:

- banchine a parete verticale riflettente  $K_r = 0.90$
- banchine a parete verticale con pareti antiriflettenti  $K_r = 0.65$
- tratti rocciosi naturali e/o opere a scogliera  $K_r = 0.35$
- spiagge assorbenti  $K_r = 0.10$

La figura seguente mostra i valori dei coefficienti di riflessione attribuiti ai vari tratti di opera e di costa che delimitano il dominio di calcolo.



Figura 30. Configurazione di progetto: indicazione dei coefficienti adottati per le simulazioni

Si vuole sottolineare che i coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti, lungo tutto il perimetro di una stessa opera, effettuando, a favore di sicurezza, un'approssimazione per eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici.

Le simulazioni sono state condotte tenendo conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso (assumendo un coefficiente pari a 0.15) e all'attrito sul fondo (imponendo un coefficiente di attrito pari a 0.12).

Lato mare il dominio di calcolo è stato delimitato da una linea semicircolare in corrispondenza della quale sono state imposte le caratteristiche del moto ondoso incidente (forzanti di moto ondoso) secondo quanto riportato nella Tabella 1. Essendo il modello lineare, le simulazioni sono condotte in forma parametrica imponendo un valore unitario dell'altezza d'onda incidente.

#### 4.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Le figure che seguono restituiscono graficamente i risultati delle simulazioni condotte in termini di altezza d'onda relativa  $K$  definita come il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata in una zona/punto del dominio e l'altezza dell'onda incidente:  $K = H_r/H_i$ . Essendo l'onda incidente unitaria, il coefficiente  $K$

corrisponde all'altezza d'onda calcolata. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente K per l'altezza d'onda effettivamente incidente.

I campi di moto ondoso indotti dalle forzanti applicate sono rappresentati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa.

Per ciascuna direzione di provenienza dell'onda incidente si riporta l'agitazione ondosa indotta sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, in una duplice visualizzazione (estesa all'intero dominio e limitata al tratto di costa immediatamente a Est del porto civico).

Per una valutazione immediata delle variazioni subite dai livelli di agitazione ondosa a seguito della realizzazione delle nuove opere portuali, nelle aree corrispondenti alle tre spiaggette oggetto di studio si è individuato il valore medio dell'altezza d'onda prima e dopo l'intervento di progetto. Tali valori, riportati in forma tabellare, danno immediata evidenza dell'influenza delle nuove opere sulla costa.

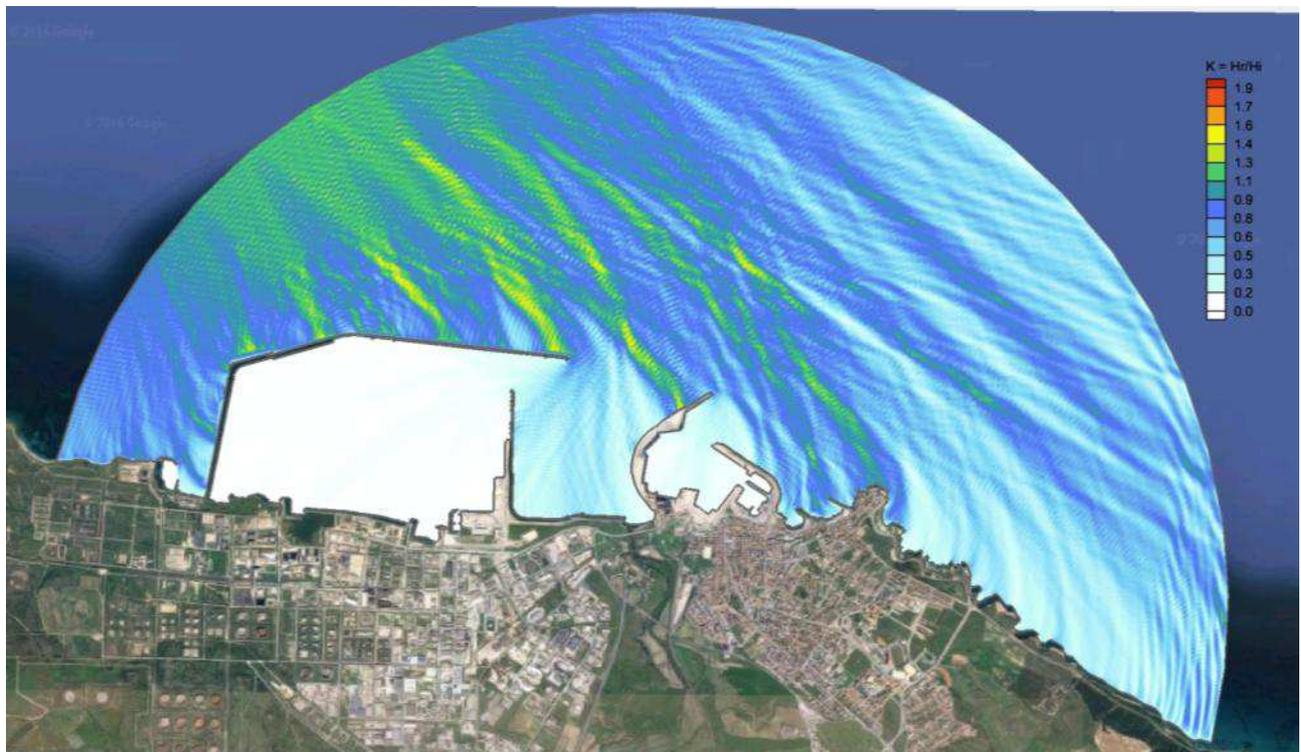


Figura 31. Configurazione attuale: agitazione ondosa (320°N – 7s)

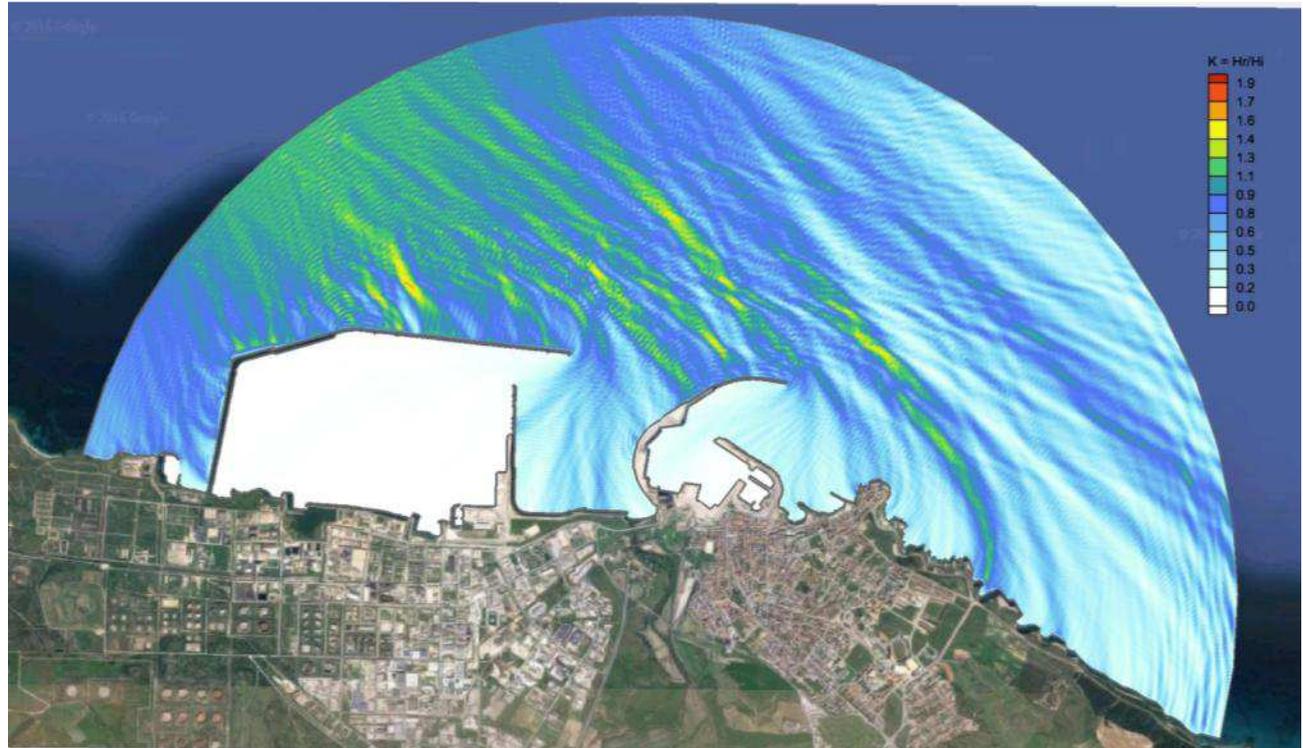


Figura 32. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (320°N - 7s)

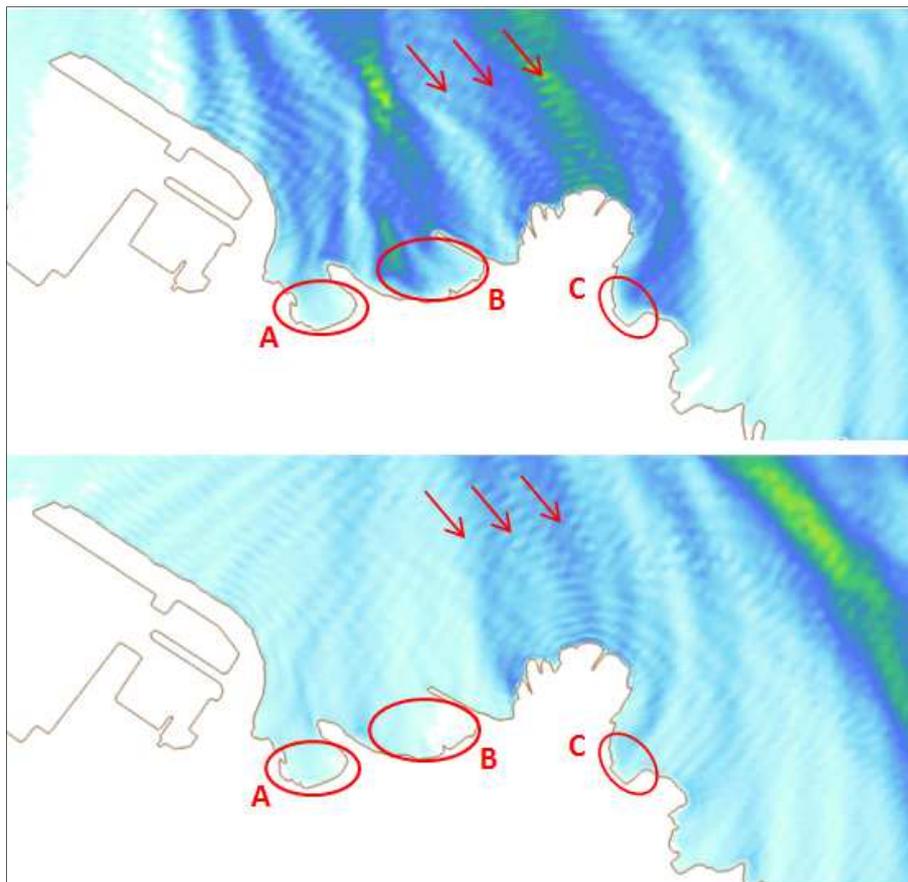


Figura 33. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 320°N

Dir=320°N, T=7s, H=3.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.19	0.45	0.35
configurazione di progetto	0.14	0.18	0.26

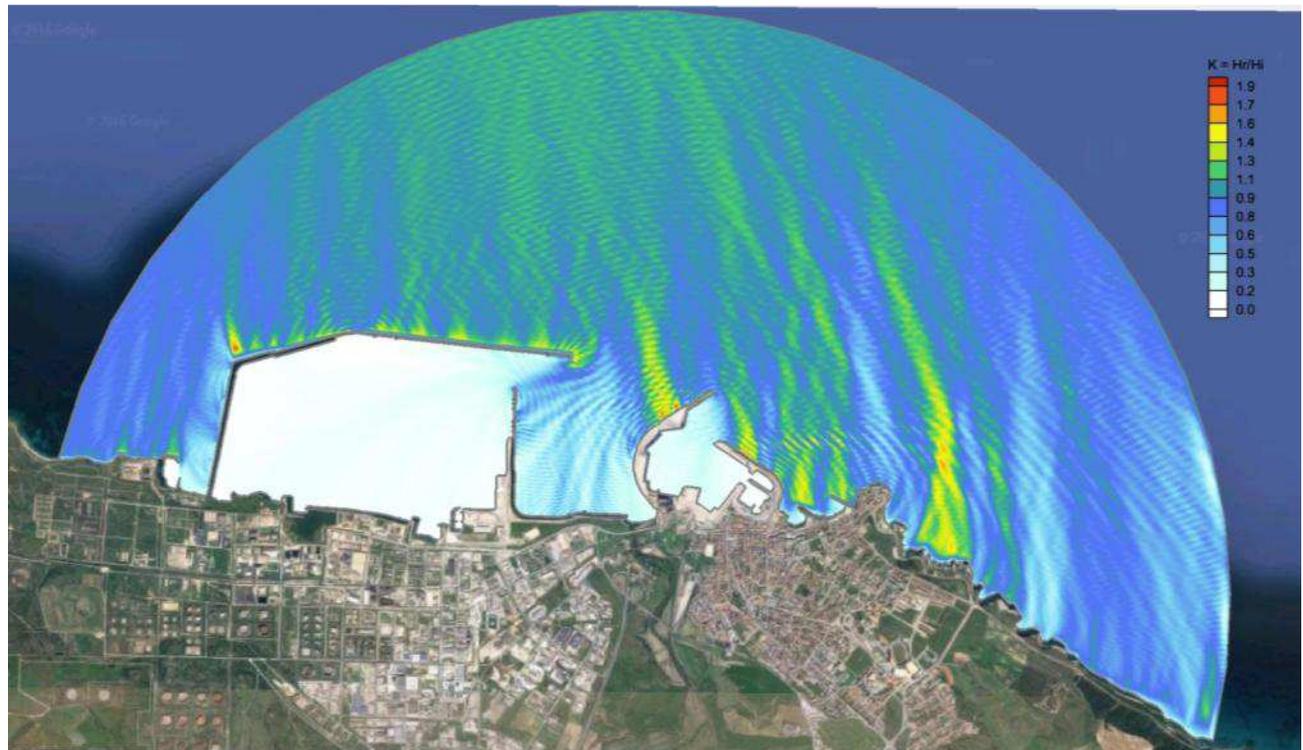


Figura 34. Configurazione attuale: agitazione ondosa (350°N - 9s)

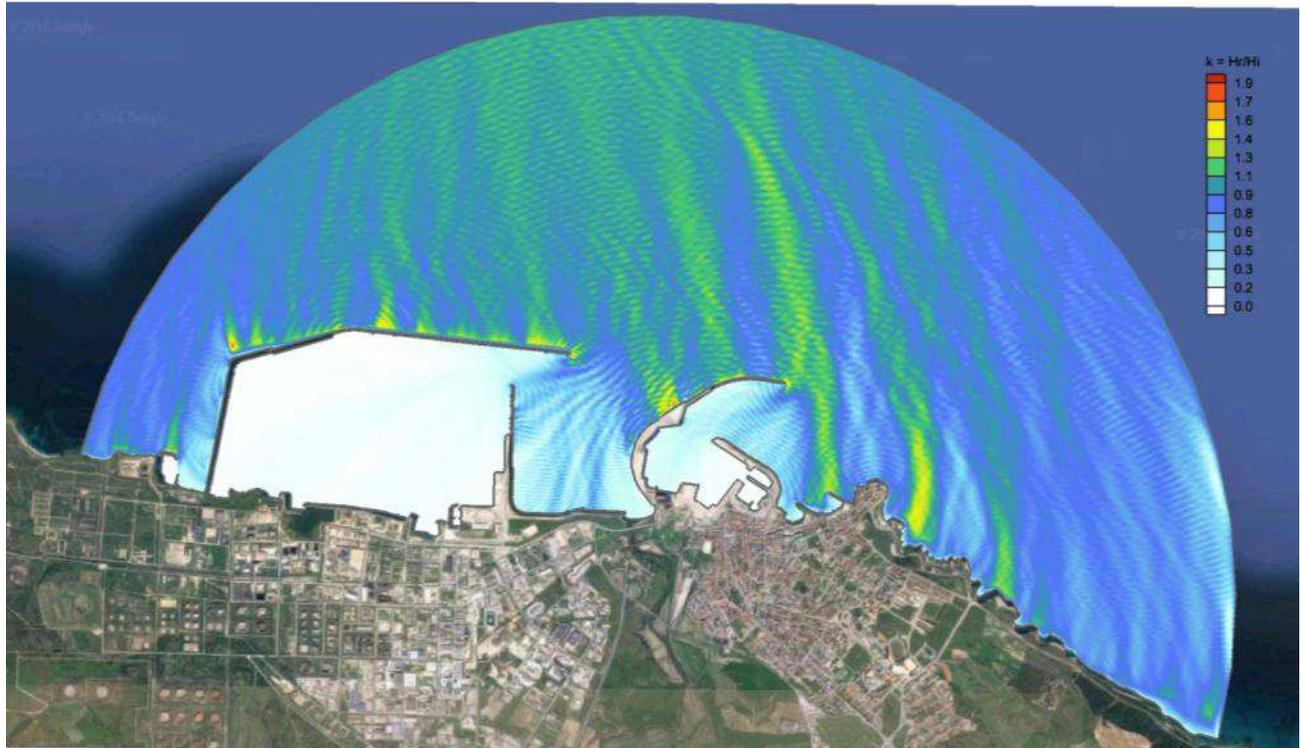


Figura 35. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (350°N - 9s)

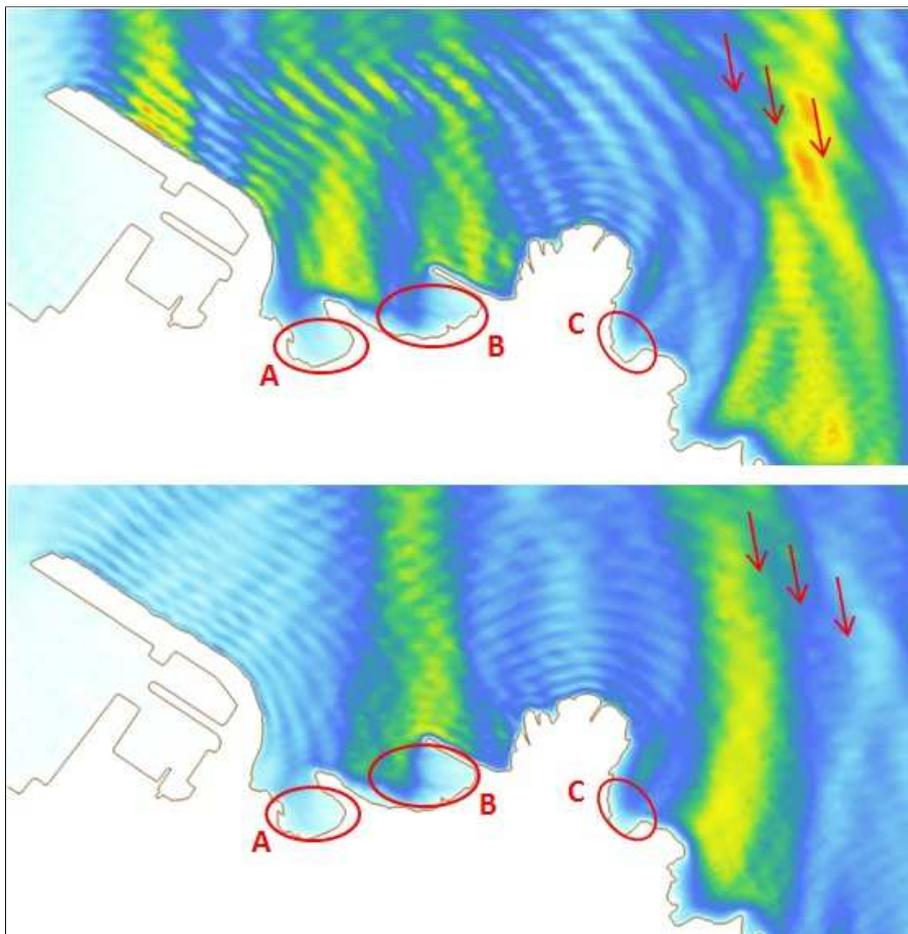


Figura 36. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 350°N

Dir=350°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.31	0.35	0.32
configurazione di progetto	0.19	0.30	0.33

