

# Monografia dei siti pilota

---

**Componente: T2**

**Azione : T2 -6**

**Partner responsabile : BRGM**

**Date : 15/02/2019**



## Indeche

Introduzione .....	5
Sito di Vieux Salins, Hyères-Les-Palmiers (Var, Francia) .....	9
Sito di l'Anse du Vieux-Moulin, Grimaud (Var, Francia) .....	23
Sito di Veillat, Saint-Raphaël (Var, Francia) .....	37
Sito Riviera Ligure di Levante (Ligure, Italia) .....	47
Sito tra Bocca di Magra e Marina di Massa (Toscana, Italia) .....	59
Sito di Senzuno (Toscana, Italia) .....	69
Sito di Pratoranieri (Toscana, Italia) .....	77
Sito di San Vincenzo (Toscana, Italia) .....	87
Sito del Parco Regionale della Maremma (Toscana, Italia) .....	97
Sito di Calvi (Haute-Corse, Francia) .....	109
Sito di Moriani (Haute-Corse, Francia) .....	119
Sito dell'Arinella (Bastia, Haute-Corse, Francia) .....	129
Sito di Aléria-Ghisonaccia (Haute-Corse, Francia) .....	139
Sito Capo Altano (Sardegna, Italia) .....	147
Sito Capo Mannu (Sardegna, Italia) .....	163
Sito Sella del Diavolo (Sardegna, Italia) .....	183
Sito Villaggio Nurra (Sardegna, Italia) .....	197
Sito di Santa Margherita di Pula (Sardegna, Italia) .....	209
Sito di Geremeas-Torre delle Stelle-Solanas (Sardegna, Italia) .....	225
Rapresentatività dei siti e interessi transfrontalieri .....	251
Conclusione .....	257



## Introduzione

### Il progetto MAREGOT

I partner del progetto MAREGOT si sono prefissati l'obiettivo di lavorare in una rete transnazionale sul perimetro MARITIMO sul problema dell'erosione costiera a vari livelli come:

- la sua caratterizzazione in termini di intensità e / o periodo di ritorno;
- il suo monitoraggio dinamico mediante adeguate tecniche di monitoraggio morfologico e morfodinamico;
- i suoi effetti diretti o indiretti sulla biodiversità costiera e marina;
- le sue conseguenze in termini di esposizione e aggravamento dei rischi costieri, arretramento delle coste, erosione delle coste rocciose e sommersione marina;
- tecniche di mitigazione per i rischi costieri;
- metodi di gestione dell'erosione costiera.

L'erosione costiera e le pratiche di gestione riguardano tutti gli ambienti costieri, spiagge naturali e spiagge urbane, le spiagge ricaricate e spiagge artificiali, spiagge aperte e spiagge di tasche, isole barriere e dune di sabbia, scogliere rocciose e coste alte mobile...

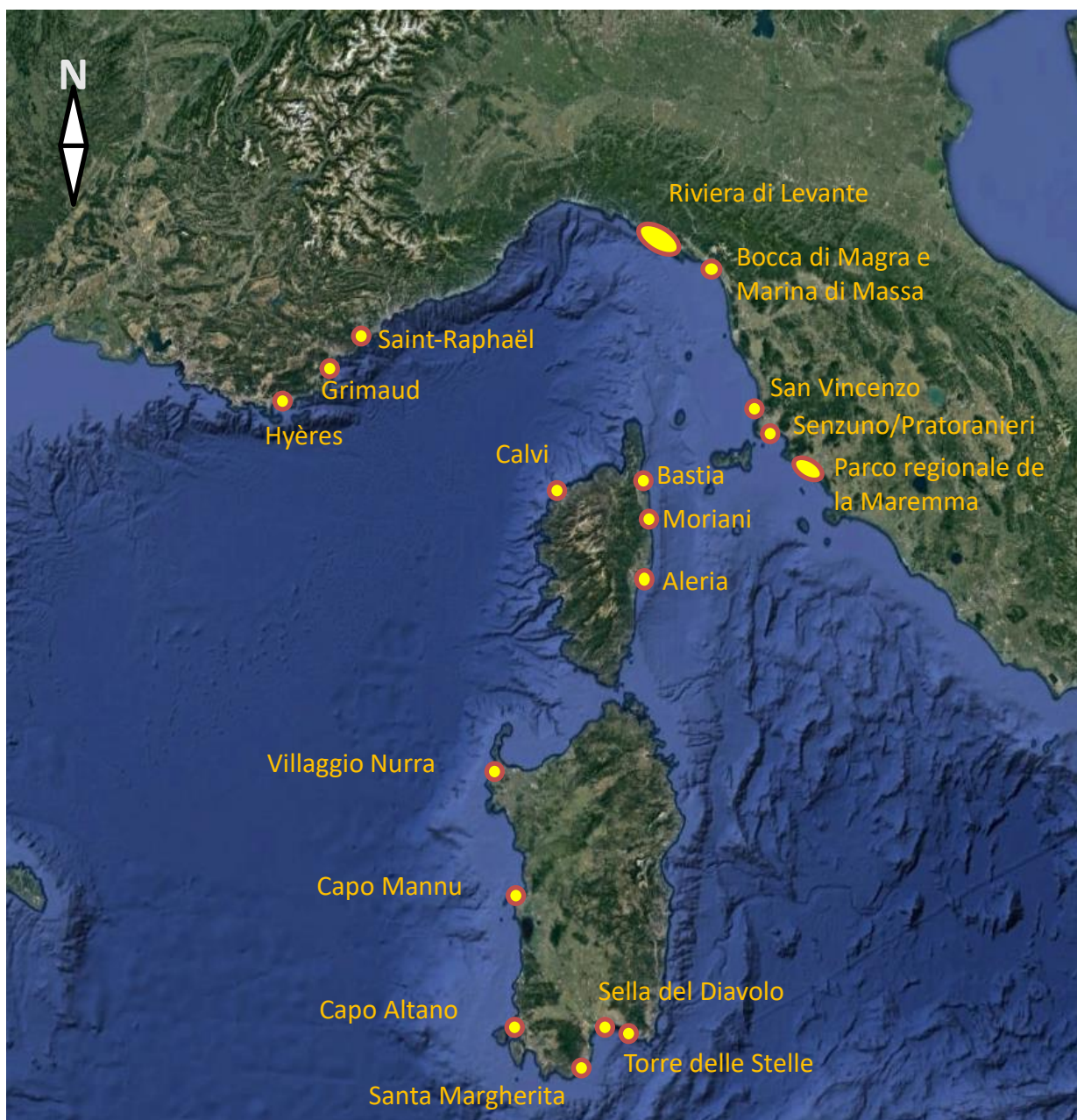
Questa analisi transfrontaliera si basa su una rete di siti pilota su cui saranno sviluppati nel corso del progetto dei piani di azione. Questi sono diversi a seconda delle ambizioni, delle missioni e delle risorse di ciascun partner (misure di monitoraggio, piano di gestione, pianificazione, strategia di gestione).

### Identificazione dei siti pilota

Attraverso la rete di partenariato del progetto MAREGOT, tutti questi temi sono trattati su un pannello di siti pilota. Ciascuno dei siti è supervisionato da un partner, e la rete si sviluppa sulle coste francesi, nel dipartimento del Var e di Haute-Corse, e italiani, in Liguria, Toscana e Sardegna (Figura A).

Questi siti sono stati selezionati dai partner per:

- la loro rappresentatività transfrontaliera, in termini di riproducibilità dei piani di intervento che verranno applicati;
- l'importanza di adottare una strategia transfrontaliera in relazione alle loro caratteristiche legate ai temi delle altre attività del progetto MAREGOT (mareggiate, bilancio sedimentario, coste alte, habitat costieri ed ecosistemi e gestione del rischio costiero).



**Figura A : Localizzazione dei siti pilota del projeto MAREGOT sul territorio MARITIMO**

## Contenuto del rapporto

Questo rapporto corrisponde al risultato dell'attività T2-6. Contiene le diverse monografie di ciascuno dei siti pilota, in un formato di compilazione di articoli, prodotti dall'intero partenariato MAREGOT.

I siti sono presentati successivamente in base alla loro posizione geografica sui littorali:  
 - Dipartimento del Var (Francia);

- la regione Liguria (Italia);
- la regione Toscana (Italia);
- la regione della Corsica (Francia);
- la regione autonoma della Sardegna (Italia).

Ogni monografia presenta le principali caratteristiche dei siti pilota:

- Contesto fisiografico, geologico e geomorfologico;
- specificità degli ecosistemi;
- dati e conoscenze disponibili sui processi costieri, i rischi e le caratteristiche geologiche;
- un breve inventario delle problematiche sulla zona litorale;
- tendenze di evoluzione del litorale a medio e / o lungo termine sulle spiagge sabbiose, ovvero sulla costa bassa) o sulle scogliere rocciose (ad es. costa alta);
- inventario dei rischi costieri e dei piani di prevenzione e gestione che possono essere attuati.

Viene inoltre realizzato un promemoria dei principali problemi dei siti e della loro importanza in termini di rappresentatività delle aree costiere della zona MARITTIMO. Deve permettere di oggettivare i loro rispettivi interessi nella prospettiva della re-applicabilità, attraverso la zona, delle diverse metodologie di intervento per la gestione del rischio costiero, che saranno implementate su ciascuno dei siti, nel resto del progetto MAREGOT (Componente 3).

Alla fine della relazione, un breve riassunto ricorda le principali sfide di tutti i siti e la loro importanza nell'attuazione di una strategia transfrontaliera.





## Sito di Vieux Salins, Hyères-Les-Palmiers (Var, Francia)

### Presentazione del sito

#### Ubicazione e problematica

Il sito delle Vieux Salins si trova nel comune di Hyères, nel dipartimento del Var. Proprietà del Conservatoire du littoral dal 2001, questo sito naturale di 350 ettari rappresenta, insieme alla salina di Pesquiers, la più vasta zona umida tra la Camargue e l'Italia.



Figura 1: situazione del sito oggetto dello studio

Il litorale delle Vieux Salins è soggetto a un'erosione superiore a 1 m/ anno dovuta alle opere strutturali a est, porti e pontili, che bloccano l'arrivo di sedimenti provenienti dalla deriva litorale (Figura 2). Per far fronte a questo arretramento, su questa parte del litorale è stata costruita una scogliera artificiale negli anni '80 dalla Compagnie des Salins du Midi, ex-proprietaria del sito, allo scopo di proteggere l'attività della salina.



**Figura 2 - Veduta aerea delle Vieux Salins e localizzazione del cordone litoraneo soggetto a erosione (Fonte: IGN BD-ortho)**

Questa scogliera artificiale degli anni '80 oggi genera una cella erosiva che minaccia di rompere il cordone litoraneo e mette in pericolo l'intero sito a causa di un'intrusione marina a livello del canale di alimentazione delle saline.

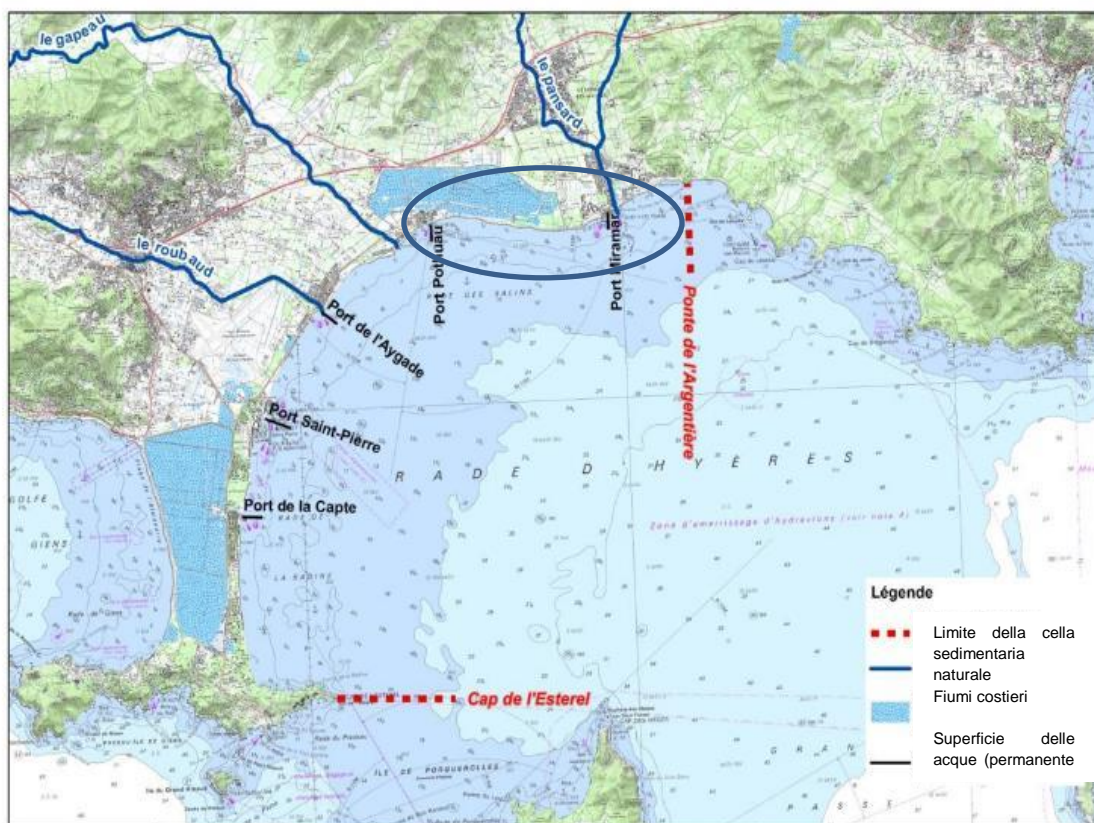


**Figura 3: Veduta aerea della parte erosa del cordone litoraneo con rischio di intrusione marina a livello del canale di alimentazione (in blu).**

## Descrizione geografica

Il litorale delle saline di Hyères appartiene in origine alla cellula idro-sedimentaria della Rada di Hyères delimitata a est dalla Pointe de l'Argentière, primo promontorio della costa rocciosa verso Cap Bénat, e a ovest da Cap de l'Esterel, che delimita l'estremità orientale della penisola di Giens. Nella rada, il litorale è costituito da un susseguirsi di cordoni litoranei che nel corso del tempo hanno separato il mare delle zone basse, di frequente lagunari, tra le quali due importanti formazioni nelle quali si è sviluppata la salicoltura: lo stagno dei Pesquiers e le Vieux Salins. Alimentati dagli apporti sedimentari dei tre fiumi costieri, il Maravenne-Pansard, il Gapeau e il Roubaud, questi cordoni sono stretti e poco sviluppati. Pertanto, fin dalla loro formazione, sono molto sensibili sia alle azioni naturali che dell'uomo.

La creazione di infrastrutture portuali nella Rada e di molteplici opere di protezione ha modificato il comportamento di questi cordoni litoranei.



**Figura 4 : Situazione del sito delle Vieux Salins nella cella idro-sedimentaria.**

## Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

Il sito delle Vieux Salins è la testimonianza dell'attività salifera che ha costituito per molto tempo un pilastro dello sviluppo locale. Sfruttate dall'antichità fino al 1995, le Vieux Salins oggi hanno ritrovato una vocazione naturale.

Il sito è attualmente composto da mosaici di piani d'acqua di profondità, superficie e salinità variabili.

Il sito rappresenta una zona umida di interesse internazionale con altissime potenzialità ecologiche elencata nell'ambito della convenzione "Ramsar". Il Documento obiettivo Natura 2000 FR 9312008 (Saline di Hyères e dei Pesquiers) approvato il 29 aprile 2008, specifica gli obiettivi e le operazioni

a favore delle specie e degli habitat di interesse comunitario presenti nel sito. A causa del loro interesse paesaggistico, le Vieux Salins godono anche della protezione di sito classificato.

## Dati disponibili

Uno studio condotto da TPM (Toulon Provence Méditerranée) nel 2017 e affidato alla società di studi Artelia ha permesso di effettuare una diagnosi completa di questo sito a partire dai dati esistenti e da quelli acquisiti sul posto.

Lo studio ha permesso di effettuare dei rilievi sulla zona oggetto dello studio e ha utilizzato i seguenti dati precedenti:

### Rilievi topografici e batimetrici:

- Rilievi batimetrici single beam realizzati nella zona di studio nel 2007, 2008, 2009 e 2010 secondo linee direttrici ogni 50 metri. Questi rilievi interessano la parte marittima della zona di studio fino a profondità di circa 6-7 metri, fino ai pontili presenti all'altezza del camping le Pansard.
- Nel 2015 è stato realizzato anche un rilievo topografico e batimetrico LIDAR (aeropotato) nell'ambito del programma di monitoraggio del litorale della DREAL. Quest'ultimo interessa tutta la zona di studio e ha una risoluzione di 1 metro.

Sono stati realizzati altri 8 rilievi topografici e batimetrici secondo il piano qui sotto:



**Figura 5 : posizionamento dei rilievi topografici e batimetrici. Una campagna di prelievo dei sedimenti che compongono i fondali superficiali è stata realizzata da Eurofins il 20/07/2017. È stata realizzata un'analisi granulometrica laser dei campioni raccolti.**

Vento: Per valutare la capacità di trasporto eolico della sabbia asciutta per metro quadrato, sono state utilizzate le statistiche di misurazione del vento della stazione Météo-Francia n° 83137001, situata nel porto di Tolone (43°06'12"N e 05°55'48"E).

La serie temporale di venti riguarda il periodo che va dal 01/09/1995 al 31/10/2010, cioè 15,15 anni di durata effettiva tenendo conto delle lacune della serie. Si tratta della velocità e della direzione dei venti massime medie quotidiane, misurate a un'altezza di 10 m e intervalli di 10 min.

Maree : I livelli di marea utilizzati sono quelli del Porto di Tolone e del Porto Pothuau attraverso gli osservatori del SHOM (SHOM, 2016).

Sovralzo legato alle tempeste : Alle variazioni legate alla marea e all'innalzamento del livello dei mari dovuto al riscaldamento climatico, si aggiungono nel periodo di tempesta i sovralti dovuti al moto ondoso, al vento e alla pressione atmosferica.

Questi ultimi sono stati valutati dal CETMEF su tutto il litorale Franciase analizzando le misurazioni del livello dei mari sufficientemente lunghe effettuate dal SHOM a livello degli osservatori. In prossimità delle saline, le misurazioni più affidabili sono quelle di Tolone.

La durata delle misurazioni analizzate va dal 1992 al 2011 e in questo periodo il sovralto massimo misurato è di 0,52 cm, registrato il 19/02/2010

Lo studio prende in considerazione le stime della legge GDP che tiene conto delle raccomandazioni del BRGM (BRGM, 2014b) nella caratterizzazione del rischio di sommersione marina.

Se ne deduce che il livello massimo che il mare può raggiungere è di 1,34 m ZH nella situazione attuale e 1,94 m ZH nel 2100.

Moto ondoso : Le statistiche e gli eventi estremi di moto ondoso sono definite nei punti P88, P99, che sono localizzati nella rada di Hyères e nel gavitello di Porquerolles (cfr. figura seguente):

- Il punto P99 viene utilizzato per caratterizzare il clima all'altezza della zona di studio,
- Il punto P88, situato più a est della zona di studio, è in una posizione più aperta e è stato utilizzato per evidenziare la variazione di intensità del moto ondoso lungo il litorale, sotto l'effetto protettivo dell'isola di Porquerolles,
- I dati del gavitello di Porquerolles sono utilizzati per caratterizzare le condizioni di agitazione a largo, prima dei processi di diffrazione, di rifrazione e di onda lunga.

Per realizzare le statistiche sono state utilizzate le serie temporali dal 1979 al 2009, ottenute dal modello spettrale di propagazione del moto ondoso del BRGM (BRGM, 2014b).

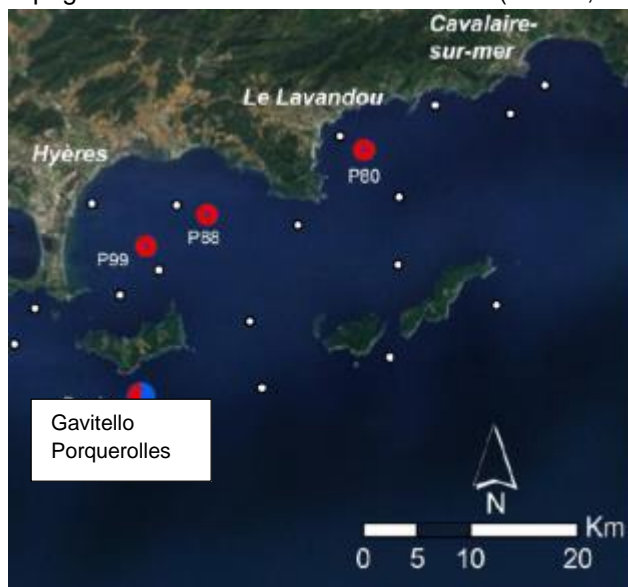


Figura 6 : Localizzazione dei punti di analisi

Foto aeree :

La posizione del tratto costiero, caratterizzata dalla posizione della linea di deposito marina, è stata individuata nel 1920, 1924, 1971, 1998, 2006, 2008, 2011, 2014 e 2017 mediante foto-interpretazione (L. Velay, 2016, IGN, 2017).

La posizione relativa dei tratti costieri è stata utilizzata per calcolare i tassi di evoluzione in metri l'anno in 86 punti lungo il litorale, vale a dire in media ogni 40 metri circa. La nostra attenzione si è concentrata in particolare su quattro periodi:

- Dal 1920 al 2017, per definire le tendenze a lunghissimo termine.
- Dal 1920 al 1971 e dal 1971 al 2017; poiché negli anni '70 sono state realizzate le scogliere artificiali sulla parte orientale del litorale (all'altezza dello stagno dell'Anglais), sono stati presi in esame questi due periodi per individuare l'influenza di queste opere sul litorale.
- Dal 2011 al 2017, per definire le tendenze a medio termine più recenti e individuare un impatto potenziale della rimozione delle scogliere artificiali su questa parte del litorale.

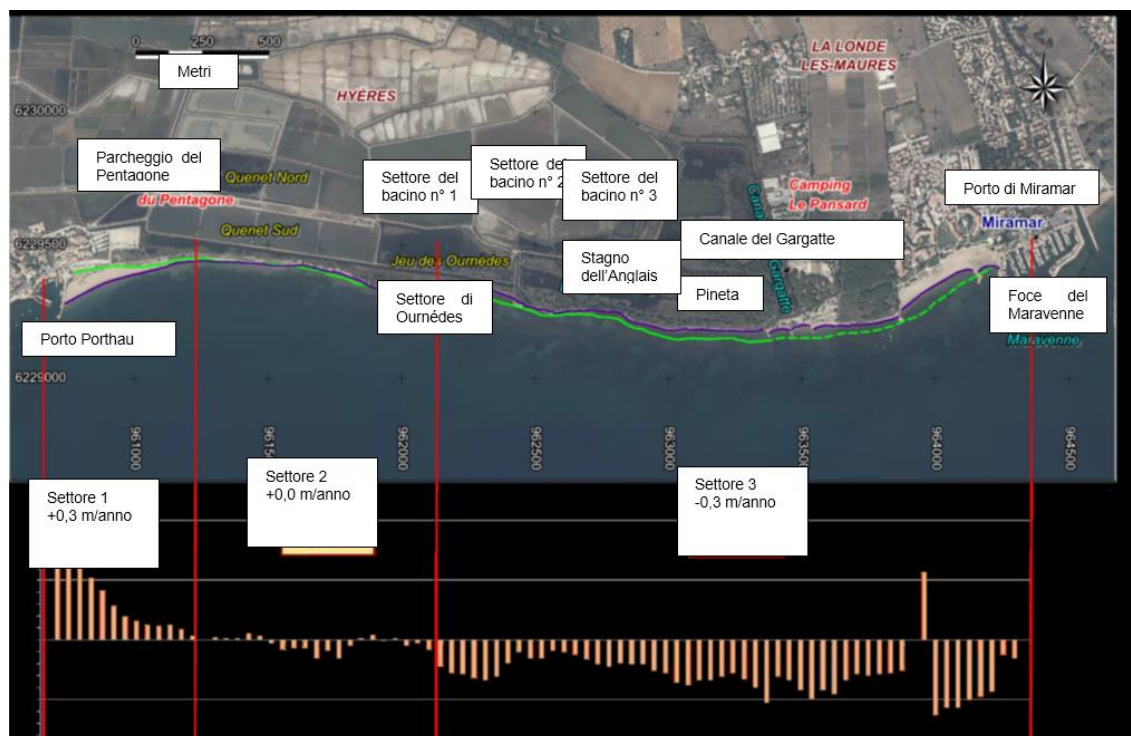
## Stato delle conoscenze

### Pericoli inerenti il tratto costiero

#### Evoluzione del tratto di costa

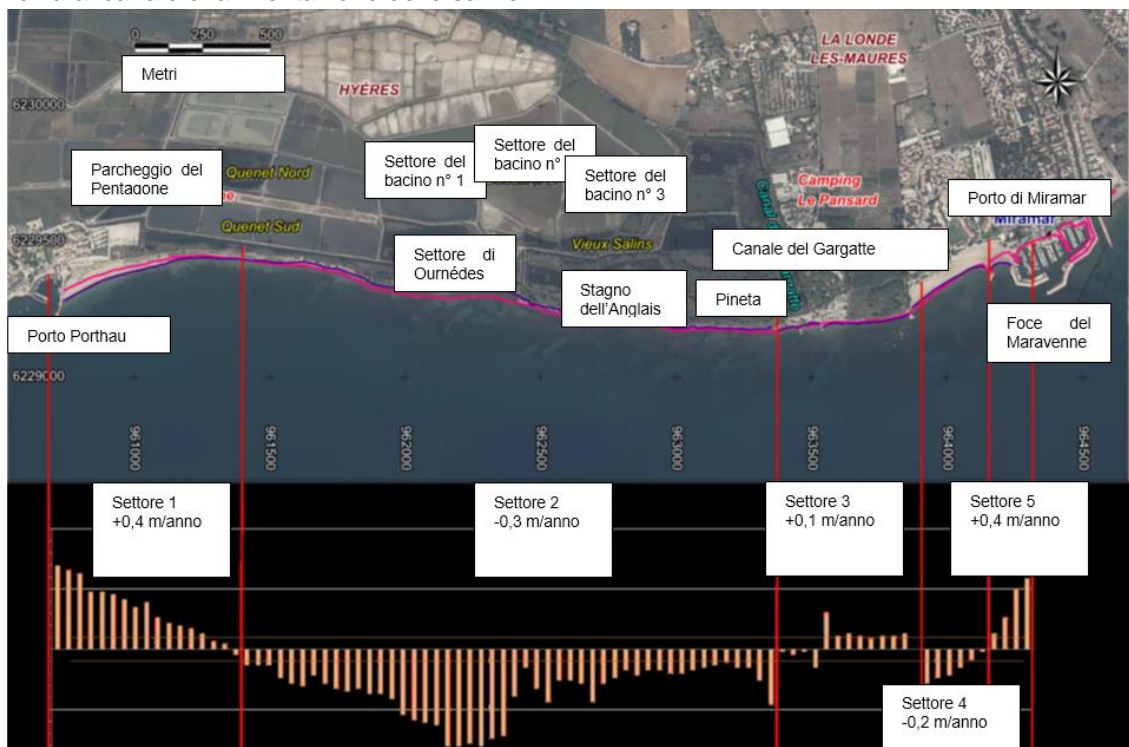
##### *Scala temporale storica 1920-2017*

La posizione del tratto costiero, caratterizzata dalla posizione della linea di deposito marina, è stata individuata nel 1920, 1924, 1971, 1998, 2006, 2008, 2011, 2014 e 2017 mediante foto-interpretazione (L. Velay, 2016, IGN, 2017).



**Illustrazione 7: Evoluzione del tratto di costa dal 1920 al 2017**

A seguito dell'osservazione dell'arretramento del tratto costiero nel settore 3, la società Salins du Midi, negli anni '80, aveva proceduto a posizionare delle scogliere artificiali per proteggere il settore 3 dall'ingresso di acqua di mare. Questa scogliera artificiale ha consentito di definire l'evoluzione del tratto costiero sulla parte orientale del sito, ma ha aggravato la situazione nella parte centrale, vicina al canale di alimentazione delle saline.



**Figura 8 : Evoluzione del tratto di costa dal 1971 al 2017**

*Evoluzione recente 2011-2017*

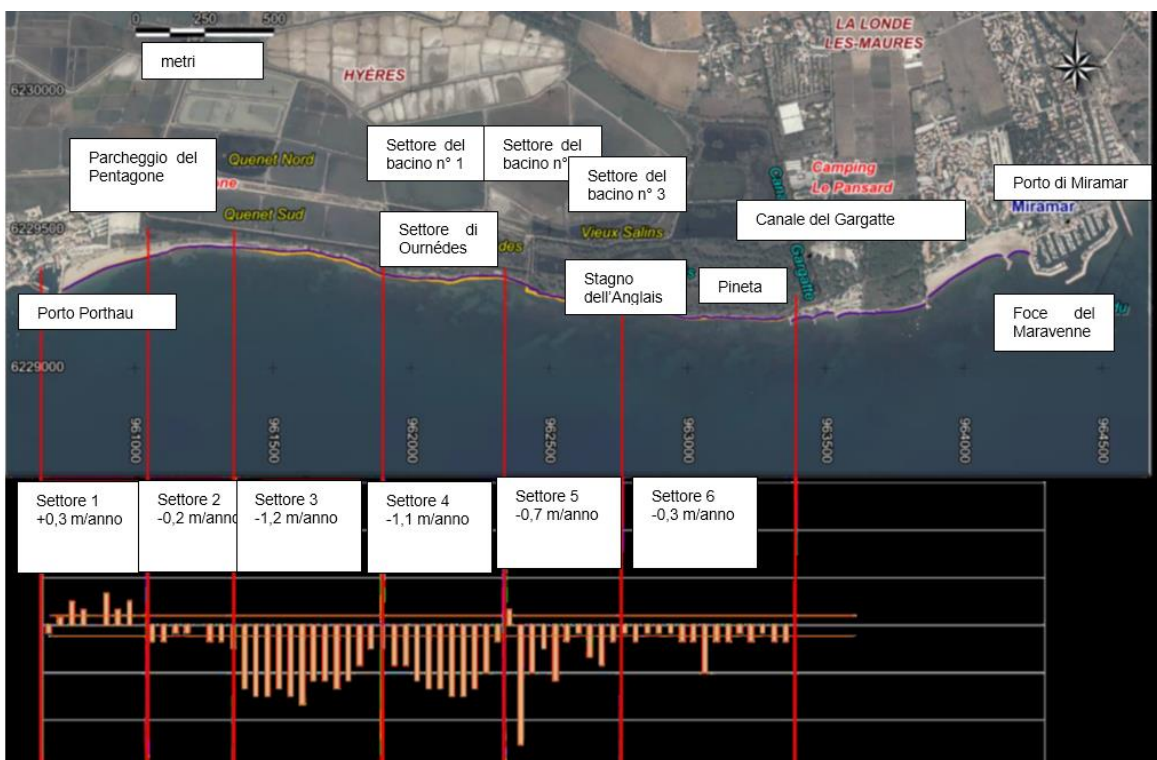
La figura successiva indica la posizione e le fasi di realizzazione della scogliera della riva situata a est delle Vieux Salins. La figura mostra l'evoluzione della sezione di riva anticamente protetta da un mix di cemento e calcinacci depositati nel 1970 e rimossi nel 2011. Si osserva chiaramente un arretramento della linea di costa dell'ordine di -0,8 m/anno in media ma fino a -2,5 m/anno sulla porzione più occidentale del troncone, vale a dire un arretramento di circa 15 m dal 2011 al 2017.



**Figura 9 : Posizione del tratto di costa a livello del tratto di litorale non protetto da cemento e calcinacci.**

La figura seguente descrive il tasso di evoluzione medio di tutta la zona di studio dal 2011 al 2017. Si potrà osservare che la zona centrale, che va dal bacino centrale del Quenet sud e comprende i 160 m non protetti di cui abbiamo parlato in precedenza, è soggetta a una forte erosione, da -0,7 m/anno a -1,2 m/anno in media. Questa erosione è lievemente compensata da un avanzamento del litorale a est, a livello della spiaggia del Pentagono; questa avanzata troppo limitata in confronto al grado di erosione osservata indica perdite di sabbia in altre zone del litorale, probabilmente al di là della diga di Port Porthuau.





**Figura 10 : Tasso di evoluzione del tratto di costa, 2011 – 2017**

### Sommersione marina

La figura seguente presenta la carta di sommersione marina nella situazione attuale. Si tiene conto di: sovrizzo centennale e caratteristiche delle onde di periodo di ritorno 100 anni, la batimetria dei fondali è ottenuta dai dati GEBCO. Si considera un livello statico di +1,03 m IGN 69 e, a livello delle spiagge, si tiene conto della sovrarelevazione del livello dell'acqua legata all'azione delle onde, chiamata *run-up*, applicando la formula di (Stockdom *et al.*, 2006).

Come per gli altri territori a rischio inondazione della costa del Mediterraneo, si è scelta, ai sensi della Direttiva inondazione, la metodologia che consiste nel sovrapporre il livello statico del mare alla topografia. Questo metodo è adottato per il Mediterraneo in relazione ai tempi di esposizione lunghi alle tempeste che non sono limitati dalle maree come sulla costa atlantica.

Le aree sommerse sono considerate "a rischio" in base a tre livelli correlati all'altezza di sommersione: il rischio è definito "basso" per altezze rispettive inferiori a 0,5 m, "medio" per altezze comprese tra 0,5 e 1 m e "alto" per altezze superiori a 1 m (BRGM, 2014b).

Ci si rende conto che in tutto il territorio delle Vieux Salins e nell'area circostante, il rischio è da basso a medio.

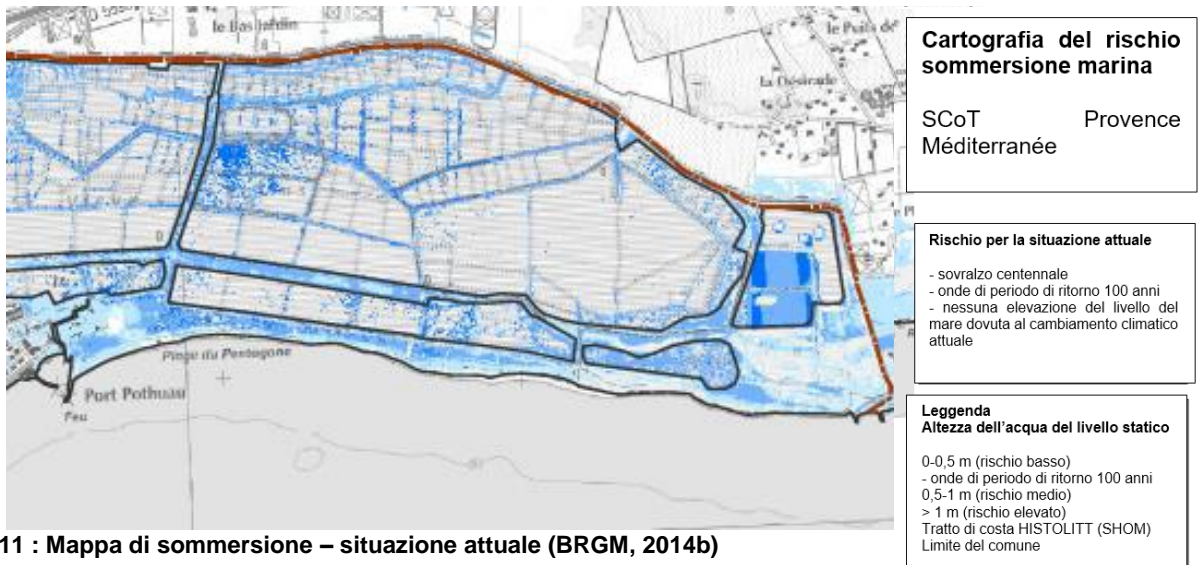


Figura 11 : Mappa di sommersione – situazione attuale (BRGM, 2014b)

**Bilancio della dinamica idrosedimentaria**

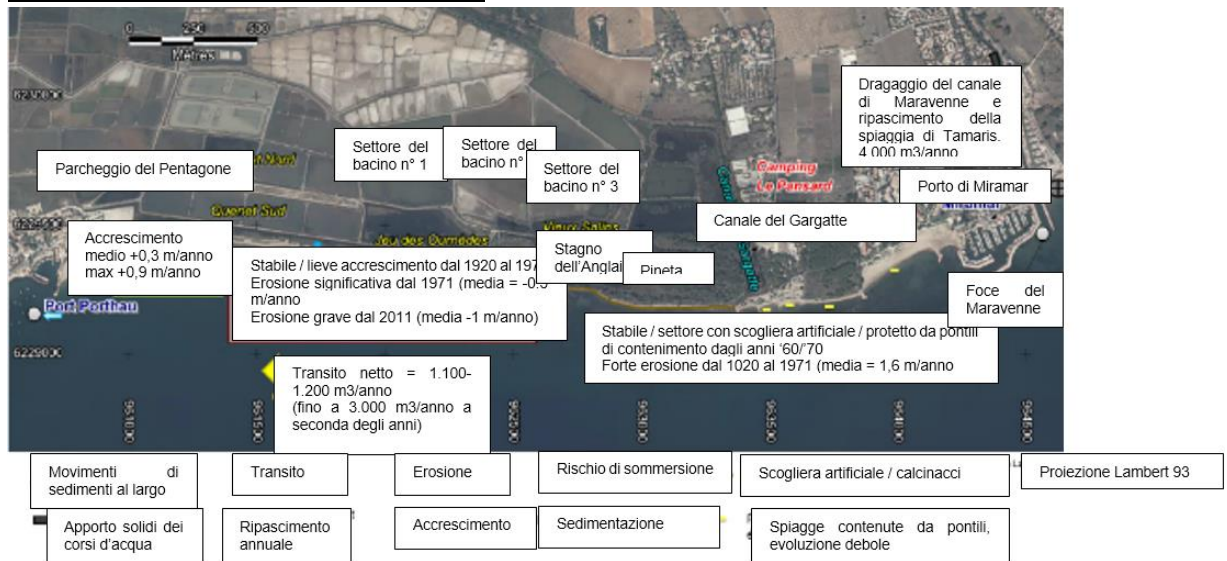
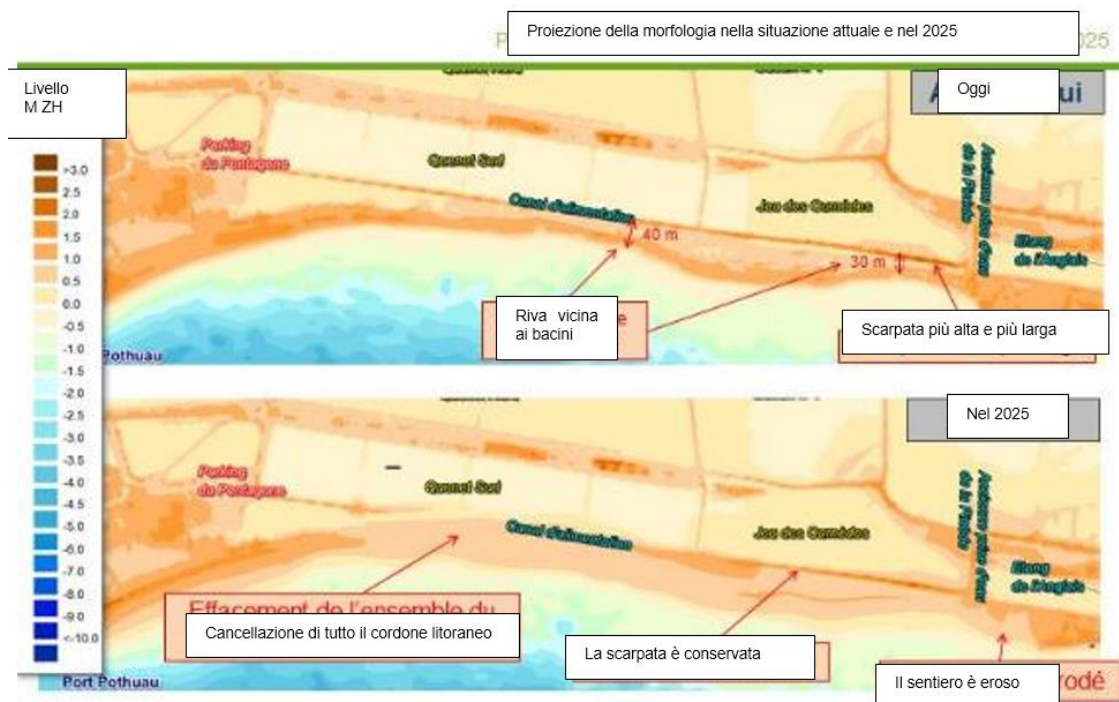


Figura 12 : Rappresentazione del bilancio della dinamica idrosedimentaria

**Problemi presenti**

Lo studio Artelia mostra l'imminente minaccia di rottura del cordone litoraneo a livello del canale di alimentazione delle Vieux Salins che comprometterebbe non solo tutto il sito delle Vieux Salins, ma anche e soprattutto il villaggio delle Salins situato a ovest del sito. Questo pericolo di rottura è legato a una cella erosiva formatasi subito dopo la scogliera artificiale, come si verifica di frequente a valle di opere dure impiantate su un substrato sabbioso.

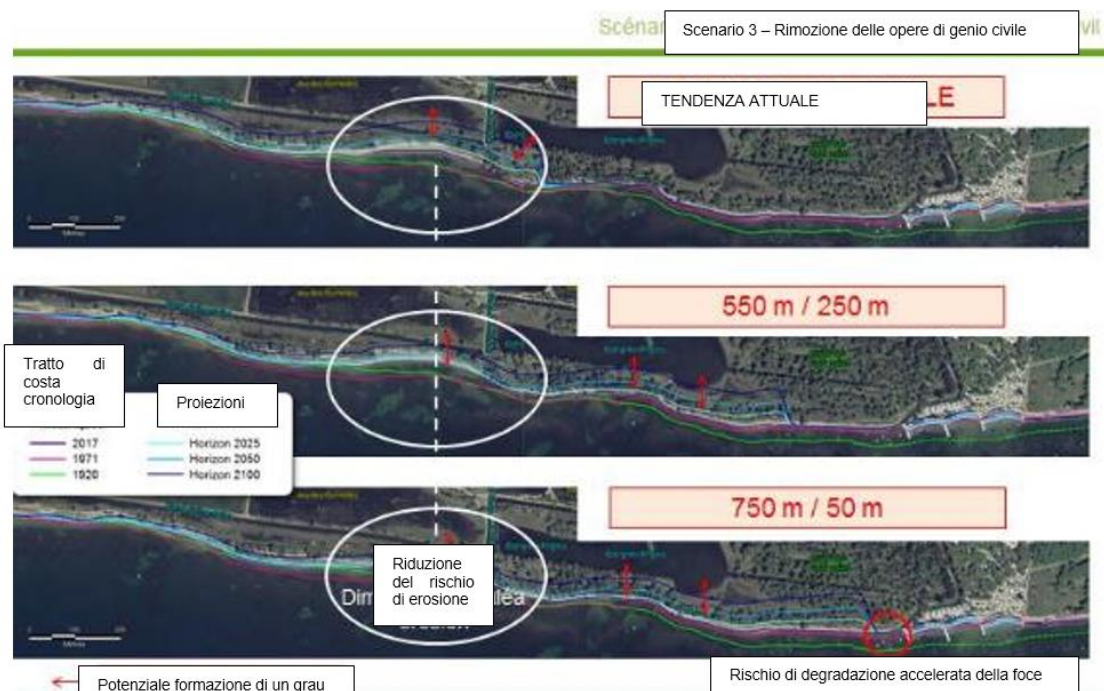


**Figura 13 : Evidenziazione della scomparsa del cordone litoraneo e dell'aumentato rischio di sommersione: in assenza di intervento, la situazione è da subito molto critica**

Su questo sito sono stati studiati vari scenari: scenario “infrastruttura” con la continuazione della scogliera artificiale oppure la creazione di una diga, scenario “lasciar fare”, con eliminazione totale o parziale della scogliera artificiale e scenario di supporto all’evoluzione naturale.

Le simulazioni di rimozione totale (800 m) o parziale (per 550 m) della scogliera artificiale mostrano uno spostamento della cella erosiva e quindi la riduzione di questa intrusione marina nel canale di alimentazione.

La rimozione della scogliera artificiale presenta il vantaggio di permettere la tutela a oriente degli habitat prioritari di pineta e dello sbocco del canale del Gargate, a ridosso del quale si trova un camping.



**Figura 14: Evoluzione del tratto di costa in funzione dei vari scenari possibili: Va notato che la soluzione consistente nella rimozione delle scogliere artificiali per 550 m permette un equilibrio tra una riduzione del rischio erosione/sommersione marina all'altezza del canale di alimentazione e la tutela del tratto di costa a livello della pineta.**

## **Conclusione: cronistoria della problematica del sito e rappresentatività transfrontaliera**

Se la scogliera artificiale realizzata dalla Compagnie des Salins du Midi negli anni '80 ha fatto da ostacolo all'arretramento del tratto di costa nel settore interessato, causa nel contempo la scomparsa della spiaggia situata a ovest dell'opera (comparsa di una cellula erosiva).

A causa di questa nuova configurazione e dei rischi di superamento del cordone dunale da parte delle acque del mare, allo stato attuale una minaccia pesa sull'integrità della gestione delle acque delle antiche saline (in particolare per il rischio di insabbiamento e ostruzione del canale di alimentazione). La sommersione del canale potrebbe causare anche la risalita delle acque fino al villaggio di Salins. Va anche notato che in caso di rottura del cordone andrebbe prevista una discontinuità del sentiero litoraneo.

Per restituire al paesaggio il suo aspetto naturale e combattere l'erosione del litorale occidentale all'altezza del canale di alimentazione, una parte della scogliera artificiale è stata rimossa nel 2011 per circa 150 metri. Se questa prima fase di lavori non ha permesso di contenere il fenomeno di erosione cronica, lo ha limitato alla zona più fragile del cordone.

Strategicamente su questo sito sono stati studiati 4 scenari (scenario "infrastruttura", scenario "lasciar fare", scenario di rimozione totale o parziale della scogliera artificiale e scenario "di supporto all'evoluzione naturale"). Lo scenario di rimozione della scogliera con misure di supporto sembra essere il compromesso migliore: questa operazione permetterà di lasciare al tratto costiero la possibilità di arretrare, grazie alla rimozione della maggior parte della scogliera, e restituire in questo modo al litorale un funzionamento dinamico naturale. La cella di erosione in tal modo sarebbe spostata in un settore meno problematico. Il sito vi guadagnerà sul piano paesaggistico.

Questo sito costituisce un Sito di risanamento del tratto costiero in un settore che non presenta problemi diretti a livello di popolazione umana (non sono presenti abitazioni all'altezza della zona di rimozione della scogliera).

In un primo tempo non si prevede il risanamento del cordone litoraneo del settore che presenta insediamenti umani (vicinanza del camping, sbocco del canale del Gargate). Dovrà pertanto essere conservato un tratto di scogliera artificiale di 250 m e monitorato con rilievi trimestrali prima di intraprendere ulteriori lavori.

## Bibliografia

ARTELIA. 2017-2018. Définition d'une stratégie de gestion du cordon littoral des Vieux Salin-Toulon Provence Méditerranée. Phase 1 : Diagnostic, 223 p.

ARTELIA. 2017-2018. Définition d'une stratégie de gestion du cordon littoral des Vieux Salin-Toulon Provence Méditerranée. Phase 3 : Elaboration du schéma opérationnel de gestion.

BRGM. 2014a. Evaluation des Risques Naturel Littoraux – SCoT Provence-Méditerranée – Evolution historique du trait de côte. Rapport final. RP-63952-FR.

BRGM. 2014b. Evaluation des Risques Naturel Littoraux – SCoT Provence-Méditerranée – Caractérisation de l'aléa submersion marine. Rapport final. RP-63949-FR.

BRGM. 2014c. Evaluation des Risques Naturel Littoraux – SCoT Provence-Méditerranée – Evaluation des stocks sédimentaires littoraux – Prospection géophysique. Rapport final. RP-63949-FR.

CETMEF. 2013. Analyse des surcotes extrêmes le long des Côtes métropolitaines. Surcotes liées à la baisse de pression atmosphérique et aux vents lors du passage d'une tempête. mais exclues l'effet des vagues.

Groupe régional d'experts sur le climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-PACA). 2016. Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Sogreah 1988. Etudes sédimentologiques de la rade d'Hyères – Littoral de port porthuau au ruisseau du Pansard. Rapport général.

Unité de formation de Calais – Sciences et techniques de la mer et du littoral. 1988. Etude d'aménagement sur les vieux salins d'Hyères.

Fiche Ad'Apto – Dix démarches de gestion souple du trait de côte – Site : Vieux Salins d'Hyères – Département du Var (83)

L. Velay. 2016. Rapport Ad'Apto – Vers une gestion souple du trait de côte des vieux salins – Etat des lieux des connaissances et prospective. Pour le compte de Toulon Provence Méditerranée et le Conservatoire du littoral.

EOL. 2004. Site des vieux salins - Visualisation du site en 3-D & Analyse prévisionnelle de son évolution.

IGN. 2017. BD ORTHO® 50 cm.

Sabatier. 2011. Salins d'Hyères – Re-naturation du trait de côte au droit de la pinède des Vieux Salins. Note technique sur les impacts géomorphologiques du trait de côte. Conservatoire du Littoral.

C. Lemarchand. 2008. Université Aix Marseille 3. Caractérisation des habitats en front de mer des Vieux Salins et préconisations de gestion à court terme et moyen terme. Mémoire de projet environnemental.

Port-Cros Parc National. 2014. Reconnaissance de formations d'herbier de posidonie en rade d'Hyères : herbiers-frangeants et/ou récifs-barrières.

V. Noble et H. Michaud. 2016. Cartographie de la végétation et des habitats naturels du site Natura 200 « rade d'Hyères » FR9301613. – Actualisation des cartographies pour l'île du levant. Vieux-Salins. Salins des Pesquiers et tombolo de Giens. îlots de la rade.

Toulon Provence Méditerranée et le Conservatoire du Littoral. 2016. Compte-rendu d'enquête : Perception sociale des usagers du littoral des Vieux Salins. Hiver 2015 et été 2016.

Ville d'Hyères. Levés mono-faisceaux 2007. 2008. 2009 et 2010.

Ville d'Hyères. 2016. Carte des concessions des plages au niveau des Vieux Salins

Océanide – Arcadis – O.C.E. 2014. Elaboration d'une étude de recherche des causes d'ensablement du port de Miramar et d'érosion du littoral dit « Tamaris » et de proposition techniques pour enrayer les phénomènes. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie – Direction départementale des territoires et de la mer du Var – Commune de la Londe-les-Maures.

Stockdon, H.F.; Holman, R.A.; How, P.A.; Sallenger, A. H. Jr. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and run-up. *Coastal Engineering*, 53, pp. 573-588

## Sito di l'Anse du Vieux-Moulin, Grimaud (Var, Francia)

### Presentazione del sito

#### Posizione

La spiaggia dell'insenatura del Vieux Moulin si trova nel golfo di Saint-Tropez (Comune di Grimaud, Dipartimento del Var)(Figura 31). È una piccola "pocket beach" (appena 200 m di lunghezza), confinante a ovest con affioramenti rocciosi e a est con un frangiflutti perpendicolare alla riva.

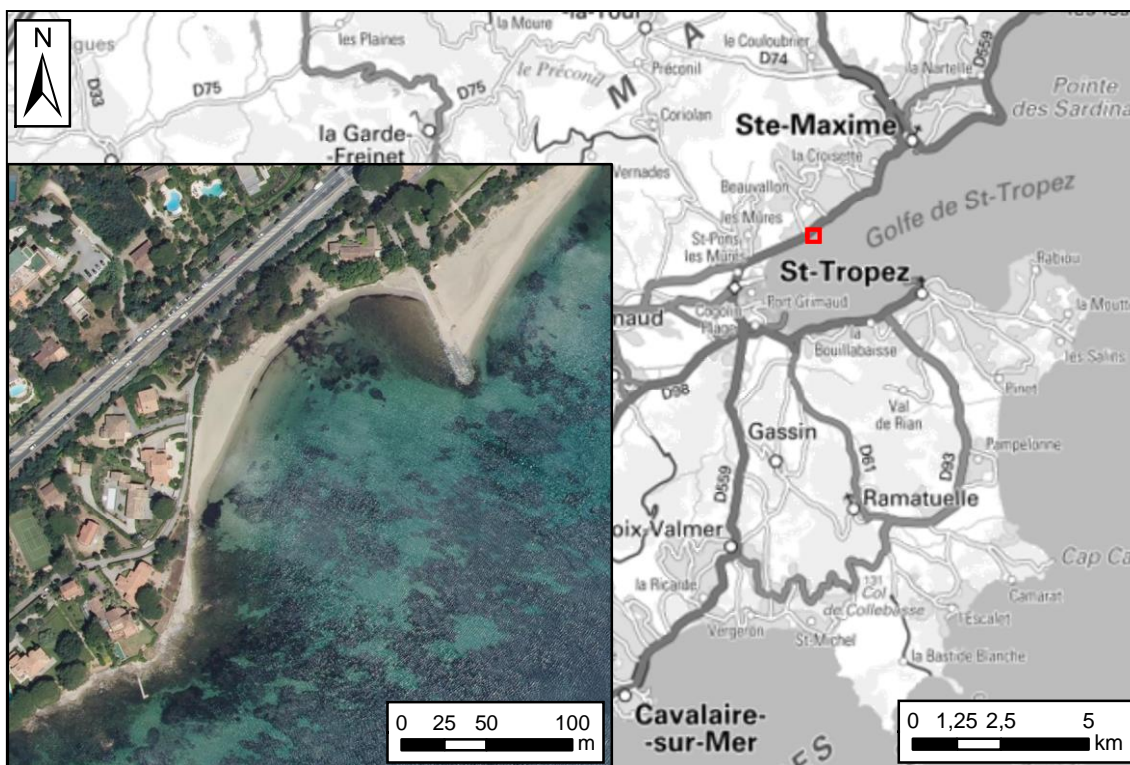


Figura 1 - Vista aerea e posizione della spiaggia del Vieux Moulin (Fonti: IGN BD ORTHO® 2014 e SCAN EXPRESS®)

#### Descrizione geografica

Vieux Moulin è una piccola "pocket beach" la cui morfologia è ampiamente limitata dalla presenza di un frangiflutti perpendicolare alla riva, situato nell'asse del Chemin du Vieux Moulin fino alla spiaggia dopo la D559 (Figura 2). Creato tra il 1897 e il 1924, viene allungato nel 1982 (Sogreah, 2008): le spiagge di Vieux Moulin e di Beauvallon formavano una distesa sabbiosa continua prima della costruzione di quest'opera, la cui utilità principale resta sconosciuta. A ovest, la spiaggia è circondata dal muro di sostegno del Chemin des Embruns, mentre a nord confina con il muro di cinta di una proprietà privata.

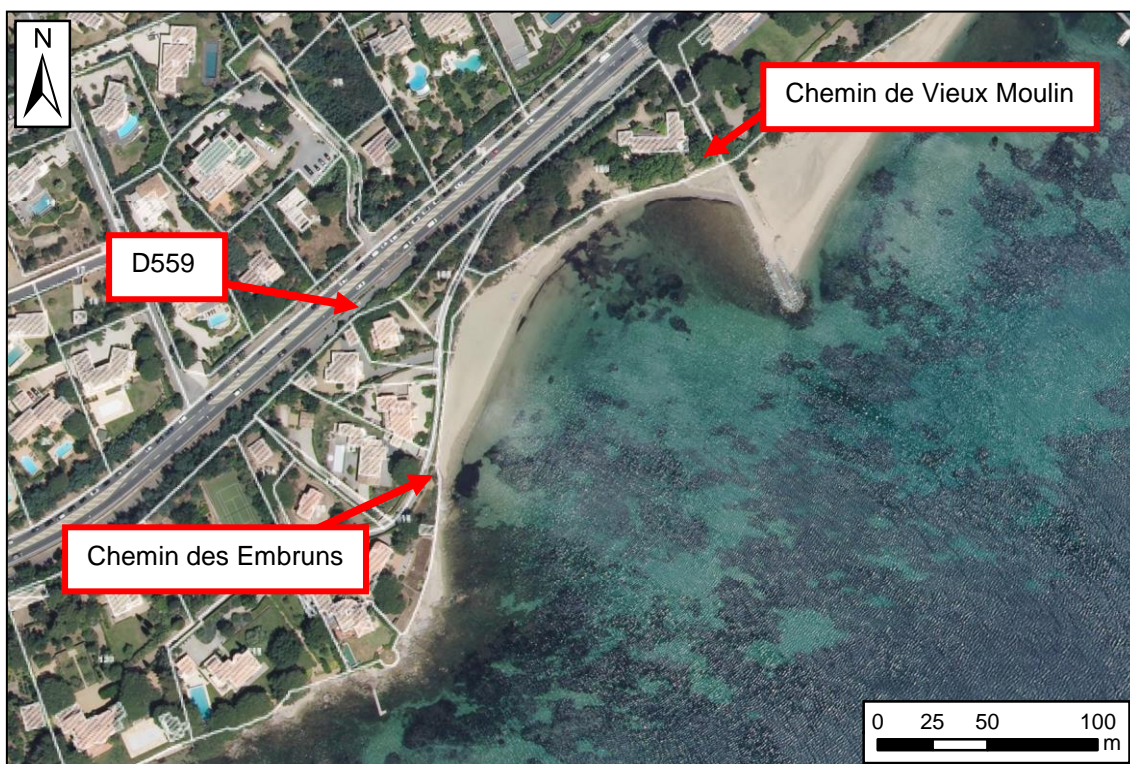


Figura 2 - Particelle catastali (Fonti: IGN BD PARCELLAIRE® e BD ORTHO® 2014)

### Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

A settembre 2012, dopo un'analisi granulometrica (Eurofins, 2012) alcuni sedimenti prelevati nella parte emersa di Vieux Moulin indicano un  $D_{50}$  di circa 1,4 mm (sabbie grossolane). A febbraio 2017, il dragaggio dell'avamposto di Grimaud ha consentito di procedere a un ricarico delle spiagge del comune. Sono stati quindi distesi circa 470 m<sup>3</sup> di sabbie medie ( $D_{50}$  di 0,29 mm) sulla spiaggia di Vieux Moulin. Inoltre, la superficie della spiaggia aerea risulta incrementata di circa 20 cm (CISMA Environnement, 2017).

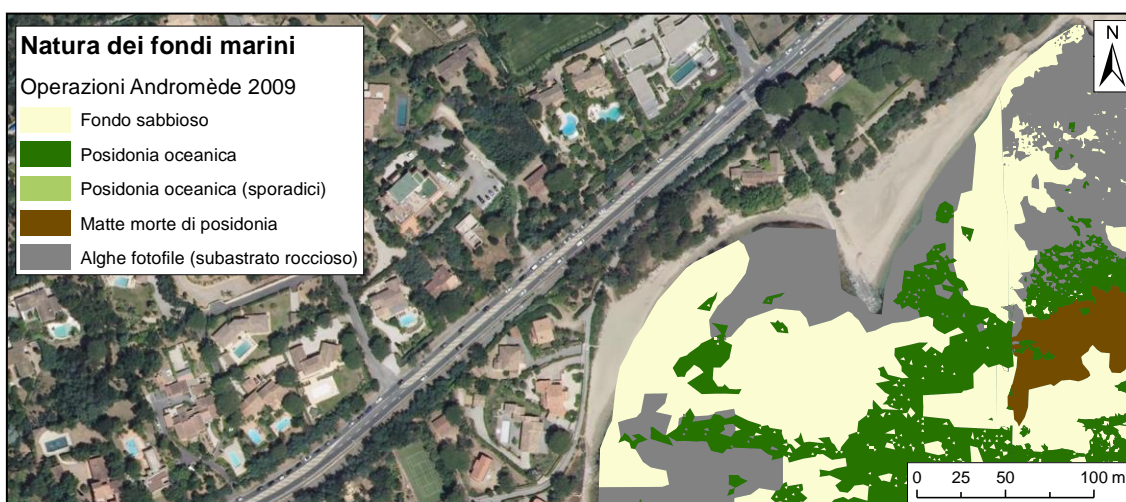


Figura 3 - Cartografia della natura dei fondali (Fonte: Dipartimento del Var, 2011)

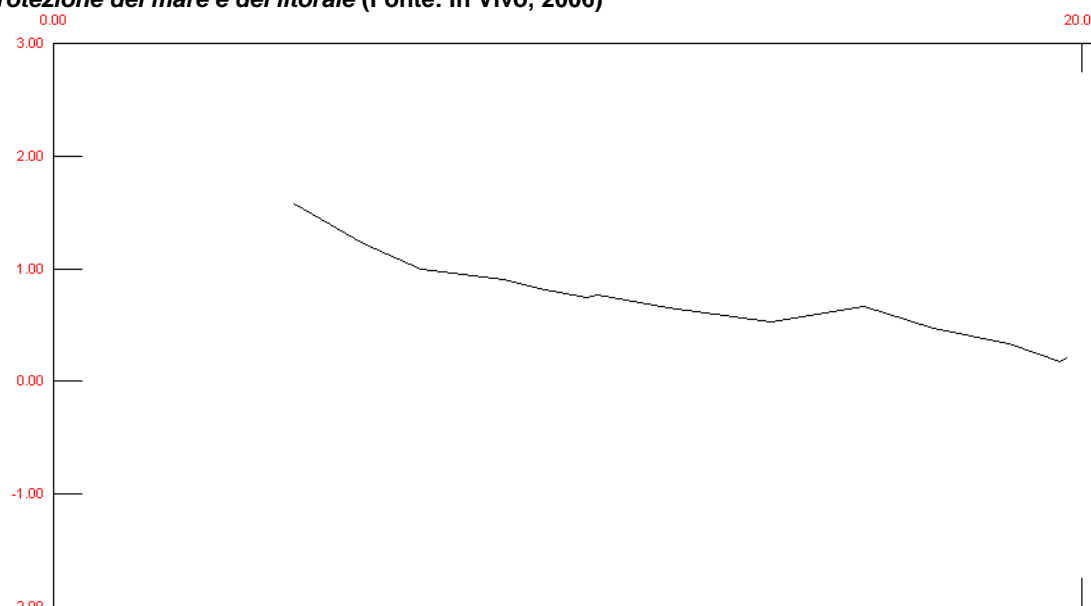


La spiaggia del Vieux Moulin non rientra in una zona NATURA 2000, né in un'Area di protezione delle specie particolare (ZNIEFF, ZICO, ZPS). Per contro, nella sua parte sommersa, è facilmente identificabile la presenza di praterie a posidonia, habitat di valore patrimoniale e specie protetta (Figura 3).

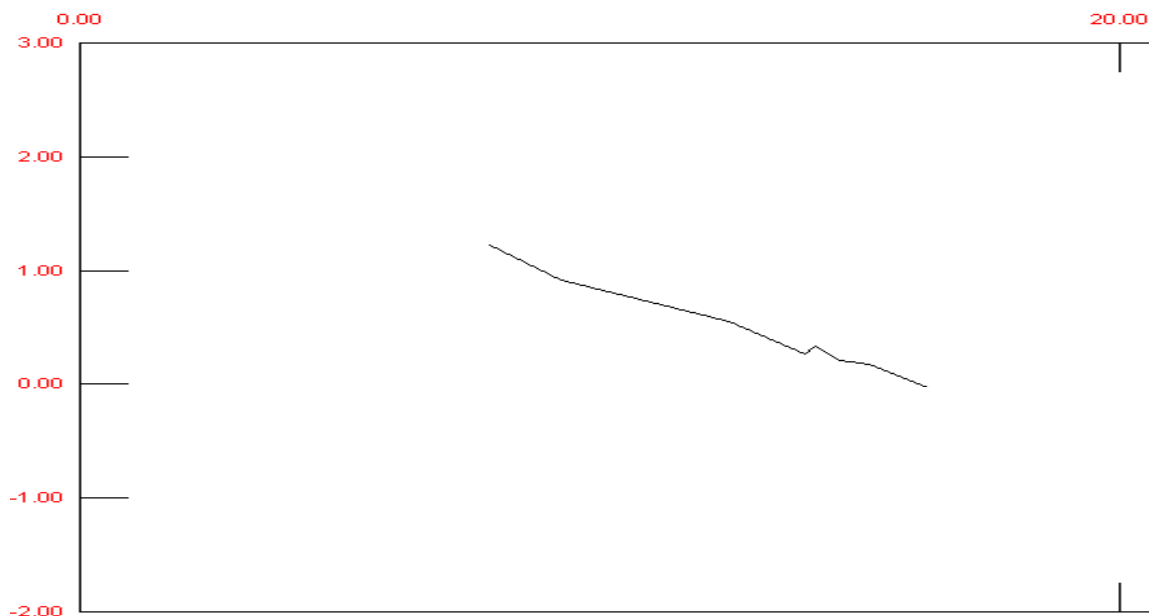
Durante lo *Studio per la valorizzazione e protezione del mare e del litorale* condotto da In Vivo nel 2006, sono stati rilevati alcuni profili topografici nella parte subaerea della spiaggia (Figura 32). Il profilo 55, rilevato nel settore più ampio della spiaggia, mostra la presenza di una scarpata all'origine del profilo stesso (lato terra), che in realtà si appoggia contro il muro di sostegno del Chemin des Embruns. Si nota anche la presenza di un cordolo vicino al corpo idrico (Figura 5). Il profilo 56 per contro è più liscio e presenta un'inclinazione più pronunciata: ~15%, contro il ~ 6,5% del profilo 55.



**Figura 4 - Posizione dei profili topografici rilevati nell'ambito dello *Studio per la valorizzazione e protezione del mare e del litorale* (Fonte: In Vivo, 2006)**

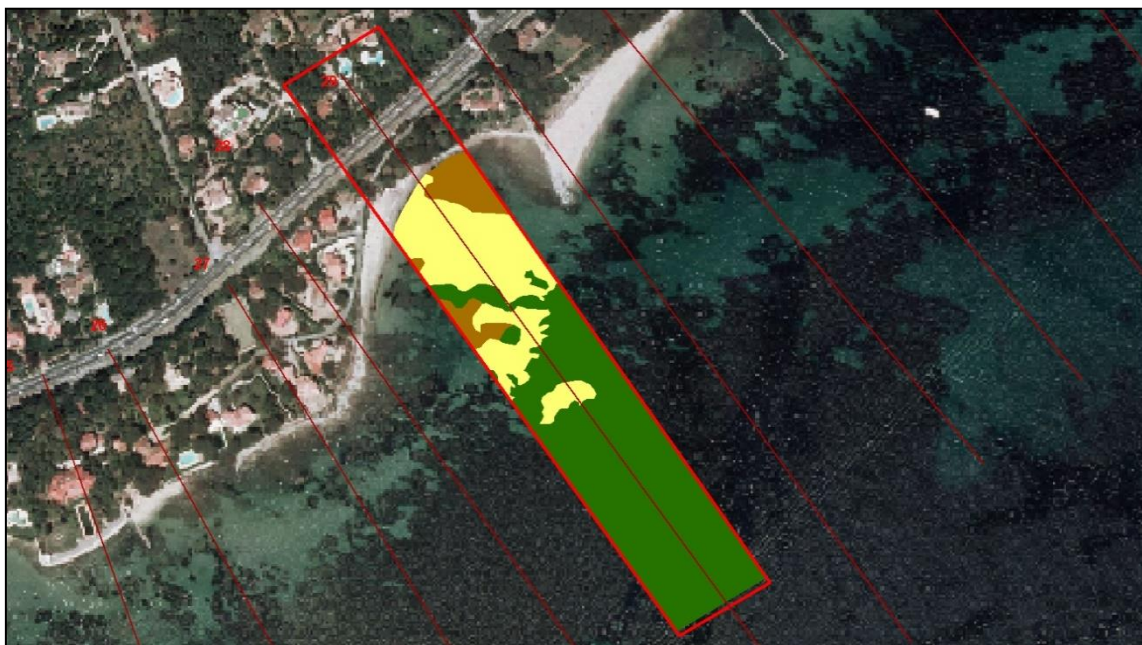


**Figura 5 - Profilo topografico n° 55 (cfr. Figura 4; fonte: In Vivo, 2006)**



**Figura 6 - Profilo topografico n° 56 (cfr. Figura 4; fonte: In Vivo, 2006)**

Questi profili rilevati sulla spiaggia aerea sono completati dai profili topo-batimetrici:



**Figura 7 - Posizione dei profili topo-batimetrici rilevati nell'ambito dello Studio per la valorizzazione e protezione del mare e del litorale (Fonte: In Vivo, 2006)**

La morfologia della parte sottomarina della spiaggia risulta complessa (Figura 8): se la cartografia della natura dei fondali indica un'alternanza di sabbia e roccia (Figura 3), il profilo topo-batimetrico rivela che indubbiamente c'è un forte vincolo morfologico imposto dal substrato roccioso

sottostante ai fondali sabbiosi. È probabile che questo sia ricoperto dai sedimenti sciolti solo superficialmente.

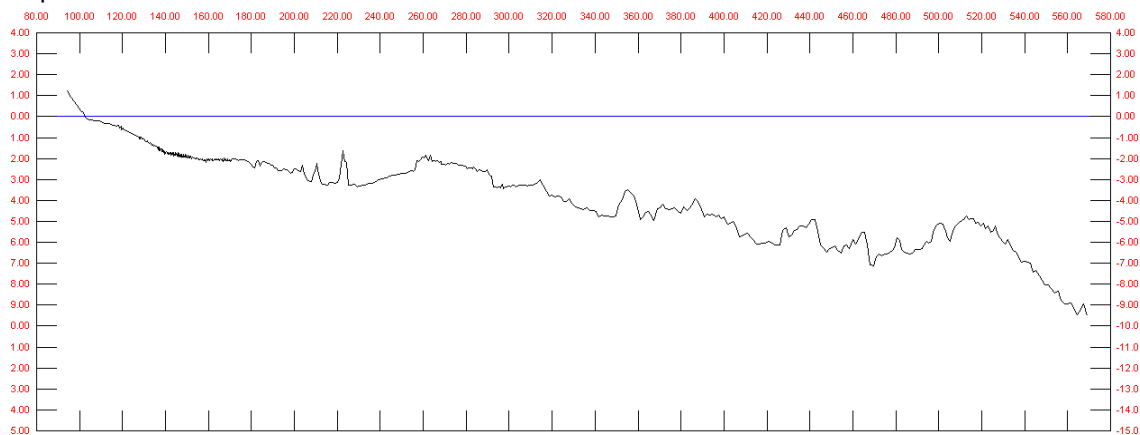


Figura 8 - Profilo topo-batimetrico n° 29 (cfr. Figura 7; fonte: In Vivo, 2006)

### Dinamiche idrosedimentarie

La posizione della spiaggia di Vieux Moulin sulla riva settentrionale del golfo di Saint-Tropez limita in gran parte la direzione della propagazione dei marosi da est a ovest. Il primo studio delle condizioni idrosedimentarie è stato condotto da Sogreah (2008), in tre momenti:

1. Acquisizione di dati dei marosi al largo (osservazioni meteorologiche trasmesse da navi in mare) per un periodo di 40 anni (1961-2001);
2. Propagazione dei marosi nel golfo di Saint-Tropez con un modello spettrale di marosi SWAN (Booij *et al.*, 1999), sulla base della batimetria SHOM del 1988;
3. Calcolo del potenziale di trasporto sedimentario longitudinale (TSL) in base all'equazione del CERC (1984).

Secondo questa metodologia, il potenziale di TSL risultante per il settore dell'insenatura di Vieux Moulin è stimata a 25.000 m<sup>3</sup>/anno.

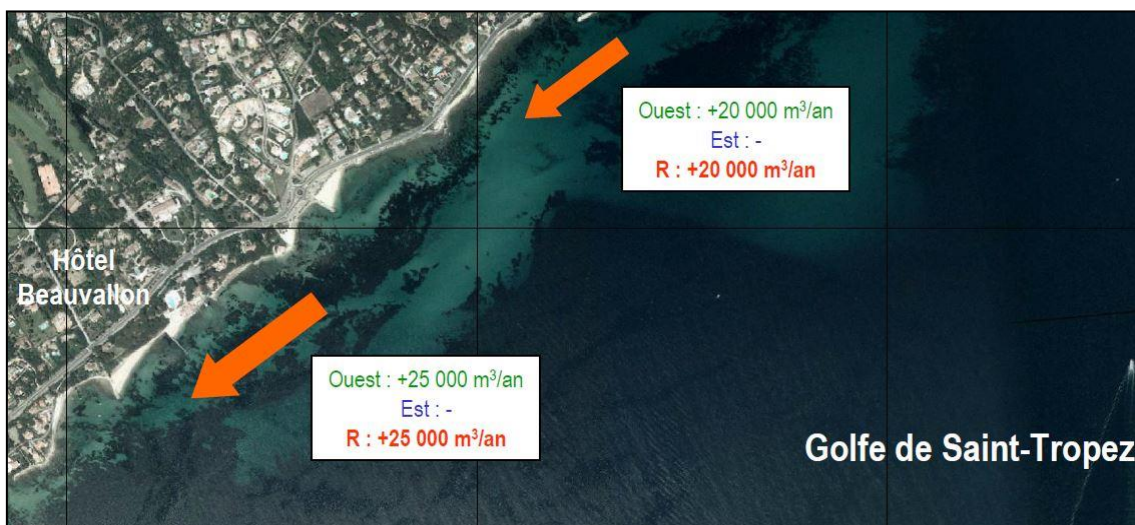
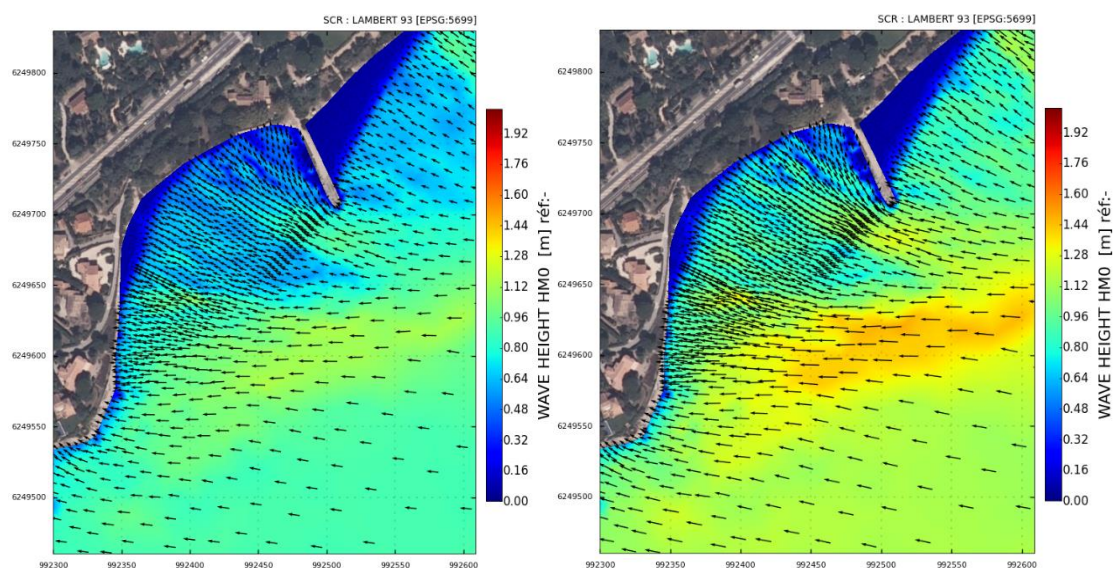


Figura 9 - Stima del potenziale di trasporto sedimentario longitudinale secondo l'equazione del CERC (1984) (Fonte: Sogreah, 2008)

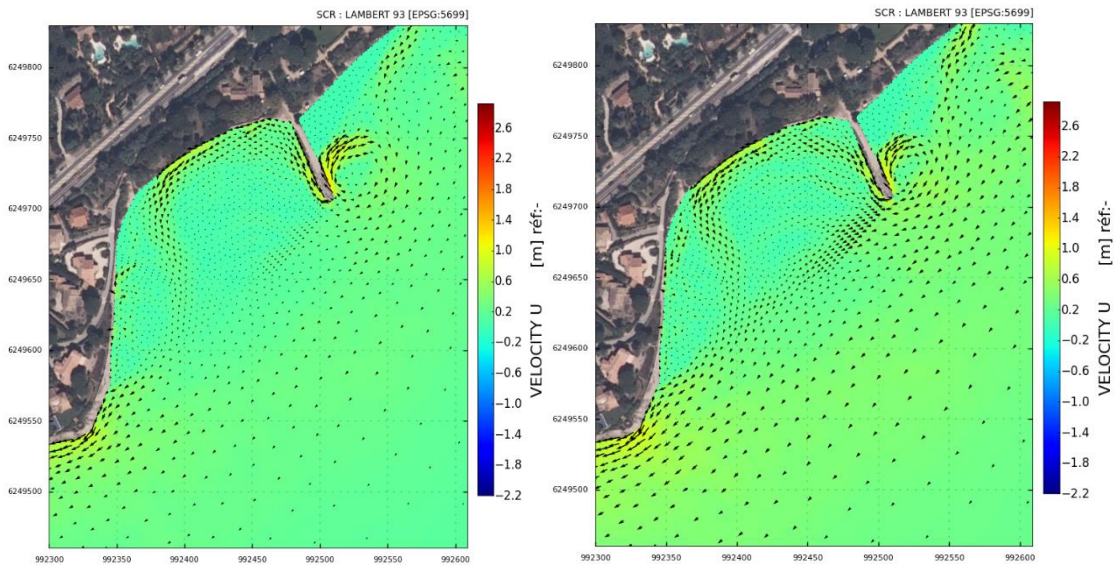
Tuttavia, a causa delle molte critiche sollevate dall'approccio del CERC (1984), sintetizzate in particolare da Kulling (2017), ACRI-IN ha proposto nel 2018 un lavoro basato sul dispositivo di calcolo TELEMAC, composto come segue:

- TELEMAC2D, modulo che risolve le equazioni di Saint-Venant, adoperato per la modellizzazione delle correnti generate dalle onde;
- TOMAWAC, modulo che risolve l'equazione di conservazione della densità dell'azione delle onde e tiene conto dei processi fisici indotti dalle variazioni dei fondali, dalle interazioni tra le onde, dalla presenza di corrente e dalle variazioni dei livelli del mare;
- SISYPHE, modulo che consente di stimare il trasporto sedimentario per trasporto e sospensione e di risolvere l'equazione di conservazione della massa sedimentaria vicina al fondale al fine di modellizzare le evoluzioni batimetriche.

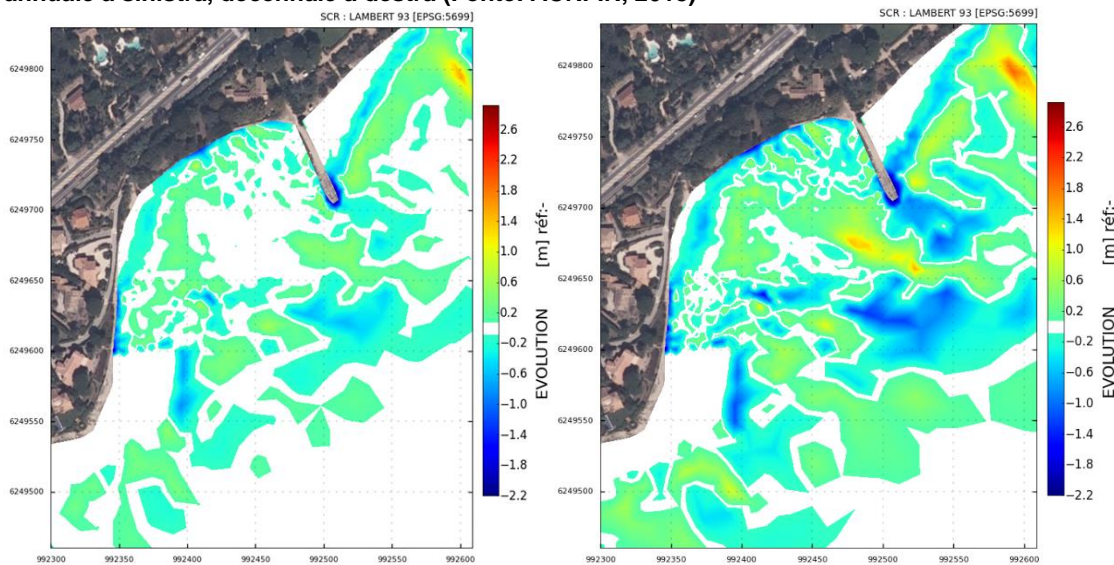
Questa volta per i marosi al largo viene consultata la bancadati GlobOcean (costruita con WaveWathc3). Essi coprono un periodo di circa 20 anni (1992-2010). Il dispositivo di modellizzazione di basa sulla batimetria tratta da Litto3D® 2015 PACA. Considerando i marosi al largo nel periodo di ricorrenza annuale da un lato (direzione: 75°N; Hs: 2,8 m; Tp: 7,8 s) e decennale dall'altro (direzione: 75°N; Hs: 3,7 m; Tp: 9,5 s), le illustrazioni 10, 11 e 12 indicano rispettivamente per l'insenatura di Vieux Moulin la pianta delle onde, delle correnti e dei movimenti sedimentari.



**Figura 10 - Pianta delle onde nell'insenatura di Vieux Moulin per i marosi al largo nel periodo di ricorrenza annuale a sinistra, decennale a destra (Fonte: ACRI-IN, 2018)**



**Figura 11 - Correnti nell'insenatura di Vieux Moulin per i marosi al largo nel periodo di ricorrenza annuale a sinistra, decennale a destra (Fonte: ACRI-IN, 2018)**



**Figura 12 - Bilancio sedimentario dell'insenatura di Vieux Moulin per i marosi al largo nel periodo di ricorrenza annuale a sinistra, decennale a destra (tempo di simulazione: 12 ore; fonte: ACRI-IN, 2018)**

## Conoscenze disponibili

La spiaggia dell'insenatura di Vieux Moulin è alla fine studiata poco o marginalmente nell'ambito di studi più ampi. Le principali conoscenze acquisite nel campo dei rischi costieri e della gestione della costa sono raggruppate nella seguente tabella (Figura 13). Sono i dati che vengono usati nella parte restante della relazione per qualificare il sito MAREGOT di Grimaud.

Tema	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte	Bibliografia
Evoluzione della costa	Costa	Fotografie aeree	1924-2014	CD83	Dipartimento del Var (2017)
Evoluzione delle spiagge	Topografia	Profili topografici Rilevamenti D-GPS	2006	In Vivo	In Vivo (2006)
			2017	Buesa	CISMA (20017)
Evoluzione batimetrica	Batimetria	Profili batimetrici LiDAR topo-bathy	2006	In Vivo	In Vivo (2006)
			2015	SHOM/IGN	
Sommersione marina	Cartografia 1/25.000	Figure in PDF	2017	BRGM	Stepanianet al. (2017)
Modellizzazione idrosedimentaria	Cartografia	Figure in PDF		ACRI-IN	ACRI-IN (2018)

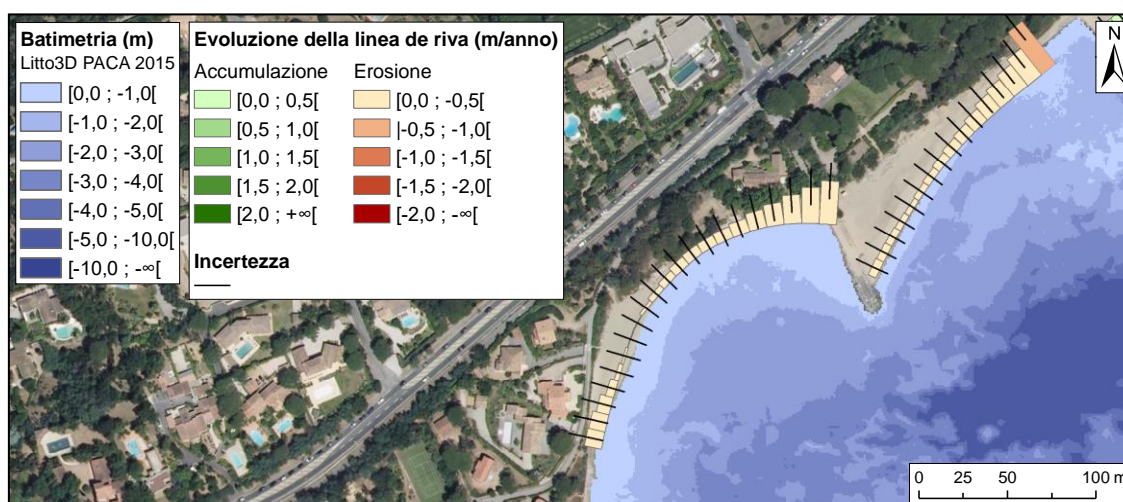
**Figura 13 - Conoscenze disponibili sul sito di Vieux Moulin (Grimaud, Var). I riferimenti bibliografici completi si trovano alla fine della relazione.**

## Stato delle conoscenze

### Rischi della costa

#### Erosione

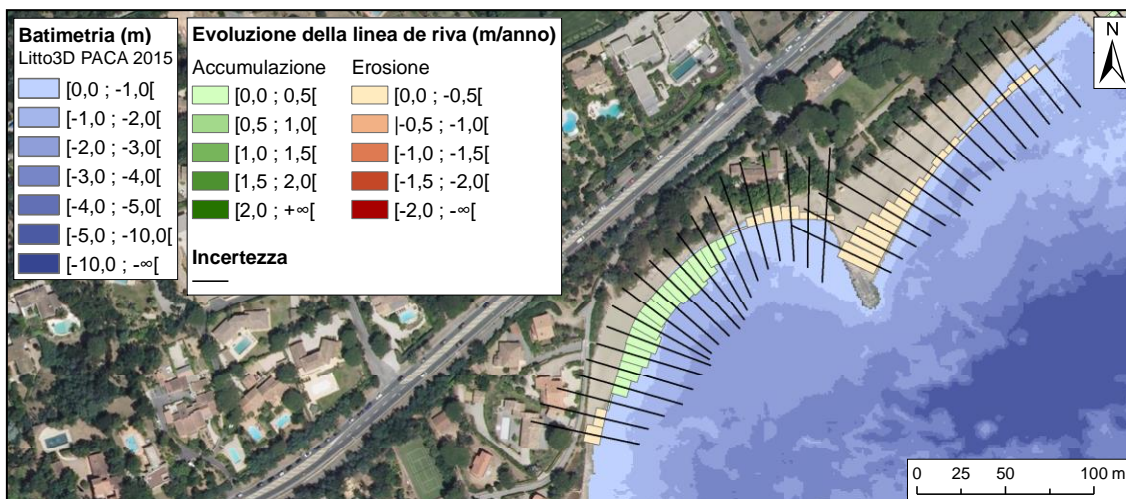
Nell'ambito del progetto MAREGOT, il Dipartimento di Var (2017) ha realizzato un *Atlante dell'evoluzione diacronica del litorale del Var (1924-2014)*. In questo lavoro, le variazioni della riva sono affrontate tramite l'analisi di fotografie aeree per date diverse. Le linee di costa per ciascun anno sono state digitalizzate e paragonate tra loro per un'analisi diacronica quantitativa condotta grazie al programma MobiTC del Cerema (Pons & Trmal, 2018).



**Figura 14 - Evoluzione della costa tra il 1924 e il 2014 (Fonti: Dipartimento del Var (2017), IGN BD ORTHO® 2014 e SHOM/IGN Litto3D® PACA 2015)**

L'arretramento è considerato importante se le velocità sono superiori a 0,5 m/anno e moderato per le velocità comprese tra 0,1 e 0,5 m/anno. La spiaggia è considerata stabile per velocità di

avanzamento e di arretramento di 0,01 m/anno. L'avanzamento è moderato per velocità comprese tra 0,1 e 0,5 m/anno e importante se le velocità sono superiori a 0,5 m/anno.



**Figura 15 - Evoluzione della costa tra il 1998 e il 2014 (Fonti: Dipartimento del Var (2017), IGN BD ORTHO® 2014 e SHOM/IGN Litto3D® PACA 2015)**

Quest'analisi evidenzia una dinamica erosiva moderata seppur costante su scala secolare (Figura 14). Tuttavia, relativamente agli ultimi 20 anni (1998-2014), sebbene vi sia un aumento della parte centrale della spiaggia, l'erosione persiste ai piedi del frangiflutti e nell'estremità sud-ovest (Figura 15).

D'altronde, nel caso di forti precipitazioni, il deflusso delle acque piovane porta alla formazione di solchi sulla spiaggia che peggiorano la dinamica erosiva relativa ai marosi. Tuttavia, questo fenomeno non è mai stato oggetto di una valutazione quantitativa tramite misurazioni *in-situ*.



**Figura 16 - Erosione in seguito ai deflussi delle acque piovane (Fonte: Comune di Grimaud, 16/03/2018)**

#### Sommersione marina

*N.B.: il testo di questa sezione è adattato da Stepanian et al., 2017.*

Per una maggiore comprensione delle dinamiche di sommersione nella parte rocciosa della costa della regione PACA, la DREAL PACA ha voluto produrre un documento informativo sul rischio di sommersione marina nell'area regionale. Questi dati saranno aggiunti alle Strategie locali di gestione dei rischi di inondazioni (SLGRI) dei Territori a elevato rischio di inondazione (TRI) in materia di perfezionamento della conoscenza del rischio. Viene quindi prodotta su scala regionale una cartografia delle zone potenzialmente interessate da un rischio di sommersione marina su scala centennale per due casi:

- un caso con un aumento di +0,20 m dell'attuale livello del mare, definito come "evento medio";
- un caso con scadenza 2100, con un aumento di +0,60 m dell'attuale livello del mare, definito come "evento medio con considerazione del cambiamento climatico".

La cartografia prodotta in scala 1/25.000 non consente di distinguere bene gli spazi sommersi nell'insenatura del Vieux Moulin: pertanto non è stata riprodotta. Tuttavia, le simulazioni digitali condotte da ACRI-IN (2018) dimostrano che la parte aerea della spiaggia è significativamente ricoperta dai marosi annuali o decennali, in particolare nei settori più stretti, vale a dire nelle estremità nord-est e sud-ovest (Figura 10). In prossimità del frangiflutti perpendicolare alla riva, le modellizzazioni rilevano la presenza di correnti di un'intensità che rasenta 1 m/s in alcuni punti (Figura 11).

#### Piani di prevenzione

Malgrado la natura cronica dell'erosione costiera e un potenziale comprovato di sommersione marina nelle tempeste, la spiaggia dell'insenatura del Vieux Moulin non è soggetta ad alcuna



specifica normativa statale in termini di prevenzione dei rischi costieri. In particolare, non esiste un Piano di prevenzione dei rischi costieri (erosione e/o sommersione marina) prescritti in questo territorio. Tuttavia, come per tutta la costa francese, è stato prodotto un documento informativo sui rischi di sommersione marina per le collettività da parte degli Uffici statali (DREAL PACA) nell'ambito dell'applicazione della Direttiva Inondazione (Atlante delle zone sommergibili).

## **Problemi attuali**

La riduzione delle dimensioni della spiaggia nei pressi del frangiflutti espone il muro di cinta della villa situata dietro la spiaggia ai marosi durante le tempeste, di conseguenza, esso viene costantemente scavato alla base comportando un rischio per gli utenti. Infatti, lungo questo muro, la larghezza della spiaggia aerea si riduce talvolta al punto da scomparire, anche in assenza di tempeste: gli utenti sono quindi costretti a costeggiare un muro instabile, il cui crollo può avvenire in qualsiasi momento.

Inoltre, a causa dell'erosione, la capacità della spiaggia è ridotta: Vieux Moulin e Beauvallon sono due delle tre spiagge di Grimaud a non essere direttamente esposte ai disturbi legati al traffico stradale o alla presenza di attività turistiche (campeggi, ristoranti). L'erosione dell'estremità sud-est della spiaggia non consente più agli utenti di fare il percorso costiero: una parte della costa di Grimaud non è quindi più accessibile e questo porta a un sovraffollamento a Viex Moulin.

Infine, i dati della rete SURFSTAT (Andromède Océanologie, Agenzia dell'acqua RMC) mostrano una netta regressione delle praterie nella parte sottomarina della spiaggia (Figura 17). Secondo Holon *et al.* (2015), il 48,7% di questa dinamica può essere associata all'artificializzazione della costa (impatti diretti e indiretti). Anche se è difficile associare con certezza la regressione della prateria alla costruzione del frangiflutti all'inizio del XX secolo (che modifica l'idrodinamica) e/o alla continua erosione della spiaggia (che aumenta la torbidezza e/o ricopre i fondali di sedimenti), i gestori si interrogano sui mezzi da adoperare per contenere quest'erosione del patrimonio naturale.

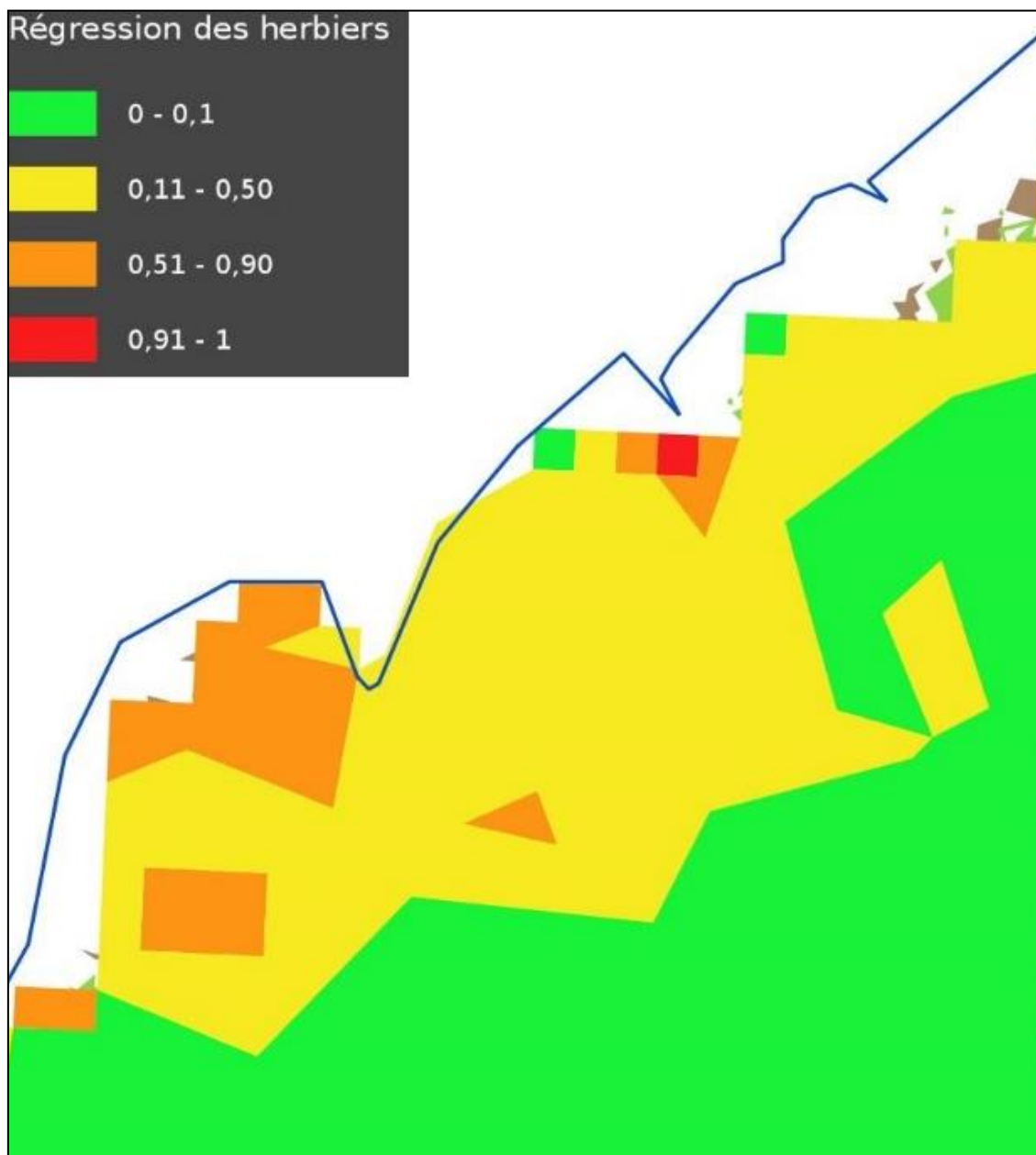


Figura 17 - Cartografia della regressione dei fondali secondo la *Rete di analisi superficiale degli habitat* (SURFSTAT) (Fonte: Holon et al., 2015).

## Conclusioni

### Promemoria della problematica del sito

L'insenatura del Vieux Moulin è una piccola pocket beach storicamente soggetta a un fenomeno di erosione costiera cronica. Se i problemi possono sembrare lievi relativamente agli altri siti, la scomparsa graduale del patrimonio sedimentario e naturale solleva tuttavia grossi interrogativi per i gestori. Questo sito è quindi oggetto di una riflessione sull'erosione costiera, considerando sia il consumo ricreativo della spiaggia ma anche la protezione delle persone e delle costruzioni, nonché

la salvaguardia delle praterie a posidonia. Questa spiaggia è inoltre identificata come sito "pilota" di un approccio più vasto di valorizzazione e protezione della costa di Grimaud.

## Rappresentatività transfrontaliera del sito

Il sito di Vieux Moulin (Grimaud, Var) è rappresentativo delle spiagge della costa dello spazio Marittimo (pocket beach stretta parzialmente attrezzata). La presenza di problemi legati al turismo e all'ambiente, di un rischio cronico su scala secolare e la volontà di adottare una strategia di gestione sostenibile ne fanno un sito ideale per la sperimentazione di mezzi innovativi per contrastare l'erosione.

## Bibliografia

- ACRI-IN (2018). Etude de la dynamique sédimentaire de la plage du Vieux Moulin. Rapport d'étude 1030-872 – R2. 111 p.
- Booij, N., Ris, R. C. et Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions. I- Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), pp. 7649-7666.
- CERC (1984). Shore Protection Manual - Volumes I et II, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
- CISMA Environnement (2017). Etude avant-projet pour la poursuite du dragage dans la zone avant-port de Grimaud – Prédimensionnement et planification des travaux de dragage. Rapport 2017S35. 20 p., 2 ann.
- Département du Var (2011). Schéma Départemental de la Mer et du Littoral. 252 p., 5 ann.
- Département du Var (2017). Atlas de l'évolution diachronique du littoral varois (1924-2014).
- Eurofins (2012). Sable Vieux Moulin – Rapport d'analyse granulats. 3 p.
- Holon F., Boissery P., Guilbert A., Freschet E., et Deter J. (2015). The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L. (Delile)) in South Eastern Francia: A slow but steady loss without recovery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, pp. 204-212.
- In Vivo (2006). Etude pour la mise en valeur et la protection de la mer et du littoral. 22 p., 14 planches.
- Kulling (2017). Déformation du rivage et dérive littorale des plages du Golfe du Lion, Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, 281 p.
- Pons F, et Trmal C. (2018). WikHydro - MobiTC - Cerema DterMed/DREC/SRILH, PCI Inondations et Aléas Côtiers. Article consulté le 3 mars 2018 : <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/MobiTC>
- Sogreah (2008). Etude pour la mise en valeur et la protection du littoral de Grimaud – Phase 1 – Analyse de la situation et de son évolution. 110 p.
- Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017). Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.