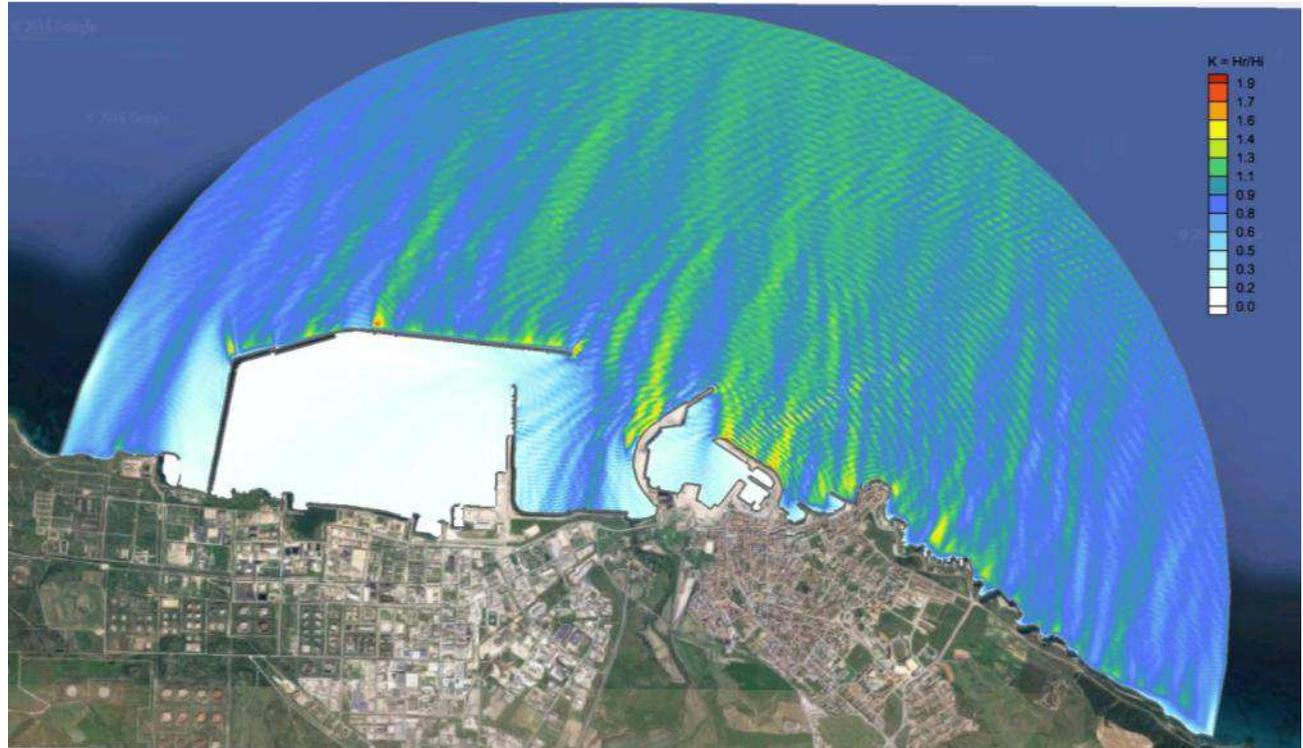


Figura 37. Configurazione attuale: agitazione ondosa (20°N - 9s)

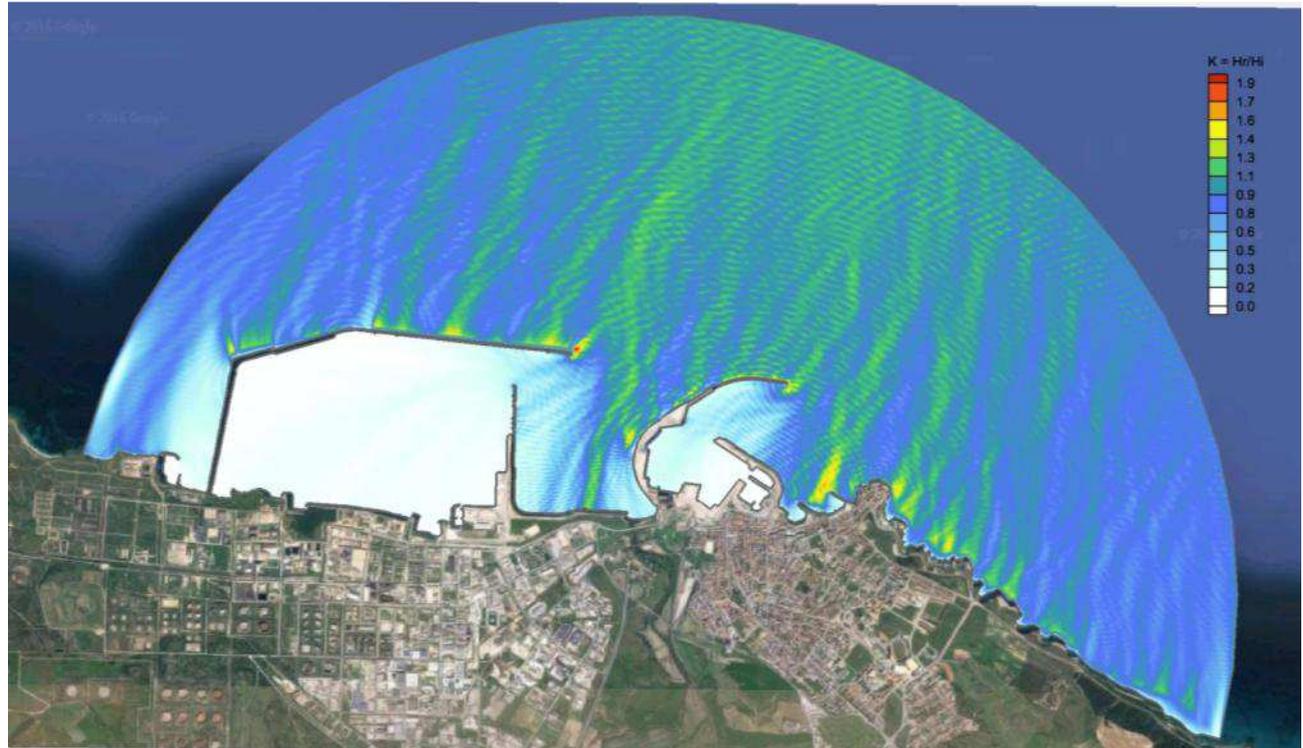


Figura 38. Configurazione di progetto. agitazione ondosa (20°N - 9s)

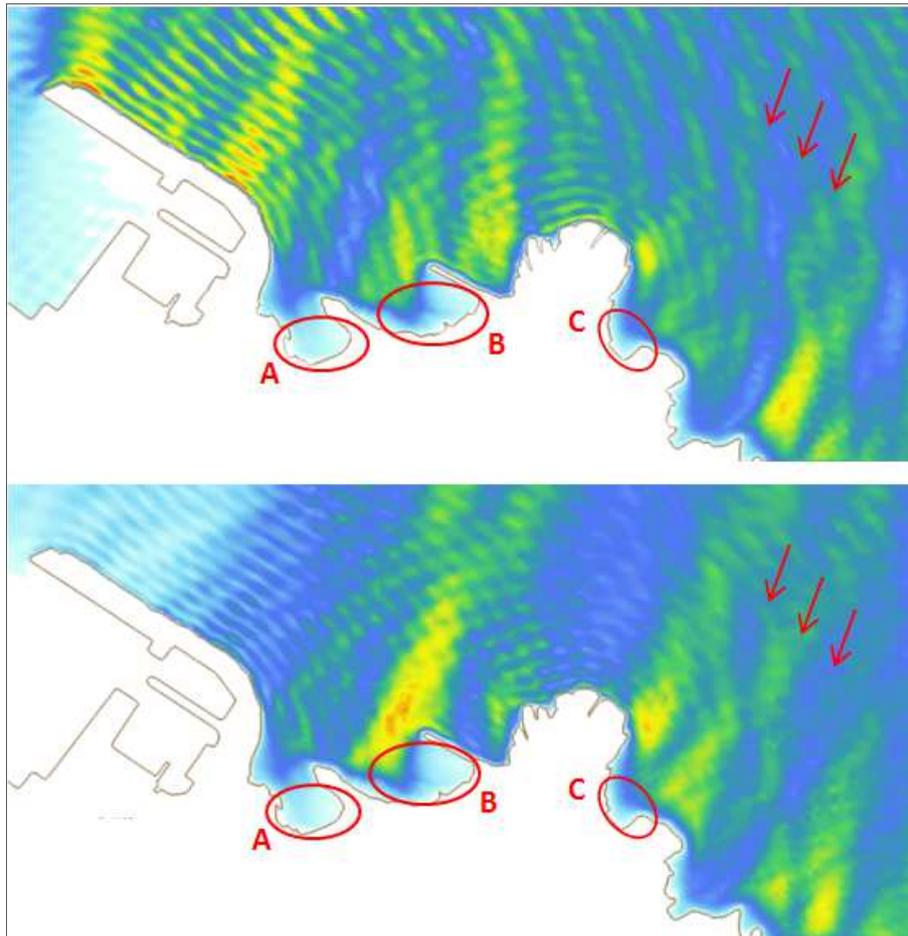


Figura 39. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 20°N

Dir=20°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.26	0.43	0.45
configurazione di progetto	0.23	0.42	0.43

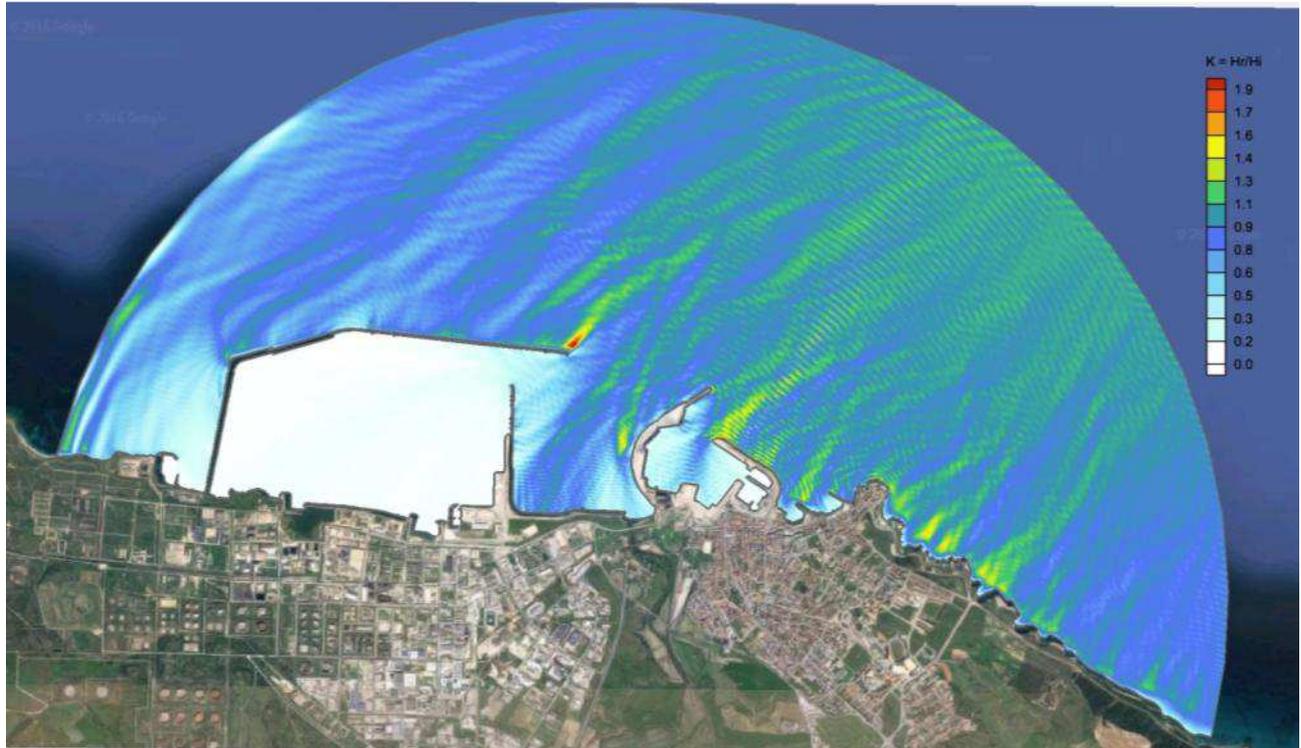


Figura 40. Configurazione attuale: agitazione ondosa (50°N - 9s)

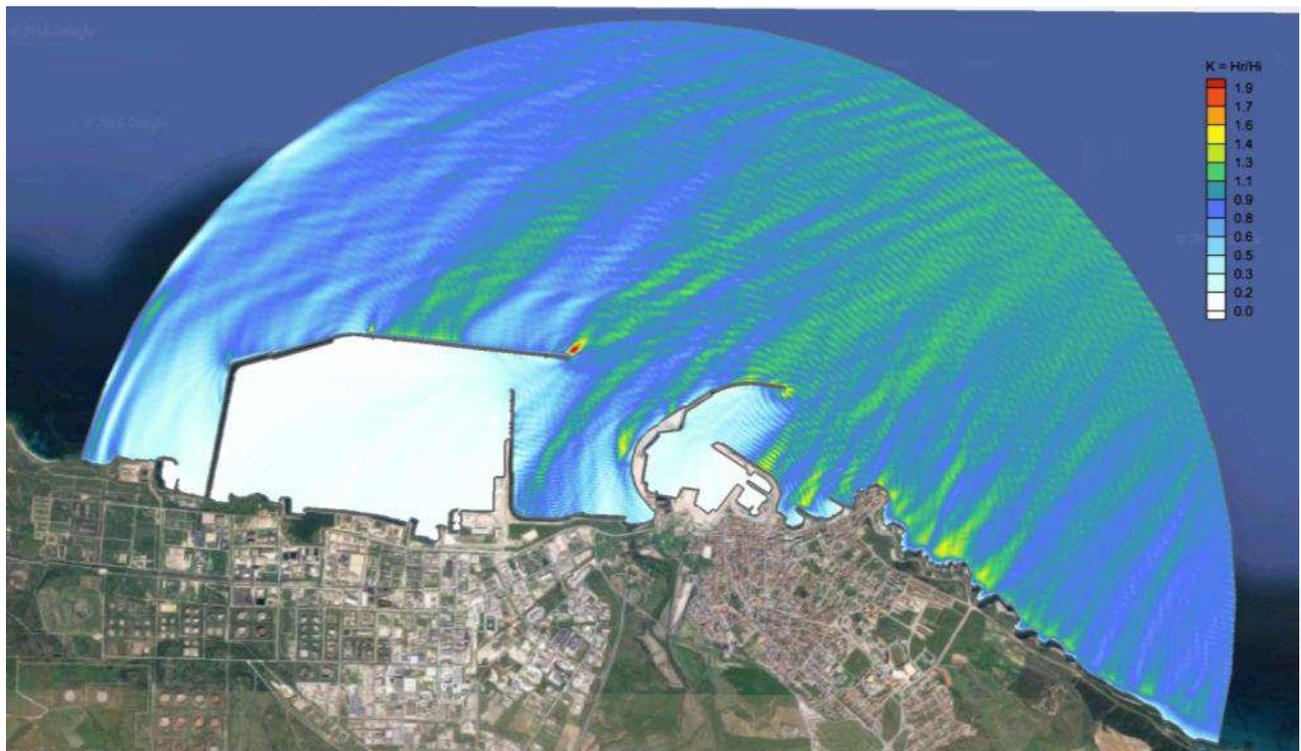


Figura 41. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (50°N - 9s)

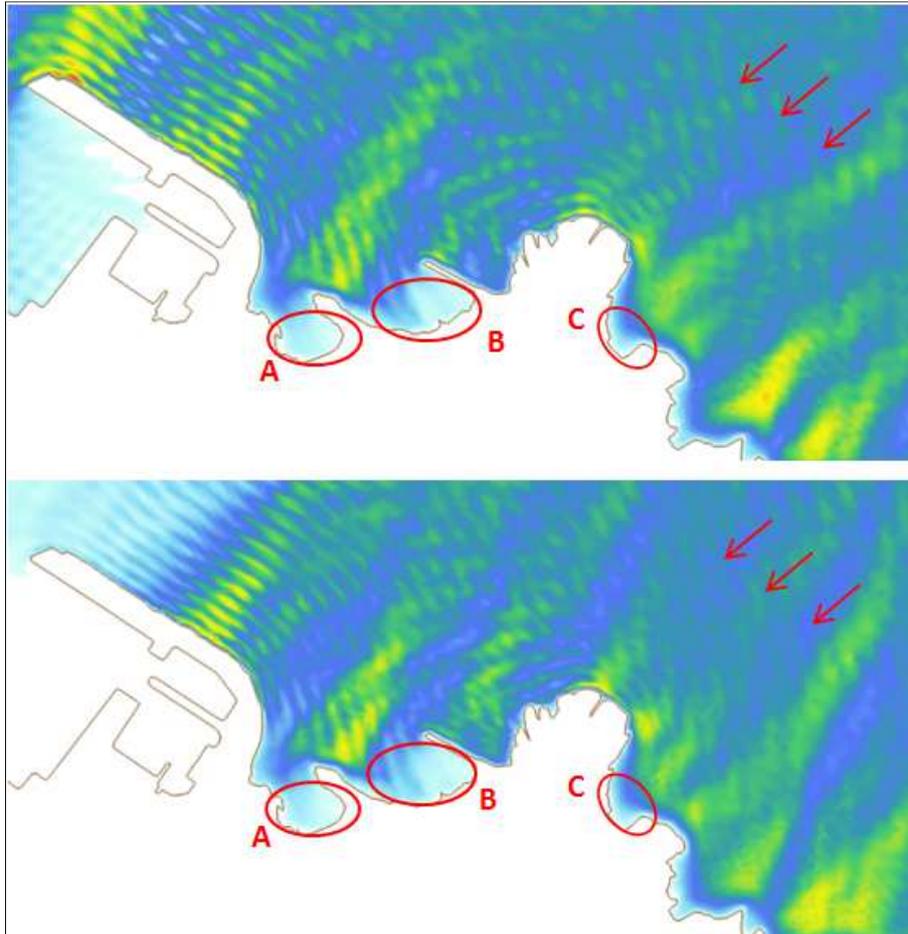


Figura 42. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 50°N

Dir=50°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.21	0.27	0.38
configurazione di progetto	0.20	0.26	0.38

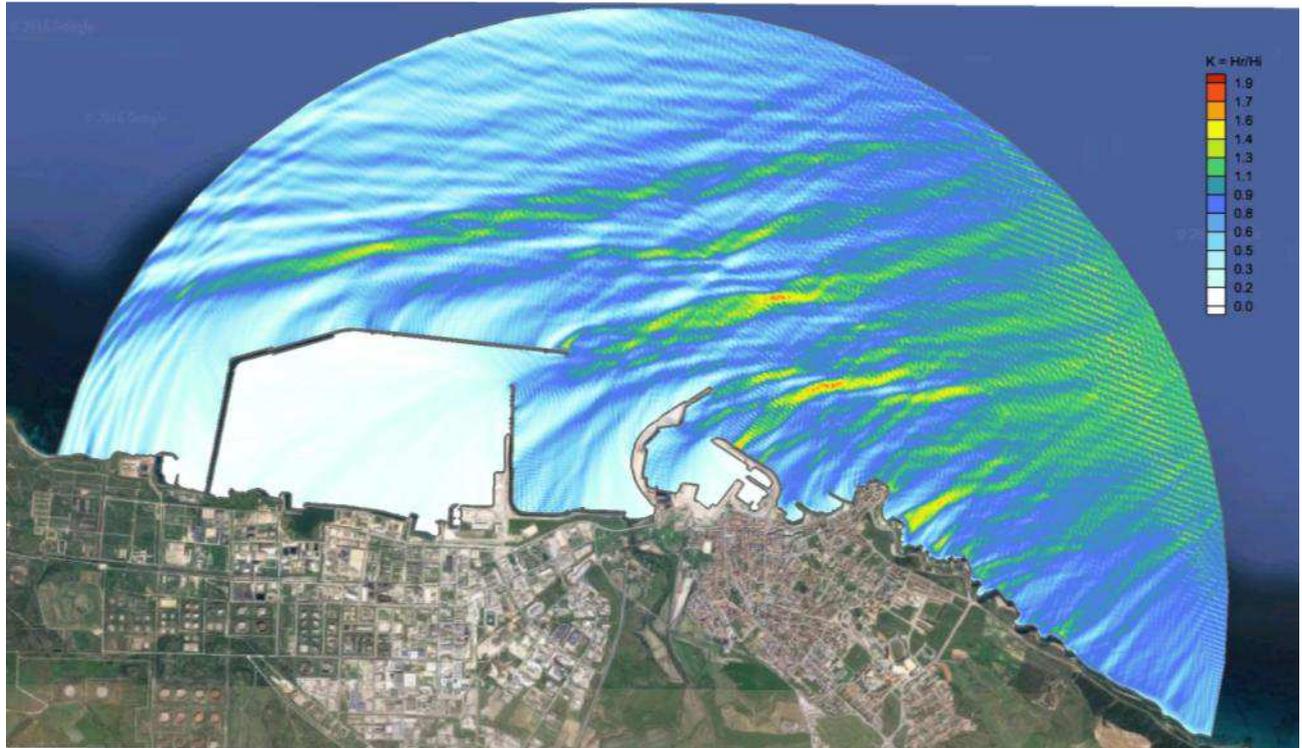


Figura 43. Configurazione attuale: agitazione ondosa (70°N - 7s)

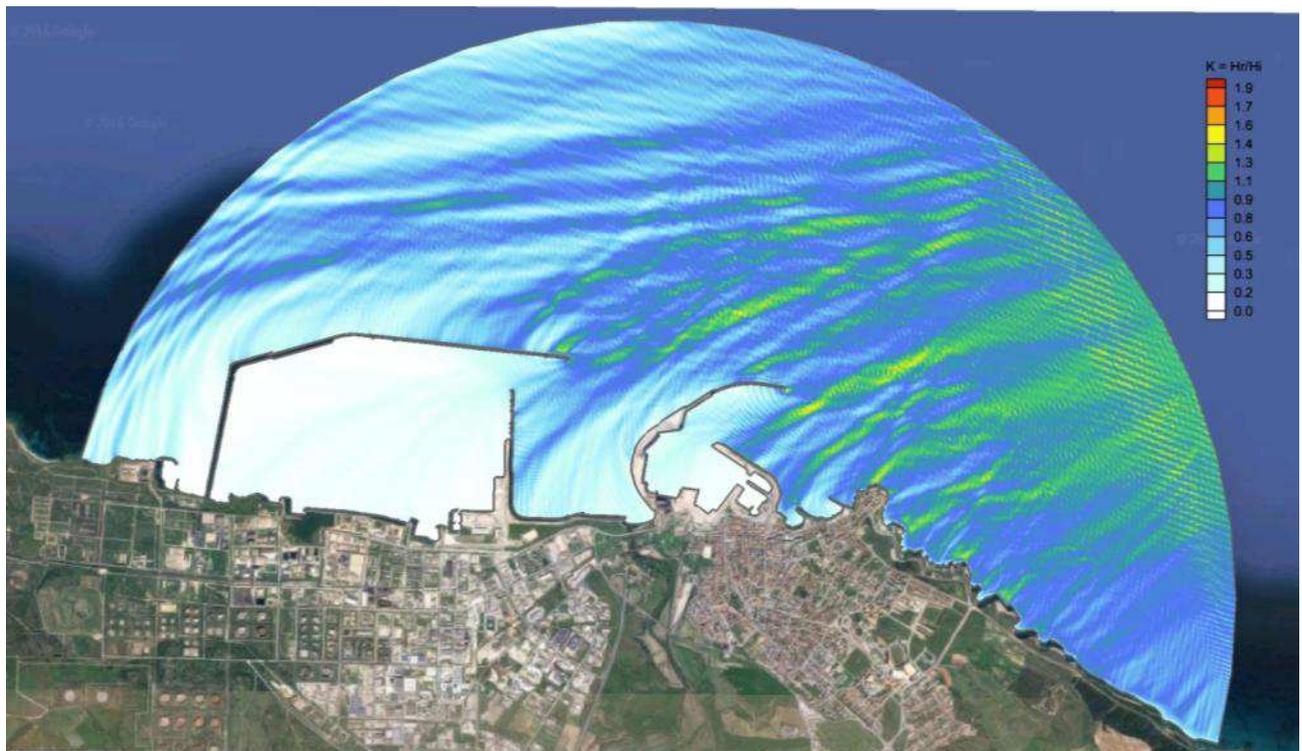


Figura 44. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (70°N - 7s)

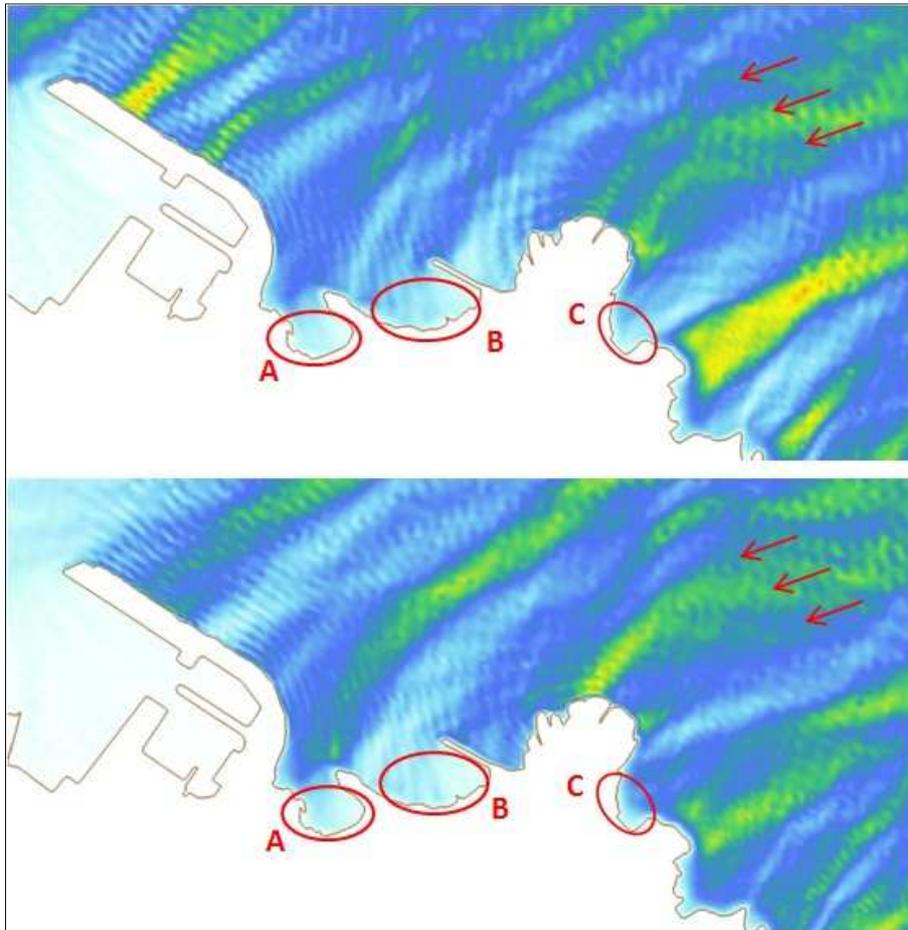


Figura 45. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 70°N

Dir=70°N, T=7s, H=2.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.20	0.32	0.31
configurazione di progetto	0.20	0.24	0.31

#### 4.5. ANALISI DEI RISULTATI

Le simulazioni riportate al paragrafo precedente confermano sostanzialmente quanto già espresso negli studi effettuati nell'ambito del PRP e richiamati al punto F del § 3 "[...] Dal confronto emerge che le nuove opere, con particolare riferimento al molo di sopraflutto, non alterano in maniera significativa il moto ondoso incidente, ovvero lungo le spiaggette prospicienti il Lungomare Balai non si riscontrano sensibili variazioni dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere [...]".

Nei tratti sabbiosi del lungomare a est del porto civico, il campo di moto ondoso indotto dal prolungamento del molo di Levante rimane sostanzialmente invariato rispetto allo stato attuale per tutte le forzanti provenienti dal primo quadrante, cioè per le direzioni 20/50/70°N. Questo risultato è

altresì evidente per la considerazione che il molo di sopraflutto non intercetta affatto le mareggiate di quel settore e non è quindi in grado di interferire con gli effetti che esse producono nel tratto di costa ad est del porto.

Viceversa, la nuova opera, per posizione e dimensioni, è in grado di interferire con le onde provenienti dal IV quadrante: per le direzioni  $320^{\circ}$ - $350^{\circ}$  N si registra infatti una (talvolta) netta diminuzione del campo di moto ondoso nelle aree oggetto di studio. Gli effetti benefici in termini di abbattimento dei livelli di agitazione ondosa sono particolarmente evidenti nelle spiaggette di Scoglio Lungo (per onde provenienti da  $320^{\circ}$ N il coefficiente K nella zona B passa da 0.45 nella configurazione attuale a 0.18 nella configurazione di progetto, con una diminuzione del 60%), mentre sembrano meno accentuati in prossimità della spiaggia Balai, naturalmente ridossata dal promontorio su cui sorge la chiesa di San Gavino a Mare per le mareggiate provenienti dal IV quadrante.

#### 4.6. CONCLUSIONI

Il presente studio, come precedentemente accennato, è stato condotto con l'obiettivo di verificare l'impatto esercitato dalla nuova opera (prolungamento del molo di sopraflutto del porto civico) lungo la costa ad Est del porto stesso, con particolare riguardo ai tratti sabbiosi ivi presenti. Nelle aree a ridosso delle due spiagge di Scoglio Lungo e della spiaggia Balai, sono stati confrontati i livelli di agitazione ondosa che si verificano attualmente con quelli che è lecito aspettarsi ad opere ultimate.

Attraverso l'applicazione del modello matematico CGWAVE si sono determinati i valori dell'altezza d'onda al variare delle condizioni di moto ondoso incidente, per il quale si è fatto riferimento alle sole condizioni più rare e gravose. La scelta è di tipo cautelativo, poiché si sono rappresentati solo gli eventi estremi, rispetto ai quali ogni altra condizione risulterebbe meno sfavorevole.

Per le due configurazioni prese in esame (stato attuale e layout di progetto), i risultati delle simulazioni hanno evidenziato come i livelli di agitazione ondosa rimangono pressoché invariati per le forzanti provenienti dal I quadrante. Tale conclusione è altresì supportata dalla considerazione che il nuovo molo, per dimensioni e posizione, non è in grado di intercettare le mareggiate di quel settore e dunque di influenzarne in alcun modo gli effetti.

Per onde provenienti dal IV quadrante, viceversa, il prolungamento del molo determina un significativo abbattimento del campo di moto ondoso nel tratto di costa ad Est del porto, specialmente nelle spiagge di Scoglio Lungo.

In conclusione, i risultati degli studi condotti con il software CGWAVE da una parte validano la capacità del nuovo molo di attenuare i livelli di agitazione ondosa lungo la costa ad Est del porto per le ondate provenienti dal IV quadrante e dall'altra dimostrano che esso non ha alcuna influenza per le mareggiate provenienti dal I quadrante.



## AUTORITÀ PORTUALE NORD SARDEGNA

APPALTO DELLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA SULLA BASE DEL PROGETTO PRELIMINARE E PER LA REALIZZAZIONE DEI LAVORI PER IL PROLUNGAMENTO DELL'ANTEMURALE DI PONENTE E DELLA RESECAZIONE DELLA BANCHINA ALTI FONDALI DEL PORTO CIVICO DI PORTO TORRES. CIG 5630886220; CUP B21G11000040001

### PROGETTO DEFINITIVO

Morfodinamica costiera: analisi storica ed aggiornamento del modello di analisi del campo d'onda incidente sul lungomare Balai



Impresa

# sales

Costituendo Raggruppamento Temporaneo di Progettisti



SEACON s.r.l.

Ing. Lucio Abbadessa



GEOTECHNICAL ENGINEERING



Ing. Marco Pittori

Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA .....</b>	<b>1</b>
<b>3. ANALISI DI INTERAZIONE TRA OPERE ED ASSETTO IDRODINAMICO DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA .....</b>	<b>14</b>
<b>4. ANALISI DEL CAMPO D'ONDA INCIDENTE SUL LUNGOMARE BALAI.....</b>	<b>18</b>
4.1. CENNI SUL MODELLO MATEMATICO.....	21
4.2. CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO.....	22
4.3. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO: DISCRETIZZAZIONE DELLE SPECCHIO ACQUEO E CONDIZIONI AL CONTORNO .....	23
4.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI .....	25
4.5. ANALISI DEI RISULTATI.....	36
4.6. CONCLUSIONI.....	37

### Indice delle figure

Figura 1 unità fisiografica tratta dal Programma d'Azione Coste Sardegna 2013 .....	2
Figura 2 individuazione dell'area costiera compresa nell'unità fisiografica .....	2
Figura 3 individuazione dell'area costiera oggetto di analisi storica.....	3
Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali .....	1
Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali .....	2
Figura 6 Ambito costiero di indagine .....	3
Figura 7 Località "scoglio lungo". è evidente la protezione naturale creata dai bassi fondali affioranti.....	4
Figura 8 passeggiata a mare, protetta con piccola scogliera e riporto in sabbia - opere realizzate tra febbraio e maggio 2005.....	4
Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino.....	7
Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino.....	8
Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC.....	9
Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa.....	10
Figura 13 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A.....	11
Figura 14 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2014 - 2016 transetto A.....	12
Figura 15 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B .....	12
Figura 16 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B .....	13
Figura 17 immagine aerea con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.....	14
Figura 18 immagine aerea, estesa ad un fascia litoranea di 30km circa, con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale. ....	14
Figura 19 tratto di costa ad est del porto esteso oltre 2km.....	15
Figura 20 fotografie del tratto roccioso.....	16
Figura 21 immagine aerea del tratto su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona, fino ad una distanza di 15Km dal porto ed estratto del SIC. ....	17
Questa affermazione è avvalorata dai valori di altezza d'onda calcolati sulle spiaggette prospicienti il porto e riportati in figura 22, che appaiono addirittura più bassi di quanto non lo siano nella configurazione di PRP. ....	18
Figura 23 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres.....	18
Figura 24. Configurazione attuale su aerofoto.....	19
Figura 25. Configurazione di progetto su aerofoto .....	20
Figura 26. Individuazione delle "pocket beaches" oggetto di studio.....	21
Figura 27. Dominio di calcolo con indicazione delle direzioni di provenienza delle onde.....	23
Figura 28. Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni.....	24
Figura 29. Configurazione di progetto: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni.....	24
Figura 30. Configurazione di progetto: indicazione dei coefficienti adottati per le simulazioni.....	25
Figura 31. Configurazione attuale: agitazione ondosa (320°N – 7s).....	26
Figura 32. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (320°N - 7s).....	27

Figura 33. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 320°N .....	27
Figura 34. Configurazione attuale: agitazione ondosa (350°N - 9s).....	28
Figura 35. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (350°N - 9s).....	29
Figura 36. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 350°N .....	29
Figura 37. Configurazione attuale: agitazione ondosa (20°N - 9s).....	30
Figura 38. Configurazione di progetto. agitazione ondosa (20°N - 9s) .....	31
Figura 39. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 20°N .....	32
Figura 40. Configurazione attuale: agitazione ondosa (50°N - 9s).....	33
Figura 41. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (50°N - 9s).....	33
Figura 42. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 50°N .....	34
Figura 43. Configurazione attuale: agitazione ondosa (70°N - 7s).....	35
Figura 44. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (70°N - 7s).....	35
Figura 45. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 70°N .....	36

## 1. PREMESSA

La presente relazione specialistica illustra le analisi di morfodinamica costiera e gli studi sulla variazione del campo d'onda incidente, connessi all'intervento di *Adeguamento tecnico funzionale al Piano Regolatore Portuale del porto civico di Porto Torres –Prolungamento dell'antemurale di ponente e resecazione banchina alti fondali* .

Il documento è stato condotto in risposta al parere regionale prot. n. 0015482 del 09.08.2016 espresso da parte della Regione Sardegna – Direzione Generale dell'Ambiente durante il procedimento di verifica di assoggettabilità a VIA delle opere previste nel progetto. Nel citato parere è sottolineato come *“la proposizione di opere suscettibili di introdurre perturbazioni in un contesto di tale valenza e sensibilità dovrebbe muovere da un'analisi storica dell'evoluzione della linea di costa ... valutando cartografie e foto aeree storiche, e valutando altresì le tendenze evolutive conseguenti alla realizzazione ... Dovrebbero essere ricostruite le modalità con le quali le nuove opere interagiscono con l'assetto idrodinamico (moto ondoso e correnti) e sedimentologico dell'unità fisiografica ed i possibili effetti sullo stesso, verificando in particolare la possibilità di alterazione significativa di tali dinamiche ... tramite il supporto di un apposito modello matematico...”*

Allo scopo è stato redatto il presente studio strutturato come segue:

- analisi storica dell'evoluzione della linea di costa;
- analisi di interazione tra opere ed assetto idrodinamico dell'unità fisiografica con conseguente definizione del dominio suscettibile di alterazioni;
- modello matematico teso a valutare la variazione del campo di moto ondoso nel dominio individuato: analisi del campo d'onda incidente sul lungomare Balai.

## 2. ANALISI STORICA DELL'EVOLUZIONE DELLA LINEA DI COSTA

Il porto si colloca nell'unità fisiografica Pta li Francesi Stintino.

Per prossimità geografica e per sensibilità ambientale l'analisi sugli effetti di dinamica costiera sarà estesa al tratto evidenziato in giallo nelle figure seguenti.

7.2.18. UF. 18 - Pta di li Francesi - Stintino

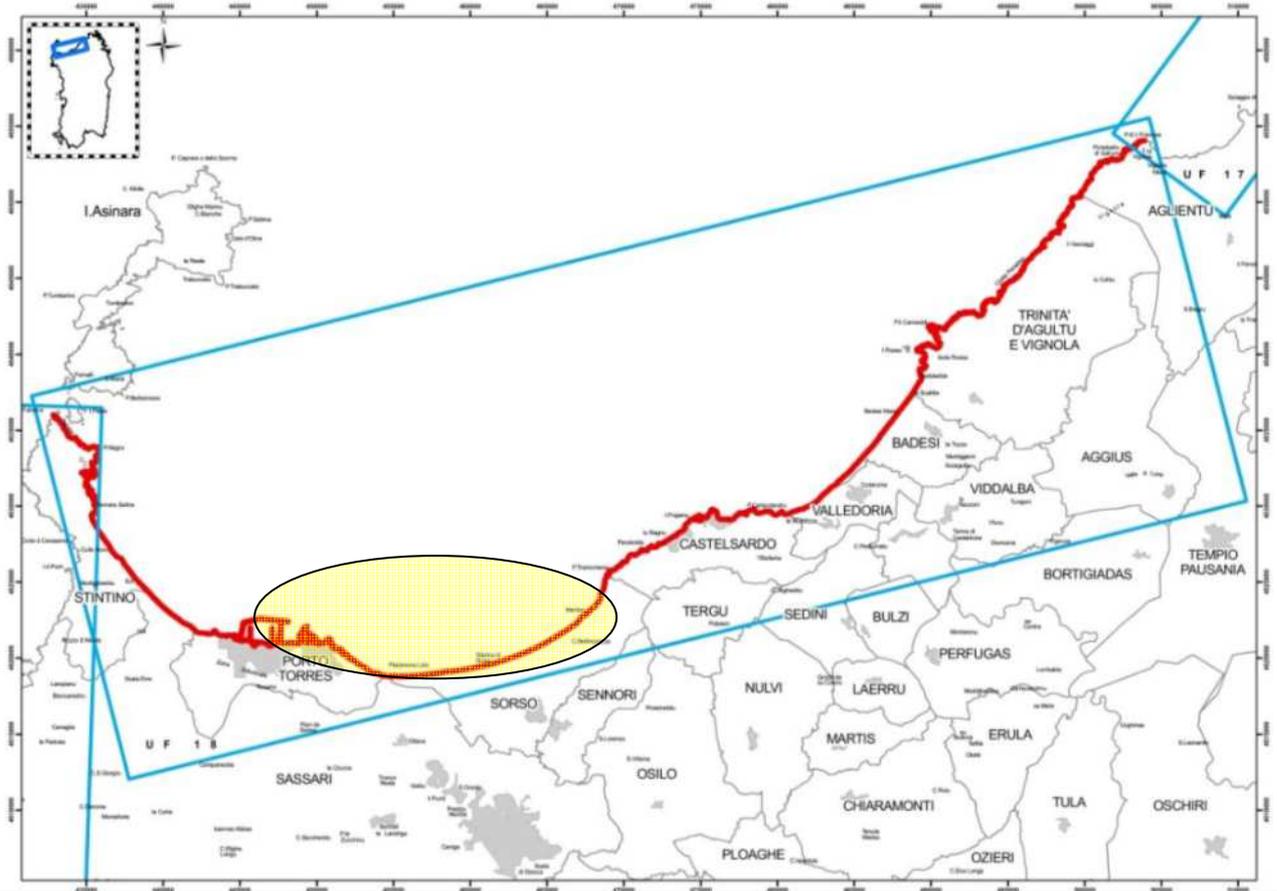


Figura 1 unità fisiografica tratta dal Programma d'Azione Coste Sardegna 2013



Figura 2 individuazione dell'area costiera compresa nell'unità fisiografica

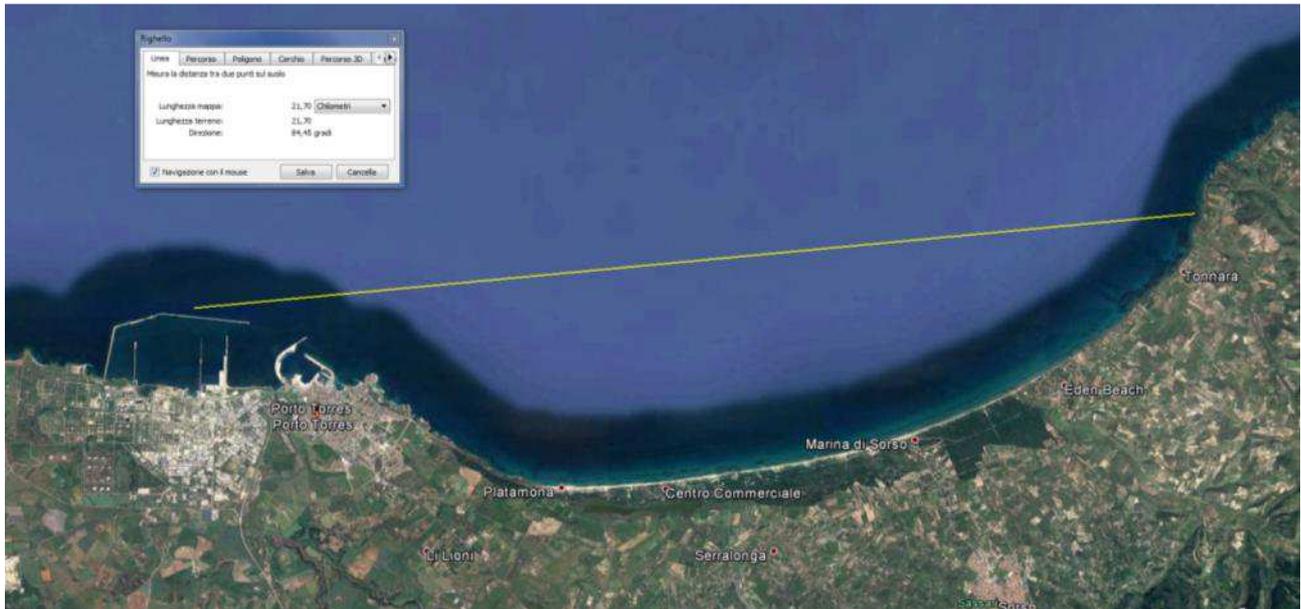


Figura 3 individuazione dell'area costiera oggetto di analisi storica

L'analisi storica è stata condotta sulla base delle immagini aeree disponibili sul sito web <http://www.sardegnaeoportale.it/webgis2/sardegnafotoaeree/> e delle immagini più recenti reperibili su google earth pro.