## Sito di Veillat, Saint-Raphaël (Var, Francia)

### Presentazione del sito

#### Posizione

La spiaggia di Veillat è situata alla fine della baia di Saint-Raphaël, sul golfo di Fréjus. (Dipartimento del Var). È una piccola spiaggia urbana lunga 400 m, nel centro città del comune di Saint-Raphaël. Appoggiata al muro di sostegno della passerella pedonale e della D559 (*alias* "Corniche d'Or"; +4,7 m IGN69), confina lateralmente con due scogliere artificiali, perpendicolari alla riva (Figura 31).

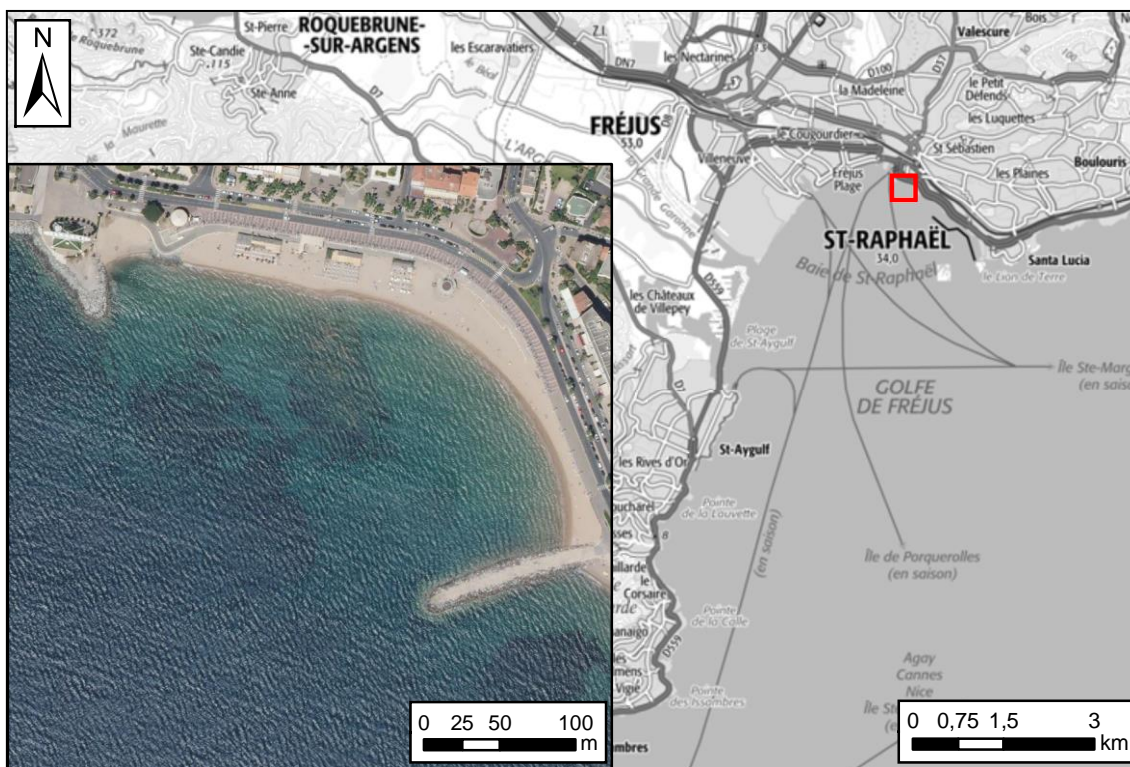
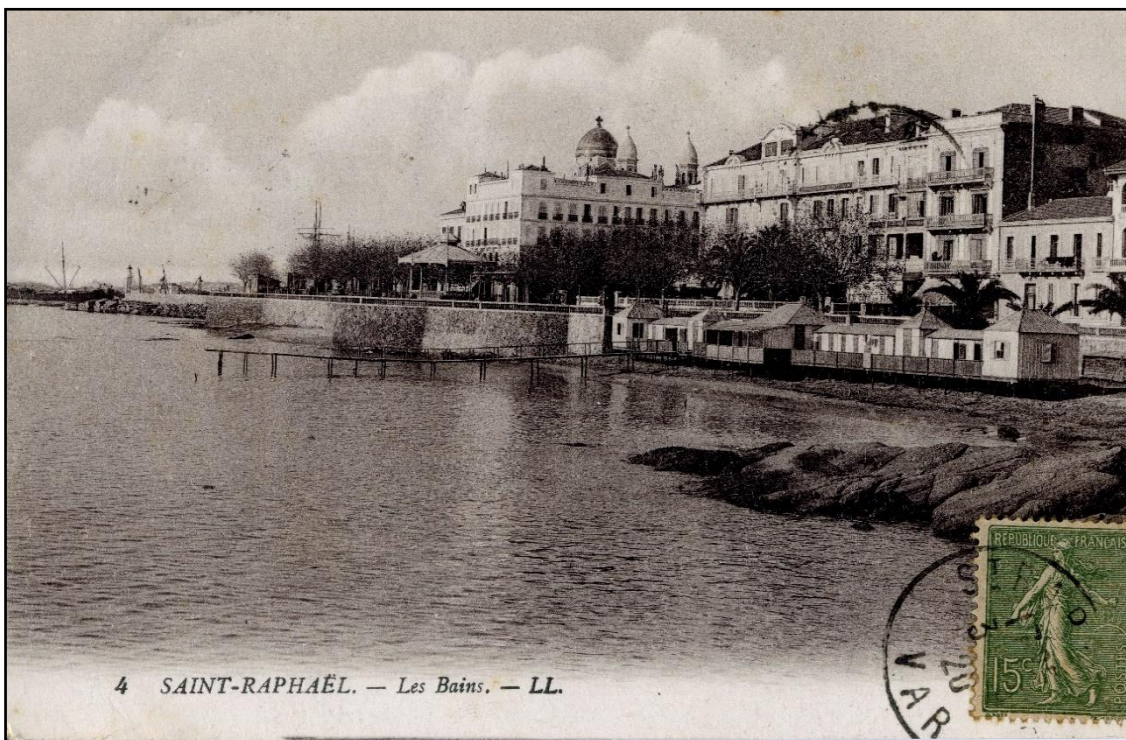


Figura 18 - Vista aerea e posizione della spiaggia di Viellat (Fonti: IGN BD ORTHO® 2014 e SCAN EXPRESS®)

#### Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

Alcune fotografie precedenti consentono di individuare alcune modifiche significative della spiaggia di Viellat. Infatti, prima del periodo 1950-65 la spiaggia sembra inclusa in un ampio incavo del dirupo per la maggior parte esposto direttamente all'azione dei marosi. Considerando la costruzione dietro la strada a strapiombo sulla spiaggia, quest'ultima non sembra superare un centinaio di metri (Figura 19). Le fotografie aeree storiche (1950-1965) mostrano anche che la spiaggia di Veillat isola completamente il muro di sostegno del mare: il litorale raggiunge quindi 270 m (Figura 20). Infine, i lavori realizzati prima del 1972 conferiscono alla spiaggia quello che è il suo aspetto attuale.

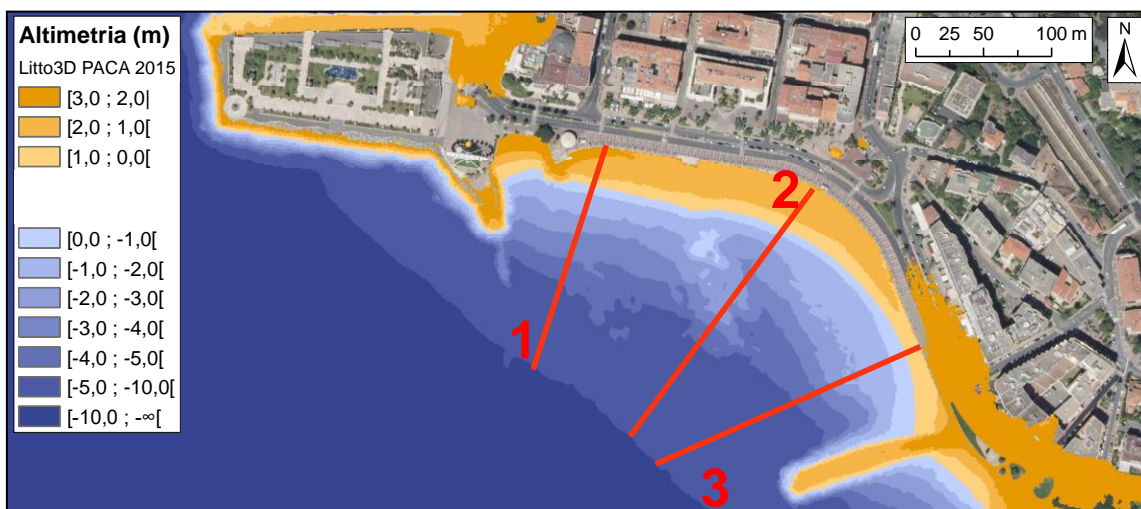


**Figura 19 - Fotografia della spiaggia di Veillat ripresa in cartolina postale, con francobollo datato 1920 (Fonte: Carvin 2018)**

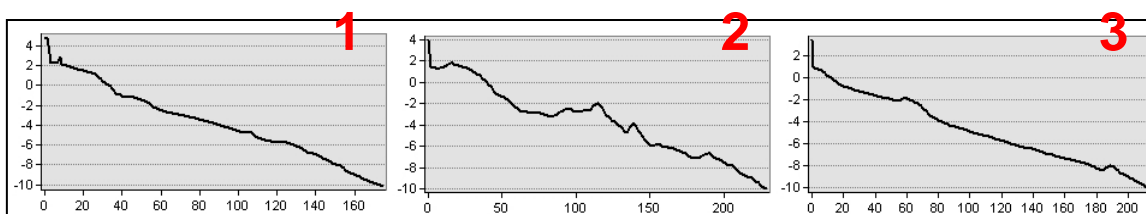


**Figura 20 - Fotografia aerea storica della spiaggia di Veillat (Fonte: IGN)**

Litto3D® PACA 2015 nonché la cartografia della natura dei fondali rivelano la presenza di affioramenti rocciosi nella parte centrale della spiaggia sommersa (Figura 21 e Figura 3). Inoltre, i profili topo-batimetrici rivelano un'inclinazione nella parte sottomarina del 4,5% (Figura 22).

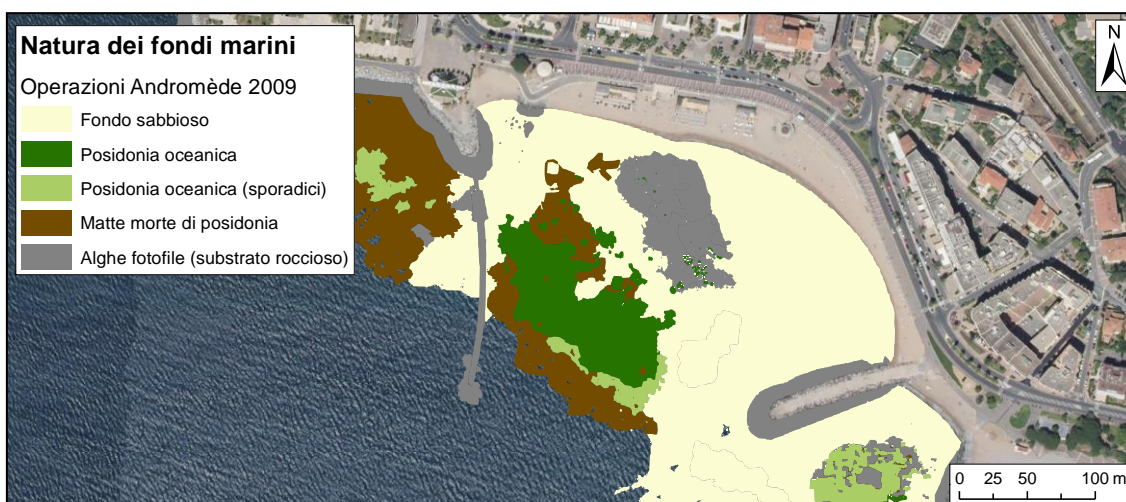


**Figura 21 - Mappa topo-batimetrica della spiaggia di Veillat (Fonte: IGN/SHOM Litto3D® 2015 PACA)**



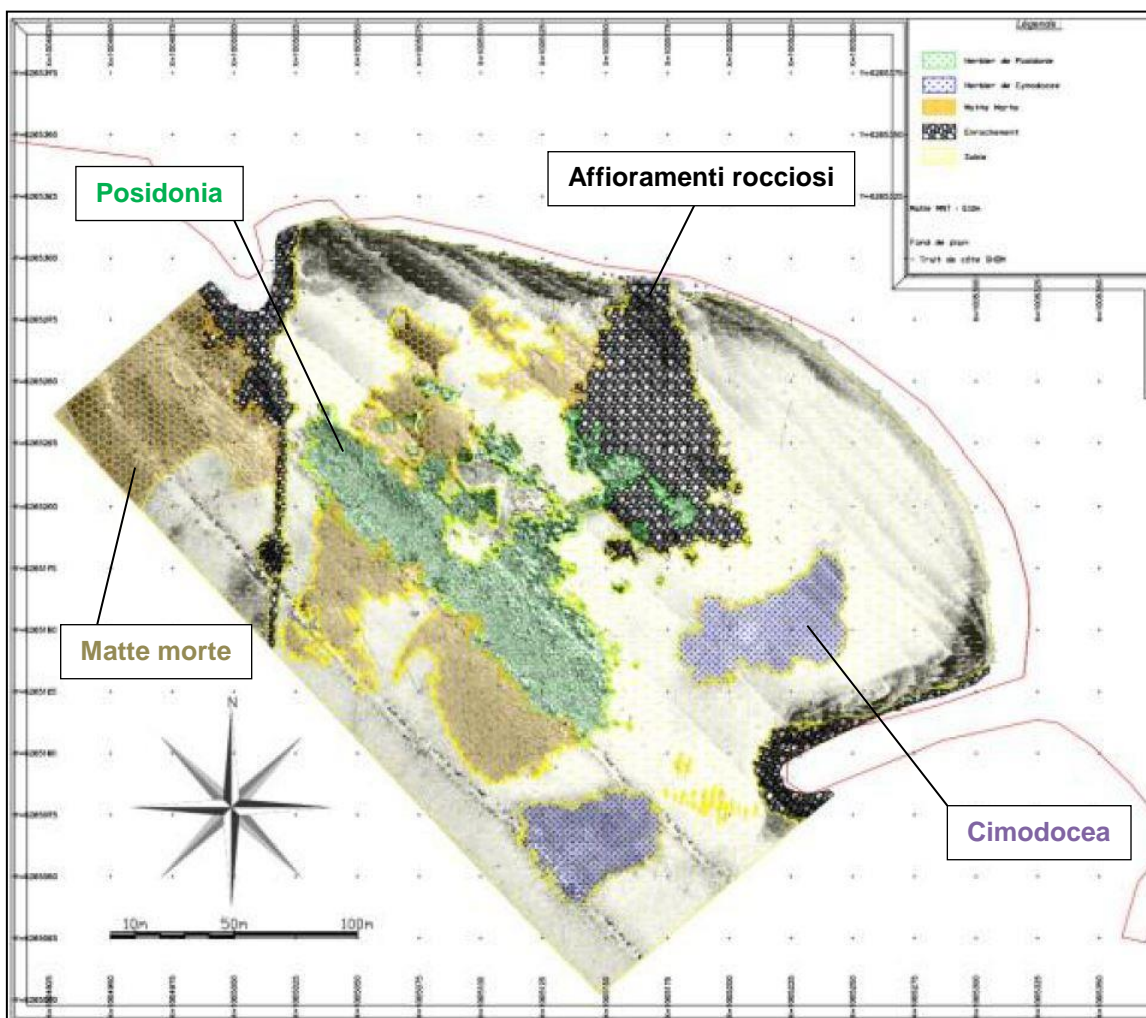
**Figura 22 - Profili tratti da Litto3D® 2015 PACA (cfr. Figura 4)**

Questa spiaggia urbana non rientra in una zona NATURA 2000 né in un'Area di protezione delle specie particolare (ZNIEFF, ZICO, ZPS). Per contro, la parte sommersa presenta praterie a posidonia, habitat di valore patrimoniale e specie protette (Figura 3).



**Figura 23 - Cartografia della natura dei fondali (Fonte: Dipartimento del Var, 2011)**

La cartografia della natura dei fondali aggiornata nel 2017 (SEMANTIC TS) rivela la presenza di praterie di cimodocee assenti o non rilevate nel 2009 (Figura 24).



**Figura 24 - Cartografia della natura dei fondali al 17/10/2017 (Fonte: Corinthe Ingénierie, 2018)**

Nel 2018, le analisi granulometriche ordinate da Corinthe Ingénierie sui campioni prelevati sulla spiaggia aerea, alle due estremità est e ovest e al centro della spiaggia stessa, indicano una riduzione del  $D_{50}$  da est a ovest (0,9 mm, 0,5 mm, 0,4 mm). Nella spiaggia sottomarina, i campioni mostrano anche una diminuzione del  $D_{50}$  al largo, da 0,9 mm (~-0,5 m IGN69) a 0,2 mm (~-2 m IGN69).

Queste informazioni correlano il piano delle onde riprodotto da Corinthe Ingénierie (2018) dove i marosi con direzione  $180^{\circ}N$  hanno un'altezza significativa maggiore nell'estremità ovest della spiaggia e minore verso est (Figura 25).



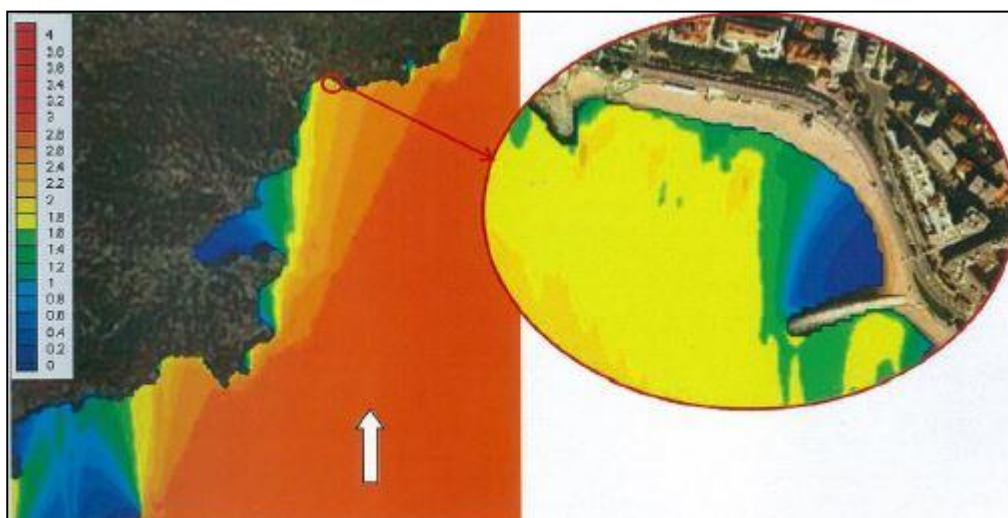


Figura 25 - Propagazione dei marosi con direzione 180°N verso la spiaggia di Veillat (Fonte: Corinthe Ingénierie, 2018)

## Conoscenze disponibili

La spiaggia di Veillat è alla fine poco studiata: le principali conoscenze acquisite nel campo dei rischi costieri e della gestione della costa sono raggruppate nella seguente tabella (Figura 13). Questi sono i dati che vengono usati nella parte restante della relazione per qualificare il sito MAREGOT di Saint-Raphaël.

Tema	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte	Bibliografia
Evoluzione della costa	Costa	Fotografie aeree	1972-2014	CD83	Dipartimento del Var (2017)
Evoluzione delle spiagge	Topografia	LiDAR topo-bathy	2015	SHOM/IGN	
Evoluzione batimetrica	Batimetria	LiDAR topo-bathy	2015	SHOM/IGN	
Sommersione marina	Cartografia 1/25.000	Mappe PDF	2017	BRGM	Stepanian <i>et al.</i> (2017)
Problemi					

Figura 26 - Conoscenze disponibili sul sito di Veillat (Saint-Raphaël, Var). I riferimenti bibliografici completi si trovano alla fine della relazione.

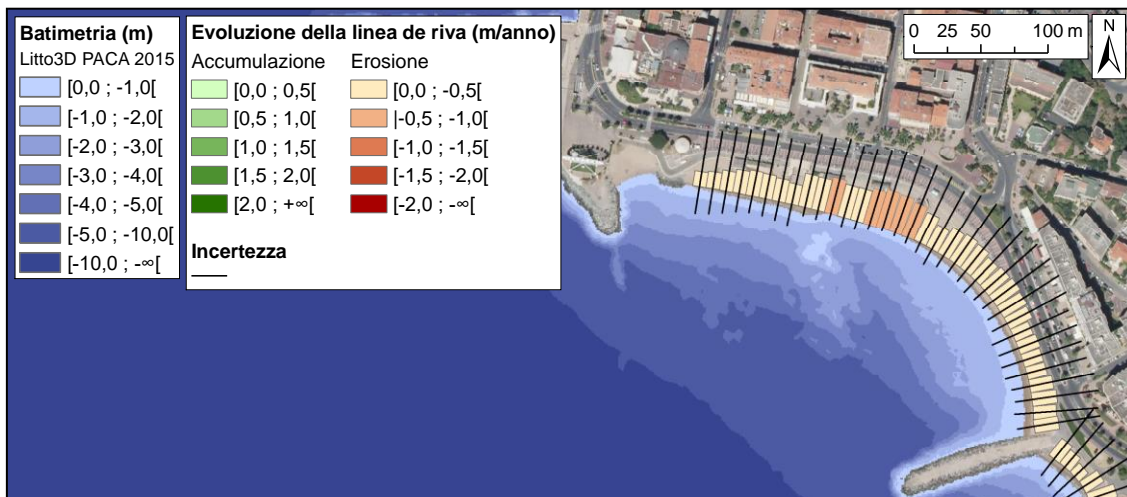
## Stato delle conoscenze

### Rischi della costa

#### Evoluzione della costa

Nell'ambito del progetto MAREGOT, il Dipartimento di Var (2017) ha realizzato un *Atlante dell'evoluzione diacronica del litorale del Var (1924-2014)*. In questo lavoro, le variazioni della riva sono affrontate tramite l'analisi di fotografie aeree per date diverse. Le linee di costa per ciascun anno sono state digitalizzate e paragonate tra loro per un'analisi diacronica quantitativa condotta grazie al programma MobiTC del Cerema (Pons & Trmal, 2018).

L'arretramento è considerato importante se le velocità sono superiori a 0,5 m/anno e moderato per le velocità comprese tra 0,1 e 0,5 m/anno. La spiaggia è considerata stabile per velocità di avanzamento e di arretramento di 0,01 m/anno. L'avanzamento è moderato per velocità comprese tra 0,1 e 0,5 m/anno e importante se le velocità sono superiori a 0,5 m/anno.



**Figura 27 - Evoluzione della costa tra il 1998 e il 2014 (Fonti: Dipartimento del Var (2017), IGN BD ORTHO® 2014 e SHOM/IGN Litto3D® PACA 2015)**

Quest'analisi evidenzia una dinamica erosiva moderata negli ultimi 20 anni (Figura 15), che tende tuttavia a essere maggiore nel centro della spiaggia, indubbiamente per via della presenza degli affioramenti rocciosi (crf. Figura 3) che possono comportare la rifrazione e/o diffrazione. Notare che queste velocità di arretramento possono eventualmente essere influenzate dalla strategia di gestione dei sedimenti adottata dalla Città di Saint-Raphaël: prima delle prime tempeste invernali, i servizi della città procedono ogni anno a un trasporto della sabbia dalla zona litorale verso la parte alta della spiaggia (Figura 28). Tuttavia, nessun monitoraggio *in-situ* ha permesso di valutare l'impatto di quest'operazione.



**Figura 28 - Sabbie "trasportate" nella parte alta della spiaggia (Fonte: SEMANTIC TS, 17/10/2017)**

### Sommersione marina

*N.B.: il testo di questa sezione è adattato da Stepanian et al., 2017.*

Per una maggiore comprensione delle dinamiche di sommersione nella parte rocciosa della costa della regione PACA, la DREAL PACA ha voluto produrre un documento informativo sul rischio di sommersione marina nell'area regionale. Questi dati saranno aggiunti alle Strategie locali di gestione dei rischi di inondazioni (SLGRI) dei Territori a elevato rischio di inondazione (TRI) in materia di perfezionamento della conoscenza del rischio. Viene quindi prodotta su scala regionale una cartografia delle zone potenzialmente interessate da un rischio di sommersione marina su scala centennale per due casi:

- un caso con un aumento di +0,20 m dell'attuale livello del mare, definito come "evento medio";
- un caso con scadenza 2100, con un aumento di +0,60 m dell'attuale livello del mare, definito come "evento medio con considerazione del cambiamento climatico".

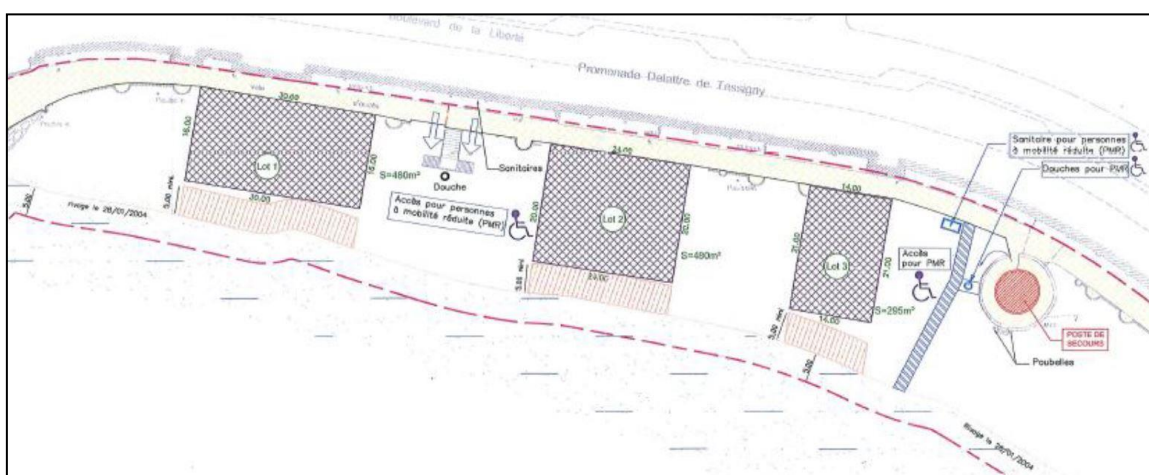
La cartografia prodotta in scala 1/25.000 non consente di distinguere bene gli spazi sommersi in questa spiaggia del centro città: pertanto non è stata riprodotta.

### Piani di prevenzione

Malgrado la natura cronica dell'erosione costiera e un potenziale comprovato di sommersione marina nelle tempeste, la spiaggia di Veillat non è soggetta ad alcuna specifica normativa statale in termini di prevenzione dei rischi costieri. In particolare, non esiste un Piano di prevenzione dei rischi costieri (erosione e/o sommersione marina) prescritti in questo territorio. Tuttavia, come per tutta la costa francese, è stato prodotto un documento informativo sui rischi di sommersione marina per le collettività da parte degli Uffici statali (DREAL PACA) nell'ambito dell'applicazione della Direttiva Inondazione (Atlante delle zone sommergibili).

### **Problemi attuali**

La spiaggia di Veillat, in ragione della sua posizione nel centro città di Saint-Raphaël, rappresenta un vantaggio socio-economico di primo piano per il comune: tre parti di spiaggia (Figura 29) sono stati infatti concessi fino al 2020 (dal 2009) per essere usati durante la stagione estiva (maggio-ottobre).



**Figura 29 - Piano delle concessioni della spiaggia di Veillat (Fonte: Corinthe Ingénierie, 2018)**

Inoltre, i dati della rete SURFSTAT (Andromède Océanologie, Agenzia dell'acqua RMC) mostrano una netta regressione delle praterie nella parte sottomarina della spiaggia (Figura 17). Secondo Holon *et al.* (2015), il 48,7% di questa dinamica può essere associata all'artificializzazione della costa (impatti diretti e indiretti). Anche se è difficile associare con certezza la regressione della

prateria alla costruzione dei frangiflutti (che modificano l'idrodinamica) e/o alla continua erosione della spiaggia (che aumenta la torbidezza e/o ricopre i fondali di sedimenti), i gestori si interrogano sui mezzi da adoperare per contenere quest'erosione del patrimonio naturale.

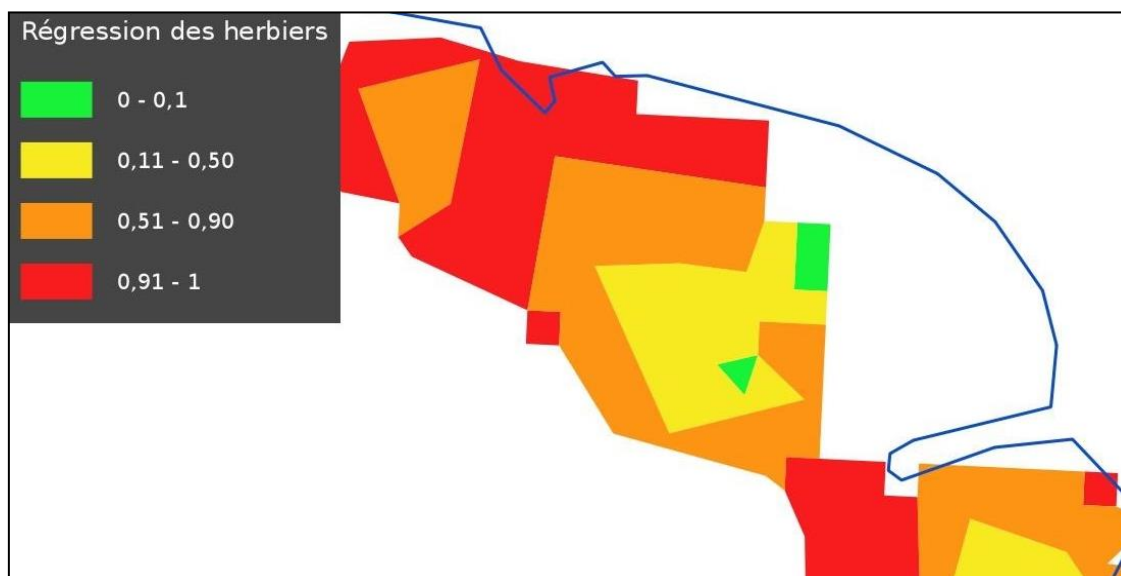


Figura 30 - Cartografia della regressione dei fondali secondo la Rete di analisi superficiale degli habitat (SURFSTAT) (Fonte: Holon *et al.*, 2015).

## Conclusioni

### Promemoria della problematica del sito

La spiaggia di Veillat è una piccola pocket beach oggi completamente artificiale, soggetta a un fenomeno erosivo costiero cronico da parecchi decenni. La scomparsa graduale del patrimonio sedimentario e naturale solleva tuttavia grossi interrogativi per i gestori. Questo sito è quindi oggetto di una riflessione sull'erosione costiera, considerando sia il consumo ricreativo della spiaggia ma anche la salvaguardia delle praterie a posidonia.

### Rappresentatività transfrontaliera del sito

Il sito di Saint-Raphaël (Var, Francia) è rappresentativo delle spiagge della costa dello spazio Marittimo (pocket beach urbana e artificiale). La presenza di problemi legati al turismo e all'ambiente, di un rischio cronico su scala pluridecennale e la volontà di adottare una strategia di gestione sostenibile ne fanno un sito ideale per la sperimentazione di mezzi innovativi per contrastare l'erosione.

## Bibliografia

Corinthe Ingénierie (2018). Protection des plages du Veillat. Rapport EDL-02-0. 35 p.

Département du Var (2011). Schéma Départemental de la Mer et du Littoral. 252 p., 5 ann.

Département du Var (2017). Atlas de l'évolution diachronique du littoral varois (1924-2014). 304 p.

Holon F., Boissery P., Guilbert A., Freschet E., et Deter J. (2015). The impact of 85 years of coastal development on shallow seagrass beds (*Posidonia oceanica* L. (Delile)) in South Eastern Francia: A slow but steady loss without recovery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, pp. 204-212.

Pons F, et Trmal C. (2018). WikHydro - MobiTC - Cerema DterMed/DREC/SRILH, PCI Inondations et Aléas Côtiers. Article consulté le 3 mars 2018 : <http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/MobiTC>

Carvin M. (2018). Article consulté le 27 mars 2018 : <https://www.geneanet.org/cartes-postales/view/5906785#0>

Stepanian A., Louisor J., Lecacheux S., Nicolae-Lerma A., et Pedreros R. (2017). Caractérisation de l'aléa submersion marine sur le périmètre régional Provence-Alpes-Côte d'Azur. Rapport final. BRGM/RP-66550-FR, 74 p., 58 ill., 9 ann., 1 CD.



## Sito Riviera Ligure di Levante (Ligure, Italia)

### Presentazione del sito

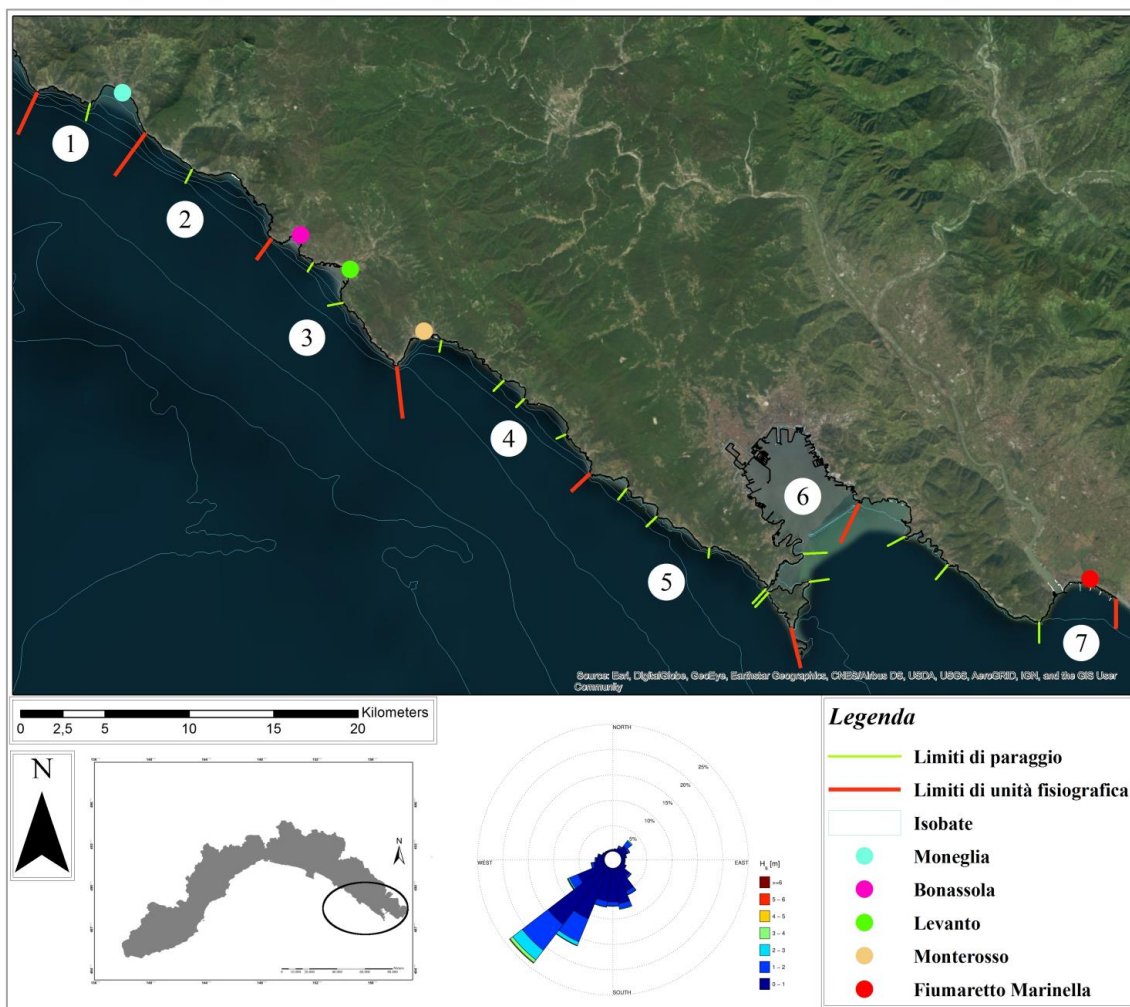
#### Inquadramento geografico

L'area è situata nell'estrema porzione orientale della Liguria e racchiude la fascia di versante ligure-tirrenico comprendente il tratto terminale della provincia di Genova e l'intera provincia della Spezia. Verso mare, l'area pilota è delimitata ad ovest dal promontorio di Punta Baffe, che grossomodo separa la baia di Riva Trigoso da quella di Moneglia, mentre ad est si estende fino al confine con la regione Toscana, in corrispondenza di Marinella di Sarzana. Il tratto di costa si estende per circa 65 km, ed è suddiviso in sette unità fisiografiche (figura 1).

#### Inquadramento geologico e geomorfologico generale

L'areale prescelto è caratterizzato da una spiccata eterogeneità nei lineamenti geologici e morfologici. Dal punto di vista geologico l'area appartiene ad un segmento dell'Appennino Settentrionale, qui caratterizzato da un assetto geologico complesso e da una gamma estremamente ampia di formazioni rocciose. Muovendosi dal settore occidentale a quello orientale, affiorano in sequenza formazioni rocciose riconducibili alle unità tettoniche delle Liguridi interne, del Supergruppo della Val di Vara, delle Liguridi esterne e della Falda Toscana (Abbate 1969; Abbate *et al.*, 2005). Tali unità sono costituite da successioni di formazioni sedimentarie e ofiolitiche, ottimamente esposte lungo la costa in prossimità delle testate dei numerosi promontori o lungo i frequenti tratti a costa alta (Terranova 1987).

Sotto il profilo geomorfologico, la zona che si estende da Moneglia a Portovenere, a causa della presenza della linea spartiacque molto prossima alla costa (le quote massime sono comprese all'incirca tra 400 e 800 m s.l.m.) è caratterizzata dal susseguirsi di bacini costieri di modesta ampiezza. I bacini idrografici più ampi risultano il bacino del Torrente Castagnola (25 km<sup>2</sup>) presso Deiva Marina e quello del Torrente Ghiararo (15 km<sup>2</sup>) a Levanto. La sequenza di bacini costieri possiede versanti molto acclivi e incisi da corsi d'acqua brevi e a regime torrentizio, spesso caratterizzati da percorsi fortemente condizionati dalla tettonica.



**Figura 1 - Sito; Unità fisiografiche: 1 - Punta Baffe - Punta Rospo; 2 - Punta Rospo - Punta Monte Grosso; 3 - Punta Monte Grosso - Punta Mesco; 4 Punta Mesco - Capo Monte Negro; 5 Capo Monte Negro - Isola Palmaria; 6 Isola Palmaria - Golfo di La Spezia; 7 Golfo di La Spezia - Confine Toscano; Diagramma polare del clima ondoso**

In prossimità dello sbocco a mare risiedono modeste pianure alluvionali costiere che nei tratti terminali hanno permesso lo sviluppo di ambienti di spiaggia. Proseguendo in direzione dell'estrema porzione orientale della regione, la continuità dei lineamenti morfologici appena menzionati è interrotta dalla comparsa del Golfo della Spezia prima e della porzione terminale della Valle del Fiume Magra poi. Entrambe le aree sorgono in corrispondenza di depressioni di origine tettonica allungate in direzione NW-SE (Raggi 1985; Giammarino & Giglia 1990). In queste zone si registra la presenza di sezioni vallive più ampie, all'interno delle quali gli apporti fluviali hanno dato origine ad ambienti di piana alluvionale delimitati verso la foce da estese zone di spiaggia.

L'assetto e l'evoluzione della morfologia costiera sono strettamente correlati all'elevata eterogeneità delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e strutturali delle formazioni rocciose che si incontrano lungo la costa e all'azione del moto ondoso (Terranova 1987). In funzione della differente esposizione alle ondate, dell'assetto stratigrafico e del grado di fratturazione, le pareti delle falesie possono manifestare processi di erosione selettiva e frequenti fenomeni franosi in



roccia (i.e., crolli, ribaltamenti, scivolamenti planari e a cuneo) a cinematica rapida (Cevasco 2007). Ai piedi delle falesie più instabili è frequente osservare la presenza di vasti accumuli di materiali detritici mobilizzabili dal moto ondoso e che, grazie ai processi di deriva litoranea, spesso rappresentano un importante elemento di input sedimentario delle spiagge ubicate all'interno dei piccoli golfi racchiusi tra promontori. Lungo la fascia di costa in oggetto si segnala inoltre la presenza di corpi di frana a cinematica lenta e molto lenta il cui piede si estende fino alla linea di costa. I due esempi più rappresentativi sono la frana relitta di Lemeglio, nei pressi di Deiva Marina, e la frana di Guvano situata nelle vicinanze della località di Vernazza, all'interno del territorio del Parco Nazionale delle Cinque Terre (De Stefanis *et al.*, 1978; Federici *et al.*, 2001; Cevasco 2007; Raso *et al.*, 2016).

Dal punto di vista della morfologia costiera, nell'area pilota predominano le morfologie tipiche della costa alta, la quale si articola mediante l'alternanza di promontori, tratti molto frastagliati, ripide falesie e insenature occupate da spiagge a tasca (Terranova 1987). Nella porzione più orientale, in corrispondenza della foce del fiume Magra e delle zone prossime al confine con la regione Toscana, le coste rocciose lasciano lo spazio ad estesi ambienti di spiaggia. Indagini granulometriche pregresse hanno messo in evidenza che le principali spiagge presenti nel tratto che va da Punta Baffe all'Isola di Palmaria sono caratterizzate da tessiture sabbioso-ghiaiose, mentre per i litorali prossimi al confine toscano la tessitura è asseribile alla classe delle sabbie. Il regime del moto ondoso è caratterizzato dai mari provenienti da Sud-Ovest (Libeccio), mentre le ondate secondarie provengono da Sud (Mezzogiorno). Le agitazioni provenienti da Sud-Est risultano poco incisive sulle dinamiche costiere, in quanto il *fetch* risulta limitato (Ferrari *et al.*, 2014). In accordo con *L'Atlante delle Spiagge Italiane* (Fierro *et al.*, 1999), il *drift* litoraneo è costituito da una direttrice ponente-levante, diversamente dal tratto di costa tra il fiume Magra e il confine toscano dove *drift* è diretto verso meridione.

## **Tratto di costa tra Punta Baffe e Punta Monte Grosso**

### Costa alta

In corrispondenza dei capi rocciosi che bordano il Golfo si osservano sequenze di alte e ripidissime pareti rocciose, talvolta verticali o subverticali. Nei tratti di falesia attiva si generano importanti morfologie e fenomeni franosi frutto dell'erosione selettiva operata dal moto ondoso su bancate di arenaria alternate a pacchi di argilliti, litotipi riferibili alla Formazione delle Arenarie del Gottero. In conseguenza della marcata azione erosiva del moto ondoso sulle intercalazioni argillitiche affioranti tra le bancate di arenaria, raddrizzate in giacitura verticale (Figura 2A), la falesia attiva è periodicamente interessata da fenomeni di scivolamento o crollo di lastre e blocchi di arenaria (Figura 2B). I processi di erosione selettiva hanno talvolta favorito la formazione di grotte di interstrato mediante l'apertura di cunicoli e gallerie da parte del moto ondoso (Terranova 1987). Ai piedi delle falesie attive spesso riposano accumuli e conoidi di materiali detritici prodotti dai movimenti franosi appena illustrati.



**Figura 2 – Falesia attiva presso Punta Baffe (A) e esempi di fenomeni franosi per scivolamento planare (B) (da Regione Liguria, foto prospettiche della costa 2010)**

L'insenatura di Deiva si estende da Punta Rospo fino alle pareti degli Apicchi. In questo tratto di falesie affiora la formazione delle Arenarie del Gottero mediante superfici di stratificazione che immergono verso mare, con inclinazioni variabili tra 40° e 70°, a sua volta geometricamente sovrapposta alla formazione degli Scisti Zonati. Gli ammassi rocciosi presenti che si susseguono lungo la costa sono interessati da numerosi sistemi di fratture e faglie che li predispongono allo sviluppo di meccanismi di instabilità da frana (Terranova 1987). L'intera fascia costiera è inoltre esposta frontalmente al moto ondoso, il quale esercita una marcata attività erosiva in corrispondenza delle fasce maggiormente fratturate e degli interstrati di argilliti presenti nella formazione delle Arenarie del Gottero.

#### Costa bassa

Il paraggio di Moneglia presenta alcune delle criticità descritte già in precedenza. L'area costiera risulta fortemente antropizzata, in quanto sono presenti tre barriere parallele alte circa 1.0 metro, ubicate poco lontano dalla linea di riva e il retro spiaggia è limitato dal tessuto urbano. Recenti studi hanno dimostrato la scarsa funzionalità delle opere, in quanto il litorale risulta in erosione e le stesse opere presentano condizioni di conservazione precarie; inoltre, è stato rilevato un processo di scalzamento al piede delle barriere, che potrebbe comportare un crollo della struttura.

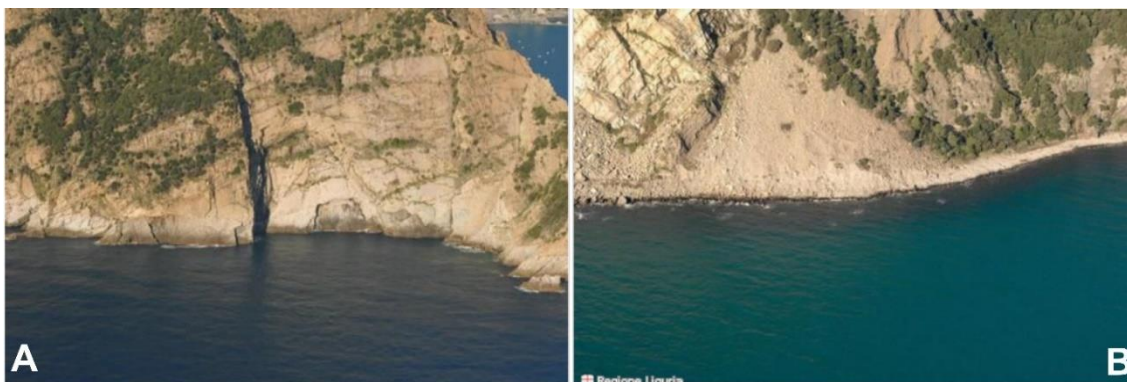
Il litorale di Deiva Marina, a differenza di quello di Moneglia, non presenta opere di difesa e risulta in posizione molto avanzata, praticamente priva di appoggi nel sottoflutto. Il mantenimento del litorale è dovuto principalmente alla sua orientazione, che permette di ricevere frontalmente il moto ondoso principale, così da limitare il trasporto laterale (Fierro *et al.*, 2015). Tuttavia, non escludendo la perdita di materiale, l'equilibrio morfodinamico è sostenuto dagli apporti naturali.