La prima immagine disponibile, sul tratto di costa di interesse, è del 1954, nella quale si nota già la presenza del porto civico. Nel 1977 nasce il molo del porto industriale, che trova completa definizione nell'immagine storica del 1998.

La successione storica delle immagini viene riportata di seguito (Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali) e consente immediatamente di evidenziare che:

- nel 1954 le opere foranee del porto civico avevano un aggetto sulla costa pari a circa 700 m;
- nel 1968 si nota un prolungamento di circa 300m, il molo ha raggiunto un aggetto sulla costa pari a circa 1Km;
- nel 1998 si evidenzia la presenza del porto industriale immediatamente ad ovest del porto civico, con un aggetto sulla costa pari a 1,5 Km.

Il porto civico esiste ed esplica il suo effetto sui fenomeni di dinamica costiera, da almeno 60 anni; dagli anni '90 esiste anche il porto industriale, che con il suo notevole aggetto ha di fatto reso il porto civico un' opera minore, sottoflutto alla traversia dominante ed impedisce di fatto che il porto civico stesso possa influire idrodinamicamente il sistema costiero verso ovest.

Se si confrontano la più antica (1954) e la più recente (2016) immagine aerea disponibile (Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali) si nota immediatamente come non vi siano stati fenomeni di accumulo o erosione a ridosso delle opere portuali di difesa dei due porti, tantomeno tra i due porti industriale e civico stessi. Nel tratto di costa ove i due porti sono stati realizzati, ed oltre per diversi km sia verso ovest che verso est, infatti la costa si presenta rocciosa così come i fondali immediatamente prospicienti. Di fatto non vi sono sedimenti nella fascia attiva in grado di generare fenomeni di accumulo o di erosione, se vi fossero stati avrebbero già ampiamente manifestato, nel corso di oltre 50 anni di presenza delle infrastrutture, i propri effetti.

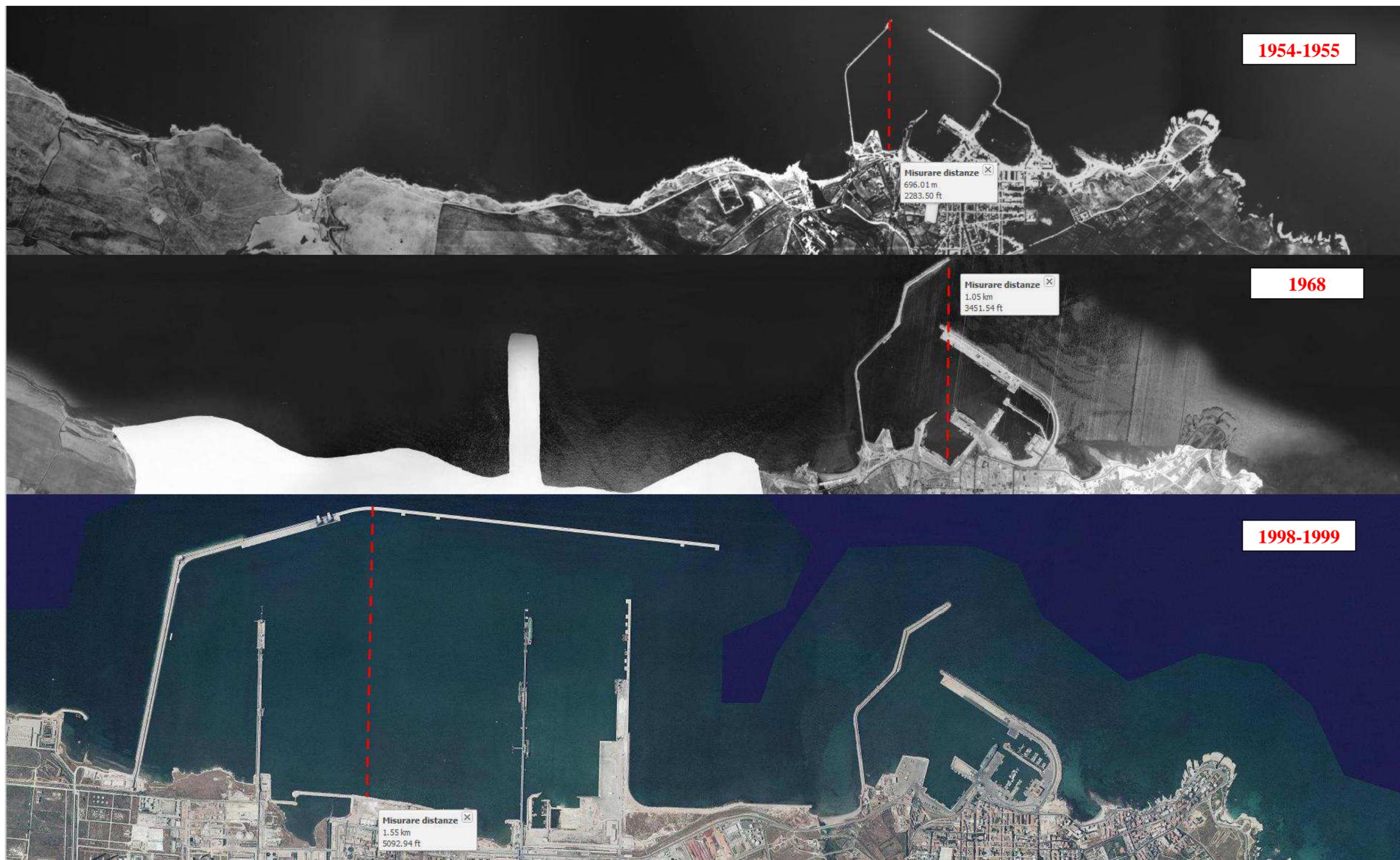


Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali



Figura 5 confronto tra le immagini storiche 1954- 2016 del tratto di un ampio tratto di costa interessato dalle opere portuali

Volendo approfondire l'indagine ed andando ad indagare le possibili unità fisiografiche sulle quali il progetto di prolungamento possa generare dei potenziali effetti significativi, bisogna quindi orientarsi ad est del porto civico, atteso che ad ovest risulta totalmente schermato dal porto industriale.

Osservando quindi oltre 15 km di costa ad est dell'infrastruttura da realizzare, il dominio di interesse individua tre unità fisiografiche distinte, le prime due omogenee per caratteristiche orografiche ma separate dal promontorio di San Gavino:

- 1. Sub-unità fisiografica compresa tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino – estensione complessiva circa 900 m;**
- 2. Sub-unità fisiografica compresa tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC di Platamona - estensione complessiva circa 3.8 Km**
- 3. Sub-unità fisiografica comprendente la spiaggia del SIC di Platamona - estensione complessiva di circa 10 Km**

In particolare, in questa sede, verrà sviluppata una analisi storica per tutti i tratti di interesse, mentre per il tratto più prossimo al porto verranno, nel paragrafo successivo, analizzati i risultati di un apposito modello idrodinamico sviluppato per la valutazione della variazione del campo di agitazione ondosa incidente.

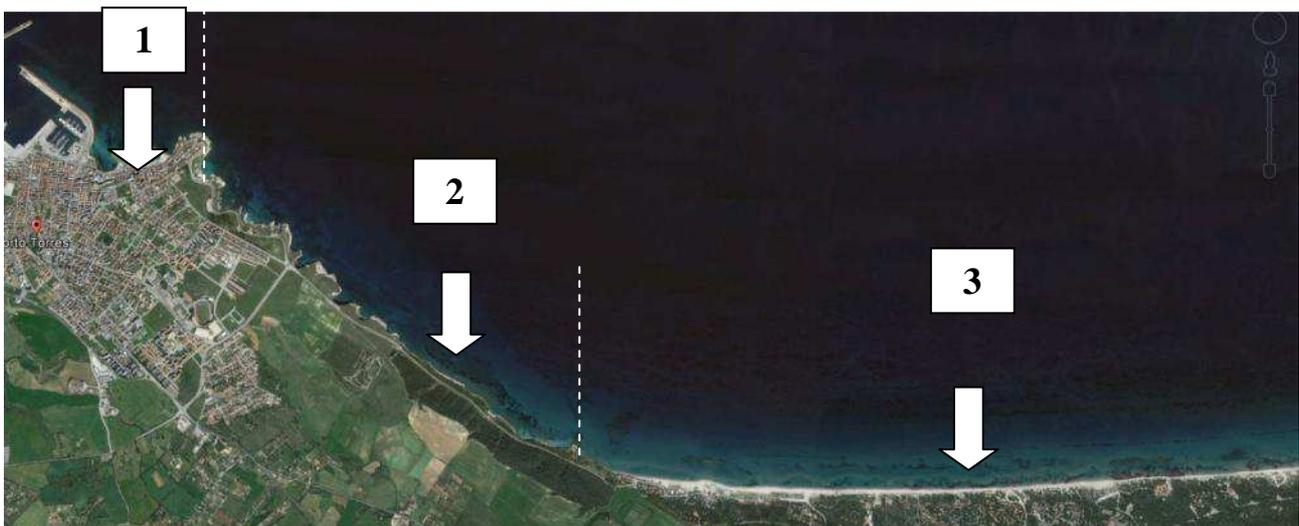


Figura 6 Ambito costiero di indagine

### **1. Sub-unità fisiografica compresa tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino**

Questo tratto di costa ha una estensione di 900m circa.

Il tratto di costa in esame si presenta come rocciosa, frastagliata, con scogli sommersi su bassi fondali e con scogli emersi a formare piccole protezioni costiere. Ad eccezione di un tratto di circa 40 m a ridosso dello "scoglio lungo" in cui è presente un piccolo accumulo sabbioso, non vi sono spiagge.



Figura 7 Località "scoglio lungo". è evidente la protezione naturale creata dai bassi fondali affioranti.

La prima raccolta di immagini rappresentativa del tratto di costa di interesse (Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino) mostra come lo stesso non abbia subito modifiche nel cinquantennio indagato, nonostante il porto civico abbia viceversa subito notevoli modifiche nella conformazione dei moli. Si veda in proposito Figura 4 confronto tra le immagini storiche 1954-1968-1998 del tratto di costa interessato dalle opere portuali.

La raccolta di foto relativa al decennio successivo (Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino) introduce un elemento di novità rappresentato da un intervento realizzato tra i mesi di febbraio e maggio del 2005, di realizzazione di una passeggiata sul mare protetta da un molo in scogli naturali, associato ad un possibile intervento sversamento di sabbia. Si nota come il molo posto a protezione delle ondate provenienti dal primo quadrante protegga tutta l'area della passeggiata e della micro spiaggia artificiale realizzata in radice del molo stesso. Il sistema negli ultimi dieci anni è stabile e si rinviene solo nel 2016 un ulteriore intervento di sversamento artificiale di sabbie a ridosso della radice del molo. Anche tale analisi avvalorata la tesi che non vi siano naturali apporti di sedimenti positivi (accumulo) o negativi (erosione) nell'area di indagine



Figura 8 passeggiata a mare, protetta con piccola scogliera e riporto in sabbia - opere realizzate tra febbraio e maggio 2005

## 2. Sub-unità fisiografica compresa tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC

Questo tratto di costa ha una estensione di 3,8Km circa.

Il tratto di costa in esame si presenta anch'esso come roccioso, frastagliato, con scogli sommersi su bassi fondali e con scogli emersi a formare piccole protezioni costiere. Ad eccezione di due piccole baie (definibili certamente come pocket beach – senza contributi esterni) subito a ridosso del promontorio di San Gavino, ove troviamo un ridotto deposito sabbioso, per il resto del tratto la costa risulta sostanzialmente priva di sabbie.

Nell'avvicinarsi alla spiaggia del SIC di Platamona, inizia una sottile lingua di sabbia, fino al capo di su cui si trova la Torre di Abbacurrente.

In considerazione di quanto sopra la raccolta di immagini selezionata per questo tratto di costa (Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC) è molto snella poiché il tratto è roccioso ed evidentemente non interessato da modifiche morfologiche.

## 3. Sub-unità fisiografica comprendente la spiaggia del SIC di Platamona

Questo tratto di costa ha una estensione di 10Km circa. Presenta una spiaggia ad ampiezza variabile, ma sempre continua senza interruzione.

Prima di procedere all'analisi fotografica storica è interessante analizzare i documenti tecnico-scientifici reperibili online.

Il documento ISPRA “Repertorio nazionale degli interventi di ripristino 1b - Sardegna - Lavori di risanamento e recupero ambientale dello stagno di Platamona” (<http://www.isprambiente.gov.it/files/ecosistemi-marini/1b-sardegna-risanamento-stagno-platamona.pdf>) illustra un intervento di ripristino previsto dal Piano Integrato territoriale SS 01 – POR Sardegna misura 1.5 tra gli anni 2007-2008.

Il documento riguarda la messa in servizio di un dispositivo di tutela per il segmento di arenile corrispondente alla discesa a mare n°3 della spiaggia di Platamona. Qui, infatti, la fenomenologia di degrado risulta particolarmente evidente. Il profilo dunale risulta appiattito e sono visibili sui piazzali e sulle strade gli accumuli sabbiosi prodotti dall'azione eolica. L'intervento si prefigge un insieme di accorgimenti orientati a determinare un processo di ricostituzione del cordone dunale originario mediante l'intercettazione delle sabbie interessate dall'azione eolica con tecniche di ingegneria naturalistica e tradizionale.

Al di là dell'intervento specifico, il documento rappresenta una preziosa fonte di informazioni sullo stato della spiaggia del SIC. Sul documento si legge infatti:

*“L'impovertimento della spiaggia in atto è, con ogni evidenza, imputabile essenzialmente all'azione eolica che agisce su un sistema dunale denudato dal la vegetazione a causa del calpestio e delle attività di pulizia dell'arenile. La compromissione del profilo naturale della duna, determinata dall'impianto della pineta o, ancora peggio, l'interruzione da parte di piazzali di parcheggio e strutture murarie rigide, determina l'innesco di un inarrestabile processo di asportazione della coltre soffice di sabbia, e la sua dispersione nell'ambiente retrostante (pineta o aree agricole) senza alcuna possibilità di recupero. Il fenomeno prosegue inesorabilmente su tutta la superficie della spiaggia attiva, non più adeguatamente tutelata dalla presenza di essenze psammofile, fino a produrre, con l'allontanamento delle sabbie asciutte superficiali, un sostanziale appiattimento del profilo emerso. Il fenomeno, inoltre, si ripercuote naturalmente anche sui tratti di spiaggia contigui dotati di profili in condizioni accettabili, incidendo dunque in misura rilevante sulla consistenza dello stock detritico complessivamente disponibile. Il processo è, nella particolare situazione, parzialmente mascherato dal*

*fatto che l'arenile in questione rappresenta il tratto di recapito finale del detrito marino dell'intero sistema fisiografico rappresentato dal Golfo dell'Asinara e, la quota di sabbie dispersa annualmente viene, di fatto, parzialmente ricostituita dai continui apporti.*"

In sostanza vengono denunciati dei fenomeni di criticità, legati all'azione del vento ed alla mancanza di essenze arboree in grado di contrastare l'azione erosiva. Tuttavia in termini globali si assiste ad una sostanziale stabilità, almeno in termini di apporti marini positivi o negativi.

Informazioni più aggiornate riguardano un evento del 2013 quando un forte vento e numerose mareggiate hanno ridisegnato la fisionomia della costa tra la torretta di Abbacurrente e il bar La Torre: sotto la scalinata che porta all'arenile, la sabbia è stata inghiottita dal mare e al posto delle decine di metri quadrati di spiaggia è rimasta solo qualche roccia e un lastrone di argilla. L'Amministrazione Comunale ha adottato la strategia dell'attesa e del monitoraggio, anche avallata dalle tesi secondo cui il bilancio globale tenda alla relativa stabilità. Il professore del dipartimento di Scienze Ambientali e Naturali dell'Università di Sassari, Vincenzo Pascucci ha infatti dichiarato "... Nella stagione primaverile e in quella estiva, la sabbia che in questa settimana è stata imprigionata dal mare tornerà al suo posto. E salvo particolari eventi climatici, nel giro di poche settimane tutto dovrebbe tornare come prima..." L'ultimo evento di erosione costiera risale a più di vent'anni fa: era il 1988. Da quel momento la spiaggia ha sempre conservato la sua linea, senza arretrare di un centimetro.

Per poter verificare quanto illustrato ed evidenziare eventuali, sensibili, variazioni verranno individuati due transetti significativi in punti in cui sono presenti di punti fissi che consentano di misurare la profondità della spiaggia. Si veda l'immagine Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa, su cui sono indicate le posizioni dei transetti A e B.

### **Transetto A**

Dal confronto tra le immagini storiche (

Figura 13 **analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A**) si nota che il tratto di costa sabbioso indagato, interno al SIC, ha avuto una lunga fase di stabilità, certificata da immagini storiche che vanno dal 1968 ad 2014. La costruzione o modifica delle opere foranee dei porti non ha in alcun modo inciso sulla linea di costa. A partire dall'immagine del 2014 si assiste ad un fenomeno di arretramento stimato in 10m circa e confermato dall'immagine 2016. Tale tendenza potrebbe non essere definitiva ma solo dovuta al ristretto arco temporale (2 anni) di accertamento. Il trend evolutivo dovrà essere monitorato.

### **Transetto B**

L'esame del transetto manifesta, analogamente al precedente, una relativa stabilità. Benché le prime due immagini storiche ( Figura 15 **analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B**) sembrano denunciare un arretramento pari a 10m circa nel 1998, la successiva raccolta di immagini (Figura 16 **analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B**) manifesta un ritorno alla situazione originaria. È possibile che la misurazione del 1998 sia imputabile ad una condizione particolare di mare, la spiaggia ha di fatto mantenuto nel tempo ampiezza pressoché costante.

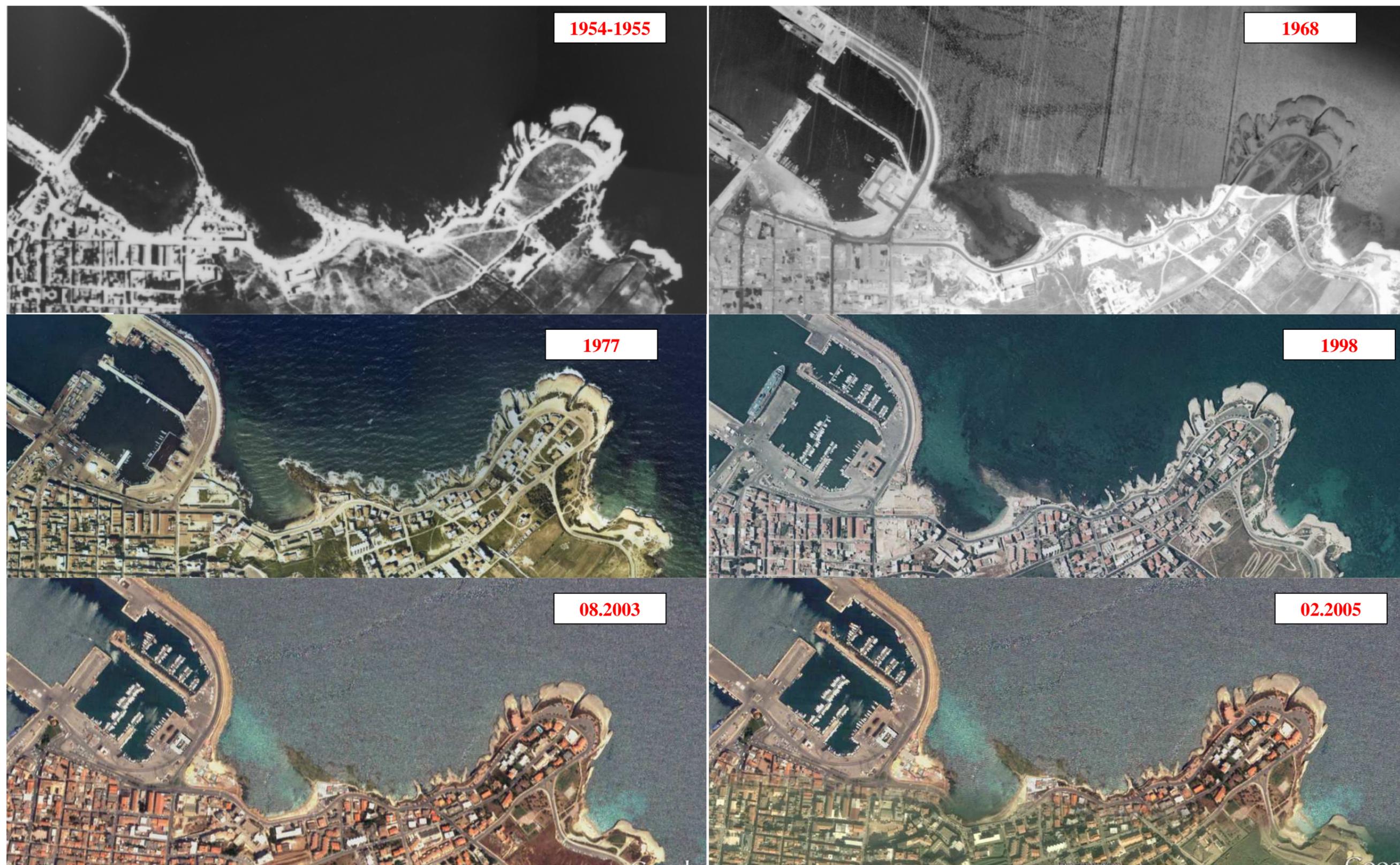


Figura 9 raccolta di foto aeree 1954 -2005 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino



Figura 10 raccolta di foto aeree 2005-2016 per il tratto di costa compreso tra il porto civico ed il promontorio di San Gavino

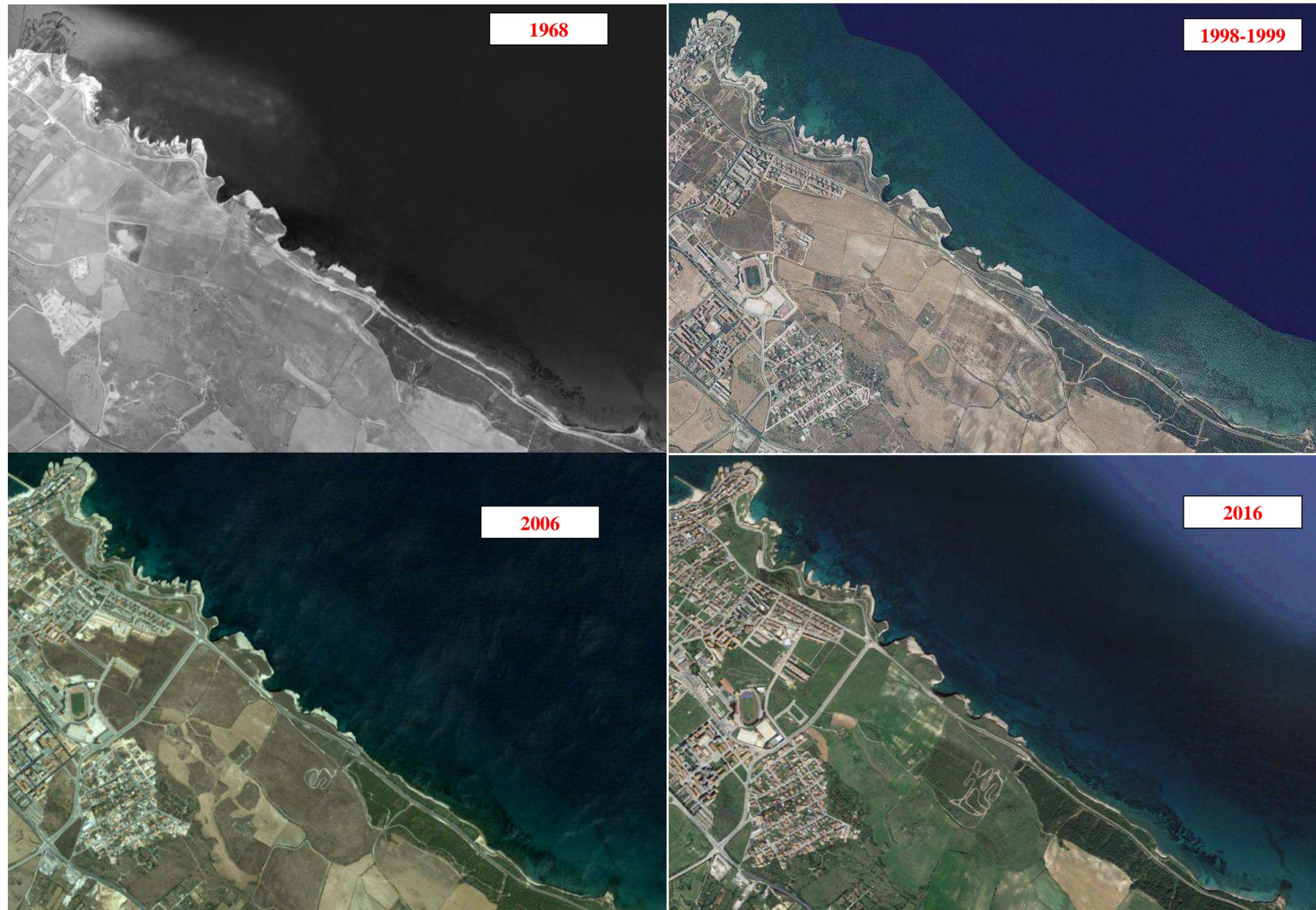


Figura 11 raccolta di foto aeree 1998-2016 per il tratto di costa compreso tra il promontorio di San Gavino e la spiaggia del SIC



Figura 12 aree indagate per la valutazione delle modifiche della linea di costa



Figura 13 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 2009 transetto A

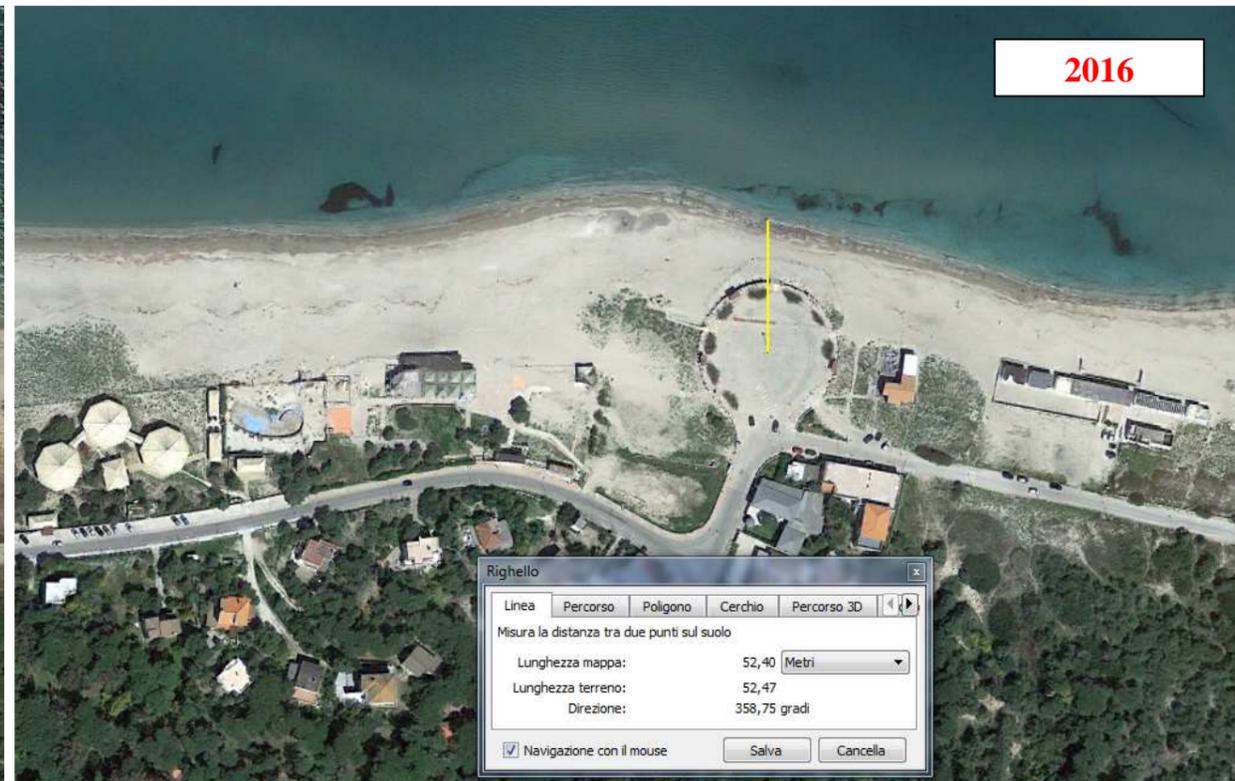
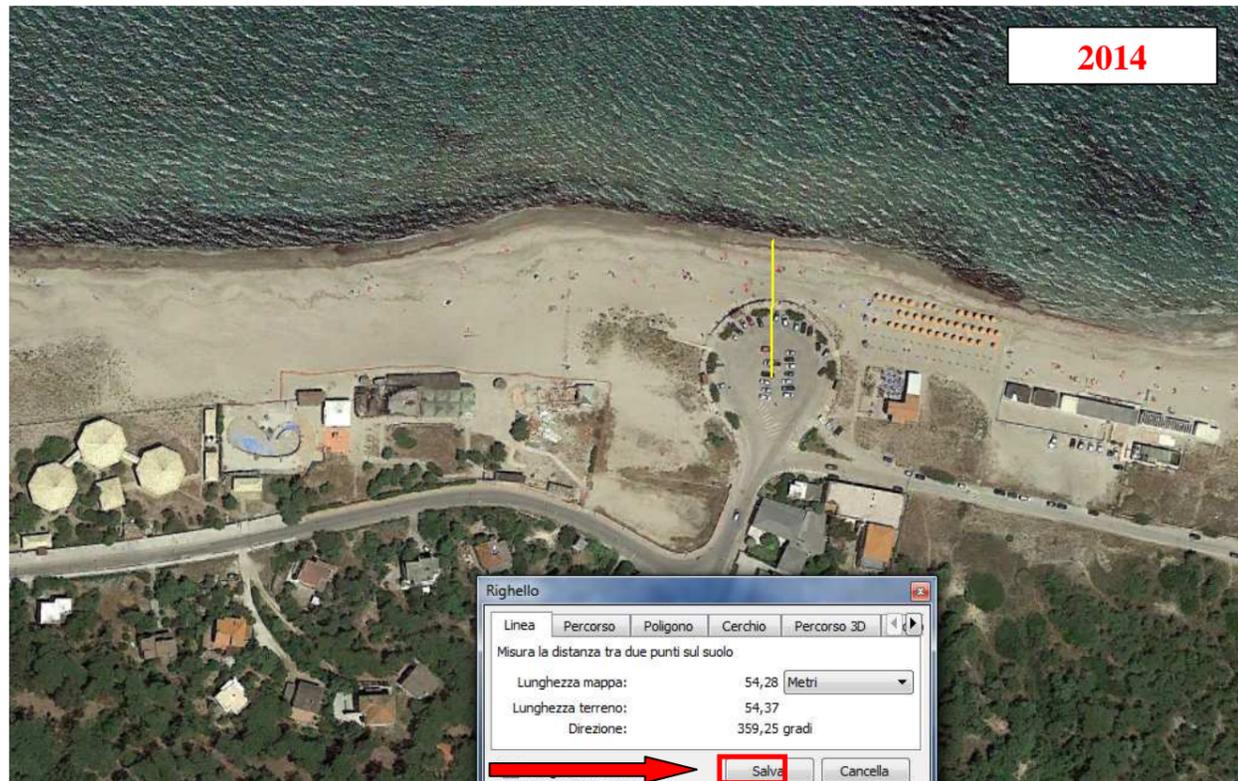


Figura 14 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2014 - 2016 transetto A



Figura 15 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 1968 - 1998 transetto B



Figura 16 analisi dell'evoluzione della spiaggia anni 2003 - 2016 transetto B

### 3. ANALISI DI INTERAZIONE TRA OPERE ED ASSETTO IDRODINAMICO DELL'UNITÀ FISIOGRAFICA

A. Innanzi tutto l'analisi delle immagini storiche di cui al paragrafo precedente, nonché le evidenze in situ consentono di affermare che, **oggettivamente, nel sito di progetto, non vi è alcun fenomeno di trasporto solido. Non vi sono infatti fenomeni di accumulo né tra i due porti, industriale e civico, né nei tratti di costa immediatamente ad est ed ad ovest degli stessi.** Essendo i due porti esistenti da decenni qualsiasi fenomeno di accumulo avrebbe ad oggi ampiamente manifestato i suoi effetti.

Le **caratteristiche dell'opera in progetto** e la **morfologia costiera** contribuiscono a fugare ogni dubbio di impatto sui litorali, il tutto come illustrato ai punti seguenti.

B. Per ciò che concerne le caratteristiche proprie dell'opera va evidenziato che **il previsto prolungamento del molo di ponente non aggetta sul profilo di costa oltre l'esistente molo del porto industriale**, pertanto il molo di ponente del porto civico risulta messo in ombra dal porto industriale e non ha alcuna possibilità di esplicare i propri effetti sul litorale ad ovest dello stesso. Ciò anche in ragione del fatto che le mareggiate provengono prevalentemente dal primo quadrante.



Figura 17 immagine aerea con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.



Figura 18 immagine aerea, estesa ad un fascia litoranea di 30km circa, con indicazione planimetrica del prolungamento del molo di ponente. Si noti come l'opera non aggetti oltre l'esistente molo del porto industriale.

- C. Non meno importante è la considerazione che l'intervento di prolungamento del molo di ponente avverrà su fondali compresi tra -15m e -20m sul lmm, pertanto ben **al di fuori della fascia attiva** in termini di dinamica litoranea, notoriamente compresa entro la batimetrica -6 o al massimo -7 sul l.m.m. Ciò vuol dire che l'intervento si attua su batimetriche più profonde di quelle per le quali esistono movimenti di sabbie dovuti a correnti marine e moto ondoso.
- D. Ulteriori considerazioni in grado di avvalorare la tesi della mancanza di effetti sul litorale provengono dalla **morfologia costiera ad est del porto**. Ovviamente la zona ovest non verrà esaminata per le motivazioni già espresse al punto B.
- È fondamentale evidenziare come il primo tratto di costa ad est del porto oltre il promontorio, esteso oltre 2Km, **sia assolutamente roccioso**, pertanto non soggetto a fenomeni erosivi per effetto del trasporto dei sedimenti.



Figura 19 tratto di costa ad est del porto esteso oltre 2km



Figura 20 fotografie del tratto roccioso

E. Per ciò che concerne il tratto litoraneo su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona tutte le considerazioni suesposte sulla:

- oggettiva assenza di trasposto solido;
- costruzione dell'opera al di fuori della fascia attiva;
- direzione prevalente delle onde dal I quadrante;

consentono di escludere ogni effetto del progetto sul tratto di litorale su cui insiste il SIC Stagno e ginepreto di platamona.

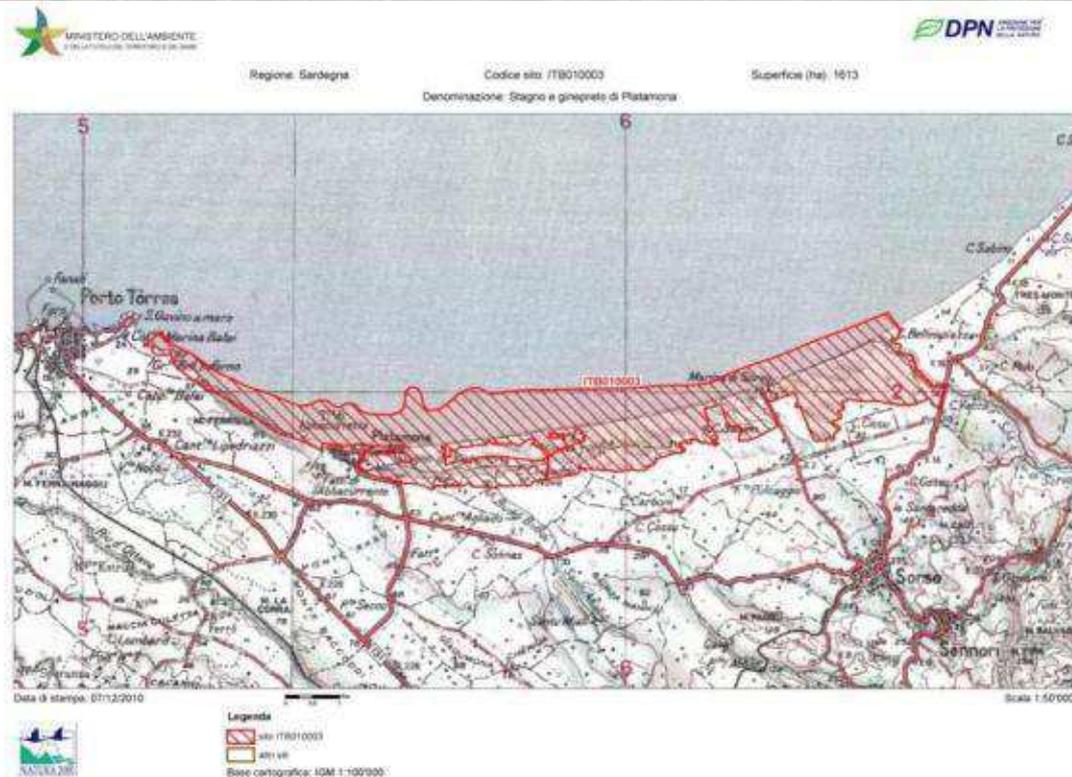
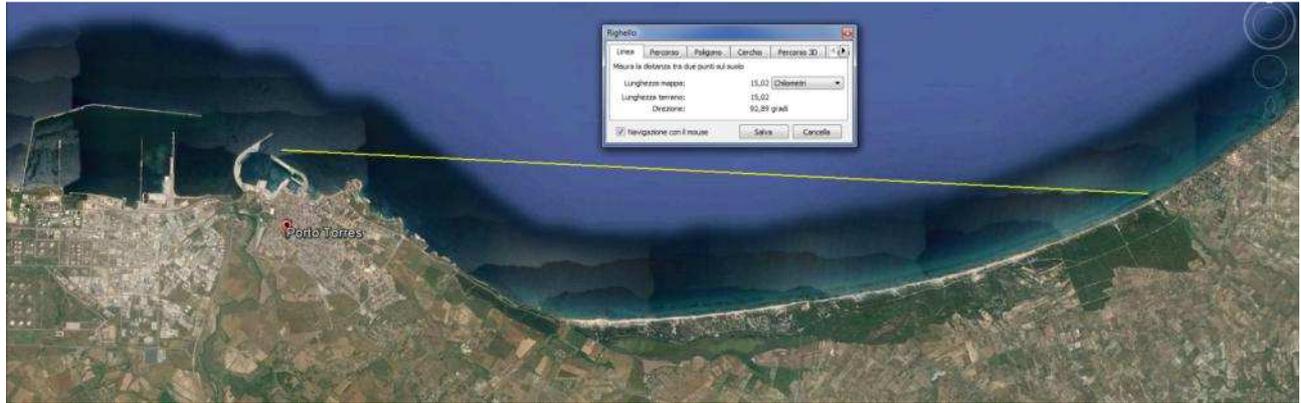


Figura 21 immagine aerea del tratto su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona, fino ad una distanza di 15Km dal porto ed estratto del SIC.

F. Resta infine la valutazione degli effetti della realizzazione del molo sulle spiaggette immediatamente ad est del porto civico.

Questi ultimi sono stati valutati nell'ambito del PRP e quindi richiamati nel Q. progettuale di SIA negli "Effetti dell'opera sul litorale" dove si legge:

*"Lo studio proposto di seguito è stato condotto nell'ambito della progettazione delle opere per l'Adeguamento Tecnico Funzionale del PRP vigente, che prevede – come detto in premessa - le opere del presente progetto definitivo a meno del nuovo Molo di Levante...."*

*Dal confronto emerge che le nuove opere, con particolare riferimento al molo di sopraflutto, non alterano in maniera significativa il moto ondoso incidente, ovvero lungo le spiaggette prospicienti il Lungomare Balai non si riscontrano sensibili variazioni dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere e pertanto si ritiene che tali spiaggette non subiranno rilevanti variazioni dal punto di vista morfodinamico."*

Questa affermazione è avvalorata dai valori di altezza d'onda calcolati sulle spiaggette prospicienti il porto e riportati in Figura 22 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres, che appaiono addirittura più bassi di quanto non lo siano nella configurazione di PRP. Dall'esame della tabella si nota inoltre come le mareggiate prese in esame, per il loro carattere di prevalenza, sono quelle provenienti dal I quadrante (nord est).

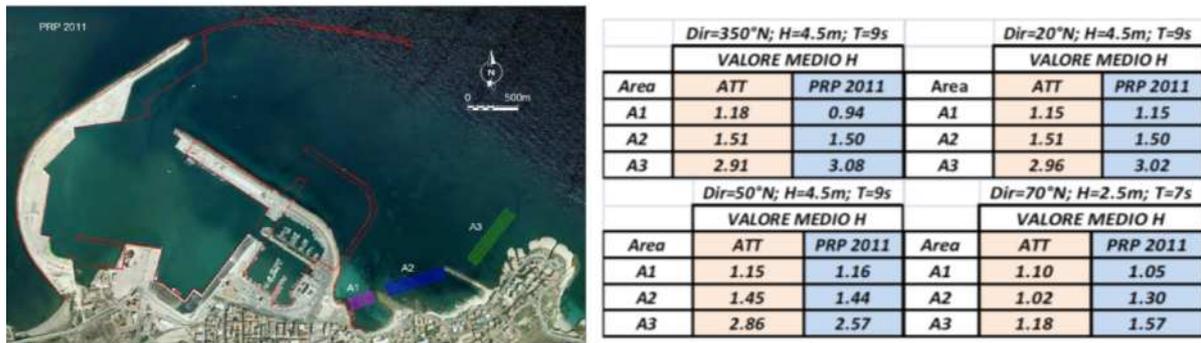


Figura 22 aree di studio utilizzate per il confronto dei livelli di agitazione ondosa ottenuti con le configurazioni attuale e di PRP 2011. Valori medi di altezza d'onda calcolati in condizioni meteo marine estreme per tre aree opportunamente scelte in prossimità della costa est di Porto Torres

Il modello citato è tuttavia applicato ad una configurazione portuale differente da quella presentata in questo progetto (sviluppata in una fase intermedia di PRP), pertanto nel presente studio è stata opportunamente aggiornata.