### **Tratto di costa tra Punta Monte Grosso e Punta Mesco**

#### Costa alta

Il Golfo di Levante è situato nel tratto di costa delimitato ad est dal promontorio di M. La Guardia e ad occidente dal Promontorio del Mesco. Nel capo orientale del golfo si osservano falesie in serpentiniti che possono raggiungere i 130 m di altezza nei tratti più elevati. Nel complesso la fascia a costa alta si presenta frastagliata a causa dell'intensa attività erosiva esercitata dalle ondate in corrispondenza di zone di faglie e fasce brecciate oppure zone di contatto con i gabbri. Il capo orientale è costituito dal Promontorio del Mesco, caratterizzato da una forma rettangolare e proteso mediamente 1.5 km verso il mare aperto. Si tratta di un promontorio formato da un grosso nucleo di ofioliti sovrastate da formazioni sedimentarie e interessato da una attiva dinamica

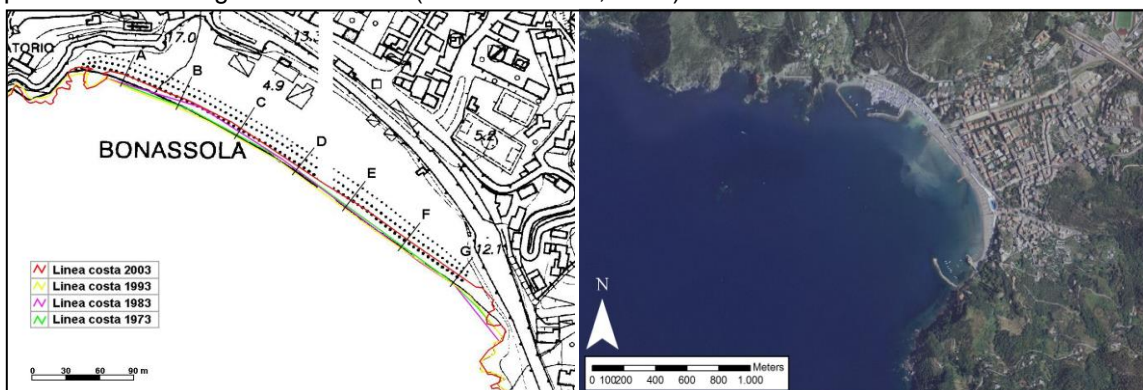
geomorfologica. Nel segmento ubicato sul lato orientale del Golfo di Levante si susseguono alte falesie sagomate in Arenarie del Gottero (Figura 3A). Le falesie sono soggette a erosione selettiva e scalzamento al piede da parte del moto ondoso. L'azione del moto ondoso è marcata in corrispondenza di fasce di ammasso roccioso più fratturate o all'interno degli interstrati di argilliti. Ciò determina l'innescò di fenomeni di scivolamenti che evolvono rapidamente in crolli o ribaltamenti. Nelle parti più elevate delle pareti rocciose sono ben riconoscibili i numerosi cigli di distacco dei diffusi fenomeni di instabilità che interessano questo settore del promontorio (Terranova 1987). Lungo il versante del promontorio affacciato sul Golfo di Monterosso si osservano invece estesi accumuli detritici (Figura 3B), anche potenti, derivanti da movimenti franosi attivi e quiescenti le cui nicchie di distacco possono talvolta raggiungere 175-180 m di altezza (Terranova 1987).



**Figura 3 – Falesie attive in corrispondenza del Promontorio del Mesco (A); accumuli detritici alla base delle falesie nel versante del Promontorio del Mesco affacciato sul Golfo di Monterosso (B) (da Regione Liguria, foto prospettiche della costa 2010)**

Costa bassa

Nell'unità fisiografica 3, che si estende da Punta Monte Grosso a Punta Mesco, sono situati due paraggi, quello di Bonassola e quello di Levante. Il primo è fortemente imbaiato, data la presenza dei due promontori aggettanti, che determinano una esigua perdita di materiale e una parziale protezione dalle agitazioni ondose (Mucerino *et al.*, 2016).



**Figura 4 - Sinistra: Variazione della linea di riva del paraggio di Bonassola; Destra: Paraggio di Levante**

Studi recenti (figura 4\_sx) hanno messo in luce il lento trend erosivo che ha interessato la spiaggia emersa dal 1973 al 2003 (Balduzzi *et al.*, 2014). Probabilmente, l'arretramento è dovuto alla riduzione degli apporti fluviali, conseguenza dell'urbanizzazione dell'area costiera. La spiaggia

presenta una tessitura ghiaiosa-sabbiosa e una forte acclività lungo i profili; ciò rende vulnerabile il tessuto urbano nei confronti delle agitazioni ondose estreme.

Il paraggio di Levanto, presenta caratteristiche completamente diverse da quelle di Bonassola. Il litorale risulta maggiormente esposto alle agitazioni ondose principali ed è costituito da diverse tipologie di opere di difesa, necessarie per il mantenimento dell'equilibrio morfodinamico (Schiaffino *et al.*, 2015). Questa spiaggia, che si estende per 900 metri di lunghezza, è limitata lateralmente da due promontori aggettanti, Punta Mesco e Punta Levante; la presenza di tre pennelli interrompe la continuità del tratto di costa, ulteriormente influenzato nella sua evoluzione dai resti di due difese parallele sommerse, messe in opera in corrispondenza delle due falcate occidentali. La granulometria della spiaggia emersa è essenzialmente composta da sabbia e ghiaia, mentre la spiaggia sommersa, al di là della zona di frangenza, presenta granulometrie riferibili alle sabbie. In questo tratto di costa è situato un porticciolo a cui fanno riferimento anche i paesi limitrofi. Recenti studi hanno evidenziato che il trasporto solido fluviale del torrente Ghiararo e le opere di difesa, sia rigide che deformabili, determinano un discreto equilibrio morfodinamico che rende il litorale levantese il più ampio del Sito. Tuttavia, va comunque considerato lo stato di degrado delle opere poiché non sono stati pianificati programmi di manutenzione ordinaria.

## Tratto di costa tra Punta Mesco e Capo Monte Negro

### Costa alta

Si tratta di un tratto di costa alta orientato circa NW-SE con sviluppo lineare di circa 20 km, compreso all'incirca tra il Promontorio di Punta Corone (Figura 5A) e Punta Persico e facente parte del territorio del Parco Nazionale delle Cinque Terre.

Per la quasi totalità del suo sviluppo è caratterizzato da coste molte ripide, talvolta verticali, formate da formazioni sedimentarie riferibili alla Falda Toscana. Le rare spiagge, costituite da depositi ciottolosi e ghiaiosi, sono brevi e strette e vengono alimentate, periodicamente da materiali di frana o dal trasporto dei brevi corsi d'acqua. La fascia di costa è esposta frontalmente alle ondate di Libeccio, di Scirocco e mezzogiorno, seppure questi ultimi agenti con minore intensità. La costa spesso è molto alta e ripidissima, con falesie che talora raggiungono i 100 m di altezza. L'orientazione e l'assetto strutturale delle falesie attive e quello geometrico della rete di fratture concorrono all'innescare di fenomeni di instabilità quali crolli, scivolamenti di lastre o cunei (Cevasco 2007). Si osservano frequenti nicchie di svuotamento riconducibili a fenomeni pregressi o quiescenti. Ai piedi delle pareti rocciose spesso si incontrano gruppi di scogli emergenti dall'acqua o appena soffolti che testimoniano il ruolo fondamentale giocato dal moto ondoso nell'innescare i fenomeni franosi, soprattutto durante le mareggiate più intense.



Figura 5 – Tratto costiero presso Punta Corone (A); frana in località La Tagliata presso Vernazza (B).

Accumuli detritici e nicchie di distacco attive, relitte e quiescenti sono diffusissimi lungo l'intero tratto di costa. Un tipico esempio è rappresentato dalla frana di Vernazza in località Tagliata, ove si osservano ripetuti scivolamenti planari nelle Arenarie del Macigno con formazione di conoidi di blocchi soggetti ad erosione marina (Figura 5B).

Lungo la fascia di costa in questione si rinvencono anche corpi franosi relitti e quiescenti di una certa rilevanza come quelli situati nelle località di Macereto, Rodalabia e Guvano (De Stefanis *et al.*, 1978; Federici *et al.*, 2001; Cevasco 2007).

### Costa bassa

All'interno di quest'area, sono presenti pochi litorali sabbiosi, a volte di natura effimera; l'unico tratto di costa bassa ampio e stabile è quello del paraggio di Monterosso (Figura 6), il quale è decisamente condizionato dagli interventi umani, specialmente nella cella orientale di Fegina. Sebbene negli ultimi anni su questa spiaggia siano state effettuate diversi interventi, sono comunque evidenti importanti segnali di sofferenza. Difatti, la presenza del terrapieno sembra sottrarre la spiaggia all'alimentazione naturale proveniente dalla detritazione delle falesie del promontorio del Mesco (Fierro *et al.*, 2015). Invece, nella spiaggia del centro storico, la dinamica è fortemente ridotta, a cause delle opere di difesa e del molo di attracco.



**Figura 6 - Paraggio di Monterosso**

Come in altri casi evidenziati, le opere di difesa appaiono in condizioni di conservazione precarie e poco funzionali. Le restanti spiagge hanno sempre avuto un assetto precario, dipendente da fattori contingenti e casuali. Tutte le spiagge dei restanti borghi di Vernazza, Corniglia, Manarola e Riomaggiore sono oramai scomparse o ridotte ad un deposito residuale di ciottoli e blocchi principalmente a causa della conformazione delle insenature, le quali impediscono la stabilizzazione dei litorali facilitando il trasporto solido litoraneo.

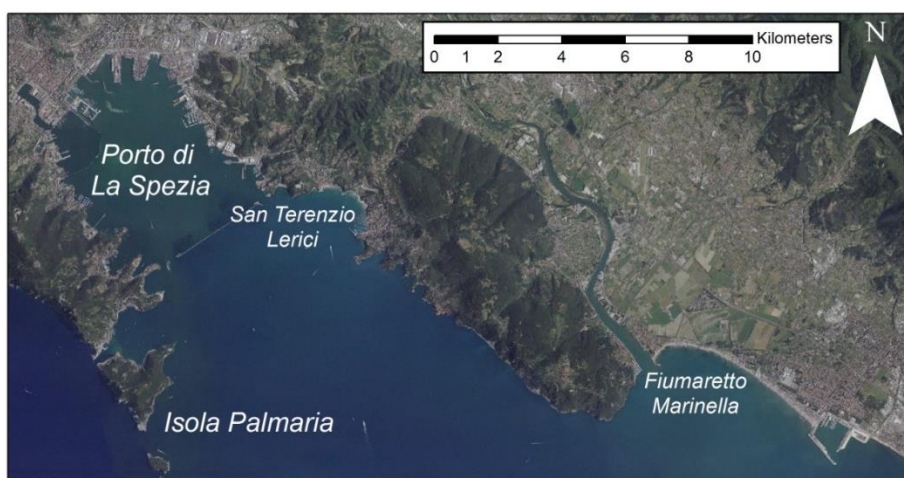
## **Tratto di costa tra Capo Monte Negro e il confine toscano**

### Costa alta e costa bassa

Il tratto di costa successivo è caratterizzato dalla presenza del golfo di La Spezia (Figura 7). Tralasciando la rada portuale, completamente antropizzata, i principali tratti costieri sono Portovenere, San Terenzio e Lerici.

Il principale tratto a costa alta è quello che va da Punta Persico a Portovenere il quale risulta impostato tutto sulla serie della Falda Toscana, la quale affiora con una fitta successione di formazioni sedimentarie. In alcuni settori le falesie raggiungono quote massime di 300 m e risultano numerosi i tratti interessati da fenomeni di squilibrio geomorfologico come messo in evidenza dalle diffuse nicchie quiescenti e attive, dagli anfiteatri di svuotamento e dai vasti accumuli di materiali detritici che raggiungono la battigia e sono oggetto di erosione e di trasporto litoraneo da parte delle mareggiate (Terranova 1987).

Escludendo Portovenere, protetta dall'isola Palmaria, i litorali sono esposti ad una dinamica sedimentaria sostenuta e risultano fortemente antropizzati. La riduzione degli apporti, inoltre, ha condizionato drasticamente la stabilità della costa.



**Figura 7 - Golfo di La Spezia e Foce del Fiume Magra**

L'ultima unità fisiografica (7) è costituita dalle spiagge di Fiumaretta e Marinella, le quali hanno raggiunto un discreto grado di stabilità, poiché interessate da recenti interventi di ripristino, infatti nel 2011 è stato effettuato un ripascimento di 10000 m<sup>3</sup> con materiale dragato dalla foce del fiume Magra. In passato, quest'area ha subito una profonda crisi erosiva (figura 8), con un arretramento notevole lungo tutto il tratto ligure (Perna *et al.* 2017). Ad oggi, comunque, il tratto di costa si presenta in avanzamento, rispetto al 2010, per mezzo delle opere di difesa, sia parallele che perpendicolari, che, tuttavia, rendono il litorale fortemente antropizzato. Inoltre, dato il settore di traversia e le dimensioni del fetch geografico, questo litorale è soggetto a forti fenomeni meteo marini che nei precedenti anni hanno danneggiato le strutture presenti sulle spiagge. Infine, le maggiori criticità di quest'area sono strettamente legate al trasporto di materiale legnoso e di inquinanti da parte del corso d'acqua. La vicinanza della foce del Magra, infatti, durante gli eventi alluvionali genera accumulo di materiale e lorde di vario genere che riducono queste spiagge in condizioni disastrose.



Figura 8 evoluzione della linea di riva 1878 - 2010

### Caratteristiche ecosistemiche

Per lo studio dell'ecologia (biota) dei fondali marino-costieri si fa riferimento all'Atlante degli Habitat Marini della Liguria (Diviacco & Coppo, 2006). L'Atlante fornisce una base conoscitiva dei principali popolamenti e delle praterie di *Posidonia Oceanica*. In riferimento alle fanerogame marine, è necessario sottolineare che la presenza di *Posidonia oceanica* è ridotta rispetto alle altre province della Liguria, in quanto ha un'estensione di un centinaio di ettari, pari solo al 2%. Le praterie su matte più estese sono collocate a Moneglia, a Monterosso e a Levanto, rispettivamente di 23 ha, 20 ha e 37 ha. Le ridotte dimensioni sono dovute, probabilmente, alle esigue dimensioni delle spiagge sommerse, che limitano le possibilità di radicamento delle fanerogame. Riassumendo, il tratto costiero è lungo circa 81 km, di questi solamente 9 km sono bordati da praterie di *Posidonia oceanica*, pari al 11%.

Strettamente connessa allo sviluppo o alla regressione delle praterie di *Posidonia oceanica* è l'estensione dei prati di *Cymodocea nodosa*, poiché considerata una specie "secondaria" nella serie evolutiva climatica delle praterie di *Posidonia oceanica* (Molinier e Picard, 1952). Questa specie occupa 7 km (8%) del tratto costiero ed è radicata a ridosso delle piccole baie con modeste dimensioni (massimo 40 ha).

La presenza dei popolamenti tipici del coralligeno è di natura sporadica e di dimensioni ridotte; piccoli nuclei sono stati cartografati presso Punta Monte Grosso, Punta Mesco, Capo Monte Negro e presso le isole dell'arcipelago spezzino.

### Stato della conoscenza

Nell'area pilota, le prime ricerche riguardanti la dinamica geomorfologica della costa risalgono alla fine del secolo scorso. In prevalenza si tratta di studi incentrati sul rilievo e l'analisi delle peculiarità geomorfologiche della fascia costiera o di indagini su singoli movimenti franosi relitti e quiescenti (De Stefanis *et al.*, 1978; Terranova 1987; Federici *et al.*, 2001). Tuttavia, studi e ricerche di maggior dettaglio sui fenomeni di instabilità che interessano le pareti delle falesie sono poco diffusi e limitati a singole aree. Le uniche analisi approfondite dei fattori predisponenti e innescanti i fenomeni di instabilità costieri sono disponibili per il tratto delle Cinque Terre grazie allo studio di Cevasco (2007), il quale ha fornito un quadro dettagliato dell'ubicazione e della tipologia di fenomeni franosi che interessano le falesie e i loro rapporti con l'assetto geologico-strutturale e con le principali opere di difesa a mare. Attualmente, è disponibile una mappatura piuttosto dettagliata della distribuzione dei fenomeni franosi che insistono sulla fascia costiera realizzata all'interno del progetto (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'ISPRA e dalla Regione Liguria.

Le uniche informazioni riguardanti la propensione al dissesto sono contenute all'interno della documentazione riferibile al piano di Bacino stralcio sul Rischio idrogeologico, redatto in adempimento a quanto disposto dal decreto legge n°180 del 11/6/1998, convertito con modificazione nella Legge n 267 del 3/8/1998, mediante il quale è stata effettuata la mappatura della suscettività al dissesto anche dei tratti di costa alta. Tuttavia, si fa notare che i criteri per la determinazione della suscettività al dissesto nei piani di bacino non tengono conto del fattore moto ondoso. Infine, Regione Liguria, nell'ambito del Progetto REMOVE effettuava il monitoraggio degli spostamenti di due frane costiere a cinematica lenta (la frana di Lemoglio e quella di Guvano). Nell'ambito delle coste basse sono disponibili ricerche di dettaglio che interessano singoli paraggi. Questi studi si sono focalizzati sulla analisi dell'evoluzione morfo-dinamica e sull'applicazione di sistemi di monitoraggio ai fini di individuare le principali criticità. Nell'ambito del Progetto *BEACHMED-e/OpTIMAL Project (2005 - 2008)* è stato installato un impianto di video monitoraggio per la valutazione e l'analisi della linea di riva del litorale e determinare l'efficienza delle opere di difesa sul litorale di Levante (AAVV, 2009). Successivamente il Progetto ResMAr (Giugno 2010 - Luglio 2013) ha interessato il rilevamento, mediante video-monitoraggio, del paraggio di Moneglia. Questo studio, nato nell'ambito del progetto Marittimo Italia - Francia, ha previsto la messa in rete di un sistema di video-monitoraggio su nove siti di indagine (Brignone *et al.*, 2012). Il PRIN (Programma di Ricerca Nazionale) 2010-2013, condotto dall'Università di Genova, ha messo in luce l'evoluzione morfodinamica del paraggio di Bonassola. Durante l'esecuzione del progetto sono stati effettuati rilievi batimetrici con cadenza annuale e analisi sedimentologiche, rilevando il lento trend erosivo del litorale in esame (Balduzzi *et al.*, 2014). Infine, recentemente Regione Liguria ha reso disponibile un'analisi della linea di riva dal 1944 al 2015 lungo tutto il Sito, realizzata mediante cartografia, rilievi sul campo e tecniche di remote sensing. Inoltre, sono disponibili rilievi topo-batimetrici, per singoli casi studio, che permettono di valutare l'evoluzione della morfologia di spiaggia.

## Conclusione

### Sintesi delle problematiche del sito

Nell'area prescelta, in virtù dei fattori geologici e antropici e del crescente richiamo turistico, l'erosione e la franosità rappresentano aspetti di particolare rilievo. Come evidenziato nei paragrafi precedenti, l'area pilota presenta numerose criticità e diffuse condizioni di rischio, che rendono il territorio costiero fragile e in disequilibrio. L'impatto antropico ha un ruolo determinante nelle dinamiche costiere dei litorali e in molti casi ne determina il degrado. La riduzione degli apporti sedimentari, causati dall'urbanizzazione delle aree costiere, ha come conseguenza l'aumento del deficit sedimentario; inoltre, la scarsa manutenzione o la cattiva realizzazione delle opere di difesa tendono ad accelerare i processi erosivi in atto. L'interazione tra la dinamica geomorfologica delle falesie in roccia e le strutture antropiche e le attività turistiche determina frequenti condizioni di rischio geomorfologico.

Il sistema di opere di mitigazione presente nell'area indagata è frutto di una progettazione frammentata e settoriale, basata su opere derivanti da scarsa progettazione a lungo termine e spesso realizzate per tamponare situazioni di emergenza. L'applicazione di una gestione integrata della costa potrebbe ridurre lo stato di criticità emerso. Mediante analisi delle criticità basate su studi condotti a scala di bacino che possano consentire la pianificazione di programmi di intervento pluriennali (e.g., piani di ripascimento o di ripristino/modifica delle opere di contenimento).



## **Rappresentatività transfrontaliera dell'area pilota**

L'eterogeneità morfologica e geologica della costa e dei bacini alimentatori, la presenza di importanti strutture antropiche (stabilimenti balneari, porti turistici e un importante porto commerciale), oltre che di zone dall'elevato valore culturale/naturalistico come il territorio del Parco Nazionale delle Cinque Terre e le aree dei Parchi Regionali di Portovenere e Montemarcello Magra, rendono l'area ottimale per la definizione di metodi integrati per l'analisi dell'erosione costiera e dei relativi rischi. In ottica di cooperazione, inoltre, l'area è strategica poiché ubicata in continuità con la costa della regione Toscana.

## **Bibliografia**

- AAVV, (2009) - Beach Monitoring Results from BEACHMED-e/ OpTIMAL Project. Nuova Grafica Fiorentina.
- Abbate, E. (1969) - Geologia delle Cinque Terre e dell'entroterra di Levante (Liguria orientale). Memorie della Società Geologica Italiana 8 (4): 923-1014.
- Abbate E., Fanucci F., Benvenuti M., Bruni P., Cipriani N., Falorni P., Fazzuoli M., Morelli D., Pandeli E., Papini M., Sagri M., Reale V. & Vannucchi P. (2005) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, Foglio 248, La Spezia. Regione Liguria-Dipartimento Ambiente Edilizia e Lavori Pubblici, Servizio Politiche dell'Assetto Territoriale, Genova.
- Balduzzi I., Cavallo C., Corradi N., & Ferrari M. (2014) - L'érosion des plages de poche de la Ligurie: le cas d'étude de Bonassola (La Spezia, Italia). *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 187-198. Diviaco, Giovanni, and Stefano Coppo. *Atlante degli habitat marini della Liguria*. Grafiche Amadeo, 2006.
- Brignone M., Schiaffino C. F., Isla F. I., & Ferrari M. (2012) - A system for beach video-monitoring: Beachkeeper plus. *Computers & Geosciences*, 49, 53-61.
- Cevasco A. (2007) - I fenomeni d'instabilità nell'evoluzione della costa alta delle Cinque Terre (Liguria Orientale). *Studi Costieri* 13: 93-109.
- De Stefanis A., Marini M., Terranova R., & De Luigi G. (1978) - I movimenti franosi di Guvano e Rodalbia nelle Cinque Terre e i loro riflessi sulla morfologia della costa ligure e sugli insediamenti. *Memorie della Società Geologica Italiana* 19: 161-167.
- Federici P.R., Baldacci F., Petresi A., & Serani, A. (2001) - *Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria - Provincia della Spezia*. CNR GNDICI, Regione Liguria, Università degli Studi di Pisa.
- Ferrari M., Ferri S., Pranzini E., Rosas V., & Schiaffino C. F. (2014) - Dinamica sedimentaria della spiaggia di Alassio e valutazione dell'idoneità dei sedimenti di cava per il suo ripascimento artificiale. *Studi costieri*, 22, 125-133.
- Fierro G., D'Alessandro L., & Landini B. (1999) - "Atlante delle spiagge italiane." CNR-MURST SELCA, Firenze.
- Fierro G., Berriolo G., & Ferrari M., (2015) - *Le spiagge della Liguria centro-orientale - analisi evolutiva*. Regione Liguria.
- Giammarino S. & Giglia G. (1990) - Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino Settentrionale. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 109: 683-692.
- Molinier R. & Picard J. (1952) - *Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français*. Masson.
- Raggi, G. (1985) - Geomorfologia, idrogeologia e geotecnica nell'area spezzina. *Memorie della Società Geologica Italiana* 30: 35-62.

Mucerino L., Carpi L., Besio G., Ferrari M. & Firpo M. (2016) - Coastal Vulnerability Assessment. Study case: Bonassola- La Spezia Italia. SGI - 7-9 September Napoli.

Perna M., Brandini C., Cipriani L., Grasso V., Mammi I., Pelliccia F., Pranzini E., Vitale G. (2017) - La percezione dell'impatto dell'erosione costiera da parte degli esercenti del litorale compreso tra la foce del F. Magra e Marina di Carrara. Studi costieri 2017 - 27: 17 - 32.

Raso E., Brandolini P., Faccini F., & Firpo, M. (2016) - The Guvano complex landslide in the Cinque Terre National Park, Italia: Geomorphological characterization, GNSS monitoring and risk management. Rock Mechanics and Rock Engineering: From the Past to the Future 2:1287-1292.

Terranova, R. (1987) - Escursione lungo la costa della Liguria Orientale. Atti della Riunione del Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia – Guida alle Escursioni- Quaderni dell'Istituto di Geologia dell'Università di Genova, Anno 8, n. 5: 105-232.

Schiaffino C. F., Dessy C., Corradi N., Fierro G., & Ferrari M. (2015) - Morphodynamics of a gravel beach by a detached low-crested breakwater. The case of Levanto (Eastern Ligurian Sea, Italia). Italian Journal of Engineering Geology an Environment 15(1): 31-39.

## Sito tra Bocca di Magra e Marina di Massa (Toscana, Italia)

### Presentazione del sito

#### Motivazione

Questo sito, di notevole estensione, è stato scelto con specifico riferimento alle attività T2.1 del progetto, e in particolare per testare le metodologie previste nel rapporto T2.1.1 relativo al rischio costiero a breve termine (rischi da mareggiate) e riguardante i rischi per la vita umana e l'ambiente naturale e costruito.

#### Ubicazione

Il sito pilota che va dalla foce del Fiume Magra a Marina di Massa (Fig.1) è posto sul litorale compreso fra Liguria e Toscana, per un tratto di circa 12 km, di cui più di 1 km occupato dalle strutture del porto di Marina di Carrara. A questo tratto appartengono le località di Fiumaretta di Ameglia, Marinella di Sarzana, Marina di Carrara e Marina di Massa, le prime due appartenenti alla Provincia di La Spezia, le altre alla Provincia di Massa Carrara.



Figura 1. La costa compresa fra la foce del Fiume Magra e Marina di Massa (immagine Google Earth).

## **Dinamica del litorale**

Il Fiume Magra, lungo 62 km e principale responsabile dell'alimentazione sedimentaria della parte settentrionale dell'unità fisiografica Punta Bianca – Livorno (Aiello et al., 1976; Pranzini, 2004) in cui ricade l'area di studio, sfocia nel margine nord-occidentale dell'area di studio, dove, proseguendo verso Nord-Ovest, inizia la costa rocciosa. Il suo trasporto sedimentario è stato stimato pari a 125.000 mc/anno per quanto riguarda il carico sospeso, e 8.900 mc/anno come trasporto di fondo (Rinaldi, 2005). Altri corsi d'acqua presenti nel tratto a nord del porto sono il Torrente Parmignola e la Fossa Maestra, entrambi però con un insignificante apporto sedimentario al litorale. Nella parte a sud sfociano il Torrente Carrione, il Fosso Lavello, il Ricortola, il Brugiano, il Frigido ed il Magliano, anch'essi con basso apporto.

Il trasporto litoraneo potenziale risultante è diretto verso sud, è stato stimato in circa 84.000 m<sup>3</sup>/anno (DEAM-UNIFI, 2007), ed è ipotizzabile, se non fosse per la presenza del porto di Marina di Carrara che intercetta parte di questo flusso sedimentario, che tutto il tratto sarebbe in erosione, come lo era prima della costruzione dei primi moli.

I dati più recenti riguardo l'evoluzione della linea di riva sono relativi al 2017 (Regione Toscana, LaMMA), e riportano per il tratto settentrionale un avanzamento medio della spiaggia di 7,2 m rispetto al 2005, con un tasso medio annuo di 0,6 m/anno, ovviamente non uniforme. Dal 1984 al 2005 una parte del litorale aveva raggiunto un precario equilibrio (+0,1 m/anno). La realizzazione di numerosi interventi di difesa e di riequilibrio costiero ha contribuito a questo equilibrio. Questi interventi hanno riguardato piattaforme isola, pennelli, scogliere parallele e ripascimenti artificiali effettuati in più fasi, con sedimenti provenienti da cave terrestri, dal bacino del Po e dal dragaggio dell'asta terminale del Magra, fino a raggiungere un volume di circa 120.000 mc

A sud del porto vi è stato fra il 2005 ed il 2017 un arretramento medio di circa 2 m, con tasso annuale inferiore a 20 cm/anno.

## **Conoscenze disponibili**

### **Geomorfologia e sedimentologia**

La spiaggia di Marina di Carrara è stata recentemente studiata nell'ambito del progetto CAMP (2016) in quanto sito pilota della Regione Toscana, tramite attività di monitoraggio svolte dal Consorzio LaMMA con la collaborazione scientifica dell'Università di Firenze. Negli anni precedenti la stessa Università di Firenze (Dipartimento di Scienze della Terra) aveva svolto diversi studi sia sulla spiaggia di Marina di Carrara che di Marina di Massa per conto dell'Autorità di Bacino del Fiume Magra, del Comune di Carrara, del Comune di Massa, dell'Autorità Portuale di Marina di

Carrara, e della Provincia di Massa-Carrara, mentre sono a disposizione dati sulla linea di riva estratti tramite fotointerpretazione dagli anni '30 agli anni '80 (UniFi/Regione Toscana, 1989). Negli anni '90 – 2000 sono stati svolti studi, che spesso comprendevano sia lo studio morfologico che sedimentologico, per conto del Genio civile Opere Marittime e per l'Autorità di Bacino del Magra.

**Tabella 1 – Conoscenze disponibili per l'area tra Bocca di Magra e Marina di Massa.**

Argomento	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte
Evol. Linea riva	Linea riva	Fotointerpretazione	Da anni '30 a anni '80	UniFi/RT
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Massa)	Rilievo e campionamento diretto	1996-1997	UniFi
Province petrografiche	Petrografia sedimenti	Analisi modali	1976	Gandolfi e Paganelli
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo batimetrico, dati sedimentologici (Carrara)	Rilievo e campionamento diretto	1998 - 1999	Genio Civile Opere Marittime
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Massa)	Rilievo e campionamento diretto	1999-2005	UniFi/Comune di Massa
Evoluzione ripascimento	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici	Rilievo e campionamento diretto	2008	Ferri et al., 2008
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Carrara)	Rilievo e campionamento diretto	2000-2004	UniFi/Aut.Bacino Magra
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Massa)	Rilievo e campionamento diretto	2004-2016	UniFi/Provincia di Massa-Carrara
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Carrara)	Rilievo e campionamento diretto	2005 - 2009	Aut.Port.Carrara
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Carrara)	Rilievo e campionamento diretto	2006 - 2015	UniFi/Comune di Carrara
Evol.riva e fondali, sedimentologia	Linea riva, rilievo topobatimetrico, dati sedimentologici (Carrara)	Rilievo e campionamento diretto	2016	LaMMA
Evol. Linea riva	Linea riva	Fotointerpretazione	2017	LaMMA

## Ondametria e correntometria

I dati meteomarini disponibili per la zona derivano da:

- modelli di calcolo validati (tra cui quelli del Consorzio LaMMA)
- misure di moto ondoso (boe)

Riguardo a questi ultimi dati, le serie temporali più lunghe di dati misurati, in prossimità del sito, sono state raccolte tramite la boa di La Spezia (posta a Sud dell'Isola di Palmaria), che è stata operativa per molti anni (dal 1989) ma che recentemente non è più funzionante. Nel periodo 1989-2001 è stata utilizzata una boa direzionale Wavec mentre a partire dal 2004 si è iniziato ad usare

boe di tipo TriaxisTM. I dati sono disponibili a partire dal portale della Rete Ondametrica nazionale (RON) gestito da ISPRA.

Dal 2008 è inoltre attiva la boa ondametrica di Gorgona, una boa direzionale di tipo Datawell buoy, installata dal Centro Funzionale – Servizio Idrologico della Regione Toscana (CFR - RT) e gestita dalla Regione.

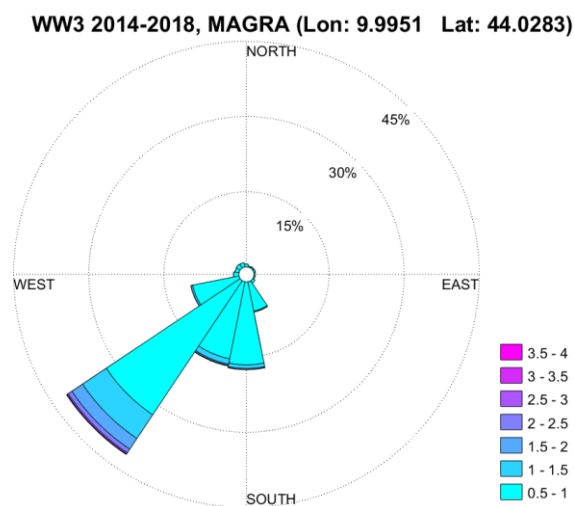
Non esistono osservazioni a scala costiera, lungo il litorale in esame. L'ondametro costiero più vicino si trova presso il Gombo – San Rossore, ed è distante circa 40 km a Sud dall'area in esame. Tuttavia questi dati possono comunque essere usati ai fini della validazione/calibrazione dei modelli di calcolo, nella trasposizione del clima da largo a sotto costa, e per la valutazione dell'incertezza inevitabilmente presente nei modelli.

## Stato della conoscenza

### Rischio costiero

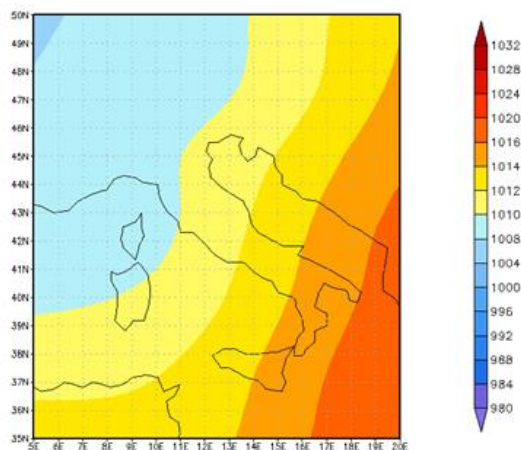
#### Conoscenze meteorologiche e meteomarine

Nell'area in esame, per la sua tipica esposizione, gli eventi importanti si originano in genere con un flusso superficiale di corrente da Sud e Sud-Ovest (Libeccio), spesso associati ad un flusso umido sull'Europa occidentale da Nord-Ovest, di origine atlantica. A questi eventi si accompagnano le mareggiate più intense (Fig. 2).



**Figura 2. Rappresentazione del clima meteomarino caratteristico dell'area in esame (dati estratti dal modello WW3-LaMMA)**

Il Consorzio LaMMa ha svolto una classificazione dei tipi di tempo in Italia, suddivisi in 9 tipi, ognuno corrispondente a specifiche caratteristiche dell'atmosfera, seguendo le indicazioni del progetto europeo COST Action 733, riguardanti la scelta dei metodi di classificazione e i loro legami con le variabili climatiche di superficie.



**Figura 3. Struttura caratteristica del tipo di tempo associato al Libeccio (tipo di tempo 4)**

Da questa classificazione emerge che:

- 1) il tipo di tempo associato statisticamente ai flussi atlantici e al Libeccio sulle coste del Mediterraneo Nord-Occidentale (Fig. 3) è generalmente caratterizzato anche da un blocco anticiclonico sulla penisola balcanica;
- 2) le forti mareggiate sulle coste Liguri e Toscane possono essere associate ad eventi alluvionali anche molto intensi. Le mareggiate più intense, possono causare un notevole incremento del livello del mare in prossimità della costa che può ostacolare il normale deflusso delle acque. La combinazione di questi due fattori pertanto è un fattore di rischio per l'alluvionamento costiero non solo legato alle mareggiate, ma anche alle aree in prossimità delle foci fluviali.

### Inondazione costiera

Nel litorale tra la foce del Magra e Marina di Massa non sono presenti cordoni dunari a protezione dell'area retrostante la spiaggia, che è invece contraddistinta spesso da strutture di stabilimenti balneari a ridosso della strada litoranea, ad un'elevazione prossima a quella del livello del mare, favorendo l'alluvionamento in caso di eventi meteomarini eccezionali.

Tale assenza di protezione deve essere di particolare attenzione laddove la spiaggia non è sufficientemente ampia per assorbire le mareggiate maggiori, come accadde negli anni passati in corrispondenza di Marinella di Sarzana. Come precedentemente descritto, l'innalzamento del

livello del mare, e di conseguenza del livello idrico alla foce dei fiumi, in concomitanza con mareggiate di una certa entità, può rappresentare una importante concausa all'esondazione dei corsi d'acqua in seguito alle forti precipitazioni. L'area di studio è da sempre soggetta a fenomeni di alluvionamento tra i quali, in anni recenti, si ricordano quelli causati dall'esondazione nel 2014 del Torrente di Carrione, che sfocia appena a sud del porto di Carrara, e del fiume Magra nel 2011.

### Rip-current e opere rigide

Se da un lato le opere rigide hanno costituito una difesa dall'erosione costiera, dall'altro esse hanno determinato un notevole irrigidimento della costa, aggiungendo elementi di pericolosità.

Ad esempio la formazione di *rip-currents*, che possono comunemente originarsi anche presso le spiagge libere da opere, è favorita in presenza di celle formate da sequenze di pennelli ortogonali a costa. Similmente, i varchi tra una scogliera parallela e la successiva possono essere luoghi di origine di flussi *cross-shore*. Questi possono essere estremamente pericolosi per i bagnanti, che vengono trasportati rapidamente in punti in cui diventa molto difficile rientrare verso la spiaggia in quanto bisognerebbe nuotare contro-corrente. Celle litoranee artificiali sono presenti nell'area di studio sia a Marinella di Sarzana che a Marina di Massa.

Le opere di difesa rigide possono rappresentare un pericolo anche perché i bagnanti, tuffandosi dalle stesse o semplicemente nuotando, possono urtarvici; ovviamente la probabilità che ciò accada è maggiore nel caso di mareggiate, anche di lieve entità, che provochino un'energia sufficiente a spostare delle persone in acqua. In tutta l'area di studio sono presenti opere sia parallele che perpendicolari, sia emerse che sommerse.

### Piani di prevenzione

Dal punto di vista del rischio erosione, diversi progetti di riequilibrio del litorale si sono alternati sull'intero tratto costiero dell'area di studio, a partire dagli anni '30 quando fu costruita la prima scogliera parallela (in realtà leggermente ruotata verso ovest) che doveva difendere la costa nel punto in cui la strada proveniente da Sarzana giungeva sulla costa per poi dirigersi a sud (Progetto CAMP, 2016). Dagli anni '40 in poi iniziano a proliferare gli interventi sia di tipo morbido (ripascimenti artificiali) che strutture rigide di varia natura (piattaforme isola, pennelli, scogliere parallele).

Attualmente, sono presenti 31 strutture nel tratto a nord del porto, quasi tutte nel tratto ligure dell'area, e 50 nel tratto meridionale fino al fosso Magliano. A queste vanno aggiunte le strutture del Porto di Carrara.

Per quanto riguarda il rischio da mareggiata, la Regione Toscana emette un bollettino specifico di allerta che comprende anche il rischio da mareggiata intensa.



L'allerta da mareggiata è attribuita su territori corrispondenti ad "aree idrologiche omogenee" (in questo caso i territori in esame sono compresi all'interno della zona denominata "Versilia"). All'interno del sito pilota si proporrà una valutazione del rischio da mareggiata, a partire dalla suddivisione del litorale in aree più piccole, rappresentative dell'effettiva incidenza del moto ondoso e delle sue principali conseguenze sulla vita umana e l'ambiente naturale e costruito (setup da vento, da mareggiata).

### Attività, assets

Nel sito verrà sviluppata una attività di modellistica per la caratterizzazione del rischio costiero da eventi di mareggiata, a partire dall'utilizzo dei modelli operativi esistenti di previsione delle onde, meteorologici e di circolazione idrodinamica. Modelli previsionali specifici, ad alta risoluzione, per la valutazione dell'impatto delle onde lungo la costa e la circolazione idrodinamica a scala litoranea saranno implementati nell'area in esame, sia in un'ottica di intercomparazione di metodi e modelli per la valutazione del rischio, sia per valutarne l'efficacia in termini operativi. I modelli saranno confrontati con tutti i dati meteomarini a disposizione e, ove possibile, con dati di webcam costiere per la stima degli effetti legati alle onde e all'innalzamento del livello del mare lungo la costa.

## **Conclusioni**

### **Riassunto della problematica del sito**

Si tratta di un litorale che ha da tempo avuto bisogno di interventi di mitigazione dell'erosione costiera di vario tipo, con risultati anche apprezzabili. L'ambiente è fortemente antropizzato, vista la presenza del porto di Marina di Carrara, e l'assenza di cordoni dunari come risorsa di sedimenti per la spiaggia e protezione dell'area retrostante, laddove si ritrovano invece le strutture degli stabilimenti balneari e le strade litoranee.

Il sito risulta inoltre interessato da eventi di mareggiata innescata da venti intensi prevalenti di libeccio, spesso associati anche ad eventi alluvionali intensi. Tali eventi si sono ripetuti durante le scorse stagioni, con rischi per le strutture e le persone.

### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

L'area transfrontaliera è caratterizzata da vari siti di interesse economico e sociale legati alla presenza di strutture portuali (Genova, Tolone, Livorno ecc.) con caratteri ben rappresentati dal presente sito. L'area coniuga aspetti economici e commerciali, e aspetti turistici legati alla presenza di spiagge attrezzate, protette da opere di difesa costiera.

## Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M. e Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.

Chiabrera G., Corradi N. e Fierro G. (1981) - Le barre della spiaggia sottomarina del litorale toscano (classificazione morfogenetica su base aereofotogrammetrica e rilievi batimetrici) - Atti dell'Accademia Ligure di Scienze e Lettere XXXVII, 17 pp.

Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E. (2001). Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale. Studi costieri – 2001 – 4: 119-156.

Cipriani L.E., Pranzini E. and Vitale G. (2013). Coastal erosion in Tuscany: short vs. medium term evolution. In: L.E. Cipriani (Editor), Coastal erosion monitoring. A network of regional observatories – Results from RESMAR Project. Nuova Grafica Fiorentina, p. 135-155.

Cortemiglia G.C. (1977) – Caratteri generali della situazione evolutiva del litorale di Marina di Massa in riferimento ad eventuali provvedimenti ed interventi di salvaguardia e di stabilizzazione. Atti Convegno di studi per il riequilibrio della costa fra il F. Magra e Marina di Massa. Comune di Massa, 21-29. SP 1509.

De Angeli, S., D'Andrea, M., Cazzola, G., Dolia, D., Duo, E., Reborà, N. (2018). Coastal Risk Assessment Framework: Comparison of modelled fluvial and marine inundation impacts, Bocca di Magra, Ligurian coast, Italy, Coastal Engineering, Vol. 134, pp. 229-240.

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, DEAM (2007) - Stima delle profondità di chiusura lungo le coste toscane, pp. 138.

Ferri S., Pelliccia F., Pranzini E., Rizzo M. e Vitale G. (2008) - Prima risposta della spiaggia di Marina di Carrara ad un ripascimento artificiale non protetto. Studi costieri, 15: 3-20.

Gandolfi G., Paganelli L. (1976) - Il litorale pisano-versiliese (Area Campione Alto Tirreno). Composizione provenienza e dispersione delle sabbie. – Bollettino Società Geologica Italiana, n. 94, 1273-1295.

ISPRA (Rete Ondametrica Nazionale): <http://dati.isprambiente.it/dataset/ron-rete-ondametrica-nazionale/>

Perna M., Brandini C., Cipriani L.E., Grasso V., Mammi I., Pelliccia F., Pranzini E. e Vitale G. (2017). Quanto conta la spiaggia? La percezione degli impatti dell'erosione costiera da parte degli esercenti del litorale apuano, compreso tra la foce del Fiume Magra e Marina di Carrara. Studi Costieri 2017.

Pranzini E. (2004) - Caratteristiche morfologiche e sedimentologiche di una zona di convergenza del trasporto litoraneo (Versilia, Toscana). Studi costieri, 8: 135-149.

Regione Toscana, LaMMA (2016) - Progetto CAMP – Italy. Final report.

Regione Toscana, LaMMA (2017) - Monitoraggio a scala regionale dell'evoluzione della linea di riva da remoto.

Regione Toscana, LaMMA, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze (2016) - Progetto CAMP – Italy Elaborazione e interpretazione dei dati morfologici e sedimentologici finalizzati alla stima del bilancio sedimentario dei tratti di litorale oggetto delle azioni individuali del progetto CAMP-Italia. Rapporto di Progresso n° 2.

Rinaldi M. (2005) - Studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità. Autorità di Bacino del Fiume Magra. Rel. Inedita, pp. 26.



Vallorani, R. , Bartolini, G. , Betti, G. , Crisci, A. , Gozzini, B. , Grifoni, D. , Iannuccilli, M. , Messeri, A. , Messeri, G. , Morabito, M. and Maracchi, G. (2018) - Circulation type classifications for temperature and precipitation stratification in Italy. *Int. J. Climatol*, 38: 915-931. doi:[10.1002/joc.5219](https://doi.org/10.1002/joc.5219)

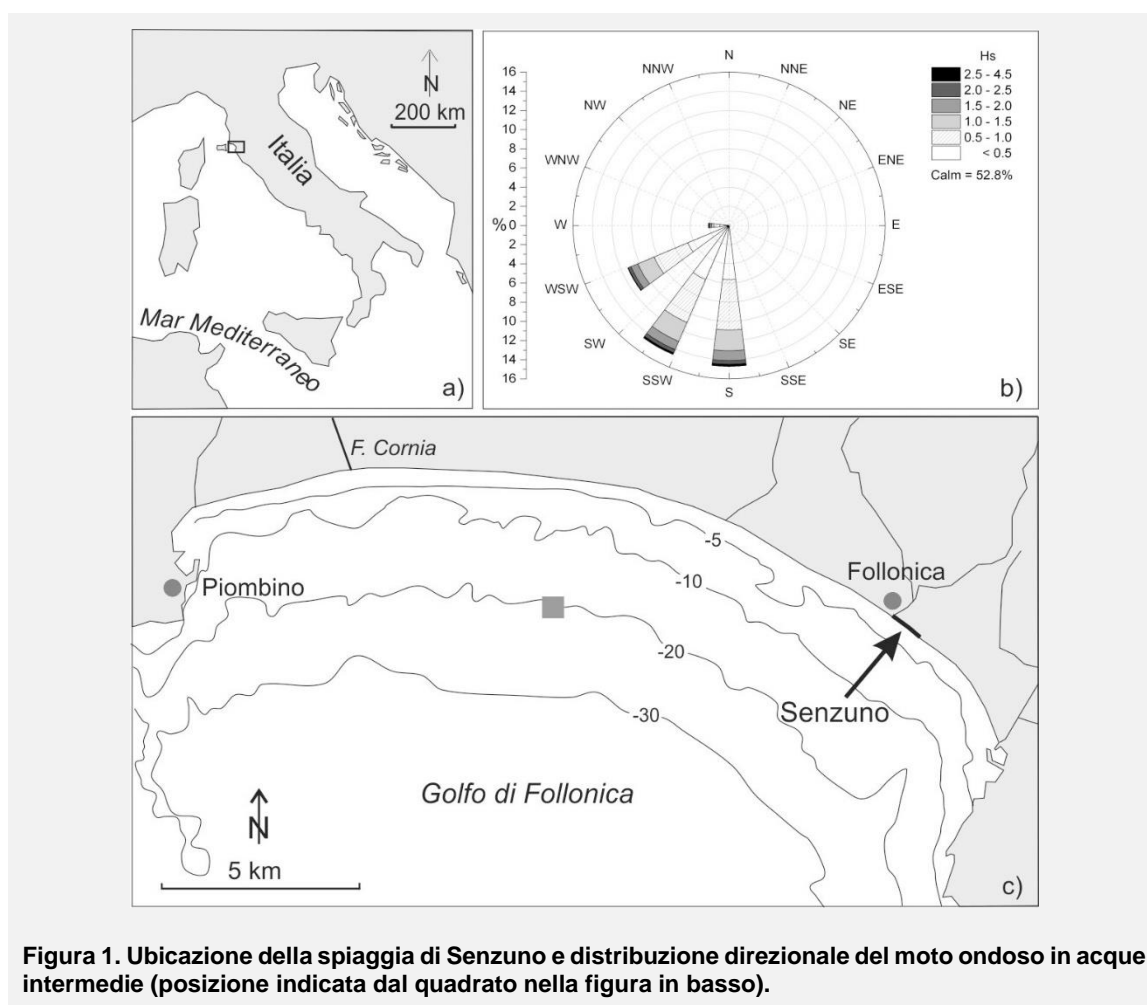


## Sito di Senzuno (Toscana, Italia)

### Presentazione del sito

#### Ubicazione

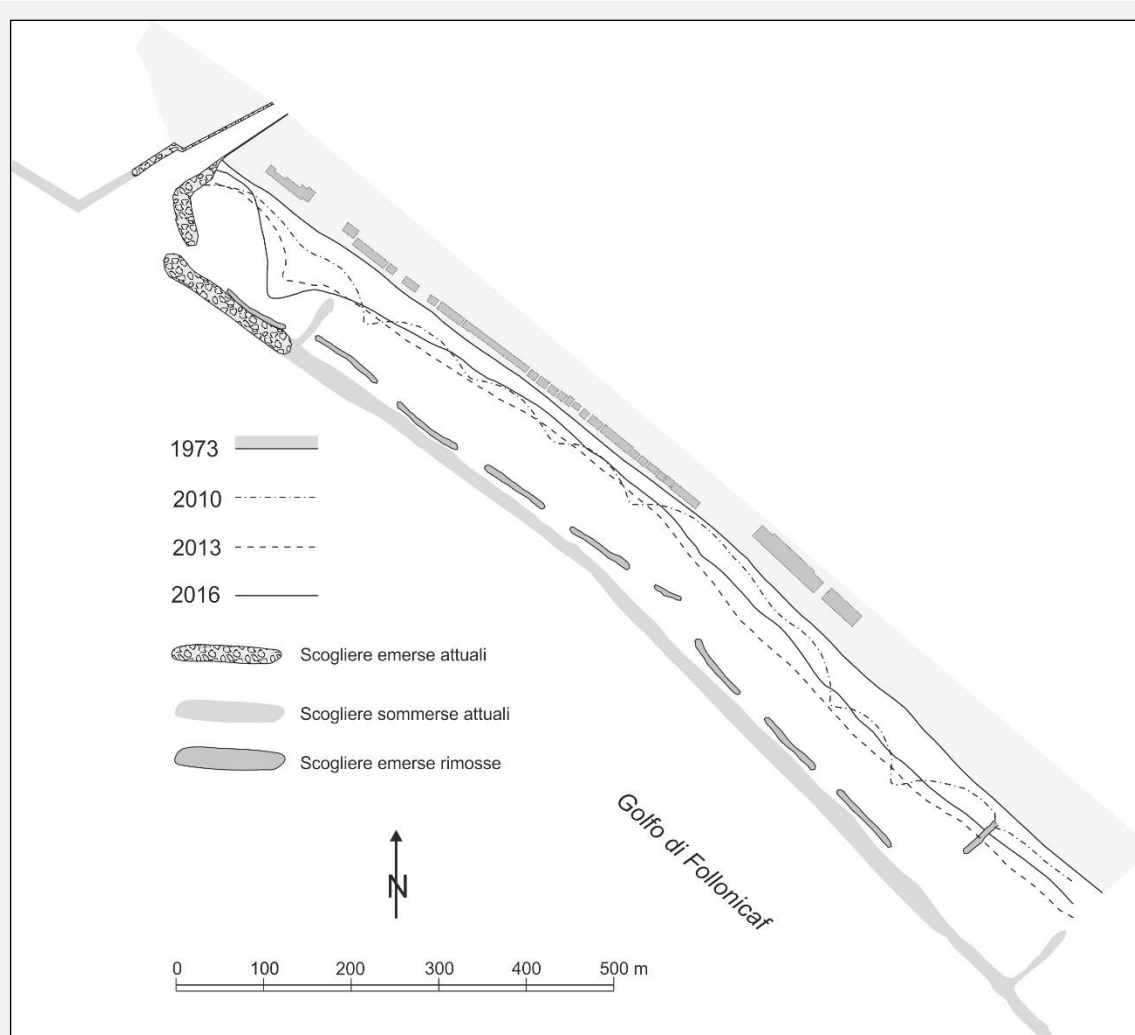
Il Sito di Senzuno (Figura 1) è posto sul lato orientale del Golfo di Follonica, nella Provincia di Grosseto e si estende per un tratto lungo circa 4 km.