**G.** Relativamente all'effetto in fase di cantiere bisogna esaminare il tipo di lavoro che si andrà ad eseguire, non in grado di generare sensibili movimenti di sedimenti sul fondale. Si tratta in sostanza della posa in opera di cassoni per il molo di ponente e di limitate attività di dragaggio e salpamento per la resecazione. Il tipo di attività in oggetto potrà generare limitati effetti di torbidità in grado di esaurirsi nel raggio di 50m dal punto di esecuzione e comunque controllati da opportuni interventi di mitigazione quali ad esempio l'uso di panne galleggianti. Anche rispetto al tipo di lavorazioni non si riscontrano potenziali criticità nei confronti della movimentazione delle sabbie.

#### 4. ANALISI DEL CAMPO D'ONDA INCIDENTE SUL LUNGOMARE BALAI

Come anticipato al § 3 punto F, è stato condotto uno studio dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere. Tale studio, adeguando la configurazione portuale a quella effettivamente prevista dal progetto definitivo, costituisce un aggiornamento di quanto precedentemente presentato.

In sostanza, lo studio di cui al progetto preliminare ha posto a confronto lo stato attuale con la configurazione di PRP 2011, come riportata nella figura seguente.

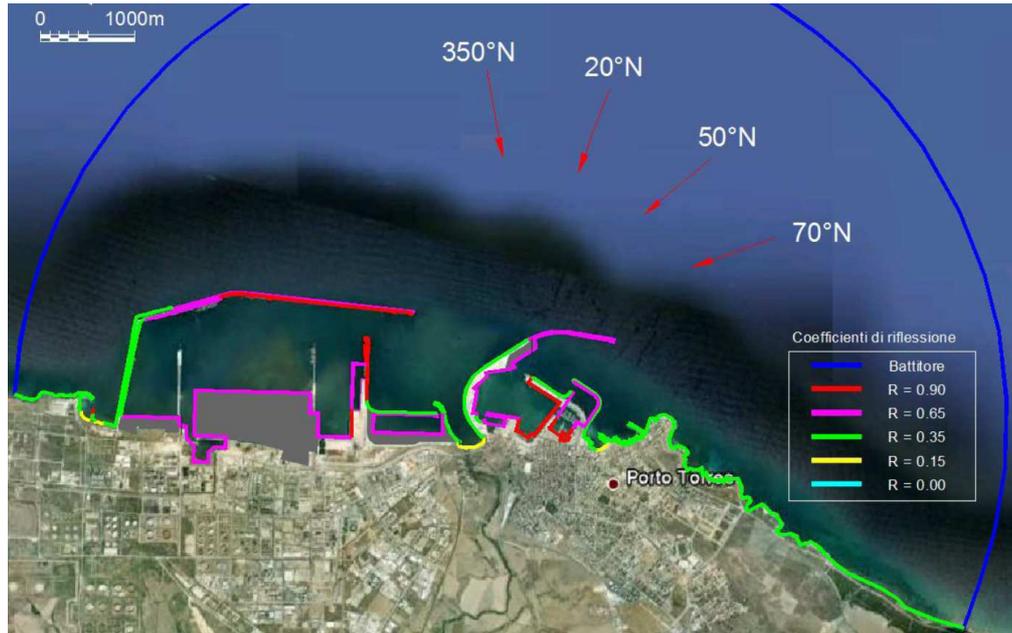


Figura 23 Configurazione di progetto modellata nel progetto preliminare

Nel presente studio invece, allo stato attuale viene contrapposta la configurazione futura come prevista dalle opere di progetto (prolungamento Molo di Levante e resecazione banchina Alti Fondali).



Figura 24. Configurazione attuale su aerofoto



Figura 25. Configurazione di progetto su aerofoto

Il modello matematico impiegato per definire il campo di moto ondoso, e descritto successivamente, è stato applicato su un dominio circolare che interessa un tratto di costa a cavallo del porto esistente lungo oltre 10 km. Ciò permette di analizzare sia il tratto di costa tra i due porti, industriale e civico, sia i tratti di costa immediatamente ad est ed ad ovest degli stessi. Tuttavia, la zona a ovest del porto civico non è stata esaminata per le motivazioni già espresse al punto B del paragrafo 3. Allo stesso modo, è stato escluso dallo studio il tratto di costa su cui insiste il SIC stagno e ginepro di Platamona (punto E § 3).

È invece interessante analizzare la situazione ad Est del porto civico, nel tratto compreso tra il porto stesso e il SIC sopra citato. Poiché oltre il promontorio su cui sorge la chiesa di San Gavino a Mare, la costa è assolutamente rocciosa ad eccezione della spiaggia di Balai, la valutazione degli effetti legati alla realizzazione del molo viene limitata alle spiaggette (“pocket beaches”) immediatamente ad est del porto, come indicato in figura.

Nelle aree indicate sono stati confrontati i livelli di agitazione ondosa che si verificano attualmente con quelli che si potranno verificare ad opere ultimate, al fine di verificare l’impatto esercitato dalla nuova opera a gettata (nuovo molo di sopraflutto).



Figura 26. Individuazione delle "pocket beaches" oggetto di studio

Nei paragrafi successivi viene rappresentato lo studio svolto ed organizzato come segue:

- descrizione del modello matematico adottato per le simulazioni;
- definizione delle configurazioni analizzate in termini di direzioni di provenienza e periodi dell'onda incidente, ricavati dai dati meteomarini riportati e commentati nell'elaborato *Relazione idraulica – Studio meteomarino* redatto dal prof. Ing. De Girolamo ed allegato al progetto definitivo, cui si rimanda per maggiori approfondimenti;
- illustrazione del dominio di calcolo definito per condurre le simulazioni numeriche;
- analisi dei risultati ottenuti e restituzioni grafiche degli output delle simulazioni elaborate.

#### 4.1. CENNI SUL MODELLO MATEMATICO

Il modello di calcolo impiegato appartiene al sistema di modellazione SMS (Surfacewater Modeling System) che consente di stimare le condizioni del moto ondoso a ridosso delle coste.

Il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alle graficizzazioni dei risultati.

Nella fase preliminare dello studio è stato utilizzato il software per la costruzione del reticolo geometrico agli elementi finiti con cui è stato discretizzato lo specchio liquido da simulare. Successivamente sono state definite all'interno del modello di calcolo le condizioni idrodinamiche al contorno ricavate dal già citato studio meteomarino.

L'applicazione del modulo CGWAVE ha quindi permesso di quantificare il campo di moto ondoso indotto lungo il tratto costiero ricadente all'interno del dominio di calcolo.

CGWAVE è un modello matematico bidimensionale agli elementi finiti sviluppato dall'Università del Maine su commissione del "U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station". È basato sull'equazione ellittica dell'onda che si propaga su fondali a lieve pendenza, (conosciuta anche come "combined refraction-diffraction equation") prima proposta da Eckart (1952) ed in seguito trattata da Berkhoff (1972, 1976) e altri, che è utilizzata per stimare le condizioni del moto ondoso a ridosso delle

coste.

CGWAVE è in grado di simulare contemporaneamente gli effetti della rifrazione, della diffrazione, della riflessione causata dalla variazione di profondità e dalle strutture, della dissipazione dell'energia dell'onda dovuta all'attrito con i fondali e al frangimento e l'effetto della dispersione non lineare dell'ampiezza dell'onda. CGWAVE analizza la trasformazione dell'onda a basse profondità nelle vicinanze della costa, quindi appartiene a quella classe di modelli matematici che operano in "local scale".

Il metodo classico "super-element", così come il nuovo metodo di approssimazione parabolica sviluppato recentemente (Xu, Panchang and Demirebilek 1996), vengono utilizzati per studiare la condizione al contorno "open boundary". Per risolvere le equazioni discretizzate viene utilizzata una procedura iterativa (metodo del gradiente coniugato) introdotta da Panchang e altri (1991) e modificata da Li (1994).

#### 4.2. CLIMA METEOMARINO DI PROGETTO

Per la scelta delle forzanti di moto ondoso, oltre a tener conto degli obiettivi prefissati per lo studio, si è fatto riferimento ai risultati riportati nello studio meteomarino già richiamato.

Le simulazioni sono state condotte considerando una serie di direzioni d'onda e periodi ritenuti significativi per le finalità perseguite e compatibili con le condizioni meteomarine raggiungibili nel paraggio in esame.

Più specificamente sono stati analizzati gli scenari che prevedono come forzanti di moto ondoso gli eventi rappresentativi delle condizioni più rare e gravose legate a tempeste con tempo di ritorno cinquantennale, alle quali si associano i massimi valori del campo di moto ondoso e quindi gli impatti maggiori sulle strutture e sulla costa.

Dallo studio meteomarino si evince che, sebbene gli eventi più frequenti provengano dal IV quadrante, le mareggiate più estreme si concentrano nel settore 350-50°N, alle quali si associano altezze d'onda anche superiori a 4,0 m.

Al fine di rappresentare tutte le condizioni ondose significative per lo studio in esame, si è ritenuto opportuno effettuare diverse simulazioni variando la direzione di provenienza dell'onda tra 320°N e 70°N.

In via cautelativa, le condizioni analizzate sono quelle più gravose e meno frequenti, rappresentative di eventi estremi. In altre parole, tutte le simulazioni riportate nel seguito fanno riferimento ad eventi inusuali: qualsiasi altra condizione che si dovesse verificare rispetto a quelle qui rappresentate sarebbe migliorativa.

In sintesi, le condizioni di moto ondoso sottocosta utilizzate nel modello di propagazione dell'onda sono le seguenti:

DIREZIONE	PERIODO	ALTEZZA D'ONDA
320°N	7s	3,5m
350°N	9s	4,5m
20°N	9s	4,5m
50°N	9s	4,5m
70°N	7s	2,5m

Tabella 1. Condizioni di moto ondoso considerate nelle simulazioni

Le verifiche sono state condotte sia nella configurazione attuale sia nella configurazione prevista dal progetto definitivo, con lo scopo di valutare la variazione del campo di moto ondoso indotta dalla realizzazione delle nuove opere. Nel complesso sono state eseguite 10 simulazioni.



Figura 27. Dominio di calcolo con indicazione delle direzioni di provenienza delle onde

#### 4.3. DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO: DISCRETIZZAZIONE DELLE SPECCHIO ACQUEO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Per la corretta applicazione del modello SMS è stata innanzitutto costruita una griglia agli elementi finiti che descrive la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua all'interno del dominio considerato. I dati geometrici nella forma di coordinate  $xyz$  sono stati inseriti in SMS ed utilizzati come base di partenza per la costruzione della griglia agli elementi finiti.

Il risultato della discretizzazione ha condotto ad una griglia di calcolo costituita da 290.398 elementi triangolari e 148.923 nodi di calcolo nella configurazione di progetto e 289.700 elementi e 148.462 nodi nella configurazione attuale, come riportato in figura.



Figura 28. Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni

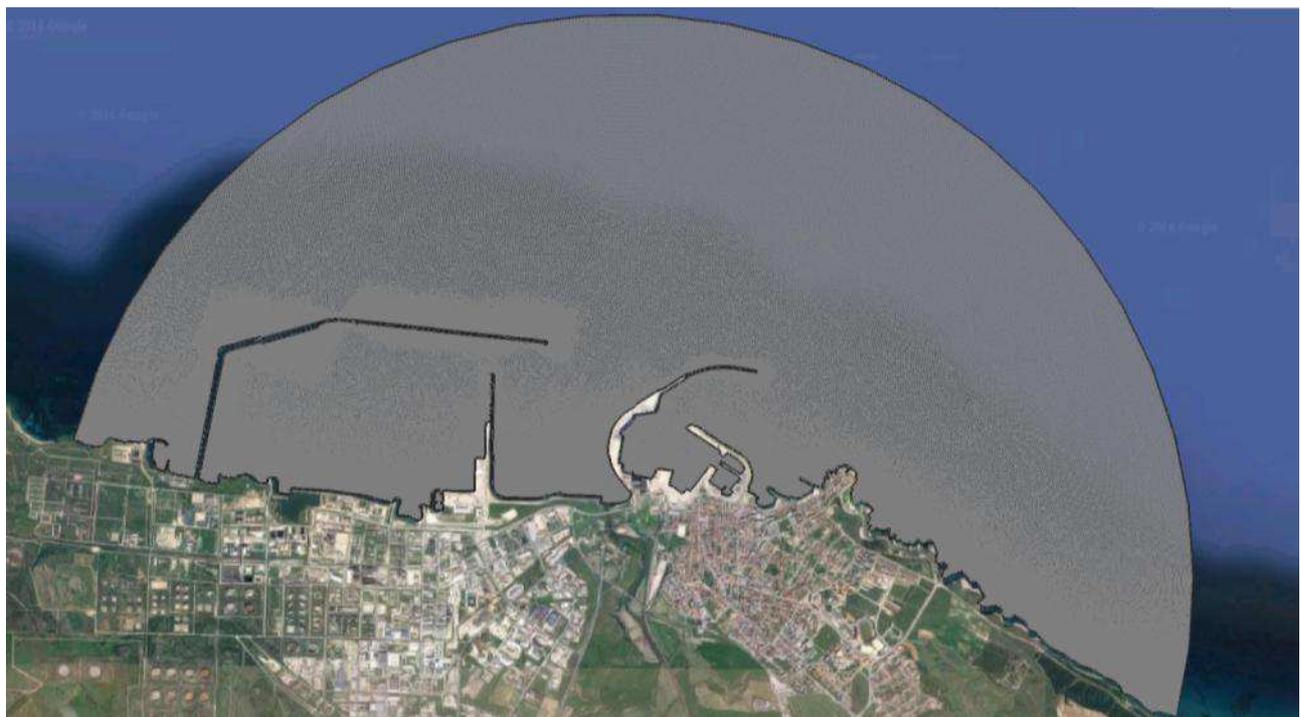


Figura 29. Configurazione di progetto: discretizzazione dello specchio liquido utilizzata nelle simulazioni

Per la configurazione planimetrica discretizzata come descritto, al fine di poter determinare i livelli di agitazione ondosa causata dall'azione del moto ondoso incidente, è stato necessario definire ed impostare opportune condizioni al contorno sull'intera frontiera geometrica del dominio di calcolo.

Il contorno che delimita il settore di provenienza del moto ondoso (open ocean) è caratterizzato da condizioni di totale assorbimento ( $K=0.00$ ), mentre per quanto riguarda i contorni costituiti dalla costa e dalle opere marittime emergenti si è imposta una condizione sui coefficienti di riflessione,

assegnando a ciascuna “struttura” un predefinito valore del rapporto tra l'altezza dell'onda riflessa e l'altezza dell'onda incidente, come di seguito indicato:

- banchine a parete verticale riflettente  $K_r = 0.90$
- banchine a parete verticale con pareti antiriflettenti  $K_r = 0.65$
- tratti rocciosi naturali e/o opere a scogliera  $K_r = 0.35$
- spiagge assorbenti  $K_r = 0.10$

La figura seguente mostra i valori dei coefficienti di riflessione attribuiti ai vari tratti di opera e di costa che delimitano il dominio di calcolo.



Figura 30. Configurazione di progetto: indicazione dei coefficienti adottati per le simulazioni

Si vuole sottolineare che i coefficienti di riflessione sono stati mantenuti costanti, lungo tutto il perimetro di una stessa opera, effettuando, a favore di sicurezza, un'approssimazione per eccesso. Essi sono desunti dalla letteratura in base ad esperienze su modelli fisici.

Le simulazioni sono state condotte tenendo conto degli effetti dissipativi dovuti al frangimento del moto ondoso (assumendo un coefficiente pari a 0.15) e all'attrito sul fondo (imponendo un coefficiente di attrito pari a 0.12).

Lato mare il dominio di calcolo è stato delimitato da una linea semicircolare in corrispondenza della quale sono state imposte le caratteristiche del moto ondoso incidente (forzanti di moto ondoso) secondo quanto riportato nella Tabella 1. Essendo il modello lineare, le simulazioni sono condotte in forma parametrica imponendo un valore unitario dell'altezza d'onda incidente.

#### 4.4. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Le figure che seguono restituiscono graficamente i risultati delle simulazioni condotte in termini di altezza d'onda relativa  $K$  definita come il rapporto tra l'altezza d'onda calcolata in una zona/punto del dominio e l'altezza dell'onda incidente:  $K = H_r/H_i$ . Essendo l'onda incidente unitaria, il coefficiente  $K$

corrisponde all'altezza d'onda calcolata. Per ottenere il valore dell'altezza d'onda in un punto è sufficiente moltiplicare il coefficiente K per l'altezza d'onda effettivamente incidente.

I campi di moto ondoso indotti dalle forzanti applicate sono rappresentati a colori e con curve di eguale agitazione ondosa.

Per ciascuna direzione di provenienza dell'onda incidente si riporta l'agitazione ondosa indotta sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, in una duplice visualizzazione (estesa all'intero dominio e limitata al tratto di costa immediatamente a Est del porto civico).

Per una valutazione immediata delle variazioni subite dai livelli di agitazione ondosa a seguito della realizzazione delle nuove opere portuali, nelle aree corrispondenti alle tre spiaggette oggetto di studio si è individuato il valore medio dell'altezza d'onda prima e dopo l'intervento di progetto. Tali valori, riportati in forma tabellare, danno immediata evidenza dell'influenza delle nuove opere sulla costa.

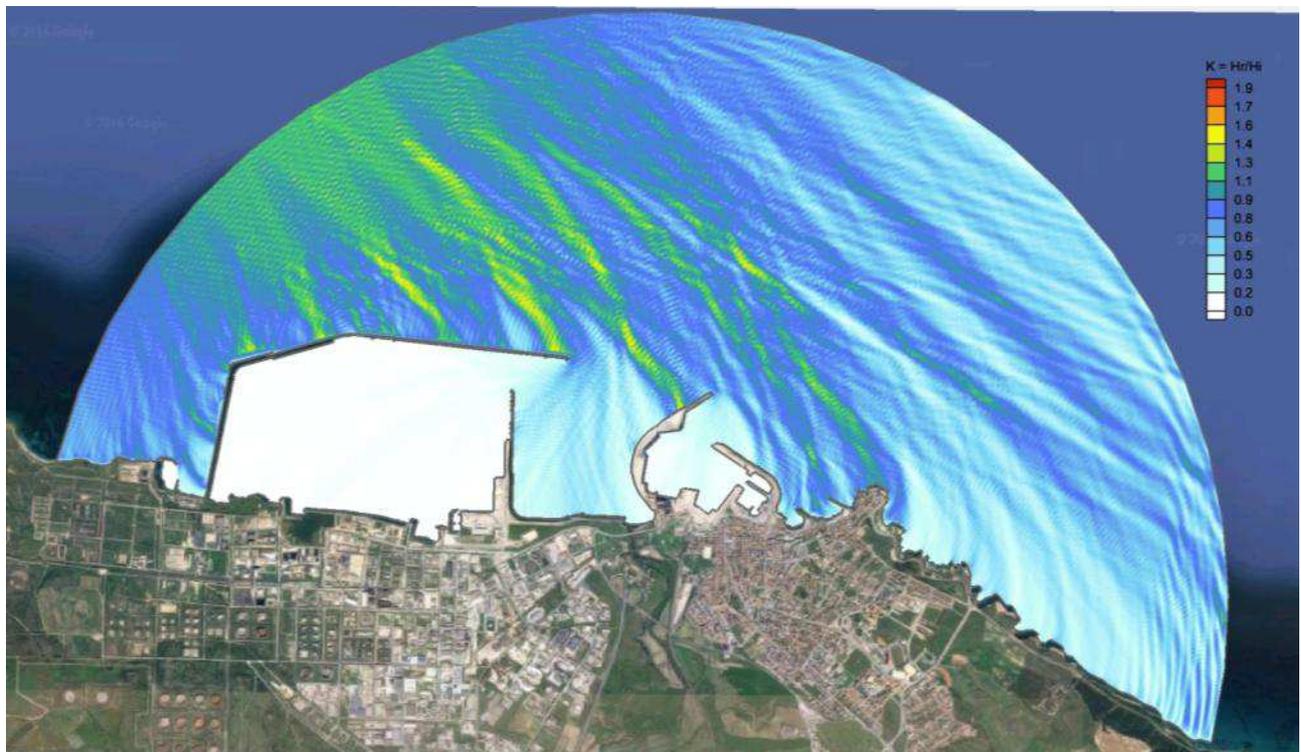


Figura 31. Configurazione attuale: agitazione ondosa (320°N – 7s)