#### Caratteristiche fisiografiche /ecosistemiche

Il litorale del Golfo di Follonica nel Mar Tirreno è protetto al largo dal promontorio di Piombino, l'Isola d'Elba a nord-ovest e dalla Corsica e dalla Sardegna a ovest. Il sito si trova vicino al bordo orientale del golfo, dove la tendenza del litorale è nord-ovest/sud-est (Figura 1c). I dati di moto ondoso a 20 m di profondità indicano che il potenziale per il trasporto di sedimenti in è simile in entrambe le direzioni lungo la costa. Le onde nel Golfo di Follonica sono limitate a causa della terra vicina e della batimetria poco profonda. Le altezze d'onda superano 2,0 m 1,7% del tempo e

superano 0,5 m il 47,2% dei casi. La marea, interpolata dai valori di Livorno e Civitavecchia (IIM 2003), è di 0,37 m. Campioni di sedimenti in spiaggia raccolti nel maggio 2007 (Ferri, 2008) indicano la presenza di sabbie medie e fini, fino alla profondità di 3 m. Il tratto interessato dal Progetto ha visto recentemente la modifica delle strutture di difesa costiera (Figura 2)



**Figura 2. Il progetto di modifica delle opere di difesa ed evoluzione della linea di riva.**

#### Conoscenze disponibili

La spiaggia di Follonica è stata studiata già nell'ambito del Programma CNR Regime e dinamica dei litorali (Bartolini *et al.*, 1976a,b, 1986) ed è stata successivamente oggetto di ricerche promosse dalla Regione Toscana (Pranzini, 2001) e dalla Provincia di Grosseto (Pranzini, 2009).

Si hanno poi lavori prodotti nell'ambito di ricerche dell'Università di Firenze (es. Aminti *et al.*, 2002; Cipriani *et al.*, 2011; Pranzini *et al.*, 2018).

La recente riconfigurazione delle opere di difesa, progettata dalla Provincia di Grosseto, si è avvalsa della modellistica numerica fatta da Sintesis (2015).

**Tabella 2. Conoscenze disponibili per il sito di San Vincenzo I riferimenti bibliografici completi sono posti alla fine del capitolo.**

Thème	Données	Nature des données	Période	Source	Bibliographie
Evol. Linea riva,		Restituzione linee di riva,	Anni '70		Bartolini et al (1976)
Geomorfologia		Indagini geomorfologiche e sedimentologiche	Anni '80		
Province petrografiche		Indagini petrografiche			Gandolfi e Paganelli (1975, 1976, 1979)
Opere di difesa					. Aminti <i>et al.</i> , 2002
Geomorfologia		Telerilevamento	Anni '80		
Trasporto sedimentario		Modellistica numerica	Anni 2000		DEAM (2007)
Geomorfologia		Morfologia, Petrografia, ecc.			TEI/Regione Toscana
Evol. Linea di Riva	Linee riva 1954, 1976, 1981, 1984	Carta topografica	1938-1984		Regione Toscana (1989)
Petrografia		Analisi petrografiche			Regione Toscana
		Progetto del porto			
Gestione		Linee di riva e opere di difesa			Cipriani et al, 2011
		Modellistica numerica			Sintesis, 2005
Erosione/difesa		Evoluzione linea di riva e dei fondali			Pranzini <i>et al.</i> (2018)

## Stato della conoscenza

### Rischio costiero

#### Evoluzione della linea di riva

La spiaggia è stata minacciata da un'erosione moderata ma continua dall'inizio del XX secolo a causa della deviazione dei fiumi che alimentano questo litorale effettuata nel XIX secolo per bonificare le lagune costiere (Bartolini *et al.*, 1977). La costruzione di strutture di protezione della costa (per lo più scogliere parallele e pennelli) iniziò nel Golfo di Follonica negli anni '60, spesso incrementando l'erosione sulle spiagge adiacenti non protette. Le scogliere parallele di Senzuno furono costruite tra il 1983 e il 1987. Le otto strutture originali erano ciascuna di circa 60 m di lunghezza con varchi di 60 m. Il frangiflutti 6 (Figura 2) era più corto e più basso ed proseguiva verso terra con un pennello di poco emergente. Questo fu demolito nel 1991; una nona scogliera venne costruita nel 2007.

Le scogliere originarie vennero estese per restringere i varchi a 35 m, ottenendo la configurazione illustrata nella figura 2. I frangiflutti originali sono stati realizzati costruendo una struttura emersa

lunga e continua per facilitare il trasporto dei massi da parte dei veicoli, seguita dalla rimozione di alcuni di questi massi per creare i varchi. Alcuni massi vennero lasciati negli spazi vuoti per fornire una soglia a circa -1,8 m di profondità per limitare la corrente che scorre tra le scogliere.

Le spiagge aperte verso i varchi erano strette e relativamente ripide; mentre quelle riparate dalle scogliere erano più larghe e con minore pendenza (Figura 3). Si poneva quindi la necessità di restituire un'ampiezza ragionevole alle spiagge più strette e formare un litorale più naturale ma con una protezione maggiore di quella fornita da una spiaggia naturale. I frangiflutti segmentati sono stati riconfigurati in una struttura sommersa continua con una cresta a -0,5 m s.l.m.

Questa sommergenza fu scelta a seguito del successo registrato da una struttura analoga realizzata (attraverso simili modifiche) nella porzione più intensamente sviluppata di Follonica ad ovest di Senzuno (Figura 1c). L'erosione verso terra della spiaggia era prevista, con un volume stimato di 7.000 m<sup>3</sup> ogni 5 anni (Sintesis, 2005).



**Figura 3. La spiaggia di Senzuno prima (a sinistra) e dopo (a destra) l'abbassamento delle scogliere**

I massi delle vecchie scogliere emerse sono stati utilizzati per creare la struttura sommersa. Le cinque dighe più occidentali sono state spostate da settembre 2011 a maggio 2012. Il tratto occidentale delle scogliere (Figura 2) è stato innalzato sopra il l.m.m. per fornire una maggiore protezione a una zona di ormeggio delle barche.

Le quattro scogliere a sud-est sono state rimosse da settembre 2012 a maggio 2013. L'interruzione del progetto era dovuta alla necessità di sospendere il lavoro durante la stagione turistica. La nuova scogliera è posta circa 20 m più al largo della precedente, ma le distanze nei singoli punti non sono uguali a causa del nuovo allineamento (Figura 2). Circa 10.000 m<sup>3</sup> di sabbia fine sono stati dragati poco al largo delle nuove scogliere e distribuiti sulla spiaggia emersa o nella parte nord-occidentale del tratto. La spiaggia emersa è stata poi rielaborata dai bulldozer per livellare parzialmente la costa. Della sabbia è stata prelevata da terra dietro la scogliera n. 9 e collocata verso terra della scogliera n. 6.

L'intervento non è stato seguito da un monitoraggio specifico, ma alcune misure fatte dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze hanno portato ad una prima valutazione della risposta della spiaggia.

Il litorale, prima della costruzione dei primi frangiflutti (1973), era relativamente dritto (Figura 2), ma dopo la costruzione delle strutture parallele (2005) si è modificato con l'ampliamento di circa 24 m e la formazione di salienti in corrispondenza delle singole scogliere.

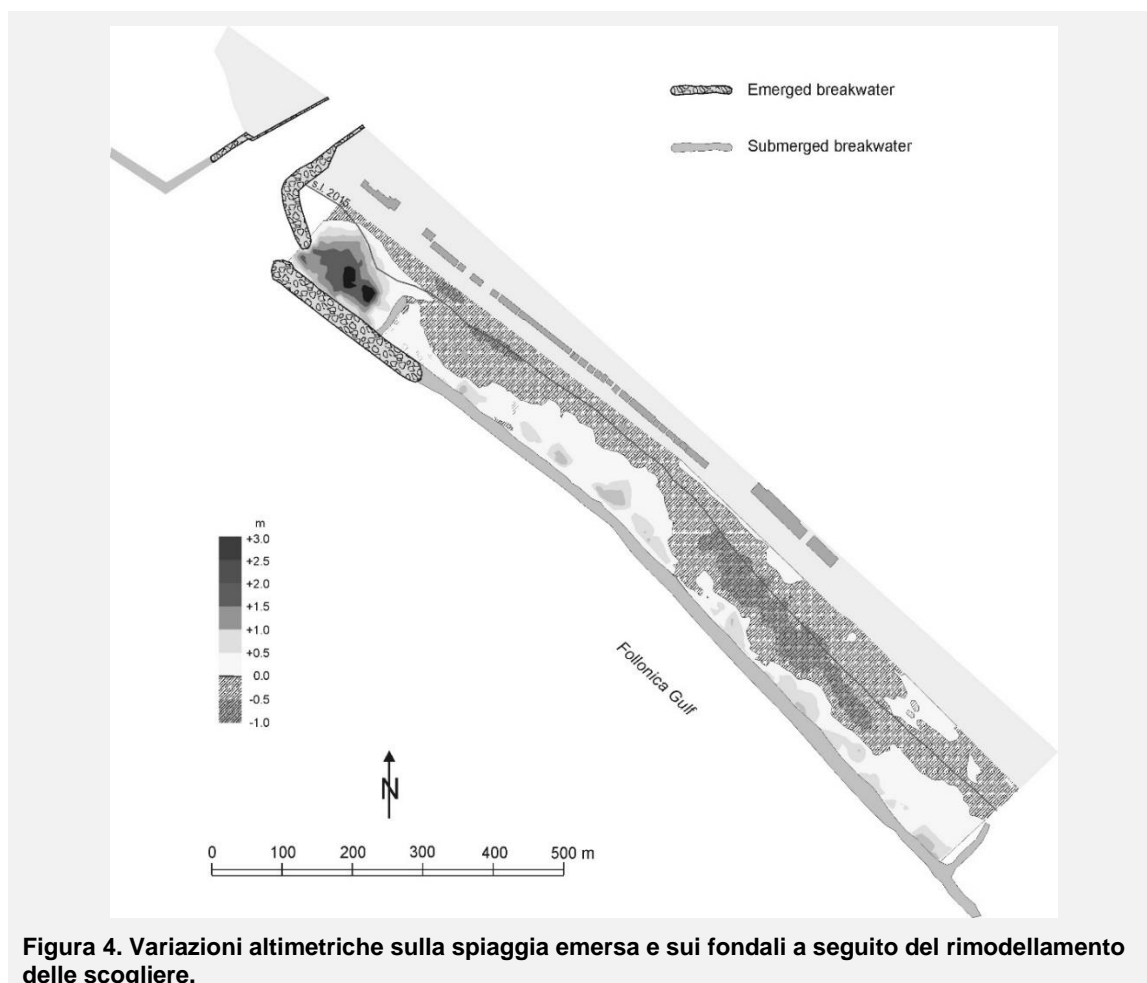


Gran parte del sedimento che causa accrescimento dopo il 1973 potrebbe essere entrato dalla spiaggia a nord-ovest di Senzuno prima dell'estensione dei moli guardiani del canale di drenaggio, costruiti nel 1996/1997 e allungati nel 2005.

Le indagini fatte dopo la modifica alle strutture nel 2013 e nel 2016 rivelano che i salienti si sono smussati, tranne che a terra della porzione di scogliera che era rialzata per proteggere il punto di ormeggio, dove si ha una intensa sedimentazione (Figura 2).

Alcuni riallineamenti del litorale potrebbero essere attribuiti alla rielaborazione effettuata dai bulldozer. L'area della spiaggia emersa è aumentata entro il 2013 (Tabella 1), mentre tra il 2013 e il 2016 la linea di riva è arretrata in media di 12,9 m (~4,3 m-/anno) lungo l'intero segmento.

Indagini batimetriche effettuate nel 2015, due anni dopo l'ultimo l'abbassamento delle ultime difese (Figura 4), rivelano una rettificazione delle isobate vicino a costa e la presenza di una depressione verso terra della nuova struttura.



**Figura 4. Variazioni altimetriche sulla spiaggia emersa e sui fondali a seguito del rimodellamento delle scogliere.**

Il trogolo che scorre approssimativamente lungo la linea delle antiche dighe frangiflutti e essere causato dalla rimozione degli scogli. La depressione continua attraverso i precedenti varchi.

Cambiamenti verticali verso terra della nuova barriera sommersa dal 2013-2015 (Figura 4) rivelano l'erosione nelle posizioni dei precedenti salienti. La variazione netta del volume verso terra della porzione sommersa era +7671 m<sup>3</sup>.

La costruzione di pennelli alle estremità del sistema di scogliere può avere limitato la perdita di sedimenti, ma queste strutture non sono collegate a riva, permettendo un certo flusso longshore. L'ampia (20 m) cresta della nuova soffolta contribuisce all'attenuazione delle onde, riducendo la possibilità di formazione di uno solco a tergo; si è notato anche il riempimento del canale derivante dalla rimozione della struttura precedente.

Interviste effettuate ai tradizionali frequentatori di questa spiaggia e ai gestori degli stabilimenti balneari indicano che l'intervento ha avuto una valutazione positiva, in particolare per l'uniformità conferita al litorale e la scomparsa di opere impattanti sul paesaggio.

#### Inondazione costiera

La presenza di un cordone dunare ben sviluppato impedisce l'inondazione da mare dei terreni retrostanti, se non in corrispondenza della parte più meridionale del tratto studiato, che corrisponde alla zona di foce del Fiume Pecora, al cui interno si stende il Padule di Scarlino.

#### Piani di prevenzione

Con il documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera è stato programmato l'intervento 2016-DC-11 "Ripascimento dell'arenile di Scarlino". Si tratta di elaborare un progetto preliminare per il quale saranno importanti i risultati dei rilievi e monitoraggi previsti dal Progetto Maregot.

#### **Attività, assets**

Monitoraggio dell'evoluzione morfologica indotta dalla modifica delle opere di difesa.

## **Conclusioni**

#### **Riassunto della problematica del sito**

Il tratto prospiciente il centro abitato di Follonica è caratterizzato dalla presenza di numerose opere di difesa di tipo rigido. Gli interventi si sono succeduti nel tempo, in quanto le prime opere realizzate hanno indotto un relativo avanzamento della linea di riva, a discapito delle aree adiacenti che sono andate in erosione e per le quali è risultato necessario realizzare ulteriori opere. Gli studi geomorfologici e sedimentologici condotti dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze per conto della Regione Toscana hanno messo in evidenza che l'evoluzione morfologica delle spiagge del Golfo di Follonica è la diretta conseguenza delle opere costruite, con evidente deposizione nelle zone protette ed erosione nelle zone adiacenti non protette.

#### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

La trasformazione di opere emerse in opere sommerse va a tutto vantaggio delle caratteristiche ambientali e paesaggistiche dei litorali. La possibilità di effettuare tale trasformazione senza ripercussioni sull'efficacia delle opere ai fini della difesa dei litorali sta interessando numerosi enti

territoriali, anche nell'area transfrontaliera e dati relativi a questa attività sono essenziali per definire piani d'intervento e progetti attuativi.

## Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Conedera C., Pranzini E. (1979) - L'erosione del litorale livornese e le sue cause. Amm. Prov.le Livorno. 42 pp.

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M., Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.

Aminti P., Cipriani L.E., Pranzini E. (2002) - Beach erosion control along the Golfo di Follonica (Suthern Tuscany): actual hard protections vs. potential soft solutions. Littoral 2002, 6th Int. Symp., Porto, Portogallo. Pp.355-363.

Bartolini C., Caputo C., Cavazza S., Ceffa L., Celestre P., Cortemiglia G.C., Fanucci F., Fierro G., Gandolfi G., Gnaccolini M., Imperiale G., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Marone V., Mordenti A., Montano F., Nardi M., Paganelli L., Paoletti A., Piacentino G.B., Piccazzo M., Pranzini E., Versino L. (1976) - Area campione Alto Tirreno. Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali. Rapporto 1974. La Ricerca scientifica, 92: 61-126.

Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Gandolfi G., L., Pranzini E., Pugliese F. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 128 "Grosseto". C.N.R.- S.EL.CA., Firenze.

Bartolini C., Cavazza S., Gandolfi G., Mazzanti R., Miano V., Paganelli L., Palla B., Pranzini E. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 111-112 "Livorno e Volterra". C.N.R.- S.El.Ca., Firenze.

Bartolini C., Evangelista S., Gandolfi G., La Monica G.B., Landini B., Paganelli L., Pranzini E., Pugliese F. e (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 127 "Piombino". C.N.R.- S.EL.CA., Firenze.

Bartolini, C., Pranzini, E., Lupia Palmieri, L., Caputo C., 1977. Studi di geomorfologia costiera: IV - L'erosione del Golfo di Follonica. Boll. Soc. Geol. It., 96: 87-116.

Carli S., Iandelli N., Pranzini E., Salvatori R. (2008) - L'utilizzazione di immagini telerilevate ad alta risoluzione per lo studio dell'erosione costiera: estrazione della linea d'acqua e valutazione della sua accuratezza. Studi costieri, 14: 43-54.

Cipriani, L.E., Ferri, S., Lami, G., Pranzini, E. (2011) - Human Impact on Shoreline Evolution Along the Follonica Gulf (Southern Tuscany): How Tourism May Kill the Goose That Lays the Golden Egg. In: Micallef, A. (ed.), *MCRR3-2010 Conference Proceedings*, Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 61, pp. 290 - 294. Grosseto, Tuscany, Italia, ISSN 0749-0208.

De Filippi G.L., Duchini E., Pranzini E. (2008) - Closure Depth estimation along the Tuscan coast aimed at short and long term coastal monitoring. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 33-50

Ferri, S., 2008. Risposta granulometrica della spiaggia in seguito alla costruzione di opera a mare. Unpublished Ph.D. Dissertation.

Gandolfi G., Mordenti A., Paganelli L. (1976) – Composizione provenienza e dispersione delle sabbie. – In: Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali, Area campione Alto Tirreno. Rapporto 1974, Quaderni Ricerca Scientifica, n. 92, 112-115.

Gandolfi G., Paganelli L. (1979) - Le province petrografiche del litorale toscano – Bollettino Società Geologica Italiana, n. 96, 653-663.

Landelli N., Pranzini E. (2008) - Waterline extraction from Ikonos images addressed at beach erosion monitoring. . In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 51-60.

Pranzini E. (2009). Monitoraggio del litorale di Follonica: Maggio 2007 – Novembre 2008. Rel. Inedita, Provincia di Grosseto.

Pranzini E., Simonetti D. (2008) - Beach evolution monitoring: Surface Variation Analysis vs. Transept Based Analysis. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 25-31.

Pranzini, E, Jackson, N.L., Lami, G., Nordstrom, K.F., Rossi, L. (2018). Reshaping beach morphology by modifying offshore breakwaters. *Ocean and Coastal Management*, 154: 168-177.

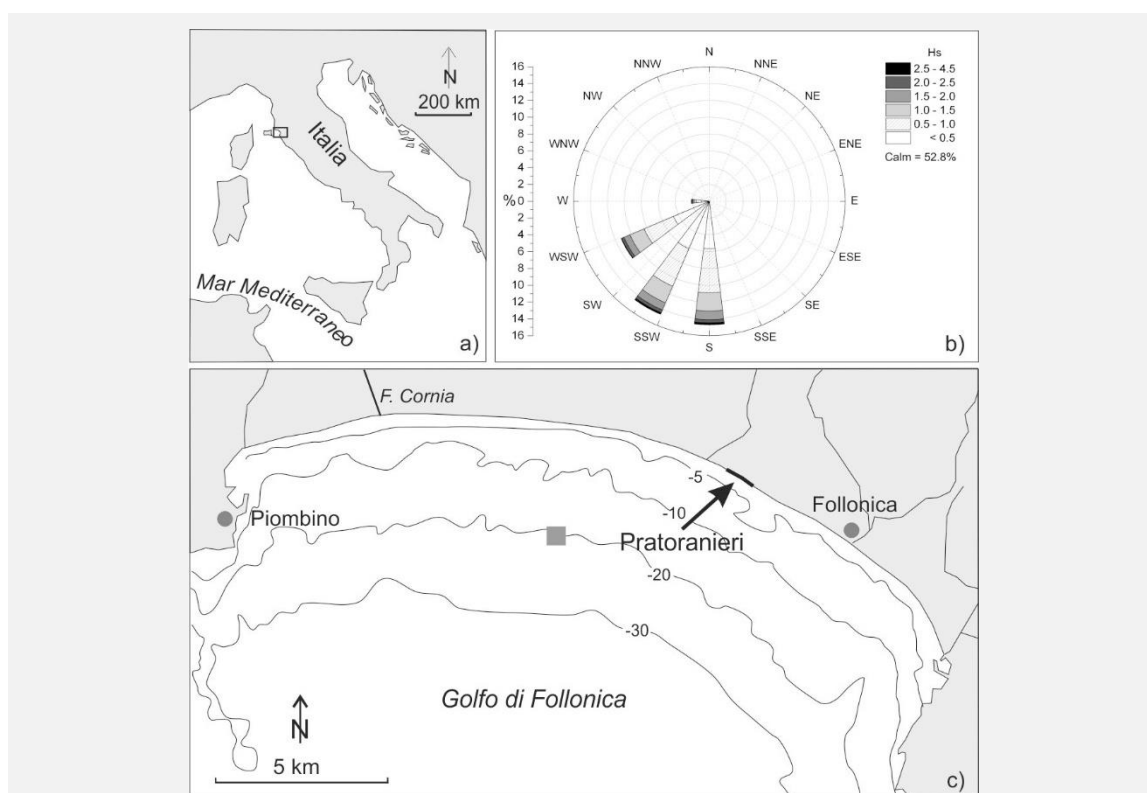
Sintesis, 2005. Studio meteomarinario. Ripascimento arenile e valutazione dell'efficacia opere realizzate per la difesa dell'abitato nel tratto del Golfo di Follonica compreso tra il Pontile Nuova Solmine e Prato Ranieri. Unpublished report, Provincia di Grosseto, 44 pp.

## Sito di Pratoranieri (Toscana, Italia)

### Presentazione del sito

#### Ubicazione

Il Sito di Pratoranieri è posto nel settore centro-orientale del Golfo di Follonica, nella Provincia di Grosseto e si estende per un tratto lungo circa 3 km (Figura 1).



**Figura 1. Ubicazione della spiaggia di Pratoranieri e distribuzione direzionale del moto ondoso in acque intermedie (posizione indicata dal quadrato nella figura in basso).**

#### Caratteristiche fisiografiche / ecosistemiche

Il litorale del Golfo di Follonica, nel Mar Tirreno, è protetto ad ovest dal promontorio di Piombino, a nord-ovest dall'Isola d'Elba e ad ovest dalla Corsica e dalla Sardegna. Il sito si trova nel settore centro-orientale del golfo, dove l'andamento del litorale è circa nord-ovest/sud-est (Figura 1c). I dati di moto ondoso a 20 m di profondità indicano che il potenziale per il trasporto di sedimenti è simile in entrambe le direzioni lungo la costa. L'energia del moto ondoso nel Golfo di Follonica è modesta sia per le schermature sopra indicate sia per la scarsa pendenza dei fondali. L'altezza d'onda supera 2,0 m solo nel 1,7% del tempo e 0,5 m nel 47,2%. La marea, interpolata dai valori di Livorno e Civitavecchia (IIM 2003), è di 0,37 m.

Il tratto di litorale scelto come Sito ha una estensione di circa 3 km e si colloca in prossimità del confine fra i comuni di Piombino e di Follonica e, quindi, fra le Province di Livorno e di Grosseto. Il

litorale costituisce il margine di due pianure coalescenti, una costruita dal Fiume Cornia e l'altra da alcuni corsi d'acqua minori oggi incanalati.

Gli ambienti naturali, sopravvissuti a secoli di occasionale occupazione, testimoniata da resti di forni fusori e di ceramiche più antiche, sono costituiti da pianure alluvionali, lagune costiere, dune e spiagge, ma sono stati trasformati dall'attività antropica negli ultimi due secoli.

La bonifica del Padule di Piombino, ottenuta inizialmente con l'immissione in cassa di colmata del Fiume Cornia (intervento responsabile dell'inizio dell'erosione della spiaggia) è proseguita con la canalizzazione delle acque di superficie e, in questo tratto, con la loro immissione nel Fosso Cervia, che corre parallelo a costa al limite della fascia dunare, per immettersi in mare in prossimità del Casello del Genio Civile. I territori interni mostrano oggi una rete di canali di scolo collegata a questo canale.

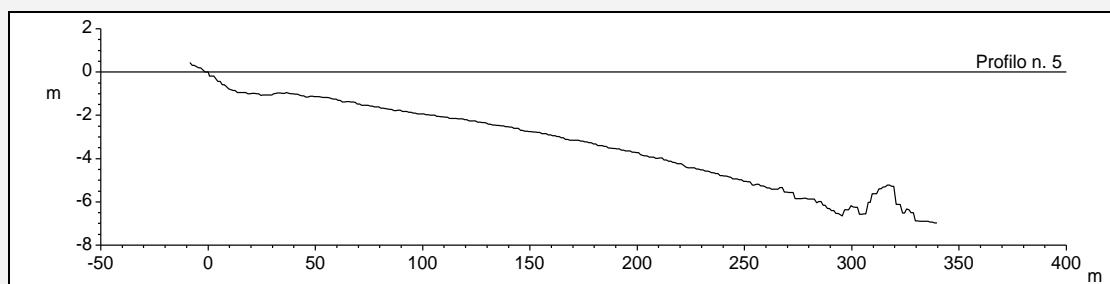
Il cordone dunare, assai degradato ed eroso nel settore occidentale del Golfo, si fa qui un po' più consistente, anche se in molti tratti è stato occupato da insediamenti turistici. Ove preservate, queste dune conservano i resti assai degradati della macchia mediterranea a cui si è sovrapposto un impianto di pino marittimo. Alcuni campeggi, un tempo sulla duna (Figura 2), sono stati spostati all'interno.



**Figura 2 - La spiaggia dell'ex Camping Torre Mozza in una cartolina datata 1961.**

I fondali antistanti presentano morfologie diversificate in funzione della presenza o meno della beach rock e delle scogliere artificiali. Nel tratto oggetto delle indagini non sono presenti strutture di difesa a mare (salvo pennelli di foce dei fossi), ma la spiaggia è delimitata da scogliere aderenti o muri di recinzione.

La spiaggia, rappresentata dal profilo riportato in Figura 3, ha fra la battigia e l'isobata dei 5 m una pendenza del 2% e presenta una piccola barra a circa 35 m da riva. Al largo, si appoggia sul margine interno di una matte di Posidonia oceanica impostata sia sul fondo sabbioso sia sulla beach rock.



**Figura 3. Profilo batimetrico della spiaggia ubicato nel tratto centrale (deformazione verticale 1:10).**

## Conoscenze disponibili

La spiaggia del Golfo di Follonica è stata studiata già nell'ambito del Programma CNR Regime e dinamica dei litorali (Bartolini *et al.*, 1976, 1979) ed è stata successivamente oggetto di ricerche promosse dalle Provincia di Grosseto e di Livorno, e dalla Regione Toscana (es. Aiello *et al.*, 1980; Pranzini, 2000; Cipriani *et al.*, 2011), nonché direttamente da UNIFI (es. Carli *et al.*, 2008; Ferri 2008; Pranzini *et al.*, 2018). Parte dei risultati di queste ricerche è contenuta in rapporti inediti reperibili presso le varie amministrazioni che li hanno commissionati

Rilievi batimetrici sono stati commissionati dalla Regione Toscana negli anni 2011 e 2012.

Il progetto che viene messo a monitoraggio nell'ambito di MAREGOT, sviluppato dalla Provincia di Grosseto ed attuato dalla Regione Toscana, si basa su di uno studio morfologico e sedimentologico del Dipartimento di Scienze della Terra (UNIFI), di uno biologico del Dipartimento di Biologia animale e genetica (UNIFI) e sulla modellistica numerica fatta dal DICEA (UNIFI).

**Tabella 3 – Conoscenze disponibili per il sito di Pratoranieri I riferimenti bibliografici completi sono posti alla fine del capitolo.**

Thème	Données	Nature des données	Période	Source	Bibliographie
Evol. Linea riva,		Restituzione linee di riva,	Anni '70		Bartolini et al (1976)
Geomorfologia		Indagini geomorfologiche e sedimentologiche	Anni '80		
		Indagini petrografiche			Gandolfi e Paganelli (1975, 1976, 1979)
Geomorfologia		Telerilevamento	Anni '80		
Trasporto sedimentario		Modellistica numerica	Anni 2000		DEAM (2007)
Geomorfologia					Regione Toscana
Evol. Linea di Riva	Linee riva 1954, 1976, 1981, 1984 ???	Carta topografica	1938-1984		Regione Toscana (1989)
Petrografia					Regione Toscana
		Progetto del porto			

## Stato della conoscenza

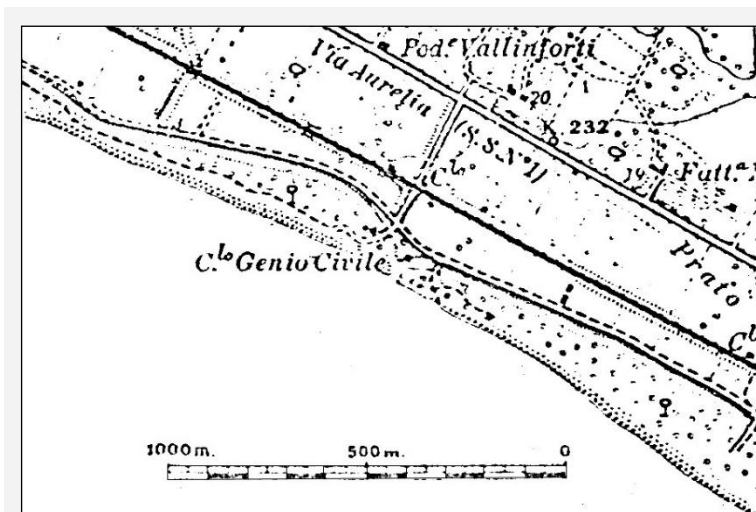
### Rischio costiero

### Evoluzione della linea di riva

I dati a disposizione consentono di affermare che l'evoluzione di tutto il litorale del Golfo di Follonica, tendenzialmente in modesto arretramento, è oggi completamente determinata dalle varie opere a mare realizzate fra gli anni '40 e gli anni '80 che hanno richiamato nei tratti protetti i pochi sedimenti disponibili. Il litorale è suddiviso in celle artificiali con scarsa possibilità di flussi sedimentari fra l'una e l'altra, se non quelli residui di attrazione della sabbia da parte delle difese non ancora saturate.

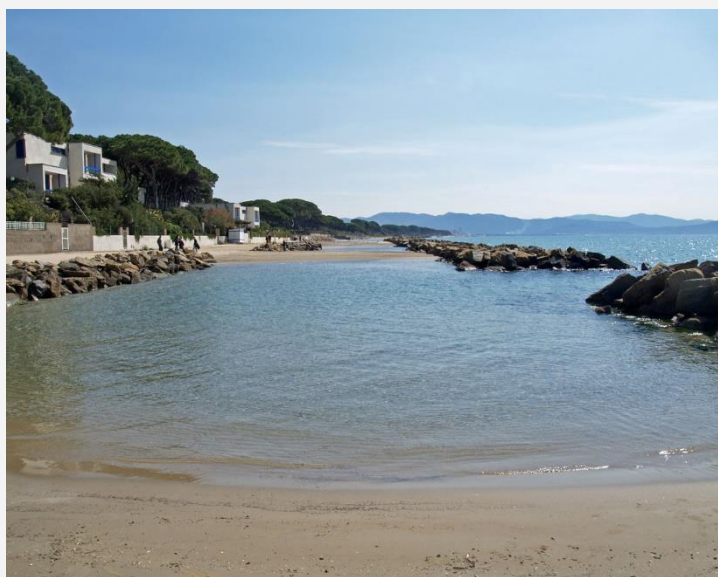
Il tratto di litorale del Sito si presentava in condizioni di elevata naturalità fino agli anni '40 (Figura 4). I primi interventi antropici sono collegati alla realizzazione dei moli guardiani degli sbocchi a mare dei canali di bonifica: quelli al Casello del Genio Civile non sono riportati nell'edizione del 1942 della carta IGM in scala 1:25.000 (Figura 5). Ben più importante sarà la costruzione sulla duna dell'insediamento turistico di Baia Toscana, che ha determinato significative modificazioni dell'assetto costiero. Ciò non solo perché si è persa la naturalità di uno dei pochi tratti di duna ben conservati del golfo, quanto per la necessità di intervenire nel momento in cui la spiaggia mostrava quei deboli segni di erosione di cui si è parlato in precedenza, cosa che ha portato alla costruzione di opere di difesa (Figura 5) che hanno danneggiato il settore adiacenti di nostro interesse.

E' in fase di redazione un progetto volto alla rimozione di queste opere e alla realizzazione di una scogliera soffolta più lontana da riva, mentre davanti alla foce del Fosso Cervia è stata recentemente costruita una scogliera parallela che già ora richiama sabbia dai settori adiacenti.



**Figura 4 - Il tratto di litorale del Casello del Genio Civile nell'edizione del 1942 della carta IGM in scala 1:25.000.**





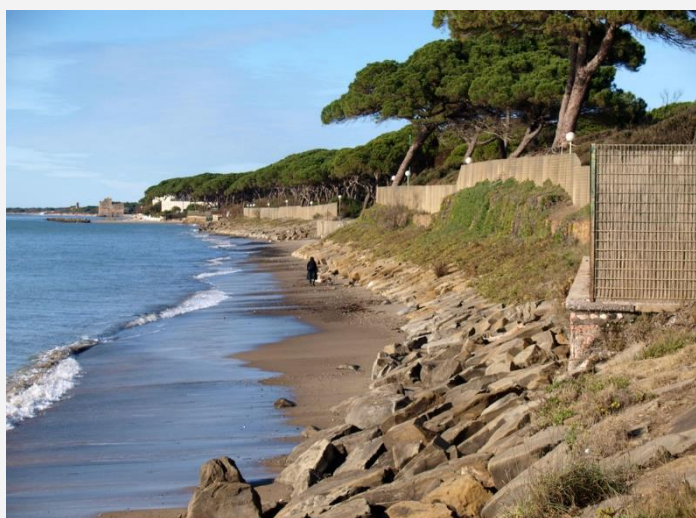
**Figura 5. Difese parallele ed aderenti sul litorale di Baia Toscana.**

**Tabella 2. Variazione areale (m<sup>2</sup>) della spiaggia emersa nel settore considerato .**

1938-1954	1954-1976	1976-1984	1984-2000	2000-2010
-2566,7	-2284,1	-5117,2	-1498,2	-3194,6

**Tabella 3. Spostamento medio (m) della linea di riva nel settore considerato.**

1938-1954	1954-1976	1976-1984	1984-2000	2000-2010
-3,8	-3,4	-7,6	-2,2	-4,7



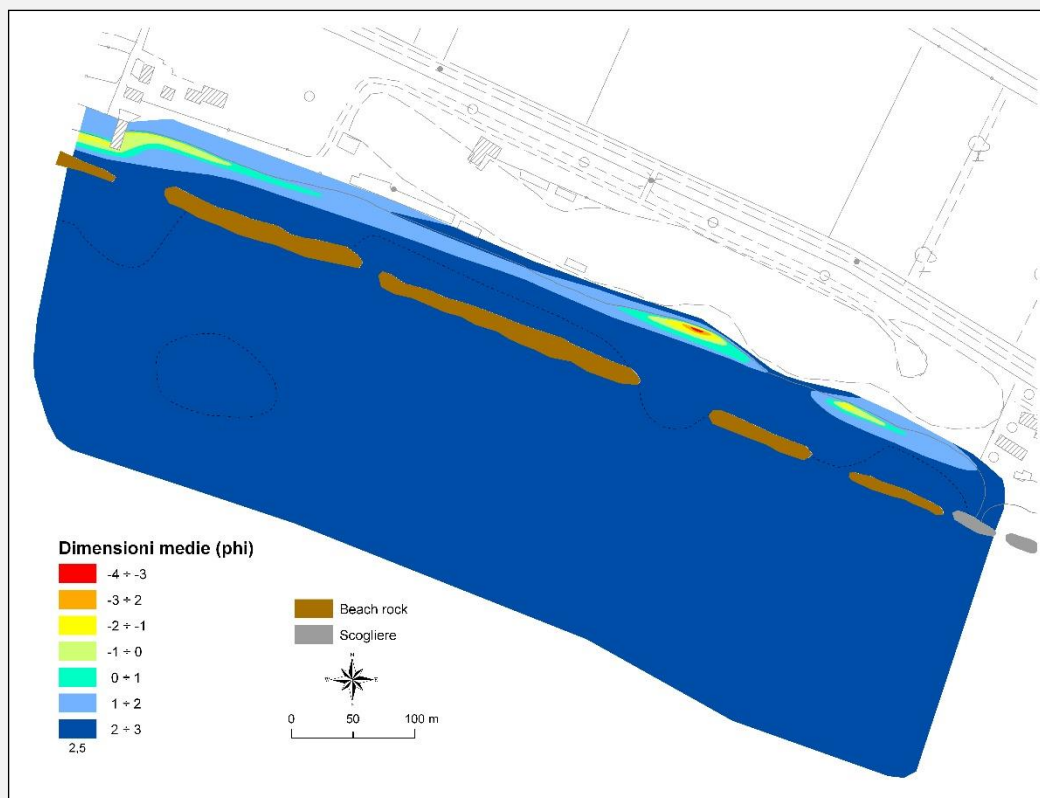
**Figura 6 - Difesa aderente al piede della duna davanti alla quale è stata realizzata la spiaggia in ghiaia.**

Uno studio prodotto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze per conto della Provincia di Grosseto mostra come questa spiaggia sia in erosione, seppur modesta, almeno da quando esistono dati topografici affidabili, con una perdita complessiva media di 21,7 m di arenile (0,3 m/anno) fra il 1938 e il 2010. (Tabelle 2 e 3, Figura 6).

Le dimensioni medie dei sedimenti naturali tendono generalmente a diminuire dalla battigia verso i fondali maggiori a causa della riduzione dell'energia dell'ambiente di deposizione, anche se tutti i sedimenti a partire dall'isobata di 1 m vengono classificati come *sabbie fini* secondo la scala di Wentworth (dimensioni medie comprese fra 2 e 3 phi).

Lungo lo *step*, ossia la fascia prospiciente la battigia a massima pendenza, si ritrovavano i sedimenti più grossolani, quasi tutti compresi fra i *granuli* ( $-2 < \phi < -1$ ) e le *sabbie medie* ( $1 < \phi < 2$ ). La carta della distribuzione areale della Media (Figura 7) conferma la presenza di *sabbie fini* oltre la *beach-rock*, nella maggior parte della superficie fra quest'ultima e la battigia e sul tombolo presente all'estremità orientale del paraggio.

I sedimenti più grossolani si ritrovano su battigia e *step* nei tratti non protetti da panchina, soprattutto nel punto corrispondente al varco più ampio, a riprova che questi sono quelli investiti dalla maggiore energia del moto ondoso.



**Figura 7. Carta delle dimensioni medie dei sedimenti (Mz) nel Gennaio 2010.**

Fra il 2016 e il 2017 è stato effettuato dalla Regione Toscana l'intervento di riequilibrio che era stato progettato dalla Provincia di Grosseto. Questo è consistito nella costruzione di tre pennelli (appena affioranti sulla spiaggia emersa e sommersi in mare) e nel versamento di circa 30.000 m<sup>3</sup> di ghiaietto in parte estratto da cave fuori alveo e in parte prodotto per frantumazione di roccia (Figura 8).

Per questo progetto non è stato previsto un monitoraggio e si è ritenuto di analizzarlo nell'ambito del Progetto MAREGOT proprio per l'interesse che stanno suscitando i ripascimenti in ghiaia anche nel territorio transfrontaliero.



**Figura 8. Il ripascimento in ghiaia sulla spiaggia di Pratoranieri (Novembre 2017)**

#### Inondazione costiera

La zona retrostante la spiaggia è in parte costituita da zone umide di recente bonifica. Il cordone dunare, in parte edificato, costituisce uno sbarramento non continuo nel caso di forti mareggiate con forte set-up da vento. Si noti che non si hanno dati recenti sull'eventuale subsidenza dell'area, ma questo processo è intenso all'estremità occidentale del Golfo.

#### Piani di prevenzione

Con il documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera è stato programmato l'intervento 2016-DC-10 "Riequilibrio e ripascimento dell'arenile della Costa Est del Golfo di Follonica". Si tratta di elaborare uno studio di fattibilità ed un progetto preliminare per i quali saranno importanti i risultati dei rilievi e monitoraggi previsti dal Progetto Maregot.

#### Attività, assets

Monitoraggio dell'evoluzione morfologica indotta dalla modifica delle opere di difesa.

## **Conclusione**

### **Riassunto della problematica del sito**

La spiaggia del Sito Pratoranieri è in erosione da oltre 70 anni, processo incentivato negli ultimi decenni dagli effetti esercitati da opere di difesa costruite in spiagge adiacenti.

E' ora in corso di ultimazione un progetto di riequilibrio costiero basato sul ripascimento artificiale con ghiaia e sua stabilizzazione con pennelli sommersi.

Nell'ambito del Progetto MAREGOT si valuterà l'efficacia di questa soluzione.

## Rappresentatività transfrontaliera del sito

Il ripascimento dei litorali con sabbia non sempre è economicamente sostenibile, soprattutto se non sono disponibili grossi volumi di sedimenti (per esempio cave marine in spiagge relitte), tanto che l'incremento delle dimensioni dei sedimenti potrebbe essere una soluzione interessante per le regioni Partner. In Toscana abbiamo già sperimentato casi analoghi sulle spiagge Apuo-versiliesi, Marina di Pisa e fra Vada e Cecina Mare. Il monitoraggio di quest'ultimo caso nel Golfo di Follonica ci permetterà di incrementare la nostra esperienza sulle spiagge artificiali in ghiaia e di condividerla con i Partner di Maregot.

## Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Conedera C., Pranzini E., Taccini S. (1980) - Il litorale della Provincia di Livorno tra Marina di Castagneto e Follonica. Amm. Prov.le Livorno. 44 pp.

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M., Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.

Bartolini C., Caputo C., Cavazza S., Ceffa L., Celestre P., Cortemiglia G.C., Fanucci F., Fierro G., Gandolfi G., Gnaccolini M., Imperiale G., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Marone V., Mordenti A., Montano F., Nardi M., Paganelli L., Paoletti A., Piacentino G.B., Piccazzo M., Pranzini E., e Versino L. (1976) - Area campione Alto Tirreno. Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali. Rapporto 1974. La Ricerca scientifica, 92: 61-126.

Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Gandolfi G., L., Pranzini E., Pugliese F. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 128 "Grosseto". C.N.R.- S.EL.CA., Firenze.

Bartolini C., Cavazza S., Gandolfi G., Mazzanti R., Miano V., Paganelli L., Palla B., Pranzini E. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 111-112 "Livorno e Volterra". C.N.R.- S.El.Ca., Firenze.

Bartolini C., Evangelista S., Gandolfi G., La Monica G.B., Landini B., Paganelli L., Pranzini E., Pugliese F. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 127 "Piombino". C.N.R.- S.EL.CA., Firenze.

Bartolini, C., Pranzini, E., Lupia Palmieri, L., Caputo C. (1977). Studi di geomorfologia costiera: IV - L'erosione del Golfo di Follonica. Boll. Soc. Geol. It., 96: 87-116.

Carli S., Landelli N., Pranzini E., Salvatori R. (2008) - L'utilizzazione di immagini telerilevate ad alta risoluzione per lo studio dell'erosione costiera: estrazione della linea d'acqua e valutazione della sua accuratezza. Studi costieri, 14: 43-54.

Cipriani, L.E., Ferri, S., Lami, G., Pranzini, E. (2011) - Human Impact on Shoreline Evolution Along the Follonica Gulf (Southern Tuscany): How Tourism May Kill the Goose That Lays the Golden Egg. In: Micallef, A. (ed.), *MCRR3-2010 Conference Proceedings*, Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 61, pp. 290 - 294. Grosseto, Tuscany, Italia, ISSN 0749-0208.

De Filippi G.L., Duchini E., Pranzini E. (2008) - Closure Depth estimation along the Tuscan coast aimed at short and long term coastal monitoring. In: *Beach Erosion Monitoring*, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 33-50

Ferri S. (2008). Risposta granulometrica della spiaggia in seguito alla costruzione di opera a mare. Unpublished Ph.D. Dissertation.

Gandolfi G., Mordenti A., Paganelli L. (1976) - Composizione provenienza e dispersione delle sabbie. - In: Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali, Area campione Alto Tirreno. Rapporto 1974, Quaderni Ricerca Scientifica, n. 92, 112-115.

Gandolfi G., Paganelli L. (1979) - Le province petrografiche del litorale toscano - Bollettino Società Geologica Italiana, n. 96, 653-663.

Iandelli N., Pranzini E. (2008) - Waterline extraction from Ikonos images addressed at beach erosion monitoring. . In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 51-60.

Pranzini E. (1983) - Random changes in beach sand grain-size parameters. Boll. Soc. Geol. It., 102: 177-189.

Pranzini E. (2001). Studio della dinamica morfologica e sedimentaria del Golfo di Follonica. Rel. Inedita, Regione Toscana.

Pranzini, E, Jackson, N.L., Lami, G., Nordstrom, K.F., Rossi, L. (2018). Reshaping beach morphology by modifying offshore breakwaters. Ocean and Coastal Management, 154: 168-177.

Pranzini E., Simonetti D. (2008) - Beach evolution monitoring: Surface Variation Analysis vs. Transept Based Analysis. In: Beach Erosion Monitoring, a cura di E. Pranzini e L. Wetzel, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, pp 25-31.

Sintesis (2005). Studio meteomarinario. Ripascimento arenile e valutazione dell'efficacia opere realizzate per la difesa dell'abitato nel tratto del Golfo di Follonica compreso tra il Pontile Nuova Solmine e Prato Ranieri. Unpublished report, Provincia di Grosseto, 44 pp.



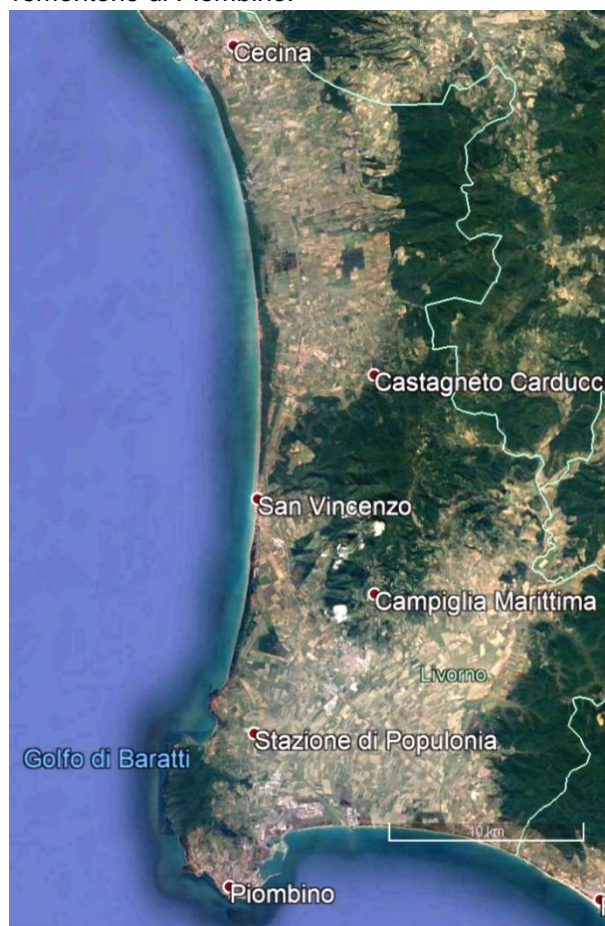
## Sito di San Vincenzo (Toscana, Italia)

### Presentazione del sito

#### Ubicazione

Il Sito di San Vincenzo è posto sul litorale della Toscana centrale, nella Provincia di Livorno e abbraccia tutta la costa di San Vincenzo. La sua lunghezza è di circa 11 km ed è orientato circa Nord – Sud.

A nord ha continuità con il litorale di Bibbona e di Cecina, mentre a sud termina contro il Promontorio di Piombino.



#### Descrizione geografica

In questo tratto di litorale il contributo dell'alimentazione del Fiume Cecina, che sfocia più a nord, si fa gradualmente meno rilevante procedendo verso sud, dove assumono un ruolo progressivamente più importante i piccoli corsi d'acqua che drenano le Colline Metallifere.

Quest'area è stata recentemente interessata dall'ampliamento del porto di San Vincenzo, che potrebbe indurre l'erosione delle spiagge poste più a sud, che vedono un'intensa urbanizzazione sfumare verso condizioni di estrema naturalità nel Parco di Rimigliano.

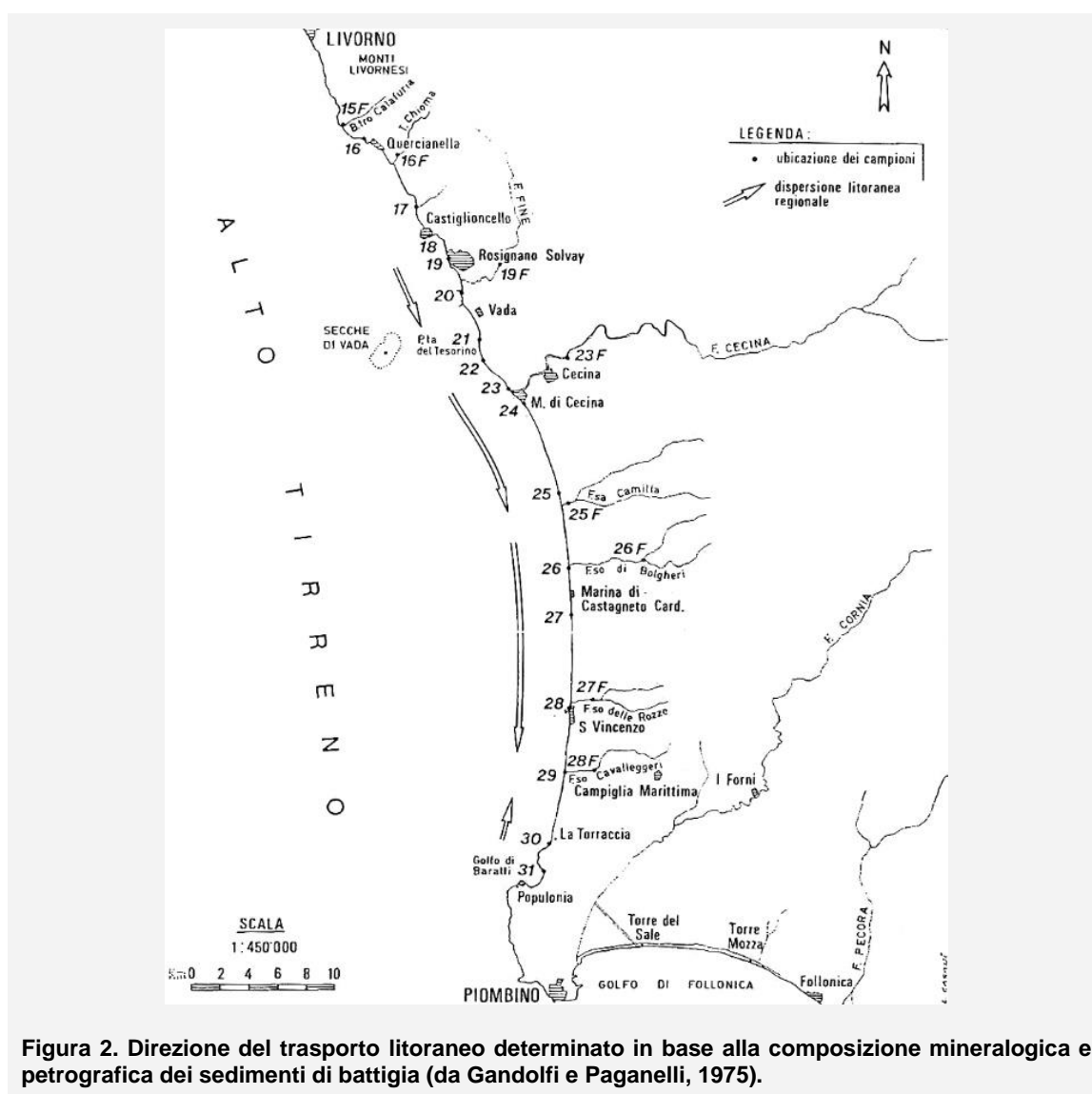
**Figura 1. Il litorale compreso fra Cecina e Follonica in una immagine Google Earth.**

Per mitigare gli effetti del porto è stata costruita una scogliera aderente soffolta che non ha prodotto i risultati sperati. Non è inoltre chiaro se il deficit sedimentario che si sta manifestando è dovuto ad una eccessiva sedimentazione a nord, anche sui fondali, o è dato da un più diffuso problema di riduzione dell'input sedimentario. Il monitoraggio, della spiaggia emersa e dei fondali, dovrebbe dare indicazioni in merito e fornire elementi per una gestione sostenibile sia della spiaggia sfruttata da una intensa attività turistica, sia di quelle che orlano l'area protetta.

## Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

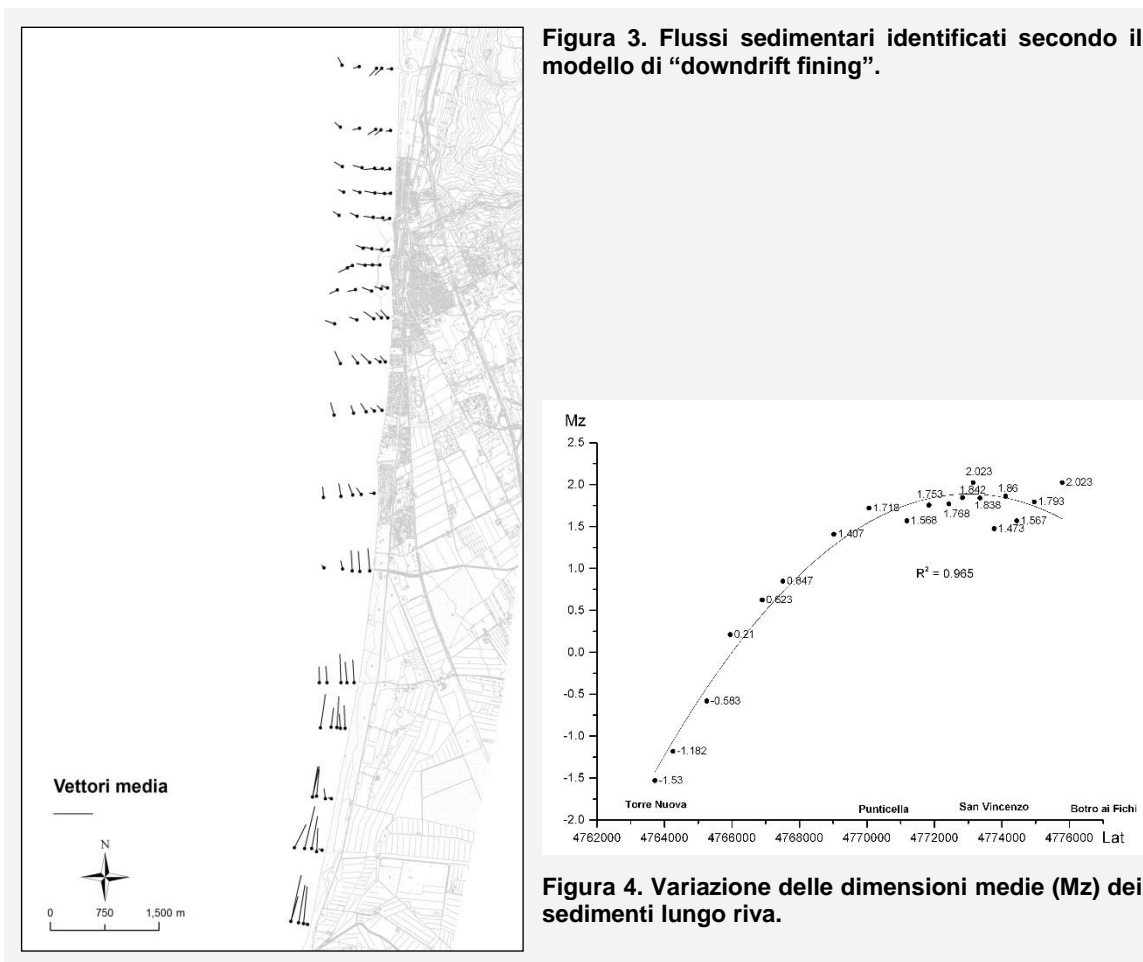
Il litorale di San Vincenzo è posto all'estremità meridionale dell'Unità Fisiografica Punta Lillatro – Torre Nuova, in questo tratto alimentata prevalentemente dagli apporti sedimentari del Fiume Cecina e, subordinatamente, da quelli dei corsi d'acqua minori che scendono dalle Colline Metallifere.

Già Saggini, nel 1968, riconosceva, su base morfologica, la presenza di più celle sedimentarie, una localizzata fra Punta Lillatro e Punta del Tesorino, con flusso sedimentario diretto verso sud, una fra la foce del Fiume Cecina e Punta del Tesorino, diretta a nord, ed una dalla Foce del Fiume Cecina a Torre Nuova, diretta verso sud. Gandolfi e Paganelli (1975), sulla base della composizione mineralogica dei sedimenti di spiaggia, confermavano questo quadro generale, aggiungendo una controcorrente diretta verso nord da Torre Nuova verso C. Cavalleggeri (Figura 2), cosa confermata successivamente da Aiello *et al.* (1980).





Un'analisi di dettaglio dei flussi sedimentari sul tratto meridionale venne eseguita da Bartolini e Pranzini (1986) nell'ambito di uno studio finalizzato alla progettazione di opere di riequilibrio del litorale di San Vincenzo (Studio Volta, 1986; Figg. 3 e 4). Qui emergeva chiaramente l'esistenza di una inversione del flusso a sud de La Punticella.

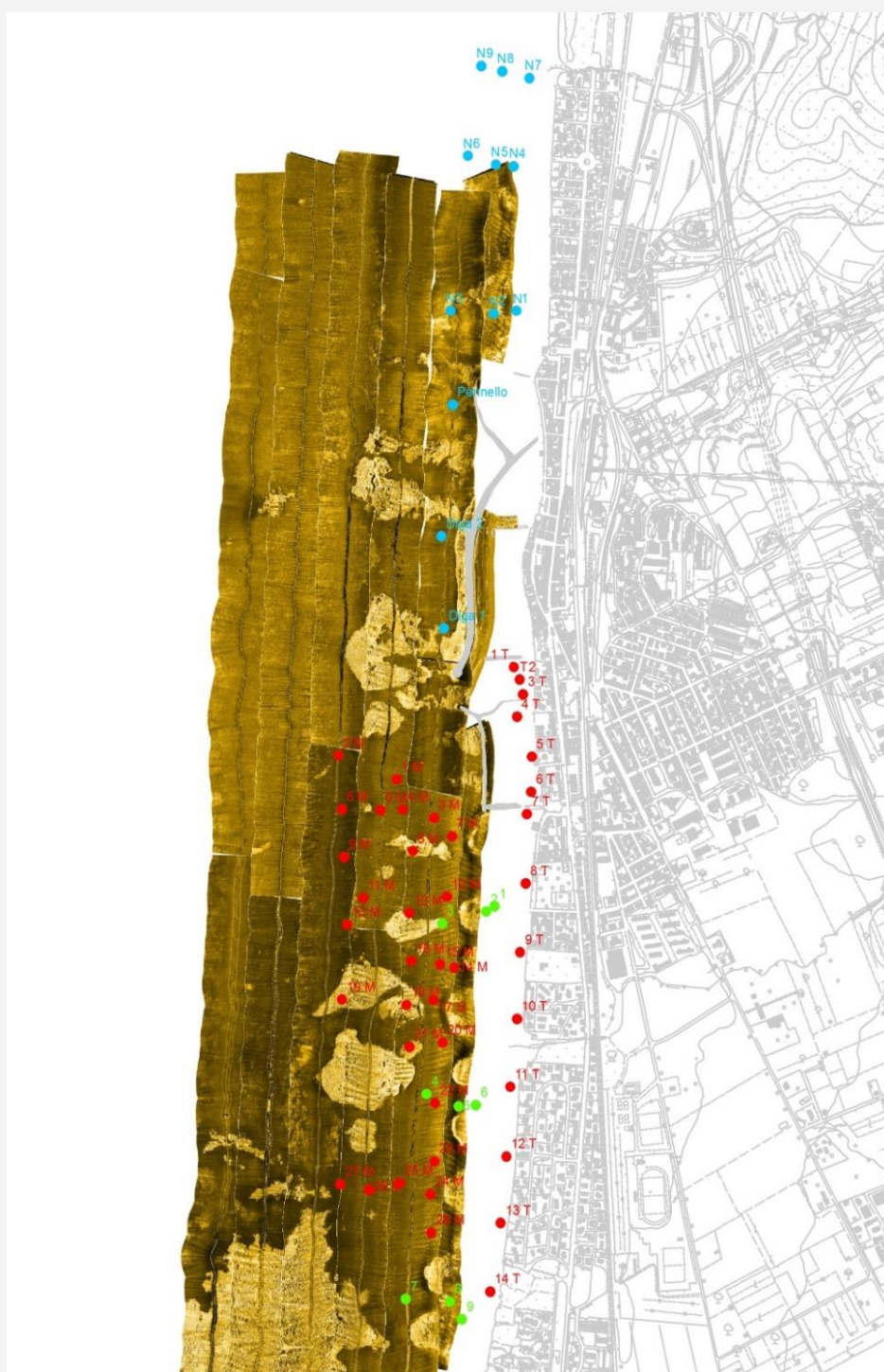


La definizione dei flussi sedimentari sulla base del clima meteomarinò venne effettuata dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze nell'ambito del Progetto Beachmed-e con la collaborazione della Soc. DEAM di Pisa.

In quell'occasione fu calcolato il trasporto potenziale ( $m^3/anno$ ) nell'unità fisiografica confermando sia il punto di convergenza in prossimità di Punta del Tesorino, sia quello posto fra San Vincenzo e Torre Nuova. Il trasporto potenziale a San Vincenzo è risultato essere di  $37.000 m^3/anno$  verso sud e di  $34.000 m^3/anno$  verso nord, con una risultante netta di  $3.000 m^3/anno$  verso sud.

Valori analoghi sono stati ottenuti negli studi di base per la progettazione del nuovo porto, che indicano in  $5.000 m^3/anno$  il trasporto potenziale netto diretto verso sud (notare che la valutazione è qui stata fatta dalla stessa Soc. DEAM).

I fondali del Sito sono prevalentemente sabbiosi (sabbie medie e sabbie fini), ma presentano estesi affioramenti di beach rock ed una frammentata prateria di Posidonia oceanica (Figura 5).



**Figura 5. Rilievo Side Scan Sonar del tratto di mare a nord a e sud del porto.**

I primi concorrono alla definizione della morfologia della spiaggia emersa (come con il leggero saliente de La Punticella), mentre la seconda, pur essendo un indice di elevate qualità ambientali del mare, determina frequenti spiaggiamenti di foglie e apparati radicali che creano notevoli problemi all'uso turistico-balneare dell'arenile.

## Conoscenze disponibili

La spiaggia di San Vincenzo è stata studiata già nell'ambito del Programma CNR Regime e dinamica dei litorali (Aiello *et al.*, 1976; Bartolini *et al.*, 1976) ed è stata successivamente oggetto di ricerche promosse dalla Provincia di Livorno (Aiello *et al.*, 1976, 1979), dalla Regione Toscana (1989, 2005) e da ricercatori appartenenti al CNR e all'Università di Firenze (Mazzanti *et al.*, 1980). Studi finalizzati alla riconfigurazione del porto e alla difesa del litorale sono stati condotti prima dallo Studio Volta (1986), e poi, per il recente ampliamento, da MODIMAR.

L'Università di Firenze ha effettuato di recente uno studio concentrato su di un breve tratto posto a sud del porto, in cui è in fase di affidamento un lavoro di riconfigurazione delle opere di difesa esistenti.

**Tabella 4 – Conoscenze disponibili per il sito di San Vincenzo I riferimenti bibliografici completi sono posti alla fine del capitolo.**

Thème	Données	Nature des données	Période	Source	Bibliographie
Morfologia della spiaggia		Dati da sopralluoghi	Anni '70		Ceffa e Gnaccolini (1976)
Evol. Linea riva, Sedimentologia, Petrografia		Restituzione linee di riva, analisi granulometriche e petrografiche	Anni '70		Aiello <i>et al.</i> (1976, 1979)
Geomorfologia		Ingadani geomorfologiche e sedimentologiche	Anni '80		Mazzanti <i>et al.</i> (1980)
		Indagini petrografiche			Gandolfi e Paganelli (1975, 1976, 1979)
Dinamica sedimentaria		Osservazioni morfologiche	Anni '60		Saggini (1963, 1966, 1967)
Geomorfologia		YTelerelevamento	Anni '80		Alessandro e Pranzini (1986)
Trasporto sedimentario		Modellistica numerica	Anni 2000		DEAM (2007)
		Progettazione			Studio Volta (1986)
Geomorfologia					Regione Toscana (2005)
Evol. Linea di Riva	Linee riva 1938, 1954, 1976, 1981, 1984	Carta topografica	1938-1984		Regione Toscana (1989)
Petrografia		Analisi petrografiche			Regione Toscana (2005)
		Progetto del porto			MODIMAR

## Stato della conoscenza

### Rischio costiero

#### Evoluzione della linea di riva

Dati di buona qualità per ricostruire l'evoluzione del litorale sono disponibili dal 1938 e da essi risulta che le grandi variazioni, positive e negative della linea di riva, sono avvenute tutte nel tratto settentrionale, sia per l'effetto diretto della riduzione dell'apporto sedimentario del Fiume Cecina (Bartolini *et al.*, 1982) sia per la costruzione di opere a mare a Vada e a Cecina Mare (Figura 6).

Espansioni dell'arenile sono avvenute con l'immissione in mare delle sabbie bianche della Solvay e con la costruzione del Pennello di Pietrabianca e di quello a protezione del Pontile Vittorio Veneto.

Anche la realizzazione dei pennelli di Cecina Mare ha dato simili risultati, anche se non è possibile apprezzare l'effetto di quelli realizzati prima del 1938.

Sono significativi anche gli effetti dei progetti di riequilibrio attuati a nord e a sud della foce del F. Cecina all'inizio degli anni '90, dove, oltre al rimodellamento delle opere a mare, è stato fatto un ripascimento artificiale.

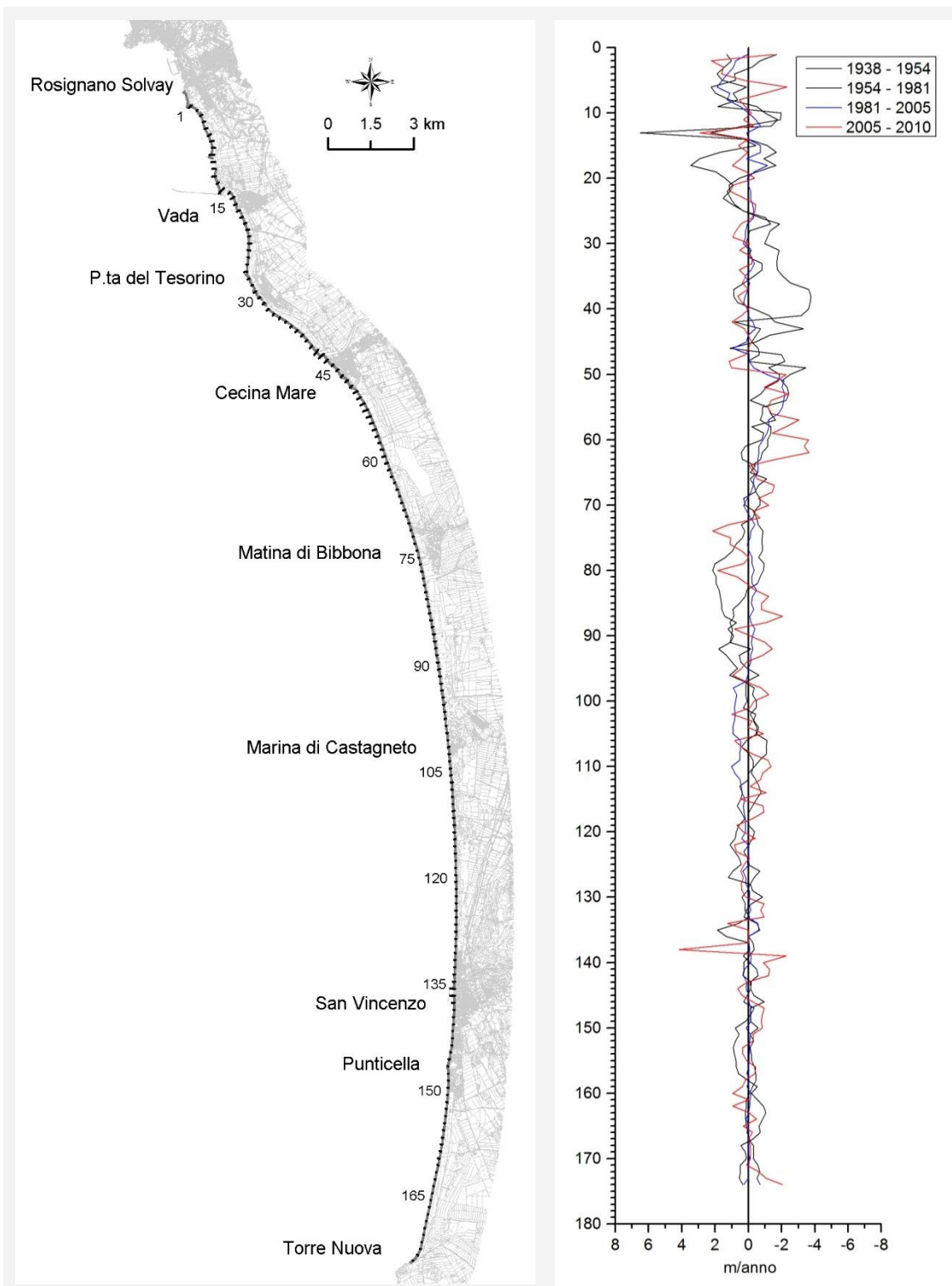
I processi erosivi più intensi sono quelli che si sono verificati a sud di Cecina Mare (Figura 5) e che hanno determinato la perdita di una ampia fascia di pineta.

Procedendo verso sud le variazioni della linea di riva sono meno intense, passando da condizioni di erosione a condizioni di accumulo, con il punto di "equilibrio" che si sposta sempre più a sud, tanto che ha ormai raggiunto Marina di Bibbona.

A sud di questa località le variazioni mostrano un'estrema irregolarità, dovuta alla presenza di megacuspidi che si muovono lungo la costa e che fanno oscillare i vari tratti fra l'erosione e l'accumulo.

Confrontando la posizione della linea di riva del 1938 con quella del 2010 (Figura 6), pur con i limiti di un confronto che non consente di isolare gli effetti dei singoli interventi effettuati sulla costa, risulta una tendenza all'espansione delle spiagge poste fra Punta Lillatro e Bonaposta, dovuta sia all'immissione delle sabbie della Solvay e alle opere realizzate per ridurre il flusso lungo riva, sia agli interventi di difesa effettuati a Vada e Punta del Tesorino.

Ancor più evidente è la perdita di arenile avvenuta fra Capo Cavallo e Bibbona, con il punto di massimo arretramento a sud dell'abitato di Cecina Mare, con un'erosione di oltre 130 m di arenile, mentre il litorale di Marina di Castagneto ha goduto di una crescita della spiaggia che ha superato anche i 30 m. Il litorale posto a nord del porto di San Vincenzo ha registrato progredazioni che hanno raggiunto i 20 m, mentre il tratto successivo, se non fosse per le variazioni della linea di riva indotte dal porto, potrebbe essere considerato in relativo equilibrio.



**Figura 6. Tasso medio di spostamento della linea di riva fra il 1938 e il 2010 nell'Unità fisiografica Punta Lillatro - Torre Nuova. Il Sito si estende sui settori 130 – 165.**

### Inondazione costiera

La presenza di più cordoni dunari di notevole altezza, fatta eccezione per il tratto urbano di San Vincenzo, posto su di un alto morfologico, impedisce l'inondazione da mare dei terreni retrostanti. L'area ospitava però diverse zone umide che sono state bonificate fra il '700 e il secolo scorso (Mazzanti *et al.*, 1980; Alessandro e Pranzini, 1986), come Il Pratale e il Lago di Rimigliano, e che possono tutt'oggi essere soggetti ad allagamento in occasione di forti piogge e di esondazione dei fossi.

### **Piani di prevenzione**

Con il Documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera è stato programmato l'intervento 2016-DC-8 "Ripascimento dell'arenile di San Vincenzo", con la finalità di conferire alla spiaggia di San Vincenzo una forma che consenta l'assorbimento delle mareggiate più intense. Per raggiungere tale obiettivo, connesso e strettamente funzionale anche alla gestione del demanio marittimo di competenza del Comune, è stato sottoscritto a novembre 2017 un Accordo con il Comune di San Vincenzo per la progettazione dello stesso. In attuazione di tale Accordo, il Comune ha redatto un progetto esecutivo per un primo lotto dell'intervento che prevede di realizzare un ripascimento artificiale e di adeguare la scogliera sommersa antistante il tratto di litorale immediatamente a sud del pennello di contorno dello specchio acqueo di calma dell'imboccatura portuale. Con Delibera 338 del 03 aprile 2018, è stato programmato l'importo di euro 1.231.710,04 per la realizzazione dei lavori del suddetto intervento.

### **Attività, assets**

In questo Sito è previsto il recupero e l'aggiornamento dei dati morfologici, sviluppando anche metodologie di rilievo che potrebbero essere utilizzate in altri tratti costieri dell'area transfrontaliera. Verrà avviata anche un'indagine sui fondali per la ricerca di sedimenti da utilizzare per il ripascimento del tratto posto a sud del porto. Questa indagine si avvarrà dei rilievi batimetrici e della ricostruzione della dinamica sedimentaria, che lascia ipotizzare la presenza di correnti concentrate in canali incisi nel fondale roccioso posto a sud del tratto in questione.

Dovranno essere sviluppati modelli di gestione dello stock sedimentario che contrastino la proliferazione di opere di difesa rigide.

### **Conclusione**

#### **Riassunto della problematica del sito**

Un litorale prevalentemente naturale, con un cordone dunare ben sviluppato e tendenzialmente in equilibrio, ha subito prima l'impatto della costruzione di un piccolo approdo e poi, in fasi successive, del suo ampliamento e trasformazione in porto turistico.

Ciò ha imposto la costruzione di opere di mitigazione dei suoi effetti sull'equilibrio costiero, che rischiano di richiedere altri interventi con un effetto domino che mette a repentaglio un ampio tratto costiero, che, fra l'altro, costituisce l'affaccio al mare di un'area protetta, il Parco di Rimigliano.

Si dovranno impostare progetti di monitoraggio finalizzati alla gestione e conservazione di questo litorale.

## Rappresentatività transfrontaliera del sito

Nelle regioni partner sono numerosi i porti turistici che incidono sulla dinamica costiera e che sono in prossimità di aree naturali, per le quali non è opportuna la difesa con opere rigide. Il caso di San Vincenzo, e le soluzioni gestionali che dovranno essere sviluppate, potrà essere oggetto di riflessione per le altre regioni.

## Bibliografia

Aiello E., Bartolini C., Conedera C., Pranzini E. (1979) - L'erosione del litorale livornese e le sue cause. Amm. Prov.le Livorno. 42 pp.

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M., Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. Boll. Soc. Geol. It., 94: 1519-1571.

Alessandro V., Pranzini E. (1986) - Confronto fra dati rilevati da aereo nell'infrarosso vicino e termico e verità al suolo nella fascia costiera fra San Vincenzo e Follonica (Toscana). Quad. Mus. St. Nat. Livorno. 7: 39-53.

Bartolini C., Caputo C., Cavazza S., Ceffa L., Celestre P., Cortemiglia G.C., Fanucci F., Fierro G., Gandolfi G., Gnaccolini M., Imperiale G., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Marone V., Mordenti A., Montano F., Nardi M., Paganelli L., Paoletti A., Piacentino G.B., Piccazzo M., Pranzini E., Versino L. (1976) - Area campione Alto Tirreno. Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali. Rapporto 1974. La Ricerca scientifica, 92: 61-126.

Bartolini C., Cavazza S., Gandolfi G., Mazzanti R., Miano V., Paganelli L., Palla B., Pranzini E. (1986) - Atlante delle spiagge italiane. Foglio 111-112 "Livorno e Volterra". C.N.R.- S.El.Ca., Firenze.

Ceffa L., Gnaccolini M. (1976) - Il litorale toscano tra Rosignano Solvay e il Golfo di Baratti.- Ricerche sul Regime e la Conservazione dei Litorali. Rapporto 1974, parte II: Area Campione Alto Tirreno, Quaderni Ricerca Scientifica, n. 92, 88-95.

Gandolfi G., Mordenti A., Paganelli L. (1976) – Composizione provenienza e dispersione delle sabbie. – In: Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali, Area campione Alto Tirreno. Rapporto 1974, Quaderni Ricerca Scientifica, n. 92, 112-115.

Gandolfi G., Paganelli L. (1975) – Il litorale toscano fra Livorno e il promontorio di Piombino (area campione alto Tirreno). Composizione provenienza e dispersione delle sabbie – Bollettino Società Geologica Italiana, n. 94, 1833-1854.

Gandolfi G., Paganelli L. (1979) - Le province petrografiche del litorale toscano – Bollettino Società Geologica Italiana, n. 96, 653-663.

Gnaccolini M. (1976) - Osservazioni sull'erosione in atto in alcuni tratti del litorale toscano – Geologia Applicata ed Idrogeologia, n. IX, 55-63.

Mazzanti R., Pranzini E., Taccini S. (1980) - Studi di geomorfologia costiera: VII - Variazioni della linea di riva dal Pleistocene medio-superiore ad oggi, caratteristiche sedimentologiche e stato delle associazioni vegetali del litorale di San Vincenzo (Toscana). Boll. Soc. Geol. It., 99: 341-364.

Saggini F. (1963) - Particolarità naturali e artificiali della costa sabbiosa maremmana a S. Vincenzo (Prov. di Livorno) - La Provincia di Livorno, n. 5-6, 5-11.

Saggini F. (1966) - Morfologia costiera e trasporto detritico marino sul litorale della Provincia di Livorno - Atti del Convegno per la Difesa del Litorale Toscano, 59-69.

Saggini F. (1967) - Alterazioni del litorale toscano per cause naturali ed artificiali. – Atti del Convegno "Indirizzi di piano per i territori della costa toscana", Quaderni Prov.Livorno, n. 11.

Studio Volta (1986) – Progetto di riequilibrio della spiaggia e progettazione di massima delle opere foranee del porto. Provincia di Livorno e Comune di San Vincenzo (rel. inedita).





## Sito del Parco Regionale della Maremma (Toscana, Italia))

### Presentazione del sito

#### Ubicazione

Il sito pilota del Parco Regionale della Maremma è posto sul litorale della Toscana meridionale, nella Provincia di Grosseto. In particolare si tratta del litorale compreso tra Marina di Grosseto (sbocco a mare dell'Emissario S. Leopoldo, località Fiumara) e Cala Rossa per una lunghezza di circa 16.3 km (linea viola nella figura 1).

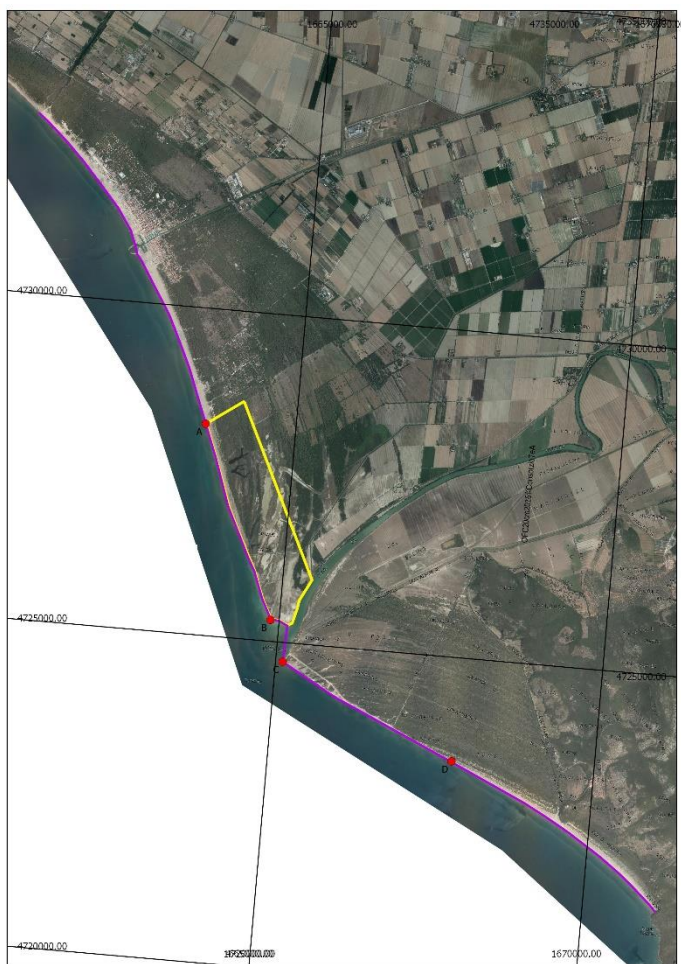


Figura 1. Delta del Fiume Ombrone (Ortofoto 20 cm copyright 2016 Consorzio TeA)

#### Descrizione geografica

Questo litorale, impostato sul delta del Fiume Ombrone, dopo secoli di progradazione è entrato in una fase erosiva che ha comportato l'arretramento della linea di riva di circa 1000 m nella cuspidè deltizia. Il processo, causato anche da una sostanziale diminuzione di apporto di sedimenti da parte del fiume, è iniziato alla foce e si è propagato alle spiagge laterali estendendosi oggi per circa 15 km. Andando a decapitare i cordoni di spiaggia (beach ridges) un tempo convergenti alla foce, ha fatto sì che gli stagni interdunali vengano oggi raggiunti durante le mareggiate da acqua salata con una forte compromissione della vegetazione igrofila d'acqua dolce e della pineta costiera.

L'apice meridionale del delta è stato recentemente oggetto di interventi di riequilibrio, mentre in futuro saranno valutate le strategie di intervento per il riequilibrio del lobo settentrionale, per il quale dovranno essere impostate strategie di difesa, adattamento o di arretramento strategico.

A supporto delle attività di monitoraggio e di studio proposte nel Progetto Maregot saranno verificati modelli per la valutazione della tendenza erosiva a lungo termine.

## Caratteristiche fisiografiche /ecosistemiche

La foce del Fiume Ombrone è un delta cuspidato dove si ha una forte influenza delle onde e un apporto fluviale in gran parte sabbioso. Durante le piene il fiume riesce a far avanzare in mare la barra di foce, ma successivamente le onde e le correnti lungo costa rielaborano e ripuliscono il sedimento, portando i sedimenti fini in sospensione al largo e accumulando la sabbia in cordoni (beach ridges) ai lati della foce. Nel delta cuspidato la barra di foce viene alterata solo in parte dalle onde; dietro ad essa rimane una depressione protetta dove domina la decantazione di sedimenti fini (silt-argilla). Con l'emergere della barra-cordone questa zona di retrobarra viene incorporata nella piana e diventa sede di specchi d'acqua (localmente denominati Chiari) e paludi.

Il marcato processo di erosione in atto ha causato nel 2000 il crollo del primo argine realizzato lungo la linea di costa dell'ala sud e la scomparsa della spiaggia nella zona della foce del fiume Ombrone, consentendo al moto ondoso di far penetrare l'acqua salmastra verso l'interno fino alla zona palustre dei Chiari con gravi danni sull'habitat retrodunale e con problemi di alterazione progressiva dell'equilibrio dell'ecosistema. La progressiva intrusione di acqua salata all'interno del sistema di bonifica ha compromesso anche una parte della pineta granducale impiantata dai Lorena nel XIX secolo con la progressiva distruzione delle essenze arboree presenti.



Prima degli interventi



Dopo gli interventi

**Figura 2. La spiaggia di Marina di Alberese.**

Nell'ambito del programma regionale di interventi prioritari di recupero e riequilibrio del litorale - D.C.R. 47/2003 - progetto N°20 "Foce del fiume Ombrone" - per contrastare il fenomeno dell'erosione costiera all'interno del Parco Regionale della Maremma, tra il 2013 e il 2015 il Consorzio di Bonifica Toscana Sud ha realizzato degli interventi di riequilibrio del litorale i cui effetti interessano potenzialmente l'area geografica che comprende i territori inclusi nei SIC costieri ricadenti all'interno del Parco Regionale della Maremma: IT51A0039 Palude della Trappola e Bocca d'Ombrone, IT51A0014 Pineta Granducale dell'Uccellina, IT51A0015 Dune costiere del Parco dell'Uccellina (con particolare attenzione all'area a sud di Collelungo).

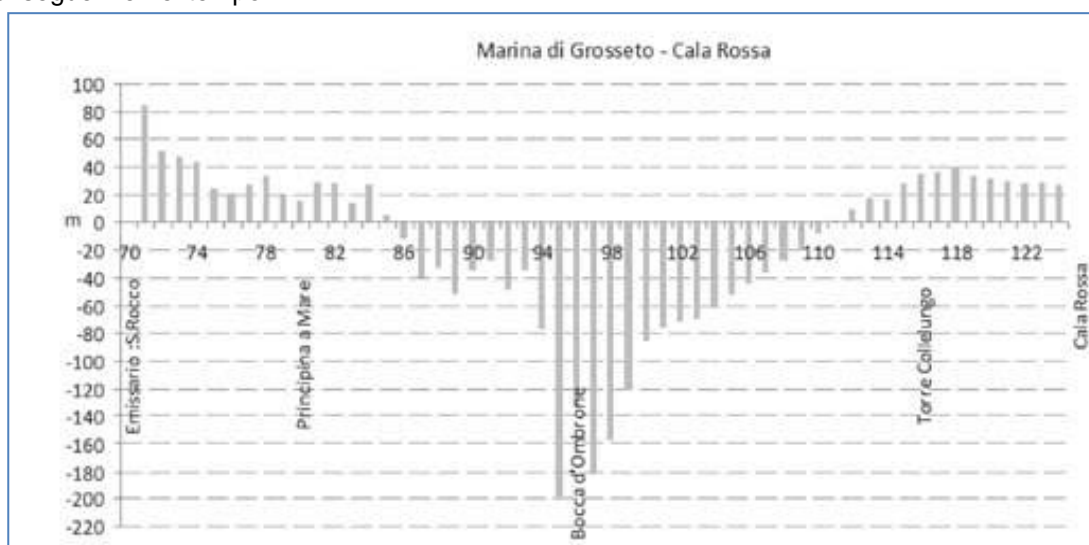


**Figura 3. Una fase dei lavori.**

Data l'ampia valenza delle opere realizzate nell'ambito del citato programma (D.C.R. 47/2003 - progetto N°20 "Foce del fiume Ombrone") si è reso necessario mettere in atto un monitoraggio puntuale degli effetti che il progetto nel suo complesso determina nei confronti delle specie e degli habitat presenti nell'area di influenza.

## Conoscenze disponibili

L'erosione della linea di costa nei pressi della foce del fiume Ombrone è un problema evidente ormai da diversi decenni; recenti studi promossi dalla Regione Toscana e dalla Provincia di Grosseto, ed aventi come scopo l'analisi geomorfologica e sedimentologica del litorale grossetano, hanno permesso di quantificare i gravi processi erosivi in atto e di definirne la dinamica e le relative conseguenze nel tempo.



**Figura 4. Evoluzione della linea di riva tra il 1984 ed il 2005.**

Uno studio della dinamica sedimentaria del delta del Fiume Ombrone è stato condotto alla fine degli anni '80 (Innocenti e Pranzini, 1993) attraverso la campionatura e l'analisi granulometrica dei sedimenti di spiaggia emersa e sommersa raccolti in occasione di un rilievo batimetrico del paraggio. Il confronto fra i parametri granulometrici e le caratteristiche morfologiche hanno messo in evidenza una sostanziale inversione della direzione dei flussi di trasporto solido *longshore* dovuta ai diversi livelli energetici del moto ondoso nelle due aree della cuspide deltizia: mentre il settore meridionale è alimentato con sedimenti più fini trasportati lungo la costa dai mari di maestrale con direzione da Nord verso Sud, quello settentrionale riceve i contributi più grossolani grazie alle agitazioni di scirocco con direzione da Sud verso Nord. I risultati dell'analisi sedimentologica e dello studio geomorfologico concordano nell'identificazione di un processo erosivo iniziato nella seconda metà del XIX secolo da mettere in relazione con l'inizio delle opere di bonifica per colmata che privarono di una notevole quantità di sedimenti l'apporto fluviale alla costa. Altre attività antropiche attuate sull'intero bacino, dall'estrazione di inerti alla stabilizzazione dei versanti, hanno prodotto lo stesso effetto: uno scarso apporto sedimentario e la prevalenza dell'azione marina sulla foce.

Lo stato di deficit sedimentario del litorale in studio è stato successivamente confermato dai risultati ottenuti nel 2006 dallo studio per la stima del trasporto solido litoraneo a cura di TEA Ambiente Srl (2006) da cui emerge che la zona di Bocca d'Ombrone è in condizioni di forte erosione potenziale.

I lavori di Paris *et al.*, 2002, 2013 e 2014 e della Regione Toscana, sulla dinamica fluviale del Fiume Ombrone grossetano, in particolare gli studi volti a caratterizzare il fenomeno del trasporto solido a partire dall'analisi granulometrica dei sedimenti fluviali, portano alla conclusione che le portate solide in sospensione non contengono, almeno per gli eventi considerati, frazioni significative di materiale sabbioso e pertanto non contribuiscono al ripascimento del litorale in modo significativo. Il quadro conoscitivo della sedimentologia che interessa l'area di studio si completa con l'attività di monitoraggio effettuata per conto del Consorzio di Bonifica Toscana Sud nell'ambito del programma regionale di interventi prioritari di recupero e riequilibrio del litorale - D.C.R. 47/2003 - progetto N°20 "Foce del fiume Ombrone" (Report finale, 2015).

Gli interventi del Consorzio di Bonifica Toscana Sud sono stati realizzati (2013-2015) con l'intento di stabilizzare, o rallentare in modo significativo, il processo erosivo in atto sulla spiaggia di Marina di Alberese attraverso la realizzazione di 6 pennelli sommersi e quindi non impattanti per l'ambiente. Contestualmente è stata anche realizzata la ricostruzione dell'argine a terra a partire dall'argine sinistro del fiume Ombrone, al fine di impedire l'intrusione dell'acqua salata nel sistema umido retrodunale, consentendo anche l'ottimizzazione del funzionamento del sistema dei canali scolanti di bonifica.

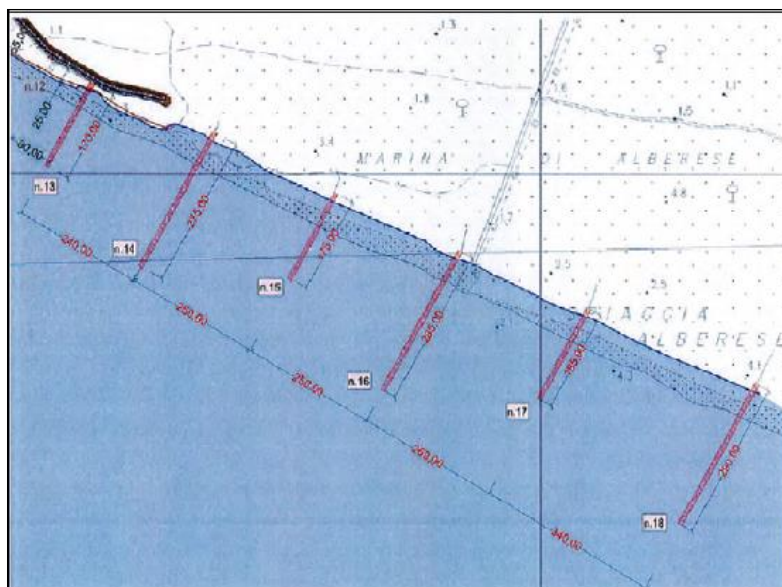


Figura 5. Localizzazione planimetrica della batteria dei pennelli a mare (sommersi).

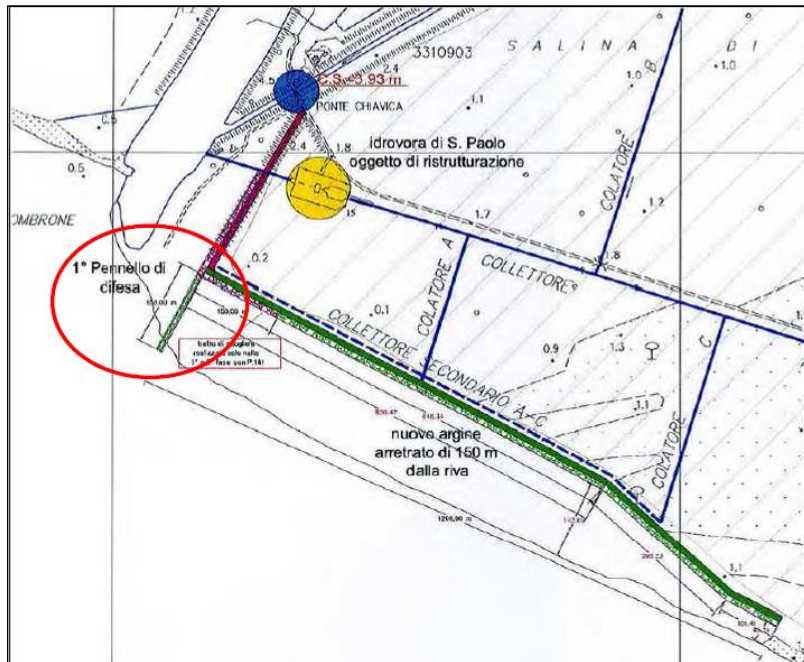


Figura 6. Localizzazione del pennello di foce (emerso) e del nuovo argine arretrato.

Nell'ambito delle attività di monitoraggio della dinamica costiera, sul tratto di costa che va da Principina a Mare a Cala di Forno (circa 11 Km), sono stati realizzati *post operam* rilievi topografici e batimetrici e una classificazione granulometrica dei sedimenti (2013-2015).

Analizzando i risultati dei quattro rilievi topografici condotti, risulta un arretramento medio della linea di costa di 0.66 m. In particolare:

- sul litorale a Sud della foce del Fiume Ombrone, dopo una prima fase di rapido e notevole avanzamento della linea di costa, riscontrato durante i primi due rilievi topografici, si è verificata un'inversione di tendenza che non ha permesso di definire un marcato trend evolutivo della costa;
- viceversa, sul litorale a Nord di Bocca d'Ombrone si registra un importante arretramento della linea di riva, fino alle sezioni più prossime all'arenile di Principina a Mare, su cui invece si rileva un deciso avanzamento;
- l'area di Collelungo-Cala di Forno misura infine un leggero fenomeno erosivo, in prossimità di Cala Rossa, la cui lieve entità non consente una verifica a ritroso nel tempo.

A scala globale sull'arretramento medio della linea di costa pesa molto il tratto a nord della foce (in marcata regressione) mentre a sud risulta più evidente l'avanzamento del litorale a seguito della realizzazione dei pennelli a mare.

Tramite i rilievi batimetrici effettuati sono stati calcolati i volumi di materiale in erosione o in deposito sul livello medio del mare tra una sezione e l'altra. Su tutto il tratto in esame, da Ottobre 2013 a Giugno 2015, si è depositato un volume complessivo netto pari a 168.041,36 mc di sedimenti.

Questo risultato, apparentemente non in corrispondenza a quanto riscontrato per la linea di riva che complessivamente risulta in arretramento, tiene infatti conto anche del trasporto solido che si verifica fino a circa -5 m di profondità, e non solo in prossimità della costa.

Suddividendo il tratto in due parti a cavallo della foce del Fiume Ombrone, si osserva a Sud una tendenza al deposito corrispondente all'80% del volume globale di deposito dell'intero tratto considerato, e un modesto avanzamento della linea di costa (+0,45 m in media), a testimonianza dell'efficacia complessiva dei pennelli nell'intrappolamento dei sedimenti.

Il fenomeno potrebbe essere dovuto al fatto che i pennelli oltre ad intercettare le correnti litoranee, trattengono anche il materiale fine derivante dagli eventi di piena del Fiume Ombrone. Questo materiale, che rientra comunque nel conteggio del bilancio positivo dei sedimenti ma che non contribuisce attivamente all'avanzamento della linea di costa perché troppo fine, rimane intrappolato lontano da riva ed è facilmente mobilitabile dagli eventi meteomarinari, disperdendosi verso largo o venendo trasportato dalle correnti litoranee.

In ultimo, sulla sezioni tracciate in prossimità delle opere è stato osservato un addolcimento del profilo sommerso a riva, a testimonianza dell'efficacia dei pennelli nell'intrappolamento dei sedimenti vicino alla battigia.