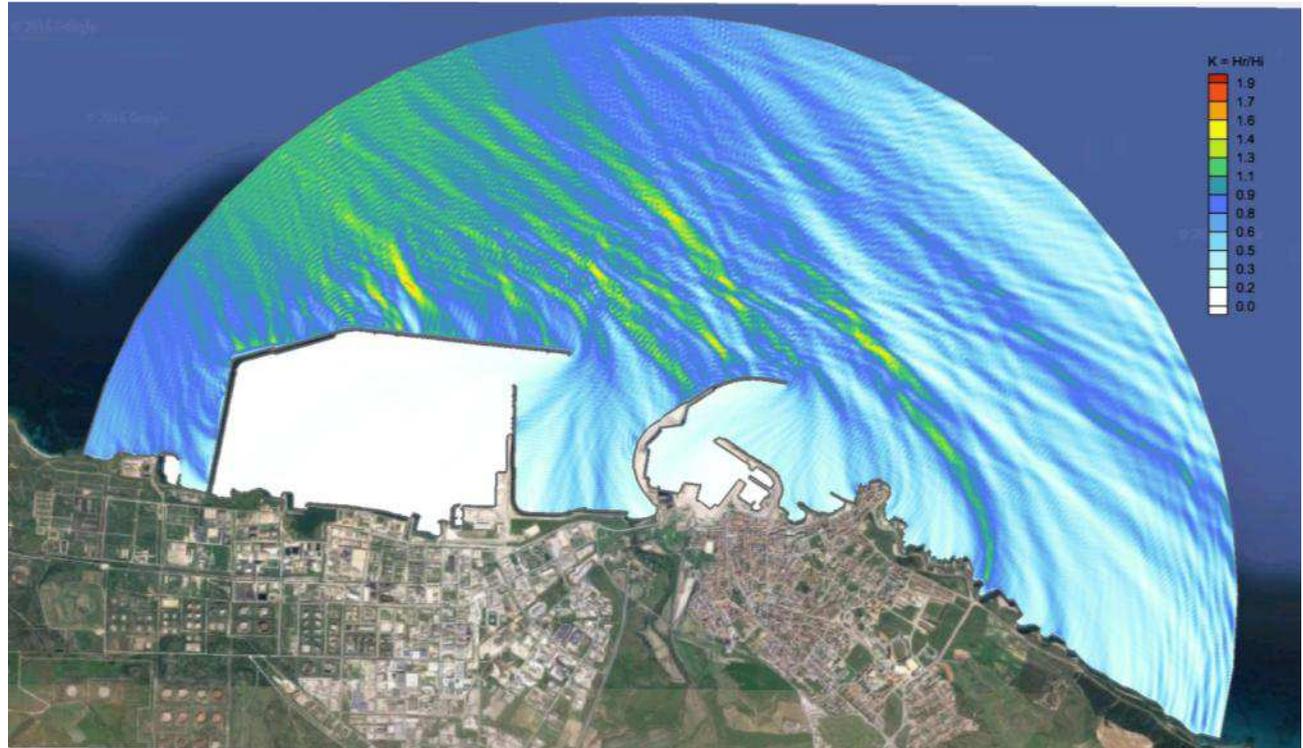


Figura 32. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (320°N - 7s)

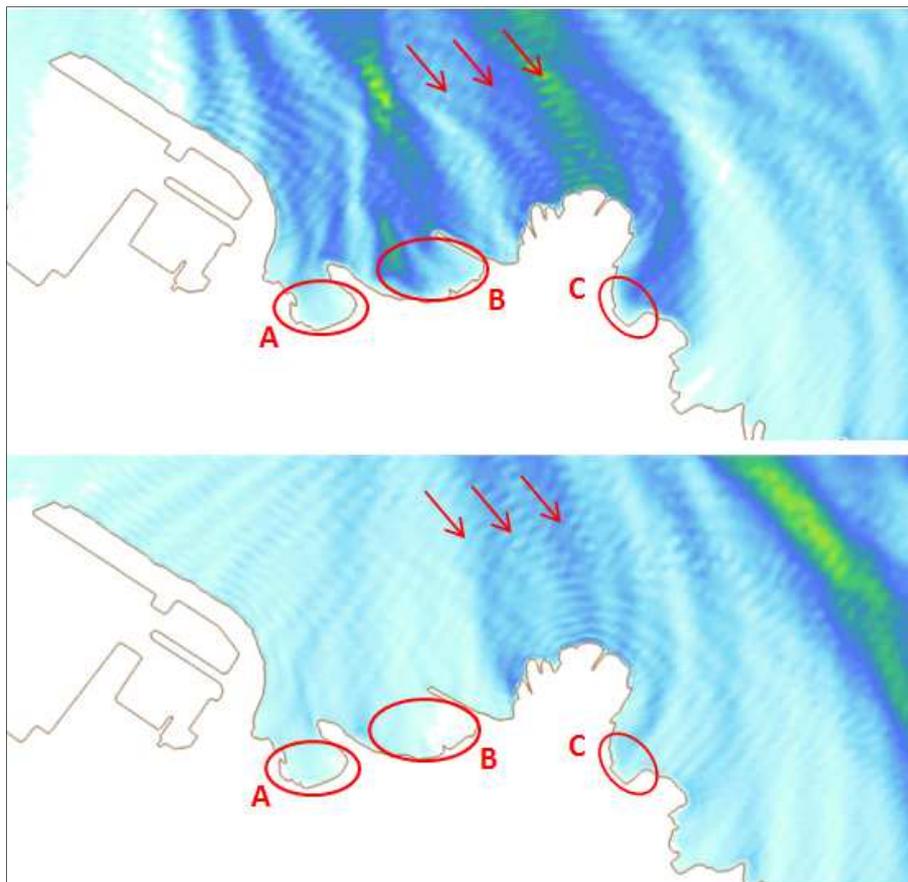


Figura 33. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 320°N

Dir=320°N, T=7s, H=3.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.19	0.45	0.35
configurazione di progetto	0.14	0.18	0.26

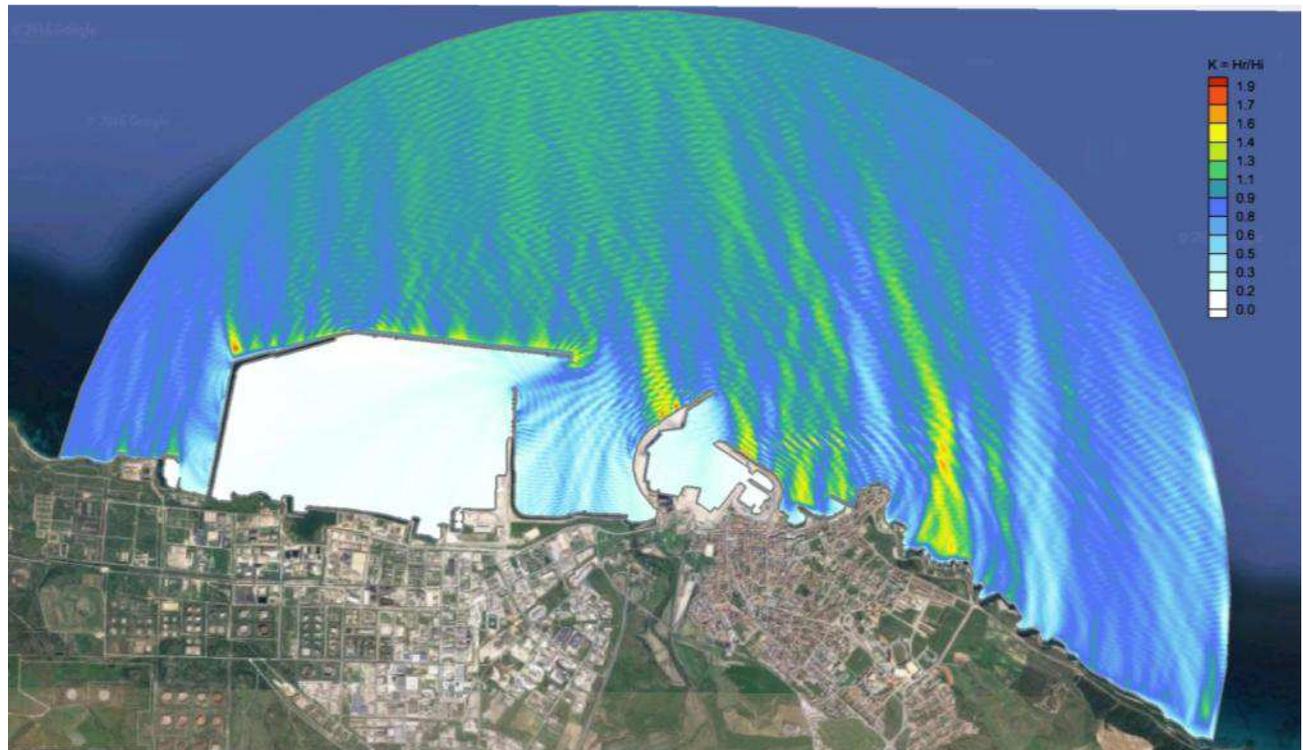


Figura 34. Configurazione attuale: agitazione ondosa (350°N - 9s)

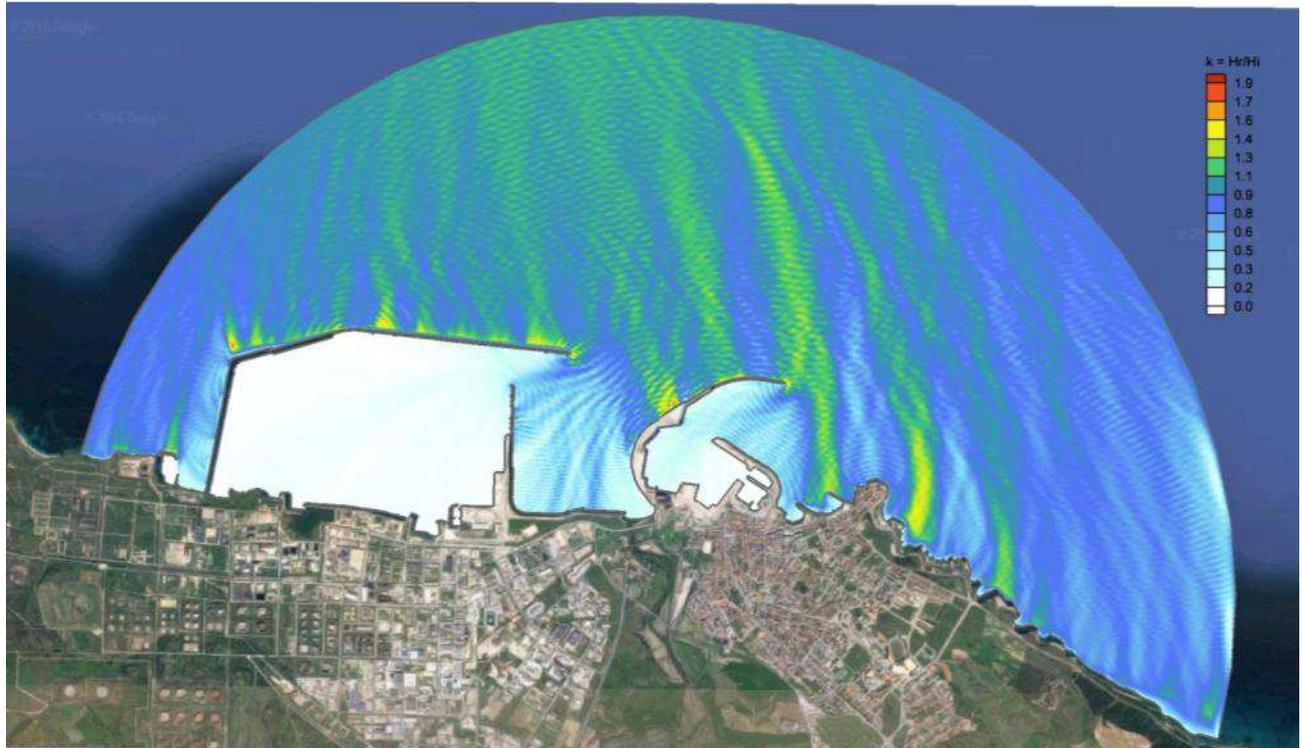


Figura 35. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (350°N - 9s)

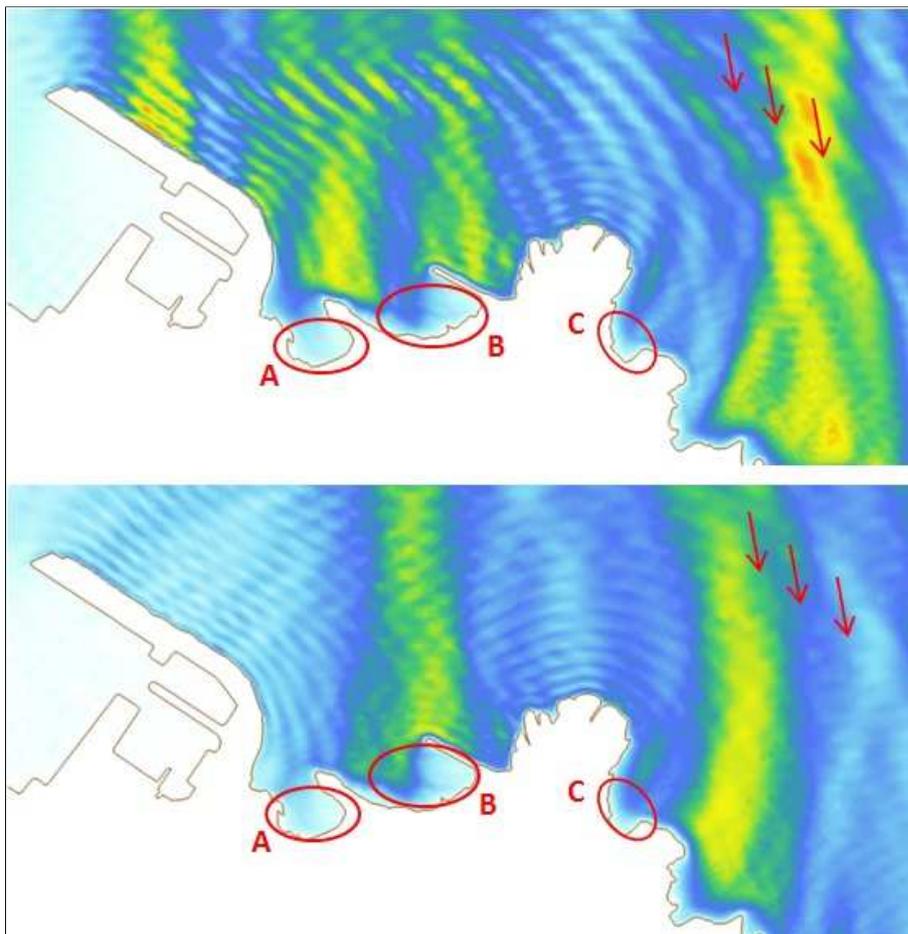


Figura 36. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 350°N

Dir=350°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.31	0.35	0.32
configurazione di progetto	0.19	0.30	0.33

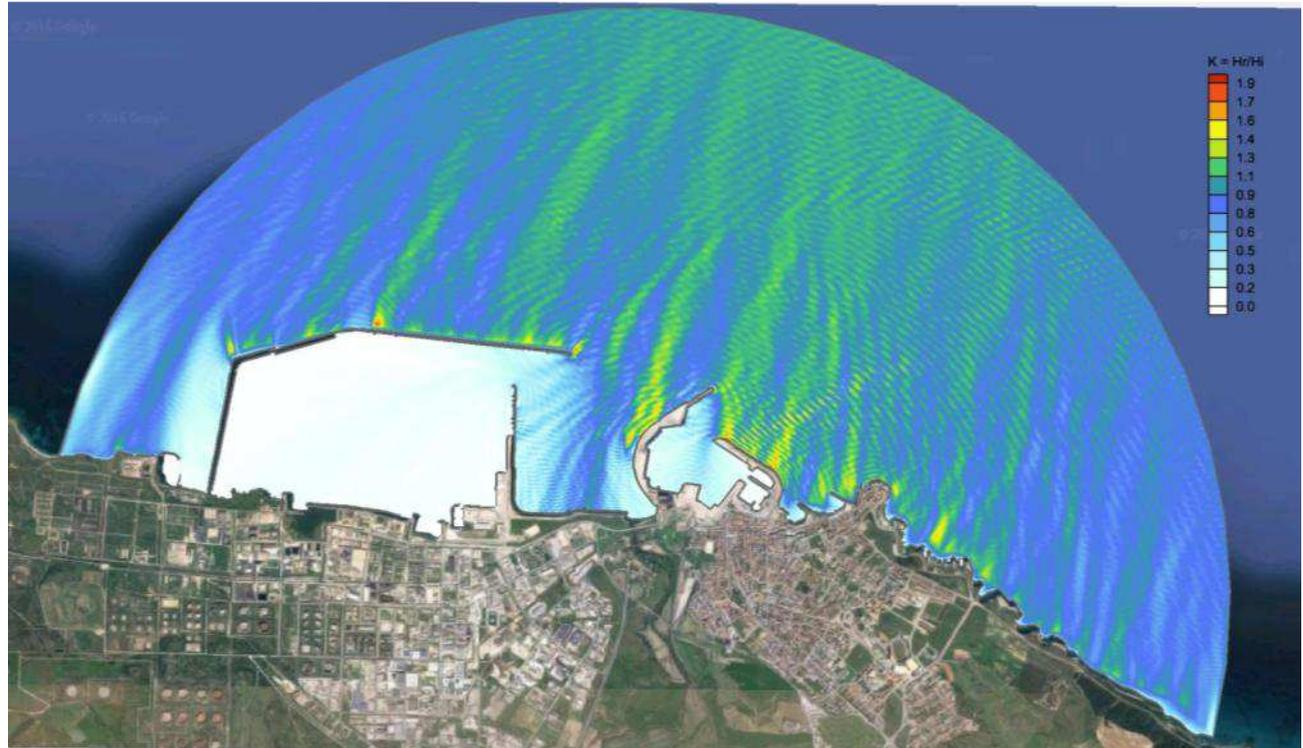


Figura 37. Configurazione attuale: agitazione ondosa (20°N - 9s)

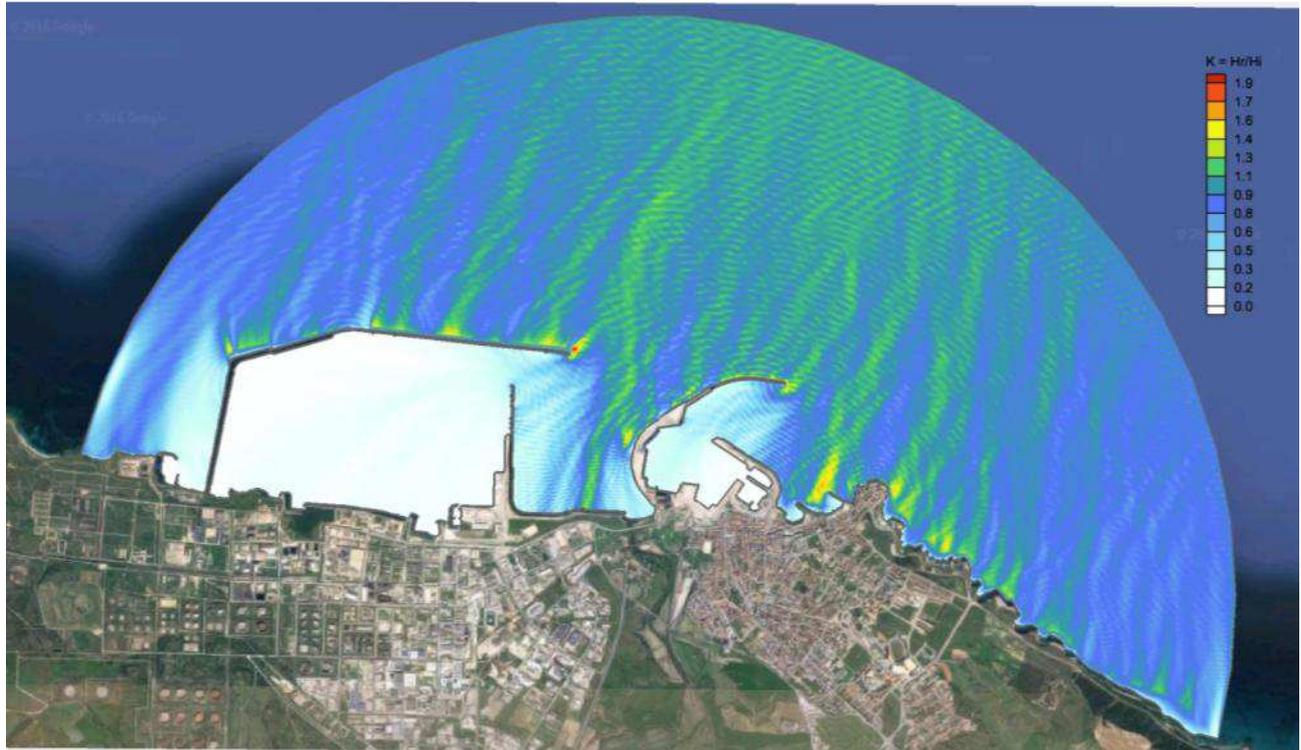


Figura 38. Configurazione di progetto. agitazione ondosa (20°N - 9s)