Nella zona a Nord della foce si osserva una tendenza all'erosione *post operam* piuttosto marcata e pari a -434.580,12 mc, in termini assoluti maggiormente significativa rispetto al deposito riscontrato nella parte meridionale. Sempre a nord ma più in prossimità di Bocca d'Ombrone, si ha invece una controtendenza rilevante, dovuta in parte all'apporto di sedimenti dal fiume, corrispondente a un deposito pari a 467.756,80 mc, che annulla l'erosione del tratto più a nord. Nel complesso infatti si ha un modesto deposito complessivo pari a 33.176,68 mc.

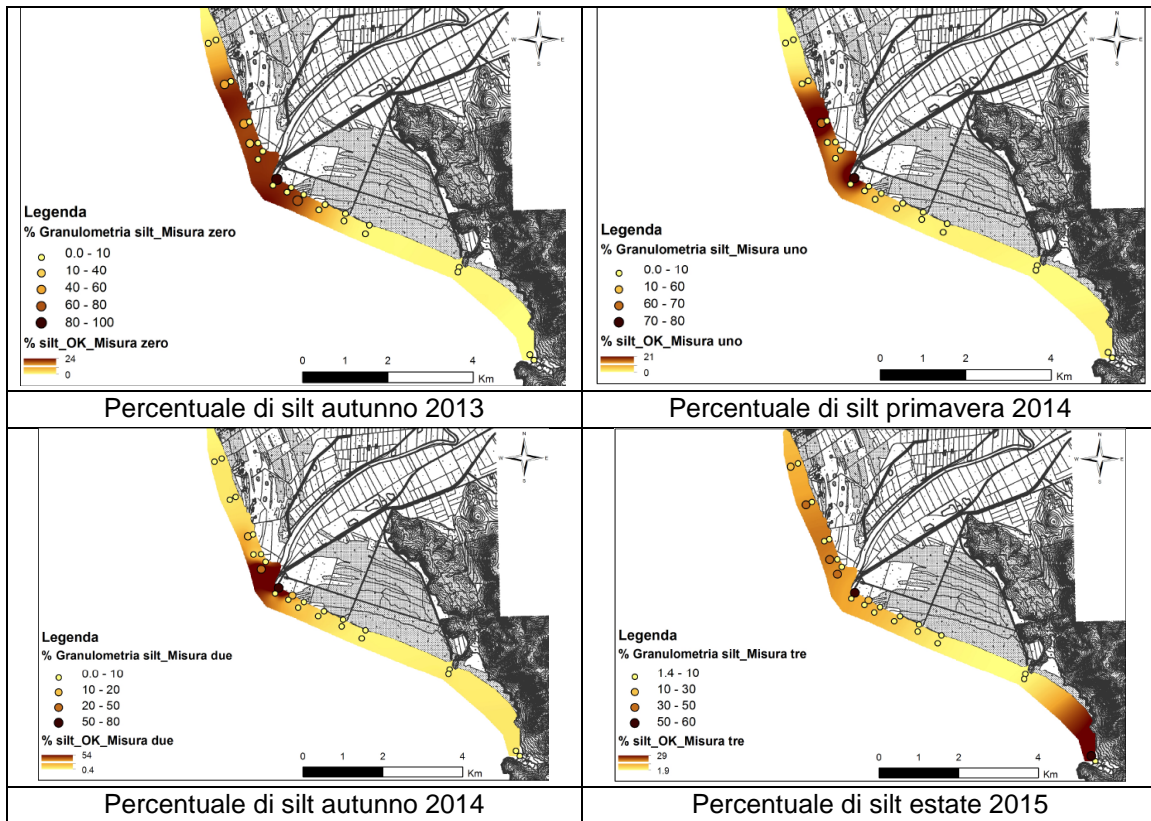
Nonostante il fenomeno di deposito in termini volumetrici dell'intero tratto a nord del corso d'acqua considerato, la linea di riva è arretrata mediamente di -4,26 m, confermando una potenziale criticità successiva alla realizzazione dell'intervento, che potrebbe aver modificato l'interazione tra il moto ondoso e le dinamiche costiere.

Nell'ambito delle attività di monitoraggio, in concomitanza con i rilievi batimetrici e topografici (2013-2015), è stata effettuata anche la classificazione granulometrica dei sedimenti ottenendo informazioni utili per la caratterizzazione delle dinamiche del sedimento, in particolar modo di quello derivante dal trasporto solido fluviale (silt - frazione limoso argillosa).

In totale sono stati scelti ventisei punti di campionamento, di cui tredici a terra (lungo la battigia) e tredici in mare a circa m 150 dalla linea di costa.

A partire dai dati misurati puntualmente, sono state ottenute, mediante tecniche di interpolazione spaziale, delle mappe rappresentative del moto dei sedimenti di origine fluviale che permettono di comprendere l'evoluzione nel tempo delle percentuali di sedimenti fini presenti nell'area di studio. Dall'analisi sedimentologica delle quattro campagne di campionamento effettuate, si registra una notevole concentrazione di sedimenti fini in corrispondenza della foce del Fiume Ombrone, mentre negli altri punti di campionamento, sia a Nord che a Sud, la granulometria dei sedimenti risulta di natura prettamente sabbiosa, con percentuali di sabbia superiori al 90%. L'analisi granulometrica dei campioni prelevati presso la Foce del Fiume Ombrone conferma come il contributo di sedimenti di origine fluviale al ripascimento del litorale sia soggetto a forti oscillazioni, passando da valori minimi nei periodi caratterizzati da rari eventi di piena, anche ordinaria, a incrementi notevoli a seguito di ripetuti e/o particolarmente intensi eventi di piena.

Nei campioni prelevati sul fondo del mare nella zone a Nord di Bocca d'Ombrone e a Principina a Mare nella misurazione dell'estate 2015, è stato riscontrato un notevole incremento della percentuale di silt presente, dell'ordine del 30-40%, rispetto ai valori nulli o comunque inferiori del 4% registrati nelle precedenti misurazioni.



**Figura 7. Distribuzione della frazione fine.**

Il Progetto Maregot prevede di affidare un Servizio di rilievi topo-batimetrici, sedimentologici, della vegetazione e degli habitat da effettuare sul tratto di litorale del sito pilota al fine di valutare le dinamiche costiere in atto, descrivere le morfologie presenti, lo stato della vegetazione e degli habitat e definire lo stato evolutivo nei relativi segmenti costieri del sistema "spiaggia/duna/aree umide retrodunali". I risultati dei rilievi Maregot verranno confrontati con quelli effettuati dopo la realizzazione dell'intervento di riequilibrio del litorale di Marina di Alberese e permetteranno quindi di proseguire il monitoraggio della fascia costiera del Parco della Maremma.

## Stato della conoscenza

### Rischio costiero

#### Evoluzione della linea di riva

Secondo gli studi legati al Progetto di Piano Regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico (Ciprani *et al.*, 2004), l'area d'interesse ricade nei settori dal 33 al 36: Il tratto è fortemente influenzato dalla dinamica della foce del Fiume Ombrone, con caratteristiche di regressione che interessano in primo luogo l'apparato deltizio del corso d'acqua, per poi estendersi progressivamente alle zone limitrofe.



**Figura 8. Settori del litorale della Toscana meridionale.**

Il litorale posto a sud del porto di Marina di Grosseto (*settore 33*), presenta un sistema dunale molto sviluppato. Il trend erosivo della linea di riva riscontrato fino alla fine degli anni '90, è stato contrastato dall'effetto sul trasporto di sedimenti lungo costa dovuto alla costruzione del porto sull'Emissario S. Rocco. Una duna incipiente testimonia lo stato deposizionale della costa, anche se in prossimità dell'estremità meridionale del settore (Chiaro del Porciatti), si notano i segni di attacco del moto ondoso.

Il *settore 34*, che comprende l'apice deltizio di Bocca d'Ombrone, è soggetto ad una fortissima erosione che, dalla fine del XIX secolo ad oggi, ha determinato un arretramento della linea di riva di quasi un chilometro con un tasso erosivo di circa 4 m/anno fra il 1985 e il 1998.

Il lobo settentrionale è caratterizzato dall'alternanza di bassi cordoni dunali e stagni interdunali in cui l'acqua marina penetra durante le mareggiate. L'erosione è destinata a continuare, se non ad accelerare, anche quale conseguenza degli interventi attuati nella parte meridionale.

Quest'ultima presenta infatti una scogliera aderente di circa 1350 m a cui recentemente sono stati aggiunti un argine arretrato di 150 m, 6 setti sommersi ed è stato rinforzato l'argine fluviale in sinistra che agisce adesso come un pennello di foce.

Allontanandosi dalla foce il fenomeno erosivo si fa gradualmente meno intenso e nel *settore 35*, da Marina di Alberese alla Torre di Collerlungo, si ha una perdita media di arenile inferiore ai 10 metri nel periodo 1984-1998. La situazione mostra comunque tutta la sua gravità se si pensa che nel periodo 1979- 1984 era in erosione solo un breve tratto di questo settore, che complessivamente risultava ancora in avanzamento.

Per il *settore 36*, dalla Torre di Collerlungo a Cala Rossa si riscontra invece un trend di avanzamento della linea di costa, grazie al deposito dei sedimenti erosi nella parte più prominente del delta e trasportati lateralmente dalle correnti litoranee. Se questo trend positivo nel periodo 1979-1984 ha raggiunto i 5.5 m/anno, nell'ultimo periodo di osservazione, compreso fra il 1984 ed il 1998, il tasso di avanzamento della linea di costa si è ridotto a circa 1.6 m/anno in conseguenza del fatto che la progressiva erosione della cuspidè deltizia a Bocca d'Ombrone provoca la rettificazione della linea di riva e in conseguenza una minor efficacia dell'attacco del moto ondoso con una diminuzione del trasporto litoraneo verso Cala Rossa.

#### Inondazione costiera



Il forte arretramento delle linea di riva induce numerosi fenomeni che minacciano gli equilibri del sistema biologico di questa zona che rientra nel Parco Regionale della Maremma e che costituisce uno degli ambienti di maggior pregio naturalistico della costa Toscana. In particolare durante le mareggiate l'acqua di mare invade il territorio depresso retrostante, non più protetto dalla duna naturale e dall'argine artificiale costiero in pietrame (che era stato realizzato a difesa), risale i canali di bonifica con effetti di progressiva moria delle specie vegetali presenti, dai pascoli alla pineta Granducale dell'Uccellina.

#### Piani di prevenzione

Con il documento operativo per il recupero ed il riequilibrio della fascia costiera è stato programmato l'intervento 2016-DC-14 "Difesa dall'erosione del cordone dunale e delle aree umide retrostanti il tratto a nord della foce del F. Ombrone". Si tratta di elaborare uno studio di fattibilità ed un progetto preliminare per i quali saranno importanti i risultati dei rilievi e monitoraggi previsti dal Progetto Maregot.

#### Attività, assets

Monitoraggio ambientale per verificare l'evoluzione della fascia costiera sotto il profilo topografico, granulometrico e sedimentologico, oltre che l'evoluzione ecologica delle principali biocenosi marine e terrestri in risposta agli interventi prioritari di recupero e riequilibrio del litorale prossimo alla foce del fiume Ombrone.

## **Conclusioni**

### **Riassunto della problematica del sito**

Fra la Foce del Bruna e l'Emisario San Rocco tutto il litorale risulta in accumulo fra il 1984 e il 2005, con valori che in alcuni punti sfiorano o superano i 20 m. Ciò è dovuto all'afflusso di sedimenti che vengono prodotti grazie all'intensa erosione a cui è soggetta la parte apicale del delta dell'Ombrone. La costruzione del porto di Marina di Grosseto ha determinato una interruzione di questo flusso, che però dovrebbe essere garantito dal refluitamento dei sedimenti ad opera del gestore della Marina.

Il processo deposizionale interessa le spiagge fino oltre un chilometro a sud di Principina a Mare, dove inizia quel processo erosivo che da oltre un secolo sta rimodellando il delta dell'Ombrone. Nonostante l'arretramento dell'apice deltizio di oltre un chilometro, il tasso erosivo si mantiene su valori prossimi ai 10 m/anno; fra il 1984 e il 2005 si sono qui persi dai 150 ai 200 m di spiaggia.

Parte di questi sedimenti va ad alimentare anche l'estremità meridionale dell'unità fisiografica, ecco perché il tratto di litorale compreso fra Collelungo e Cala Rossa risulta in avanzamento.

Dopo il recente intervento di riequilibrio del litorale di Marina di Alberese la criticità maggiore si trova sull'ala nord del delta dell'Ombrone. In questa particolarmente sensibile area costiera si concentreranno i rilievi del Progetto Maregot, i cui risultati daranno un contributo importante per lo studio di fattibilità del futuro progetto di recupero e riequilibrio di questo tratto costiero.

### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

Le Regioni partner hanno molti tratti costieri in condizioni di elevata naturalità e soggette a processi erosivi per i quali dovranno impostare strategie di gestione che potranno fare tesoro dell'esperienza che verrà condotta su questa area pilota, sia in termini di metodi di monitoraggio, sia di elaborazione ed interpretazione dei dati ai fini gestionali.

## **Bibliografia**

Aiello E., Bartolini C., Caputo C., D'Alessandro L., Fanucci F., Fierro G., Gnaccolini M., La Monica

G.B., Lupia Palmieri E., Piccazzo M. e Pranzini E. (1976) - Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana fra la foce del Fiume Magra ed i Monti dell'Uccellina. *Boll. Soc. Geol. It.*, 94: 1519-1571.

Aminti P., Pranzini E. (1990) - Variations in longshore sediment transport rates as a consequence of beach erosion in a cusped delta. *Littoral* 1990, p.130-134. EUROCOAST. Marseille, July 1990.

Bartolini C., Caputo C., Cavazza S., Ceffa L., Celestre P., Cortemiglia G.C., Fanucci F., Fierro G., Gandolfi G., Gnaccolini M., Imperiale G., La Monica G.B., Lupia Palmieri E., Marone V., Mordenti A., Montano F., Nardi M., Paganelli L., Paoletti A., Piacentino G.B., Piccazzo M., Pranzini E. e Versino L. (1976) - Area campione Alto Tirreno. Ricerche sul regime e la conservazione dei litorali. Rapporto 1974. *La Ricerca scientifica*, 92: 61-126.

Bartolini C., Pranzini E. (1982) - Late Pleistocene and Holocene sedimentary patterns on the Tuscan shelf. XI International Congress on Sedimentology, I.A.S., Hamilton, Ontario (abstract).

Bartolini C., Pranzini E. (1984) - Fan delta erosion in southern Tuscany as evaluated from hydrographic surveys of 1883 and the late '70. *Marine Geol.*, 62, p.181-187.

Carli S., Cipriani L.E., Bresci D., Danese C., Iannotta P., Pranzini E., Rossi R. Wetzel L. (2004) - Tecniche di monitoraggio dell'evoluzione delle spiagge. In (Eds. Cipriani L.E. e Regoli C.) Il Piano Regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico. *Erosione costiera*. Edifir, Firenze, p.125-165.

Chiocci F.L., Cipriani L.E., Falese F., La Monica G.B. (2009) - Search and characterization of relict sand deposits on the Tuscany continental shelf for the artificial nourishment of eroding beaches. In (Eds. Pascucci V. and Andreucci S.) Abstract book, 27th IAS Meeting of Sedimentology, Alghero, September 20-23, 2009, p. 106, Sassari, Italy.

Cipriani L.E., Ferri S., Iannotta P., Mannori S. e Pranzini E., 2004. Evoluzione recente delle spiagge toscane. In: L.E. Cipriani e C. Regoli (Editori), Il Piano Regionale di gestione integrata della costa ai fini del riassetto idrogeologico – Erosione Costiera. Regione Toscana – Edifir, pp. 75-92.

Cipriani L.E. e Pranzini E., 1999. Evoluzione recente delle spiagge toscane. In: Rapporto sullo Stato dell'ambiente della Regione Toscana - 1998, Regione Toscana, pp. 77-85.

Cipriani L.E., Pranzini E., Vitale G. and Wetzel L., 2013. Adaptation to beach erosion at Maremma Regional Park (Tuscany, Italy). *GeoEcoMarina* 19/2013.

Cipriani L.E., Pranzini E. and Vitale G. (2013) - Coastal erosion in Tuscany: short vs. medium term evolution. In: L.E. Cipriani (Editor), Coastal erosion monitoring. A network of regional observatories – Results from RESMAR Project. Nuova Grafica Fiorentina, p. 135-155

Consorzio di Bonifica Toscana Sud (2015) – Monitoraggio degli effetti dei lavori contro l'erosione costiera nel Parco Regionale della Maremma. Report finale – Programma di interventi prioritari di recupero e riequilibrio del litorale. D.C.R. n.47 del 11.03.2003 Progetto n.20 "Foce Fiume Ombrone".

De Filippi G.L., Duchini E., Pranzini E. (2008) - Closure Depth estimation along the Tuscan coast aimed at short and long term coastal monitoring. In (Eds. Pranzini E. e Wetzel L.) Beach Erosion Monitoring, BeachMed-e/OpTIMAL Project, Nuova Grafica Fiorentina, Firenze, p. 33-50.

Gandolfi G., Paganelli L. (1979) - Le province petrografiche del litorale toscano – *Bollettino Società Geologica Italiana*, n. 96, 653-663.

Innocenti L., Pranzini E. (1993) - Geomorphological evolution and sedimentology of the Ombrone River delta (Italy). *Journ. Coastal Research*, 9, p.481-493.

Milano V., Ceciarini A., Falini A., Migliorini P. (1986) - Studio sui processi evolutivi in atto lungo il litorale Grossetano tra T.re Rocchette e Cala di Forno. Unpublished report, Comune di Grosseto, 205 p.

Paris E. et al (2014). Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze. Attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella regione Toscana, Attività D - Misure e rilievi nei corsi d'acqua. Relazione Tecnica. FIRENZE.

Paris E.; Minatti L.; Solari L.; De Cicco P.; Bosci L.; Mengoni B.; Morandi S. (2013). Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze. Attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella regione Toscana, Attività C - Modellazione Idraulica a fondo mobile. Parte 1: Fiume Ombrone Grossetano, il quadro conoscitivo. Relazione Tecnica.; Attività C2 - Modellazione idraulica a fondo mobile applicata al Fiume Ombrone Grossetano. FIRENZE.

Paris E.; Billi P. (2002). Progetto dell'impianto di monitoraggio delle portate liquide e solide nel bacino del Fiume Ombrone Grossetano. Elaborazione dati e analisi della dinamica d'alveo. REGIONE TOSCANA - UFFICIO GENIO CIVILE DI GROSSETO.

Pranzini E. (1989) - A model for cusped delta erosion. 6th Symp. on Coastal and Ocean Management/ASCE, Charleston, SC. Coastal Zone '89, p.4345-4357.

Pranzini E. (1994) - The erosion of the Ombrone River delta. EUROCOAST, Lisbon, September 1994, p.133-147.

TEA Ambiente S.R.L. (2006). Studio su modello numerico di supporto alla progettazione di interventi di difesa costiera fra Cala di Forno ed il limite Nord del Parco Regionale della Maremma. In: Progetto Preliminare del Programma di interventi prioritari di recupero e riequilibrio del litorale – D.C.R. n.47 del 11.03.2003 Progetto n.20 "Foce Fiume Ombrone", Ente Parco Regionale della Maremma.



## Sito di Calvi (Haute-Corse, Francia)

### Presentazione del sito

#### Inquadramento geografico

La spiaggia di Calvi si trova in Alta-Corsica nella microregione della Balagna (Figura 31). Si tratta di una grande baia sabbiosa che si estende per circa 3 km, limitata ad ovest dal molo del porto ed ad est dalla foce del fiume La Figarella.



**Figura 31 – Fotografia aerea e posizione della spiaggia di Calvi (Fonte : IGN BD-ortho 2007)**

Questa spiaggia è soggetta a un fenomeno di erosione costiera cronica che, in passato, ha causato danni più o meno significativi ai beni lungo la spiaggia, i ristoranti, le dune e le ferrovie. Per contrastare la ritirata della costa, opere difensive furono costruite nel 2001 : tre pennelli e tre barriere che hanno favorito la formazione di tomboli(Figura 31).

#### Descrizione geografica

È una lunga spiaggia (3000 m di costa costiera) di sabbia fine con conchiglie situata in un'ampia zona bassa legata alla presenza della Figarella, il fiume principale in cui si sono depositi gli alluvioni al quaternario. La descrizione nell'Figura 32 mostra le principali caratteristiche morfologiche di questa spiaggia, con una zona di spiaggia sottomarina in lieve pendenza (meno dell'1%) con morfologie di barre sabbiose molto piatte, una spiaggia aerea relativamente stretta ( tra 5 e 30 m) con una zona di dune poco sviluppata (da 1 a 2 m di altezza) e una duna vegetata su cui si sviluppa una grande pineta.

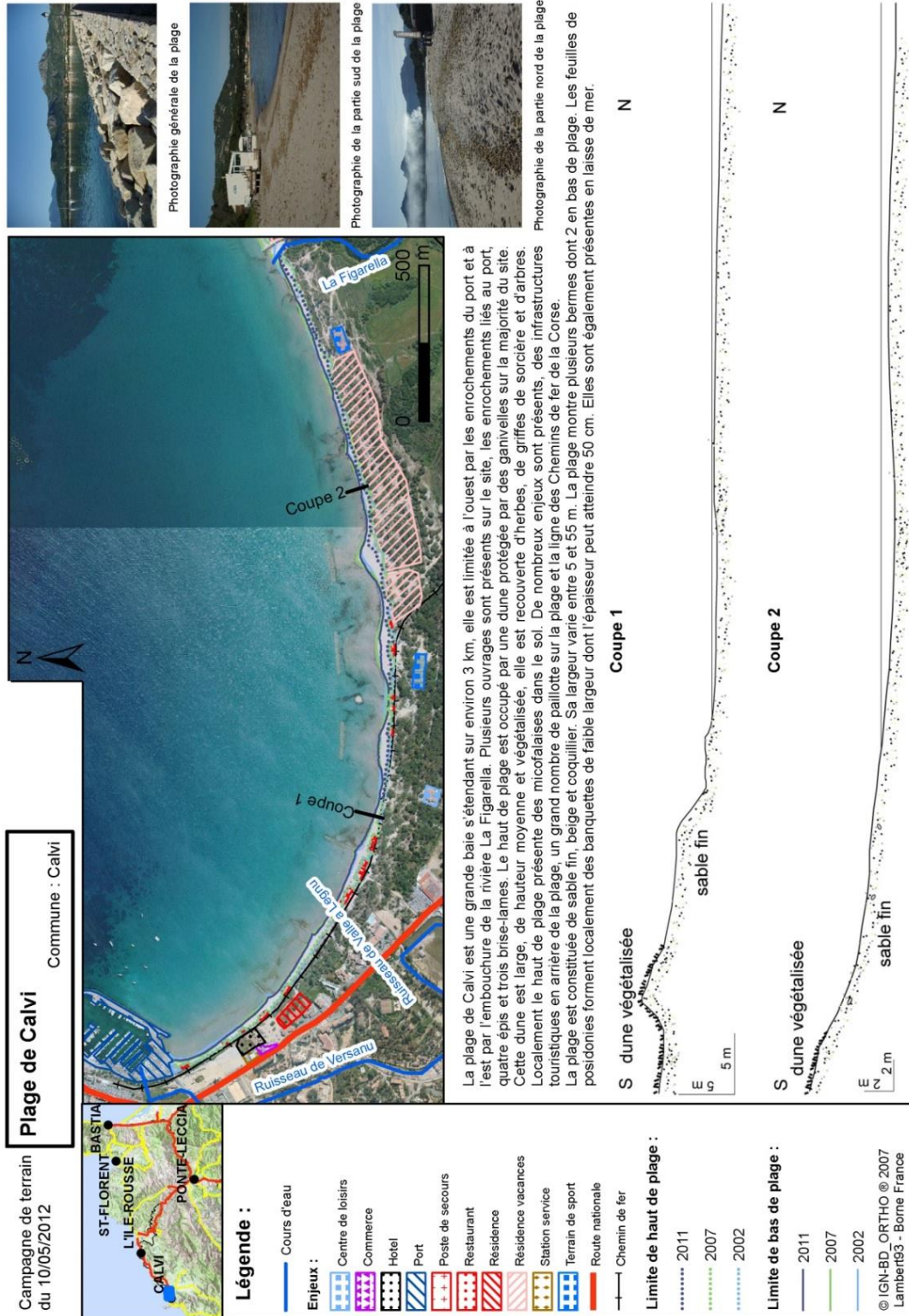


Figura 32 – Scheda descrittiva della spiaggia di Calvi (Belon et al., 2014).

## Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

La spiaggia di Calvi non è inclusa in un perimetro NATURA 2000, né in una particolare zona di protezione delle specie (ZNIEFF, ZICO, ZPS). D'altra parte, è allineato con un erbario di Posidonia ben sviluppato che è un habitat di interesse storico e una specie protetta. La duna con la sua pineta è anche un notevole ecosistema.

## Conoscenze disponibile

La spiaggia di Calvi è stata studiata molte volte per scopi diversi. Le principali conoscenze acquisite nel campo dei rischi costieri e della gestione delle coste sono riassunte nella tabella seguente (Tabella 1). Questi dati che vengono utilizzati nel resto del report per descrivere il sito MAREGOT di Calvi.

Thematica	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte	Bibliografia
Evoluzione della linea di riva	Linee di riva	Photografie aeree	1951-2011	BRGM	Belon <i>et al.</i> (2014)
		DGPS	2009-2016	ROL	Belon <i>et al.</i> (2016)
Evoluzione delle spiagge	Topografia	Profili topografici Lidar topografico	2001-2013	ROL	Stépanian <i>et al.</i> (2015)
			2013	IGN	Belon <i>et al.</i> (2016)
Evoluzione bathymetrica	Bathymetria	Profili bathymetrici	2001-2013	ROL	Stépanian <i>et al.</i> (2015)
Inondazione marina	SIG dei livelli di acqua possibili	Dati SIG Raster	2016	BRGM	Belon <i>et al.</i> (2016)
Assetti	SIG des enjeux linéaires et zonaux	dati SIG Vettori	2013	BRGM	Belon <i>et al.</i> (2013)

Tabella 1 – Conoscenze disponibile sul sito di Calvi (Haute-Corse).

## Stato della conoscenza

### Fenomeni costieri

#### Evoluzione della linea di riva

Alla scala cronologica storica (1937-2011), l'evoluzione della linea di riva è stata studiata da fotografie aeree per diverse date (Belon *et al.*, 2014). Le linee di riva per ogni anno sono state digitalizzate e confrontate l'una con l'altra mediante analisi diacronica quantitativa (Figura 3). L'arretramento è considerato forte se le velocità sono superiori a 0,5 m / anno e moderate per velocità tra 0,1 e 0,5 m / anno. L'intervallo è considerato stabile per velocità di più o meno 0,1 m / anno. L'anticipo è moderato per velocità comprese tra 0,1 e 0,5 m / anno e forte se le velocità sono superiori a 0,5 m / anno. Questa analisi mostra che, sebbene in questa scala temporale, la linea di riva sia relativamente stabile attraverso la baia, una tendenza all'erosione cronica, associata a un declino della linea di riva, si manifesta a partire del anno 1996. Questa situazione ha spinto l'OEC e il BRGM a integrare il sito di Calvi nella Rete di Monitoraggio del litorale della Corsica (ROL) dal 2001 (Palvadeau e Nay, 2002).

Per quanto riguarda l'evoluzione recente (2000-2016), un monitoraggio morfologico annuale è stato avviato nell'autunno del 2001 con una prima acquisizione di due profili di spiaggia (Figura 34) a

seguito dei lavori di ripascimento e della costruzione di dispositivi di protezione durante l'anno 2001 (pennelli e barriere). Il profilo Ovest si trovava a metà strada tra il secondo pennello e la prima barriera in un'area abbastanza sviluppata, dove il mare, prima del ripascimento, minacciava lo sviluppo economico e la piattaforma della ferrovia. ; e il secondo profilo si trova all'estremità orientale del settore, tra l'ultima barriera e l'ultimo pennello. Dal 2009, il monitoraggio annuale, con rilievo DGPS della linea di riva, è stato avviato su questo sito in considerazione delle preoccupanti tendenze osservate dall'inizio delle misurazioni sistematiche. L'evoluzione della posizione della linea di riva (qui definita come la spiaggia di sabbia) è mostrata nell'Figura 35.

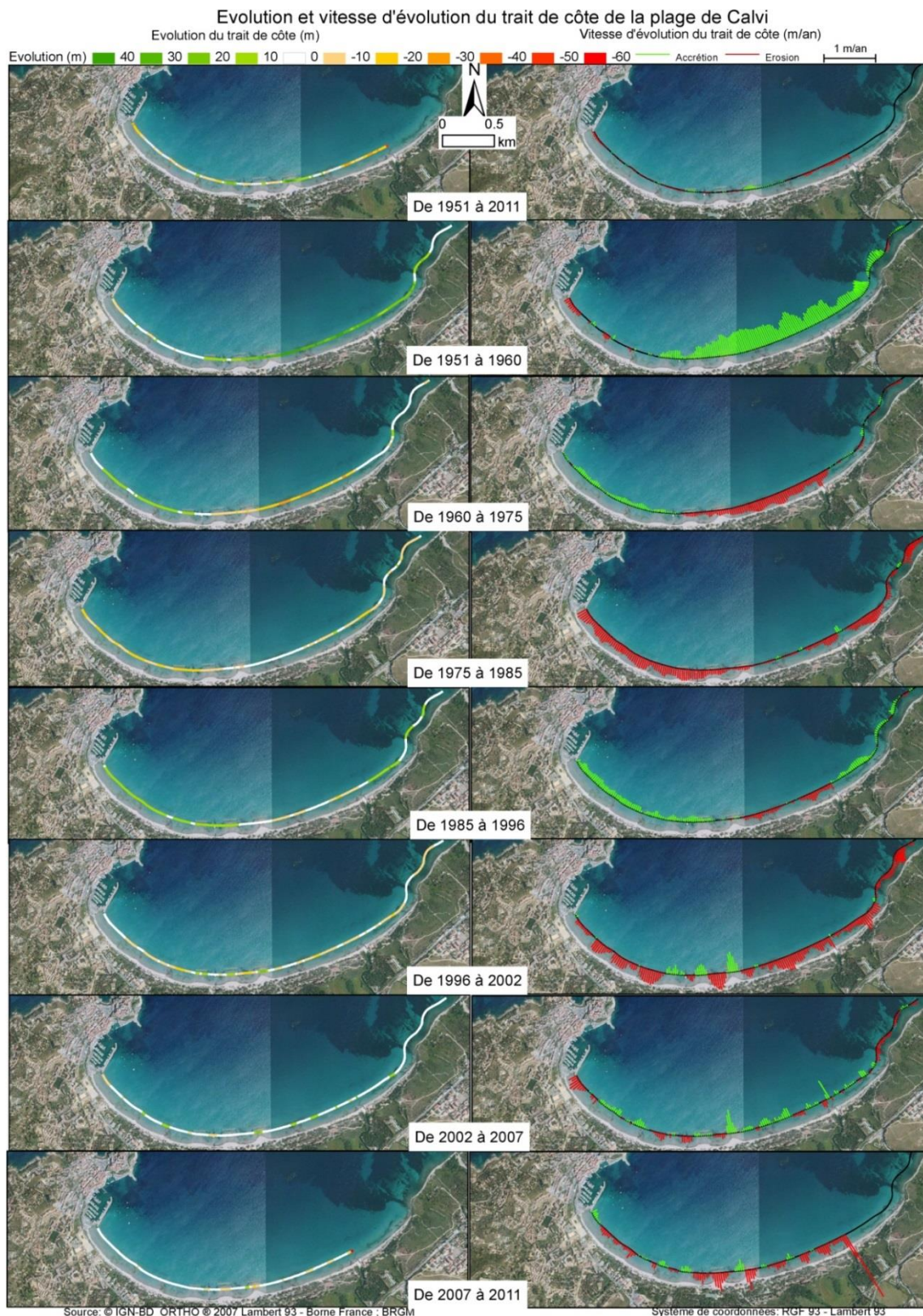
Dopo i ripascimenti della spiaggia di Calvi effettuati prima del rilievo dell'ottobre 2001, si osserva un comportamento opposto tra le due estremità della baia, con una parte occidentale piuttosto stabile, con una leggera evoluzione residuale della linea di riva. a livello di profilo. Tuttavia, questa stabilità può essere in parte definita artificiale, perché è legata alla presenza di strutture "dure" (pennelli, barriere) e dipende anche dalla scarsa mobilità delle barre sottomarine che presentano uno stock sedimentario molto limitato. Al contrario, sul profilo est, il declino è più cronico, e peggiora dal 2011.

Sulla spiaggia sommersa, il periodo 2002-2006 è stato caratterizzato da una dinamica legata alle barre sottomarine. Così, nel settore occidentale, dove l'evoluzione naturale ha reso possibile la mobilità delle barre, la spiaggia era molto stabile. Al contrario, la dinamica naturale nell'ovest era limitata dagli sviluppi e si osservava un piccolo ma costante declino. I rilievi dal 2009 mostrano una situazione inversa con un settore orientale in forte erosione, soprattutto a livello del fronte delle dune sul profilo, e una situazione del profilo occidentale che diventa sempre più favorevole rispetto al 2006. Nel settore est, le barre sottomarine sono stati indeboliti dal 2006 e non proteggono più la costa dall'erosione, che è stata significativa qui per diversi anni.

La pendenza delle dune è forte, segno di crescente vulnerabilità, mascherata in alcuni anni (2010) da depositi massivi di foglie di posidonia. Nel 2013, i profili mostrano piuttosto una tendenza a ricostruire la spiaggia emersa, ma questa osservazione deve essere relativizzata dato il generale declino della posizione della costa.

Gli ultimi sondaggi condotti nel 2015 confermano una erosione importante a l'este e nelle zona delle barriere con tacche di erosione nel cordone delle dune che hanno anche portato a lavori di emergenza per proteggere la ferrovia. Questo risultato giustifica le continue riflessioni che sono necessarie per gestire questo fenomeno di erosione sull'intera baia a più lungo termine.





**Figura 33 – Evoluzione 1951 - 2011 dell'linea di riva della spiaggia di Calvi**

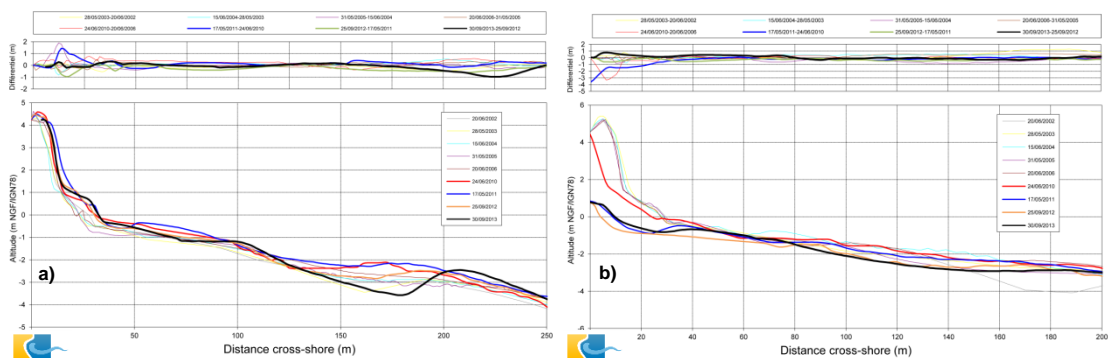


Figura 34 - Profili di spiaggia aerea Ovest (a) ed Este (b) – Calvi (c) ROL (c) periodo 2002-2013 (Stépanian *et al.*, 2015).

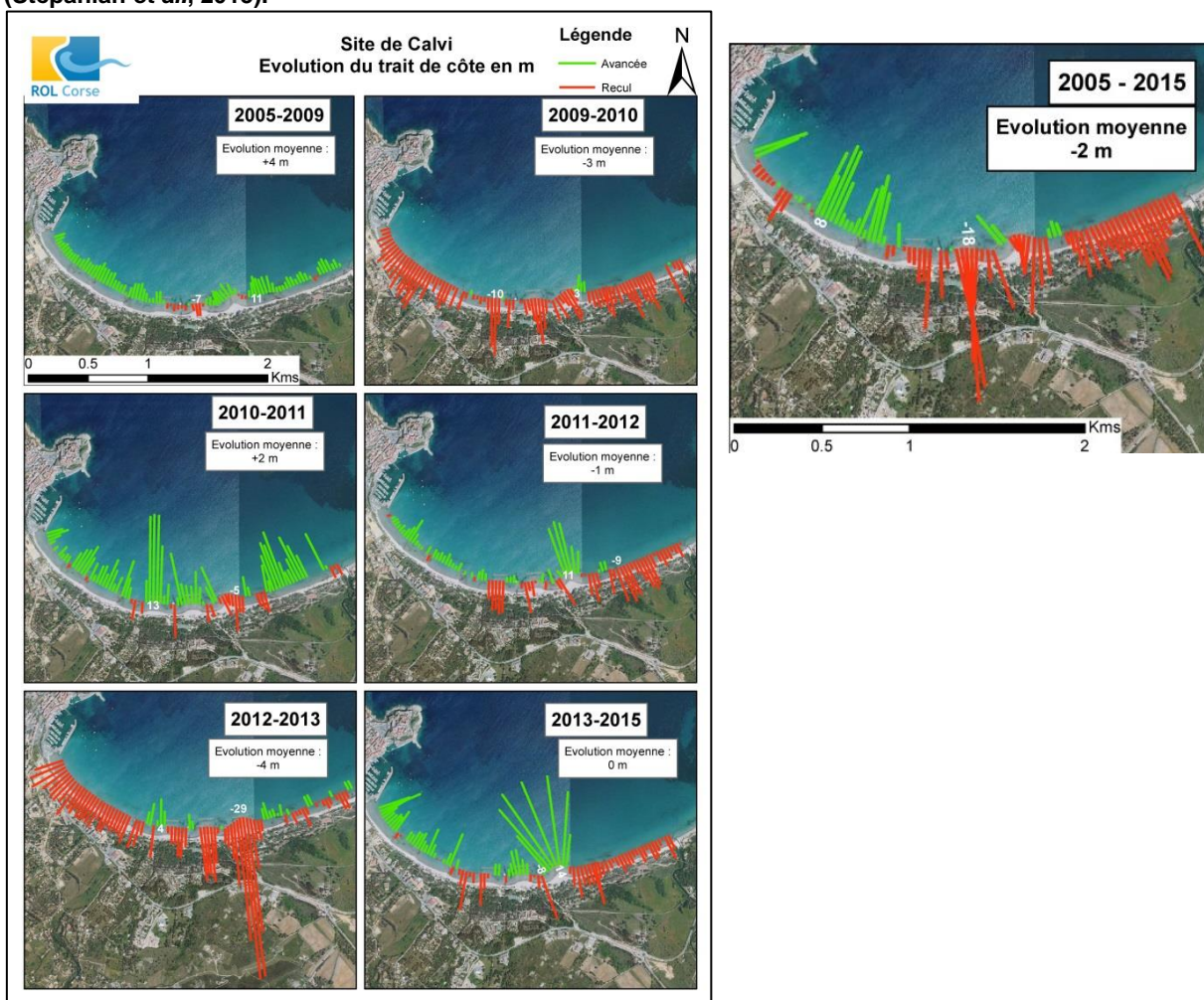


Figura 35 – Sito di Calvi, Evoluzione pluriannuale della linea di riva tra 2005 e 2015 (© IGN BD-ORTHO 2007 ; in Belon *et al.*, 2015).

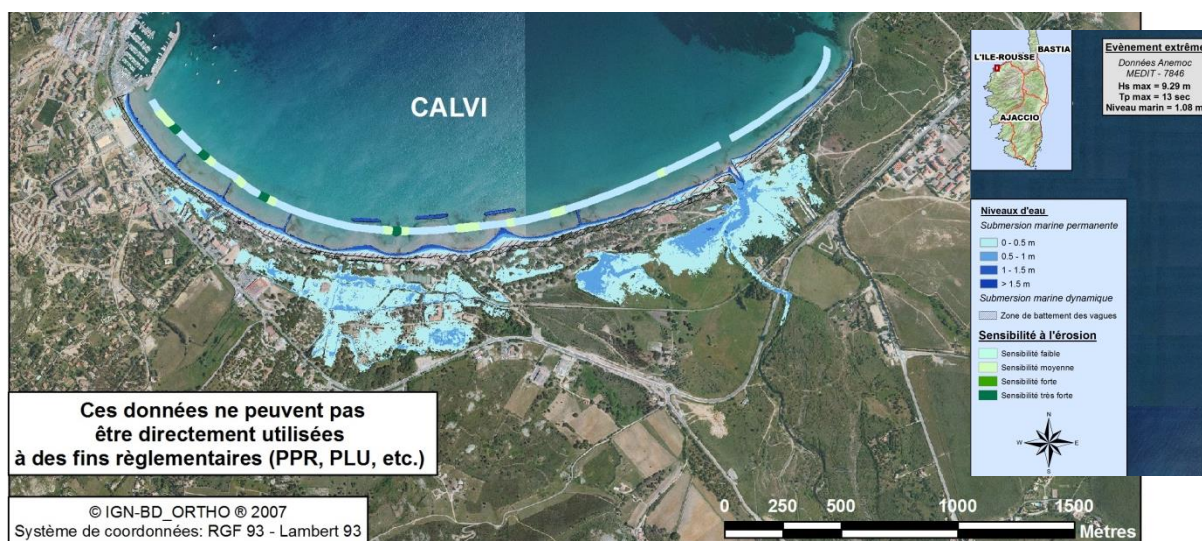
Inondazione marina

La spiaggia di è stata valutata per la vulnerabilità della costa all'immersione marina (Belon *et al.*, 2016). Questo approccio era basato su:

- la stima di un periodo di ritorno delle onde di 100 anni, utilizzando una banca dati sulle mareggiate disponibile sul perimetro della Corsica (Base ANEMOC, CEREMA / EDF);

- il calcolo dei livelli marini attraverso la formulazione di Stockdon *et al.* (2006);
- il confronto di questi livelli con i dati topografici Lidar raccolti dall'IGN nel 2013 su tutta la costa della Corsica.

L'Figura 36 mostra un estratto dell'area delle zone soggette a un fenomeno di inondazione marina di avvenimento centennale.



**Figura 36 - Cartografia dell'inondazione marina permanente e della sensibilità della spiaggia di Calvi all'erosione costiera (Belon *et al.*, 2016).**

Sembra che l'intera spiaggia sia soggetta a potenziali inondazioni marine. La duna protegge le zone basse dietro, che sono scollegate dal mare. In caso di distruzione della duna, queste aree sarebbero quindi esposte all'immersione. Anche la foce della Figarella a l'este è un'area esposta a causa del suo collegamento naturale con il mare. Questa zona è anche esposta alle inondazioni fluviali del fiume (non descritto qui).

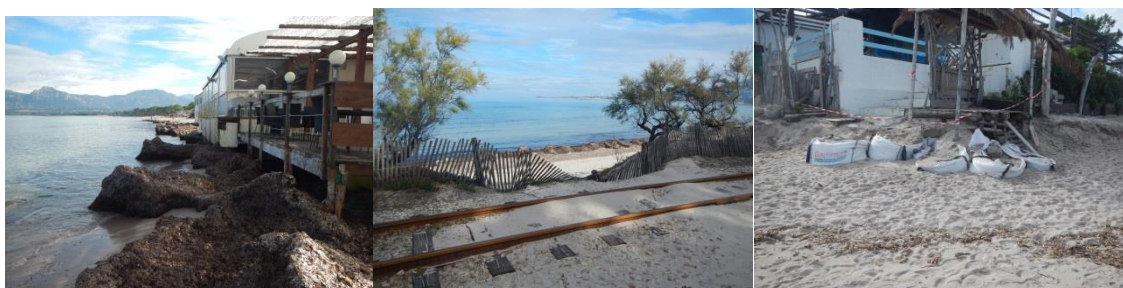
### Piani di prevenzione dei rischi costieri

Nonostante la natura cronica dell'erosione costiera e una significativa esposizione degli assetti alla potenziale immersione marina durante le mareggiate, la spiaggia di Calvi non è oggetto di una specifica regolamentazione statale in termini di prevenzione del rischio costiero. In particolare, non esiste un piano di prevenzione del rischio costiero (erosione e / o sommersione marina) prescritto in questo territorio. Tuttavia, come in tutta la costa francese, un portare a conoscenza delle comunità sui rischi di immersione marina con è stato realizzato dai servizi dello Stato (DREAL Corse) nel quadro dell'attuazione della direttiva europea inondazioni (Atlas zone sommergibile). Inoltre, questa spiaggia fa parte del programma di sorveglianza della Rete di osservazione del litorale dal 2002 monitorando la topografia batimetrica delle spiagge e la posizione della linea di riva.

### Attività presente

La baia può essere divisa in due aree, una a l'este che rimane naturale e l'altra ad ovest più sviluppata con la presenza di attività lungo la costa, tra cui una linea ferroviaria nella parte superiore della duna sulla metà occidentale della spiaggia e molti ristoranti sulla spiaggia (Figura 37). Una

cartografia precisa di questi attività è stata effettuata su questo sito da Belon *et al.* (2013). È rappresentata nell'Figura 2. Vengono così distinti i seguenti elementi: questioni lineari (strade, ferrovie, ecc.) e questioni fondiari e immobiliari, a seconda del loro uso socio-economico. Questo lavoro è stato oggetto della creazione di uno strato di informazioni georeferenziate specifico. Sul sito sono quindi presenti numerosi attività: le infrastrutture turistiche dietro la spiaggia, un gran numero di ristoranti sulla spiaggia e la linea delle Ferrovie Corse. La linea ferroviaria in cima alla duna è sempre più minacciata dall'erosione costiera (Figura 7). Lavori di protezione sono stati fatti urgentemente in 2015 per proteggere questa strada maggiore per la Balagne (Bastia-Calvi).



**Figura 37 – Esempi di attività sommesse all'erosione costiera sulla spiaggia di Calvi**

## Conclusione

### Problematica del sito

La spiaggia di Calvi è una grande baia sabbiosa con molte attività (infrastruttura turistica, capanne sulla linea di riva, ferrovie corse). Questa spiaggia è storicamente soggetta a un fenomeno di erosione costiera cronica con conseguenze significative sull'attività socio-economica, che ha giustificato la costruzione di tre pennelli e tre barriere nel 2001 per provare a limitare questi impatti. Questo sito è quindi oggetto di una riflessione strategica complessiva sull'erosione costiera che integra sia l'occupazione da spiaggia (ristoranti, lidi), sia la sicurezza della ferrovia, e che presenta anche importante attività turistiche, economiche e ambientali. Il sito presenta anche l'interesse di un gruppo di attori (Comune di Calvi, Consiglio dipartimentale di Haute-Corse, Office de l'Environnement de la Corse, Collectivité Territoriale de Corse, BRGM) motivato dall'attuazione di una strategia che potrebbe beneficiare di un ritorno di esperienza più ampia e contare sulla rete di esperti di MAREGOT.

### Representatività transfontaliera del sito

Il sito di Calvi, attraverso l'esposizione delle attività socio-economiche, le questioni ambientali, la cronologia dell'erosione, le iniziative di protezione e la volontà condivisa di tutti gli attori di avviare una strategia di gestione condivisa, è un sito ottimale per la definizione di metodi integrati per l'analisi del rischio costiero connessi all'erosione.

Se le dinamiche a medio termine sono ben documentate, la scala degli eventi deve ancora essere analizzata. Permetterà migliorare la conoscenza dei meccanismi di erosione rapida e di inondazione su un sito molto rappresentativo delle spiagge dello spazio litorale Marittimo (spiaggia piccola e stretta con attività turistiche ed economiche).

## Bibliografia

Balouin Y., Palvadeau E., et Bodéré, G. (2005b). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2004. Rapport BRGM/RP-54016-FR, 160 p.

Balouin Y., Palvadeau E., et Bodéré, G. (2006a). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Sites sensibles à évolution forte et problématique. Rapport d'avancement, année 2006. Rapport BRGM/RP-54997-FR, 37 p.

Balouin Y., Palvadeau E., et Bodéré, G. (2006b). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2005. Rapport BRGM/RP-54647-FR, 153 p., 107 ill.

Balouin Y., Palvadeau E., et Bodéré, G. (2007a). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observations 2006. Rapport BRGM/RP-55617-FR, 143 p., 102 ill.

Balouin Y., Palvadeau E., Bodéré G., et Hennequin V. (2009) – Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2008. Rapport BRGM/RP-57521-FR, 153 p., 111 ill.

Belon, R., Balouin, Y., Merour, A., Riotte, C. et Bodere. G. (2013) – Atlas Littoral de la Haute-Corse de Bastia à Galeria. Rapport final. BRGM/RP-62214-FR, 124 p., 20 ill., 81 pl.

Belon R., Balouin Y., Bodéré G, (2016) – Atlas Littoral de la Haute-Corse de Bastia à Galéria – Phase finale. Rapport BRGM/RP-64052-FR ; 90 p., 50 ill., 2 annexes.

Durand N., Palvadeau E., et Nay K.M. (2003). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2002. Rapport BRGM/RP-52348-FR, 156 p.

Durand N., Palvadeau E., et Nay K.M. (2004). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2003. Rapport BRGM/RP-53361-FR, 179 p.