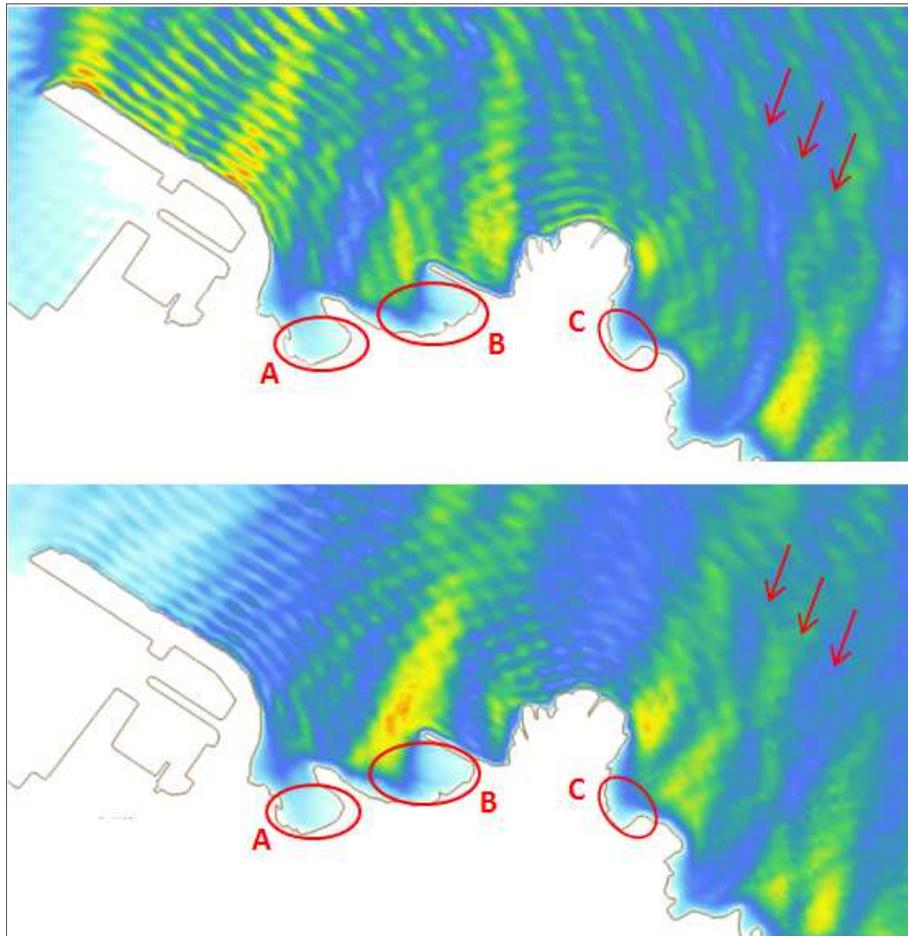


Figura 39. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 20°N

Dir=20°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.26	0.43	0.45
configurazione di progetto	0.23	0.42	0.43

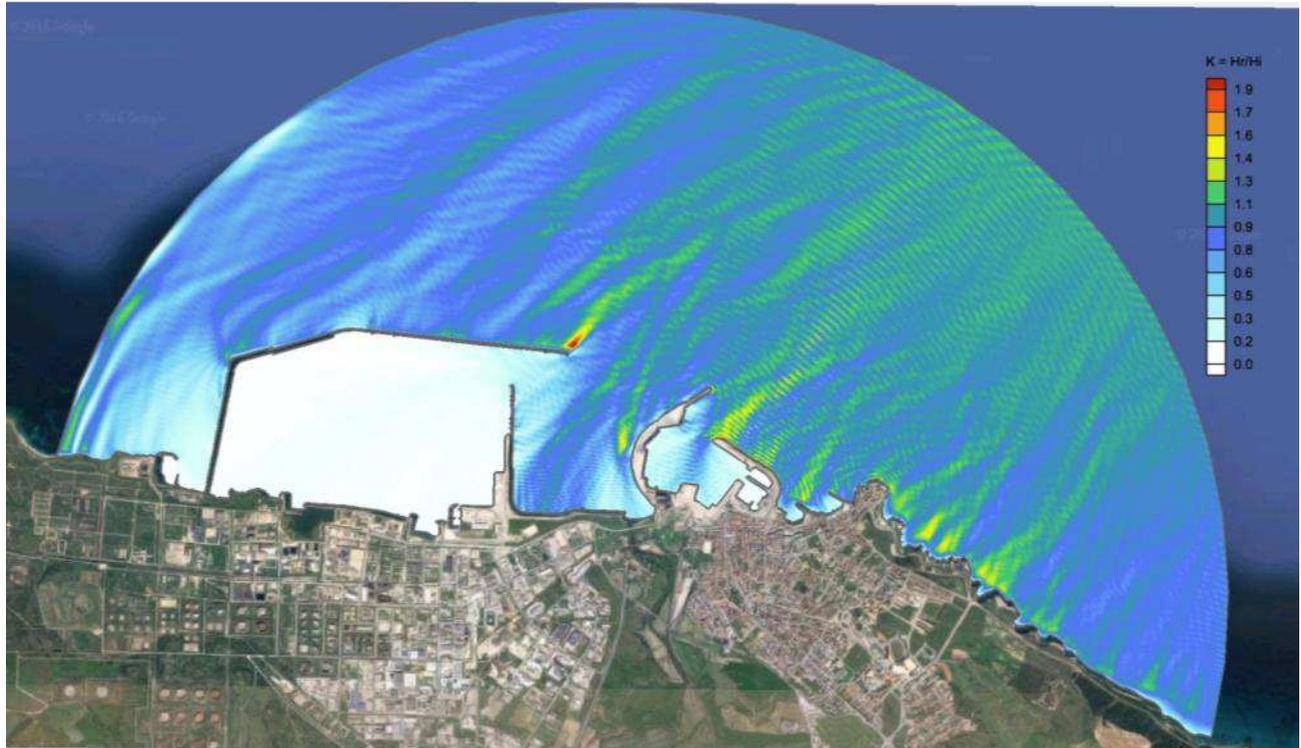


Figura 40. Configurazione attuale: agitazione ondosa (50°N - 9s)

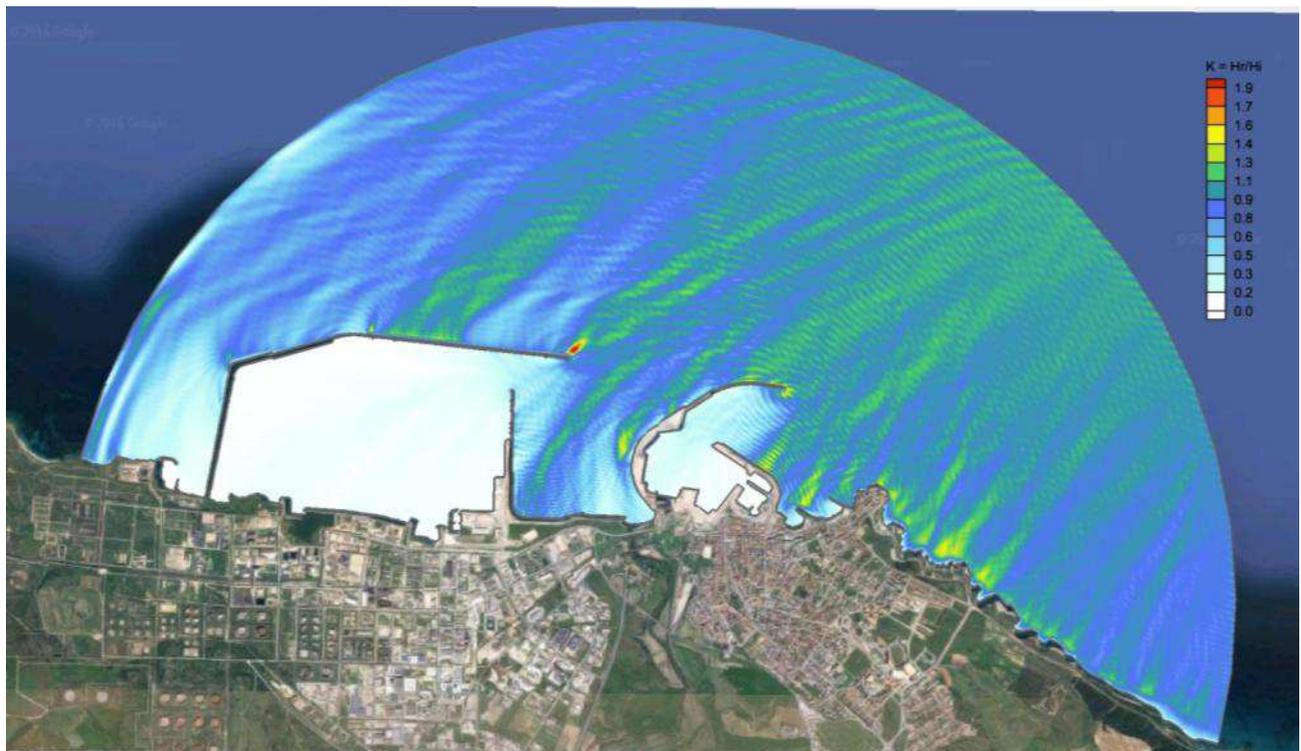


Figura 41. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (50°N - 9s)

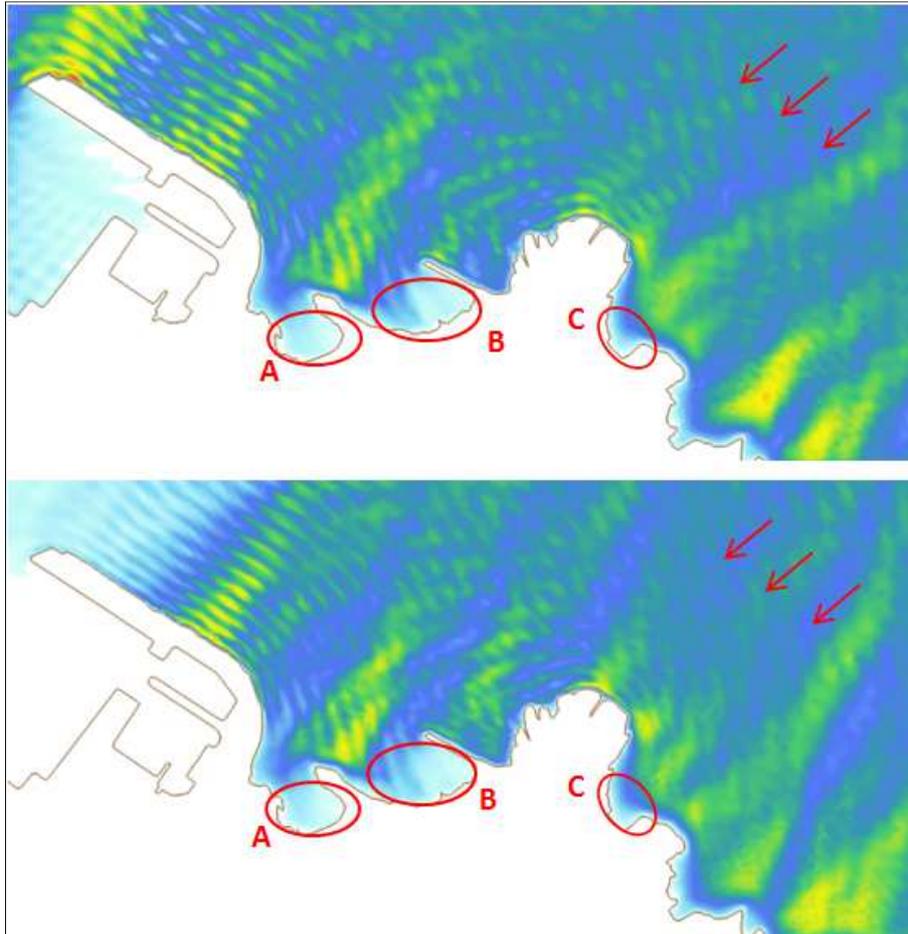


Figura 42. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 50°N

Dir=50°N, T=9s, H=4.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.21	0.27	0.38
configurazione di progetto	0.20	0.26	0.38

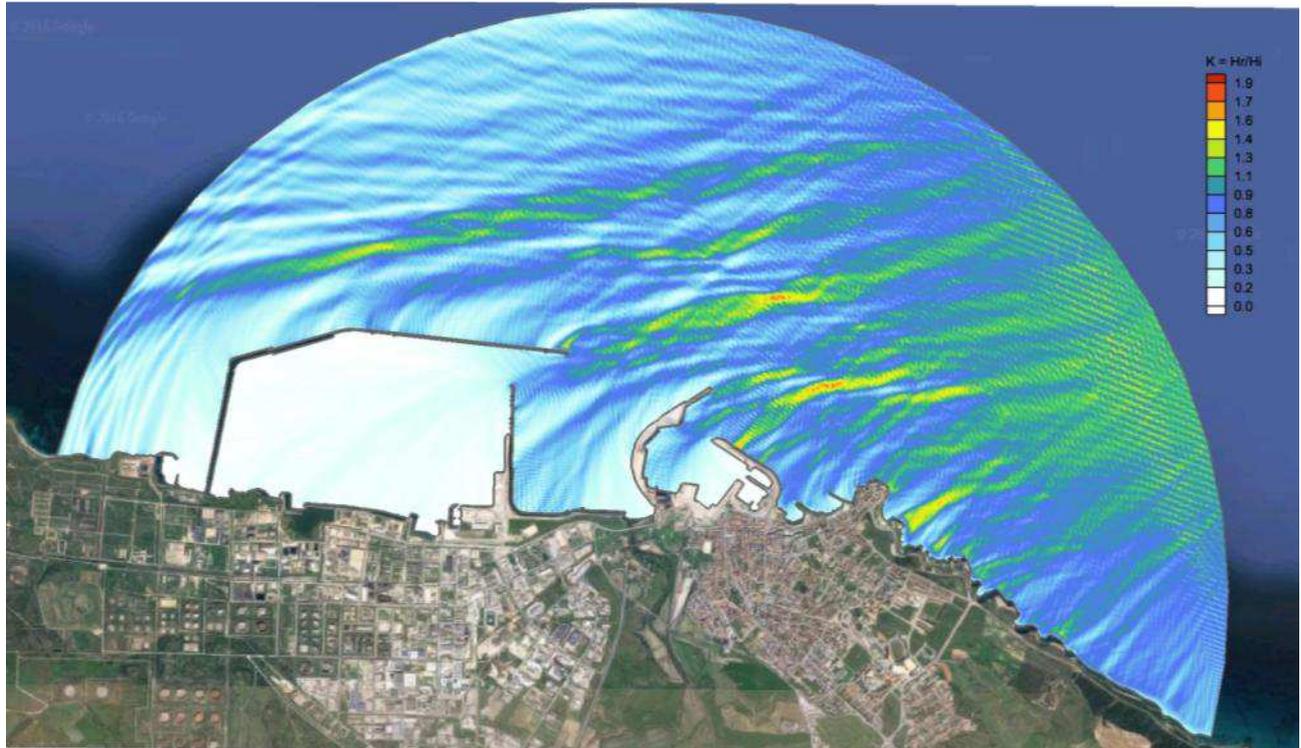


Figura 43. Configurazione attuale: agitazione ondosa (70°N - 7s)

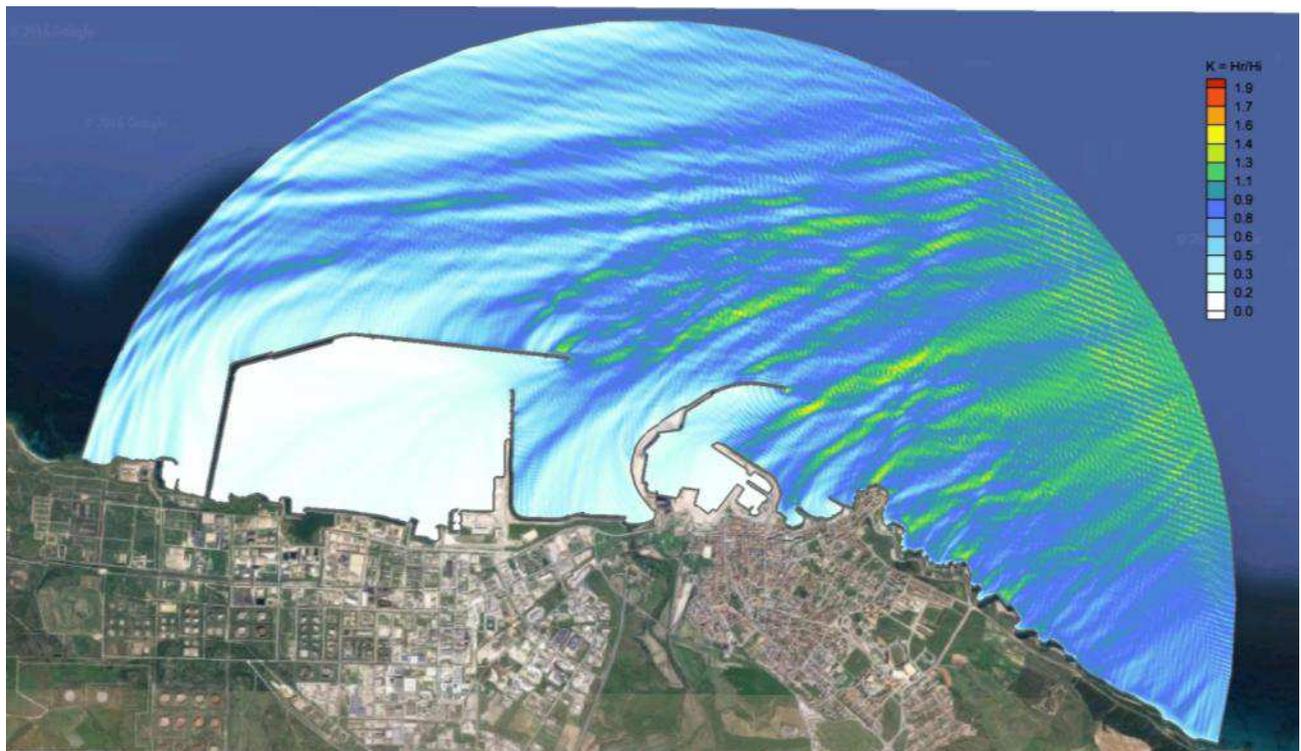


Figura 44. Configurazione di progetto: agitazione ondosa (70°N - 7s)



Figura 45. Agitazione ondosa nelle "pocket beaches" ad Est del porto nella configurazione attuale (sopra) e in quella di progetto (sotto) per onde provenienti da 70°N

Dir=70°N, T=7s, H=2.50m			
	valore medio $K_{medio}$		
	zona A	zona B	zona C
configurazione attuale	0.20	0.32	0.31
configurazione di progetto	0.20	0.24	0.31

#### 4.5. ANALISI DEI RISULTATI

Le simulazioni riportate al paragrafo precedente confermano sostanzialmente quanto già espresso negli studi effettuati nell'ambito del PRP e richiamati al punto F del § 3 "[...] Dal confronto emerge che le nuove opere, con particolare riferimento al molo di sopraflutto, non alterano in maniera significativa il moto ondoso incidente, ovvero lungo le spiaggette prospicienti il Lungomare Balai non si riscontrano sensibili variazioni dei livelli di agitazione ondosa dovuti al campo d'onda riflesso dalle nuove opere [...]".

Nei tratti sabbiosi del lungomare a est del porto civico, il campo di moto ondoso indotto dal prolungamento del molo di Levante rimane sostanzialmente invariato rispetto allo stato attuale per tutte le forzanti provenienti dal primo quadrante, cioè per le direzioni 20/50/70°N. Questo risultato è

altresì evidente per la considerazione che il molo di sopraflutto non intercetta affatto le mareggiate di quel settore e non è quindi in grado di interferire con gli effetti che esse producono nel tratto di costa ad est del porto.

Viceversa, la nuova opera, per posizione e dimensioni, è in grado di interferire con le onde provenienti dal IV quadrante: per le direzioni  $320^{\circ}$ - $350^{\circ}$  N si registra infatti una (talvolta) netta diminuzione del campo di moto ondoso nelle aree oggetto di studio. Gli effetti benefici in termini di abbattimento dei livelli di agitazione ondosa sono particolarmente evidenti nelle spiaggette di Scoglio Lungo (per onde provenienti da  $320^{\circ}$ N il coefficiente K nella zona B passa da 0.45 nella configurazione attuale a 0.18 nella configurazione di progetto, con una diminuzione del 60%), mentre sembrano meno accentuati in prossimità della spiaggia Balai, naturalmente ridossata dal promontorio su cui sorge la chiesa di San Gavino a Mare per le mareggiate provenienti dal IV quadrante.

#### 4.6. CONCLUSIONI

Il presente studio, come precedentemente accennato, è stato condotto con l'obiettivo di verificare l'impatto esercitato dalla nuova opera (prolungamento del molo di sopraflutto del porto civico) lungo la costa ad Est del porto stesso, con particolare riguardo ai tratti sabbiosi ivi presenti. Nelle aree a ridosso delle due spiagge di Scoglio Lungo e della spiaggia Balai, sono stati confrontati i livelli di agitazione ondosa che si verificano attualmente con quelli che è lecito aspettarsi ad opere ultimate.

Attraverso l'applicazione del modello matematico CGWAVE si sono determinati i valori dell'altezza d'onda al variare delle condizioni di moto ondoso incidente, per il quale si è fatto riferimento alle sole condizioni più rare e gravose. La scelta è di tipo cautelativo, poiché si sono rappresentati solo gli eventi estremi, rispetto ai quali ogni altra condizione risulterebbe meno sfavorevole.

Per le due configurazioni prese in esame (stato attuale e layout di progetto), i risultati delle simulazioni hanno evidenziato come i livelli di agitazione ondosa rimangono pressoché invariati per le forzanti provenienti dal I quadrante. Tale conclusione è altresì supportata dalla considerazione che il nuovo molo, per dimensioni e posizione, non è in grado di intercettare le mareggiate di quel settore e dunque di influenzarne in alcun modo gli effetti.

Per onde provenienti dal IV quadrante, viceversa, il prolungamento del molo determina un significativo abbattimento del campo di moto ondoso nel tratto di costa ad Est del porto, specialmente nelle spiagge di Scoglio Lungo.

In conclusione, i risultati degli studi condotti con il software CGWAVE da una parte validano la capacità del nuovo molo di attenuare i livelli di agitazione ondosa lungo la costa ad Est del porto per le ondate provenienti dal IV quadrante e dall'altra dimostrano che esso non ha alcuna influenza per le mareggiate provenienti dal I quadrante.