Oliveros C., et Delpont G. (1998). Littoral occidental Corse – Evolution du trait de côte p., de 1951 à 1996 Agriates au Golfe de Ventilègne. Rapport BRGM/RR-39480-FR. Orléans : BRGM, 107 p.

Palvadeau E., et Nay K.M. (2000). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Choix et implantation des sites. Rapport BRGM/RR-40965-FR. Orléans : BRGM.

Palvadeau E., et Nay K.M. (2002). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2001. Rapport BRGM/RR-51503-FR. Orléans : BRGM, 89 p.

Stépanian A., Bélon R., Bodéré G., Bacon A., et Campmas L. (2011) – Réseau d'Observation du Littoral de la Corse. Rapport d'observations 2010. Rapport BRGM RP-60265-FR, 204 p., 135 ill.

Stockdon, H.F.; Holman, R.A.; How, P.A.; Sallenger, A. H. Jr. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and run-up. *Coastal Engineering*, 53, pp. 573-588

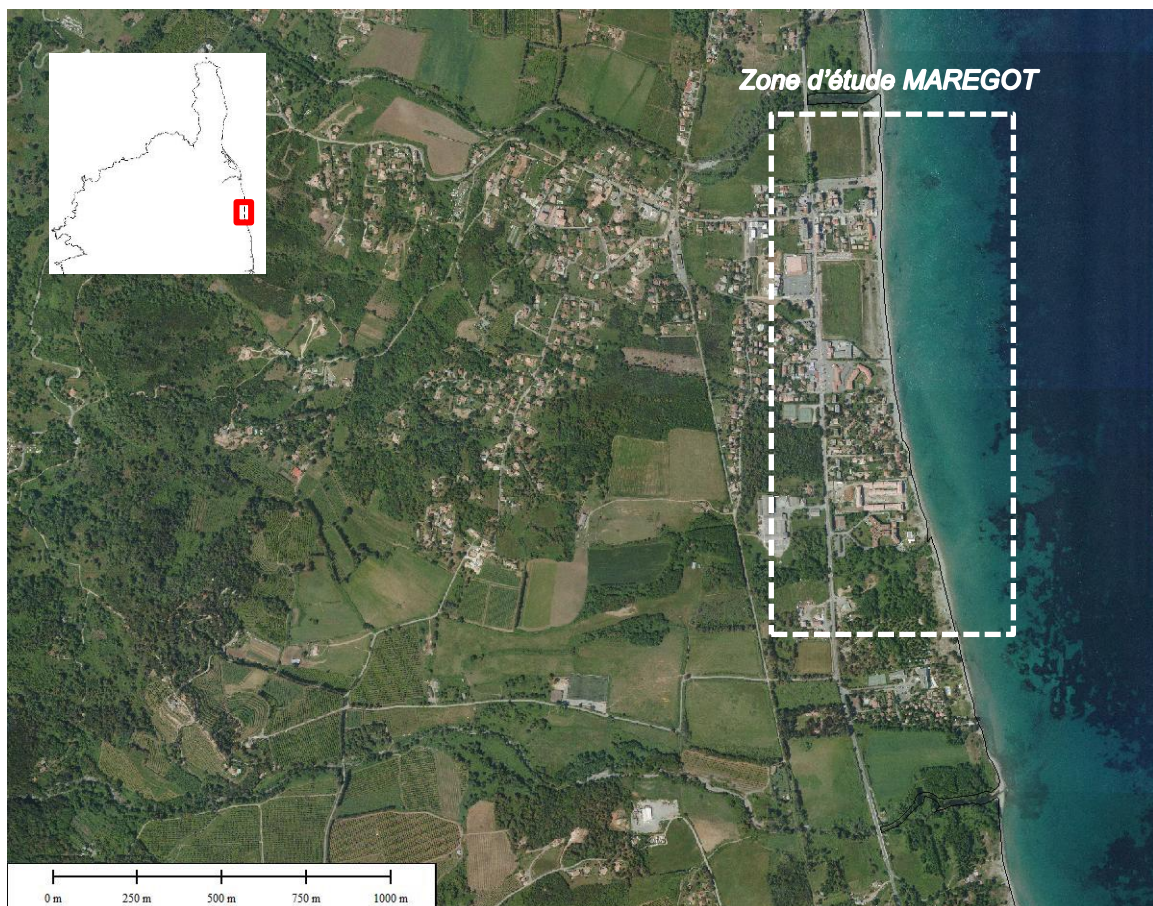


## Sito di Moriani (Haute-Corse, *Francia*)

### Presentazione del sito

#### Inquadramento geografico

La spiaggia di Moriani si trova nel comune di San Nicolao nella microregione della Castagniccia. È una spiaggia situata nella pianura orientale della Corsica, una costa sabbiosa lunga cento chilometri e che si estende da Bastia al nord a Solenzara al sud. Il Sito è concentrato sulla parte urbanizzata della costa (Figura 11).



**Figura 1 - Vue aérienne et localisation de la plage de Moriani (Source : IGN BD-ortho 2007)**

Questo settore conosce un'erosione e un'arretramento della costa, che si traduce in operazioni di ripascimento periodiche. Il sito si trova a circa 4 chilometri a nord del porto di Taverna. Le dighe del porto hanno un ruolo importante bloccando il trasporto litorale sud-nord, contribuendo in parte alla mancanza locale degli apporti sedimentari. Per contrastare l'arretramento della linea di riva al nord del porto, sono state installate pennelli geotessili sulla costa di Merendella, che localmente rallentano i transiti sedimentari che possono alimentare la spiaggia di Moriani.

## **Inquadramento geomorfologico generale**

La spiaggia di Moriani è caratteristica delle spiagge della pianura orientale. È relativamente ampia (20-25 m), leggermente in pendenza (1,5%), con una duna molto limitata, a causa dell'urbanizzazione della parte superiore della spiaggia (**Figura 2**).



**Figura 2 – Spiaggia di Moriani, durante la mareggiata del 12/12/2017 (verso il Nord)**

Il profilo della spiaggia mostra micro-morfologie (berme, crescenti, piccole barre di swash) sul litorale. Quando le condizioni energetiche delle onde aumentano, la spiaggia è generalmente soggetta ad erosione da parte delle onde che si traduce nella creazione di micro-scogliere, cicatrici dei livelli massimi raggiunti dalla zone di swash.

La spiaggia sottomarina ha generalmente da una a diverse barre sottomarine di ampiezza metrica a multi-metrica. La loro formazione risulta da processi complessi che molto spesso variano da un sito all'altro.

Più al largo, sul dominio sottomarino, lungo tutta la pianura orientale, un prato di posidonia si estende omogeneamente da nord a sud da -10 m di profondità. Infine, a causa della presenza del grande erbario di Posidonia a prossimità della costa, le spiagge ricevono regolarmente detriti che si accumulano sulla spiaggia e formano le "banquette".

## **Inquadramento fisiografico/ecosistemico**

La spiaggia di Moriani non è inclusa in un perimetro terrestre NATURA 2000, né è una zona di protezione dalle Specie Speciali (ZNIEFF, ZICO, ZPS). Tuttavia la zona sottomarina è caratterizzata dalla presenza di un prato di Posidonia di interesse comunitario (sito NATURA 2000 FR9402014 "Grande erbario della costa orientale") ai sensi della direttiva abitati.



## Conoscenze disponibile

Le principali conoscenze acquisite nel campo dei rischi costieri e della gestione delle coste nella spiaggia di Moriani, e più in generale nella pianura orientale della Corsica, sono riassunte nella tabella seguente (Tabella 11).

Thematica	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte	Bibliografia
Evoluzione della linea di riva	Linee di riva	Photografie aeree	1948-2007	BRGM	Stépanian <i>et al.</i> (2010)
		DGPS	2009-2016	ROL	Belon et Bodere. (2016)
Evoluzione delle spiagge	Topografia	Profili topografici Lidar topografico	2001-2013	ROL	Belon et Bodere.. (2016)
Evoluzione bathymetrica	Bathymetria		2001-2013	ROL	Belon et Bodere. (2016)
Inondazione marina	SIG dei livelli di acqua possibili	Profili bathymetrici	2012	BRGM	Balouin <i>et al.</i> (2011)
asseti	SIG des enjeux linéaires et zonaux	Dati SIG Raster	2010	BRGM	Stépanian <i>et al.</i> (2010)

Tabella 1 – Conosceze disponibile sul sito de Moriani (Haute-Corse).

## Stato della conoscenza

### Fenomeni costieri

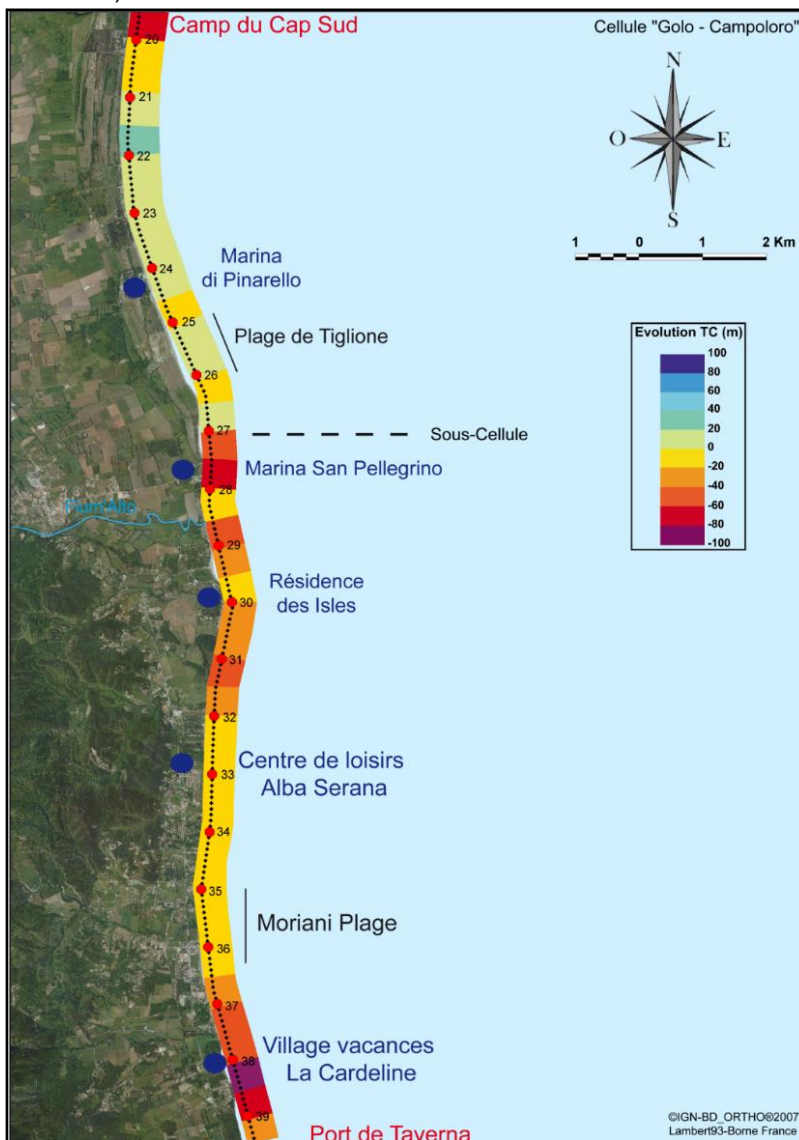
#### Evoluzione della linea di riva

Alla scala cronologica storica (1948-2007), l'evoluzione della linea di riva è stata studiata da fotografie aeree per diverse date (Stepanian *et al.*, 2010). Le linee di riva per ogni anno disponibile sono stati digitalizzati e confrontati l'uno con l'altro mediante analisi diacronica quantitativa (**Figura 3**).

L'arretramento residuale assoluto è quindi considerato tra il 1948 e il 2007. A Moriani, l'erosione storica della costa viene quindi confermata con arretramenti massimi della linea di riva dell'ordine di 20 m in 60 anni, quindi un valore medio di 0,33 m / anno. In questa scala temporale, la linea di riva in questo settore è quindi in una tendenza di arretramento moderato ma cronico. L'impatto della costruzione del porto di Taverna negli anni 70 ha avuto conseguenze in termini di riduzione della quantità di sedimenti arrivando su questa porzione di costa all'origine, in parte, di questa erosione. Questa situazione ha spinto l'OEC e il BRGM a integrare il sito nella rete di monitoraggio del littoral corso (ROL) dal 2002 (Palvadeau e Nay, 2002).

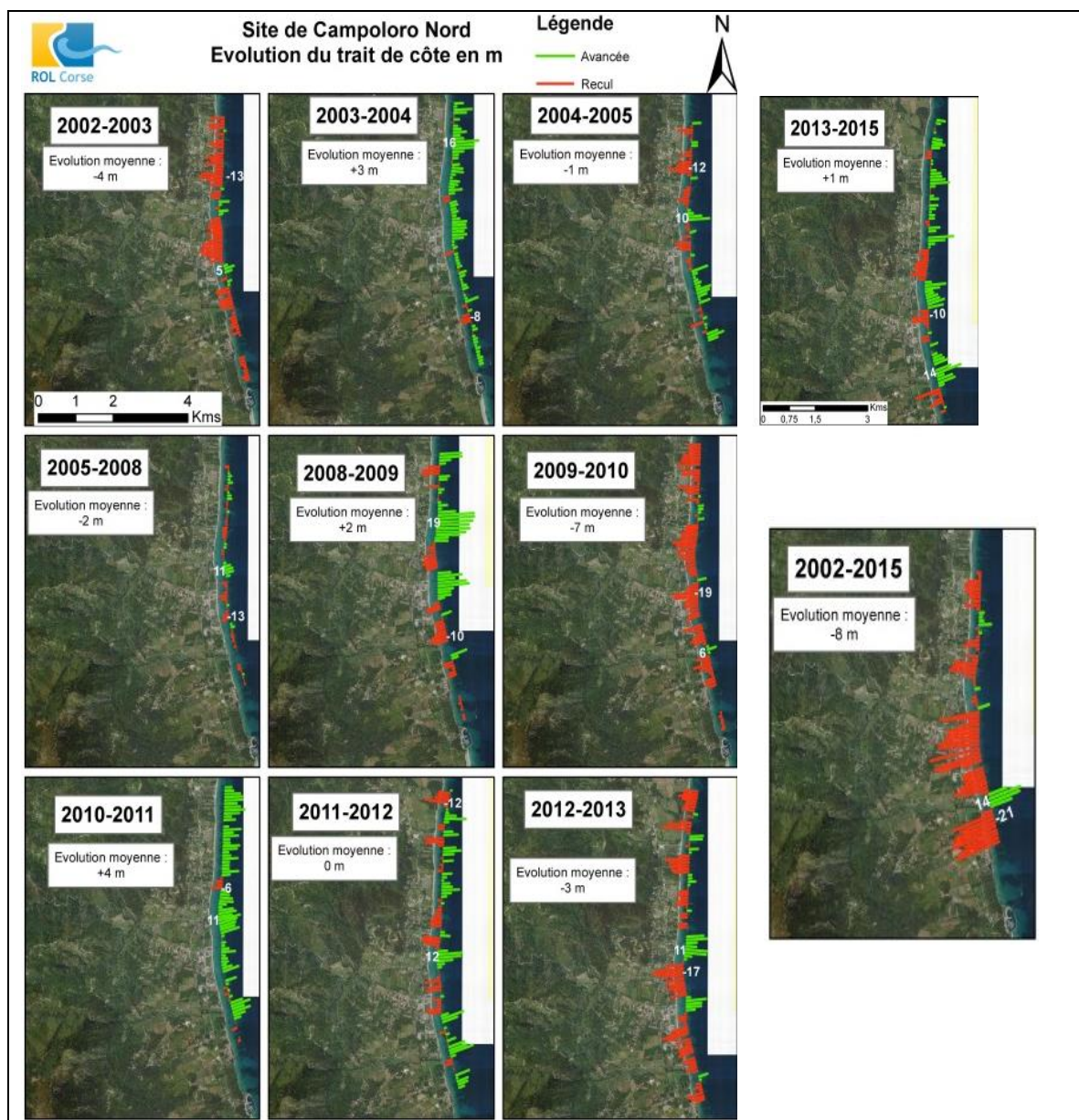
È stato pertanto avviato un monitoraggio annuale della posizione della linea di riva. I risultati di questo monitoraggio sono mostrati nell'**Figura** . Tra 2012 e 2015, l'arretramento medio della costa è misurato nell'ordine di -8 m sull'intero lineare. Questa evoluzione, tuttavia, mostra una grande variabilità temporale con periodi di stabilità della riva, ma anche una forte disparità spaziale delle evoluzioni lungo la costa. Il comportamento della linea di riva studiato a questa scala temporale è la conseguenza di diversi fattori per cui le modalità di interazione non sono ancora ben conosciute. Pertanto, la deriva litorale, motore dell'evoluzione morfologica a medio e lungo termine, è

controllata dal clima delle onde e l'impatto delle tempeste è responsabile delle evoluzioni (principalmente erosioni) nel brevissimo termine.



**Figura 3 – Evoluzione 1947 - 2007 della linea di riva sulla pianur orientale (Cele Golo-Campoloro ; Stépanian *et al.*, 2010).**

Le indagini annuali non consentono di discriminare il ruolo rispettivo di questi agenti, ma consentono comunque ad evidenziare l'evoluzione morfologica del litorale. Pertanto, la grande variabilità spaziale dell'evoluzione del litorale è legata alla morfologia della spiaggia sottomarina, che presenta lungo la pianura orientale importanti barre sottomarine, di forma rettilinea e / o in mezzeluna. Queste forme migrano longitudinalmente sotto l'effetto delle onde incidenti (deriva litorale) e nei periodi di marreggiate. Determinano l'impatto delle onde sulla costa dissipandole al largo (shoaling) e distribuendo la concentrazione della loro energia modificando la loro incidenza alla costa (rifrazione). L'implementazione di tecniche di videosorveglianza su questo sito attraverso il progetto MAREGOT dovrebbe consentire ad evidenziare questi comportamenti a breve, medio e lungo termine tenendo conto delle condizioni idrodinamiche incidenti, al fine di conoscere e, se possibile, parametrizzare la dinamica delle bare sottomarine e il loro rapporto con l'evoluzione della costa (berma) e forse con l'evoluzione della parte superiore della spiaggia (duna) sui settori non urbanizzati.



**Figura 4 – Sito di Moriani, Evoluzione pluriennale della linea di riva al nord del Porto di Taverna tra 2002 e 2015 (© IGN BD-ORTHO 2007 ; in Belon et Bodéré.,2016).**

#### Inondazione marina

La linea di riva sul sito di Moriani è stata oggetto di una valutazione della vulnerabilità al fenomeno di inondazione marina effettuata alla scala della pianura orientale (Balouin *et al.*, 2012). Questo approccio era basato su:

- La stima di un periodo di ritorno di mareggiate di 100 anni, basato su un database di dati ondometriche sviluppata in Corsica (BDHC, Belon, 2013);
- il calcolo dei livelli marini raggiunti attraverso la formulazione di Stockdon *et al.* (2006);
- il confronto di questi livelli con i dati topografici Lidar acquisiti dal BRGM e dall'OCE nel 2010, sull'intera pianura orientale della Corsica.

L'**Figura 38** mostra un estratto dell'area delle zone soggette a fenomeni di inondazione marina centenaria.

## Submersion marine sur la Plaine orientale de Corse

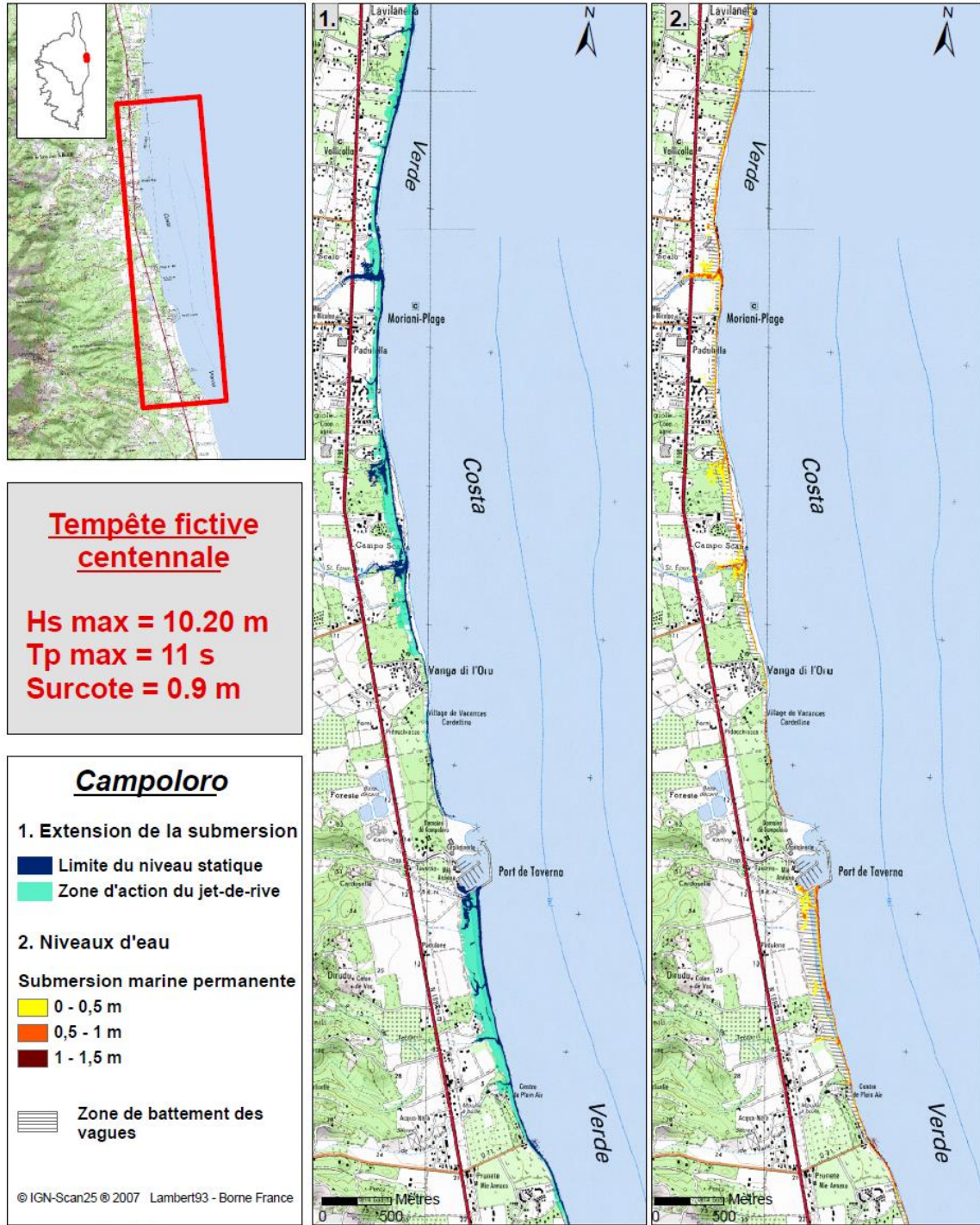


Figura 38 - Cartografia dell'inondazione marina per una mareggiata centenaria (sull'altezza delle onde) (Balouin et al., 2010).

L'intera spiaggia è logicamente soggetta a potenziali inondazioni da sommersione marina. La propagazione della sommersione è controllata dalla topografia delle superfici terrestri. Così, gli settori con un cordone di dune sviluppato sono relativamente protetti mentre le fozze dei piccoli fiumi costieri sono aree di penetrazione delle acque marine durante le tempeste.

#### Piani di prevenzione dei rischi costieri

Nonostante l'esposizione della costa all'erosione costiera e all'inondazione marina in tempesta, non esiste una regolamentazione specifica dello Stato in termini di prevenzione del rischio costiero nella pianura orientale. Non esiste un piano di prevenzione del rischio costiero (erosione e / o sommersione marina) prescritto in questo territorio. Tuttavia, come in tutta la costa francese, un portare a conoscenza delle comunità sui rischi di immersione marina con è stato realizzato dai servizi dello Stato (DREAL Corse) nel quadro dell'attuazione della direttiva europea inondazioni (Atlas zone sommergibile). L'intera costa tra Moriani e il Porto di Taverna nel Sud è stata parte del programma di monitoraggio della Rete di osservazione del litorale dal 2002 con il monitoraggio della topografia e batimetrica delle spiagge e della posizione della costa (vedere l'**Figura** ).

#### Attività presente

La costa di Moriani è molto urbanizzata con edifici e campeggii situati sulla alta spiaggia e sulla zona delle dune. Si tratta di una baia che può essere divisa in due settori, uno a est che rimane naturale e uno a ovest che è disposto con la presenza di pali lungo la costa, tra cui un binario ferroviario situato in cima del duna cord sulla metà occidentale della spiaggia e molti ristoranti fronte mare di fronte al mare (Figura 6).

Le cordon littoral de Moriani est très urbanisé avec des constructions et des campins situés sur l'arrière plage et le domaine dunaire (Figura ).



**Figura 6 – Esempi di attività vulnerabili all'erosione costiera sul sito di Moriani (17/12/2017).**

Una cartografia precisa delle attività è stata effettuata nella pianura orientale (Stepanian *et al.*, 2010). È presentata nell'Figura 7, per quanto riguarda la costa di San Nicolao. Assetti lineari ed assetti immobiliari si distinguono in base al loro uso socio-economico.

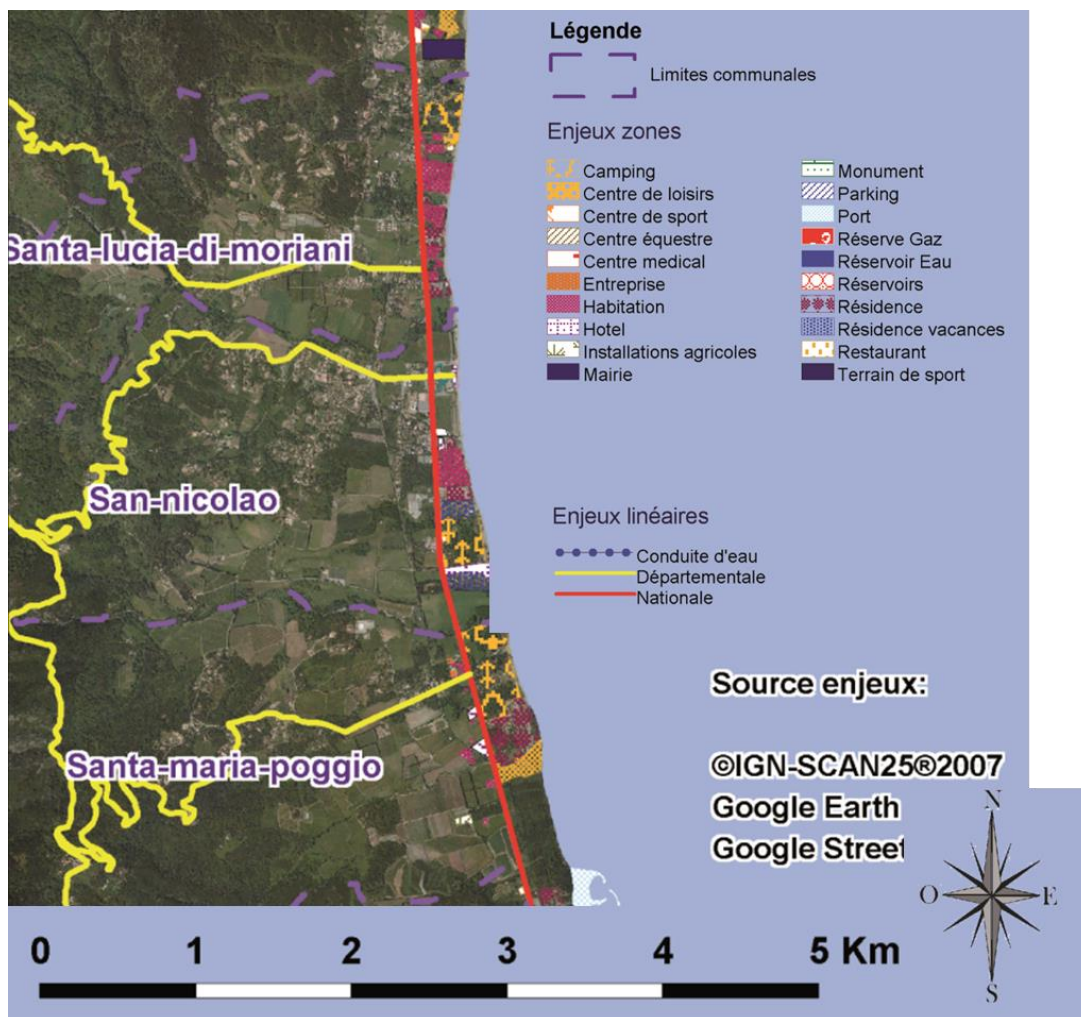


Figura 7 – Cartografia delle attività sulla costa del sito di Moriani (Stépanian *et al.*, 2010).

## Conclusione

### Sintesi delle problematiche del sito

La spiaggia di Moriani si trova nella pianura orientale della Corsica, una costa sabbiosa lunga 100 km tra Bastia e Solenzara. È una zona costiera molto turistica con molte attività: infrastrutture turistiche (campeggi) dietro la spiaggia, un gran numero di ristoranti sulla spiaggia e l'area urbana di Moriani-spiaggia. E anche un settore soggetto all'erosione cronica in connessione con la costruzione del Porto Taverna nel 1970. L'erosione significativa sulla costa ha portato alla realizzazione di tecnologie di protezioni come le strutture geotessile (pennelli) e barriere, e questa zona è regolarmente ricaricata di fronte all'area urbana. La complessità dei processi, tra deriva litorale ed impatto delle tempeste e la forte influenza della morfologia sottomarino (in barre in ordine

crescente) richiede una migliore integrazione di questi e comprensione attraverso un morfologica seguito da video della fotocamera.

### **Rapresentatività transfontalièra del site**

La spiaggia di Moriani si trova all'interno di una cella idrosedimentaria dove l'arretramento della linea di riva si osserva da molti anni e la gestione dell'erosione deve essere affrontata in una strategia alla scala di questa di cella sedimentaria. L'impatto delle infrastrutture portuali è molto interessante da evidenziare al fine di gestire meglio la sua evoluzione attuale e offrire analisi prospettive per il suo futuro. Il monitoraggio morfologico mostrerà gli effetti della deriva litorale, dell'impatto delle tempeste, della morfologia preesistente su una costa sabbiosa bassa, con ben sviluppate barre sottomarine in forma di mezzaluna, su un sito originale rappresentativo del litorale del territorio del Maritimo (litorale sabbioso continuo).

### **Bibliografia**

Bélon R. et Bodéré G. (2016) – Réseau d'Observation du Littoral de la Corse. Rapport d'observations 2015. Rapport BRGM RP-66351-FR, 111 p., 66 ill.

Balouin, Y., Belon, R., Delvallée, E., Lamy, M. et Bodéré, G., 2011. ROL : Etude complémentaire sur l'impact des tempêtes sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse. Cartographie de la submersion marine, de la sensibilité à l'érosion côtière et de l'exposition des enjeux. RP-59724-FR, 39p + volume cartographique

Palvadeau E., et Nay K.M. (2002). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2001. Rapport BRGM/RR-51503-FR. Orléans : BRGM, 89 p.

Stépanian A., Balouin Y., Bacon A., Bodéré G, Danger Y., Hennequin V., (2010). Atlas littoral de la plaine orientale de Corse. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 80 p., 13 ill., 28 planches.

Stockdon, H.F.; Holman, R.A.; How, P.A.; Sallenger, A. H. Jr. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and run-up. Coastal Engineering, 53, pp. 573-588



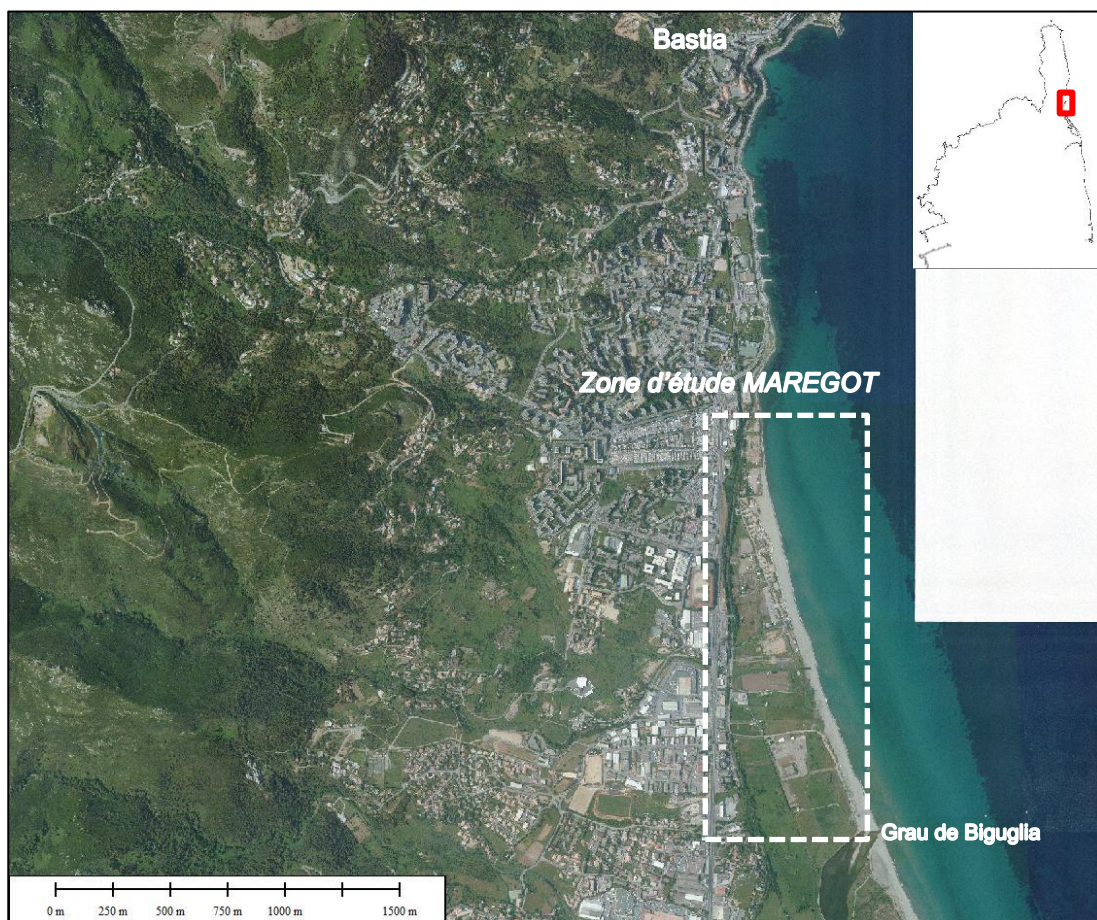


## Sito dell'Arinella (Bastia, Haute-Corse, Francia)

### Presentazione del sito

#### Inquadramento geografico

La spiaggia dell'Arinella si trova al sud di Bastia, tra l'area protetta da barriere al nord e il grau dello stagno di Biguglia al sud (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



**Figura 1 – Fotografia e posizione della spiaggia dell'Arinella (Source : IGN BD-ortho 2007)**

La parte settentrionale della spiaggia è oggetto di un importante progetto per estendere il porto di Bastia (Figura 2). Questo progetto di sviluppo portuale avrà un forte impatto sulle dinamiche del litorale locale in termini di transiti sedimentari sulla spiaggia ma anche a livello del grau di Biguglia che garantisce gli scambi tra la laguna e il mare. Studi di impatti idrosedimentari, con la modellazione predittiva della futura evoluzione del litorale sono stati effettuati dal 2006 per conto della Collettività territoriale della Corsica. (CTC, 2006, 2010). Questo settore, che non è monitorato come parte della rete di osservazione del litorale della Corsica (ROL), richiede tuttavia l'attuazione

di una strategia di monitoraggio per migliorare la comprensione delle dinamiche idro-sedimentarie naturali (Stépanian *et al.*, 2012).

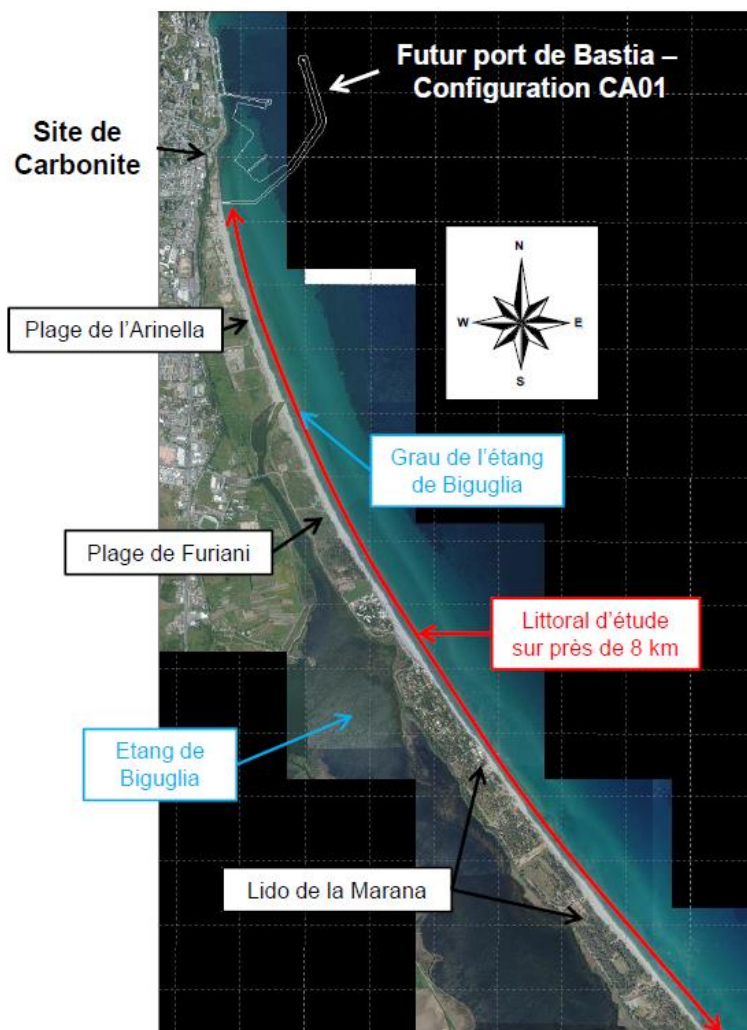


Figura 39 – Progetto di ampliamento del porto della Carbonite al nord de la spiaggia dell'Arinella.

### Inquadramento geomorfologico generale

La spiaggia di Arinella è caratteristica delle spiagge della pianura orientale. È relativamente larga (20-25 m), leggermente in pendenza (1,5%), con un dominio dunale residuale limitato, dovuto all'urbanizzazione della spiaggia alta (Figura 3). Il profilo della spiaggia mostra micro-morfologie (berme, crescenti, swash bars) sulla linea di riva.

Quando le condizioni energetiche delle onde aumentano, la spiaggia è generalmente soggetta ad erosione che si traduce nella creazione di micro-scogliere, cicatrici dei livelli massimi raggiunti dal mare. La spiaggia sottomarina ha generalmente da una a diverse barre di ampiezza metrica a multi-metrica, la cui formazione risulta da processi complessi che molto spesso variano da un sito all'altro. Più al largo, sul dominio sommerso, lungo tutta la pianura orientale, un prato di Posidonia si estende omogeneamente da nord a sud da -10 m di profondità. Infine, a causa della prossimità

del grande prato di Posidonia, le spiagge ricevono regolarmente foglie che si accumulano nelle "banquettes" sulla spiaggia. La futura estensione del porto di Bastia avrà conseguenze importanti per questo prato di Posidonia.



**Figura 3 - Spiaggia dell'Arinella dal punto previsto per l'installazione di una telecamera (verso Sud)**

### **Inquadramento fisiografico/ecosistemico**

La spiaggia dell'Arinella non è inclusa in un'area NATURA 2000 a terra, né in una zona di protezione di alcune specie (ZNIEFF, ZICO, ZPS). D'altra parte, è rivestita con un prato di Posidonia di interesse comunitario (sito NATURA 2000 FR9402014 "Grande erbario della costa orientale") ai sensi della Direttiva Habitat (Figura 4).



Figura 4 – Situazione della spiaggia dell'Arinella e perimetri NATURA2000 in mare

## Conoscenze disponibile

Le principali conoscenze acquisite nel campo dei rischi costieri e della gestione delle coste presso la spiaggia dell'Arinella sono riassunte nella seguente tabella (Tabella 1).

Thematica	Dati	Natura dei dati	Periodo	Fonte	Bibliografia
Evoluzione della linea di riva	Linee di riva	Fotografie aeree	1948-2007	BRGM	Stépanian <i>et al.</i> (2010)
		Fotografie aeree	1948-2007	SOGREAH	CTC (2006, 2010)
Evoluzione delle spiagge	Topografia	Nessun dato topografico regolare			
Evoluzione bathymetrica	Bathymetria	Nessun dato bathymetrico regolare			
Inondazione marina	SIG dei livelli di acqua possibili	Nessun dato sull'inondazione marina			
asseti	SIG des enjeux linéaires et zonaux	Dati SIG vettori	2010	BRGM	Stépanian <i>et al.</i> (2010)

Tabella 1 – Conoscenze disponibile sul sito dell'Arinella (Haute-Corse).

## Stato della conoscenza

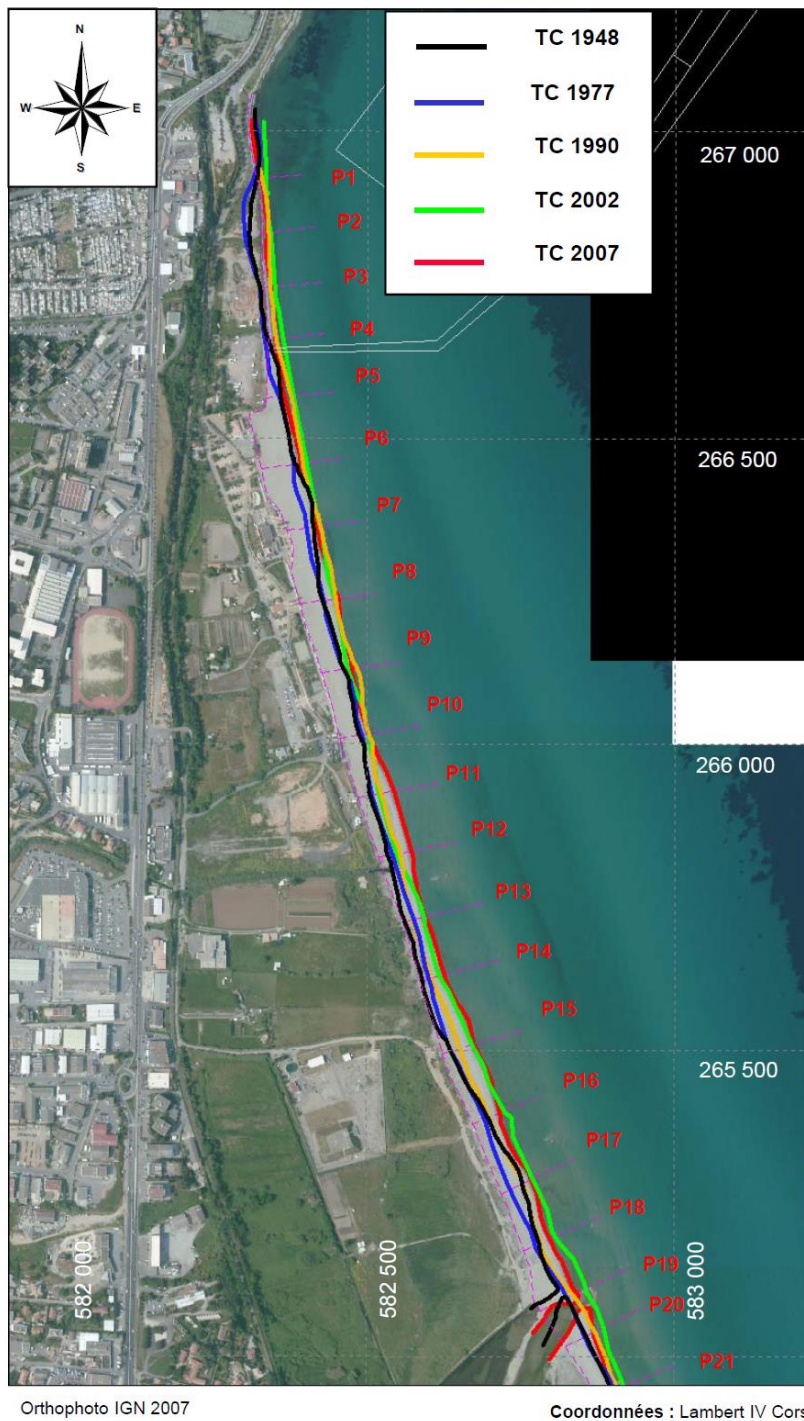
### Fenomeni costieri

#### Evoluzione della linea di riva

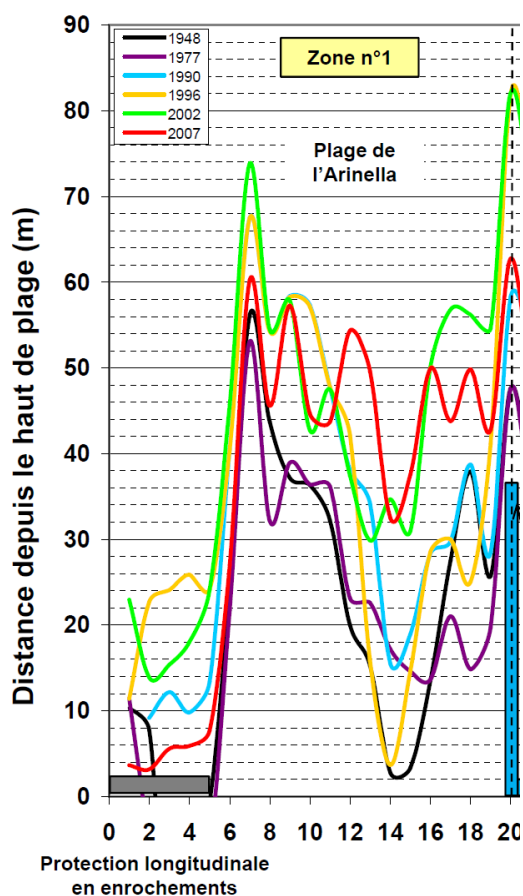
Alla scala cronologica storica (1948-2007), l'evoluzione della linea di riva è stata studiata da fotografie aeree per diverse date dal BRGM (Delpont and Oliveros, 1998, Stepanian *et al.*, 2010) e anche di SOGREAH (CTC, 2006; 2010) come parte del progetto di estensione del porto. Le linee di riva per ogni anno disponibile sono stati digitalizzati e confrontati l'uno con l'altro mediante analisi diacronica quantitativa (Figura 5 e Figura 6). Queste analisi mostrano che l'evoluzione globale è molto variabile in questa scala temporale. La costa a nord, a contatto con il progetto portuale, è caratterizzata da una tendenza all'accrescimento sedimentario e all'avanzamento della costa fino al 2002. Tra il 2002 e il 2007, questa fase positiva si ferma e un arretramento della linea di costa si verifica, ad eccezione della zona centrale (profili da 12 a 18) dove l'anticipo è significativo.

Il confronto tra le linee di riva digitalizzate sulle orto-fotografie 2002 e 2007, supportate dal monitoraggio topografico della spiaggia a cadenza mensile tra il 2009 e il 2010, e infine la conoscenza dal campo con le informazioni del gestore della scuola di vela, portano elementi interessanti sull'evoluzione dell'ampiezza della spiaggia e permettono di appesantire la tendenza storica con la variabilità stagionale della larghezza della spiaggia. In effetti, la tendenza storica di questo settore è l'accrescimento generale tra il 1948 e il 2007, sotto l'effetto dei contributi della risultante deriva litorale orientata Nord-Sud localmente. SOGREAH attribuisce la tendenza erosiva osservata tra il 2002 e il 2007 ad un epifenomeno dovuto alla variabilità naturale della spiaggia.

Questo settore, che non si trova in uno stato di estrema sensibilità, merita pertanto un costante monitoraggio, con profili topografici della spiaggia, di avere dati più quantitative su questo settore e accedere alle informazioni sul volume sedimentaria. Questo giustifica la sua scelta per diventare uno dei siti pilota di MAREGOT.



**Figura 5 – Evoluzione 1948 - 2007 della linea di riva sulla spiaggia dell’Arinella (Cele Lupino-Golo-; CTC, 2010).**



**Figura 6 – Evoluzione quantitativa della linea di riva tra 1948 e 2007 sulla spiaggia dell’Arinella (n° dei profili in ascissa).**

In effetti, le indagini annuali non consentono di discriminare il ruolo rispettivo di questi agenti di forzatura, ma consentono comunque ad evidenziare le modalità di evoluzione morfologica del litorale. Così, gli sviluppi ad alta variabilità spaziale della spiaggia è collegata con la morfologia sottomarina, che presenta lungo la pianura orientale grande barre sottomarine, rettilinee e / o a crescenti. Queste forme migrano longitudinalmente sotto l'effetto delle onde incidenti (deriva litorale) e in periodo temporale. Determinano l'impatto delle onde sulla costa dissipandole (shoaling) e distribuendo la concentrazione della loro energia modificando la loro incidenza alla costa (rifrazione). L'implementazione di tecniche di videosorveglianza su questo sito attraverso il progetto MAREGOT devono permettere la caratterizzazione fina di questi comportamenti nel breve, medio e lungo termine, tenendo conto le condizioni idrodinamiche per migliorare, se possibile la conoscenza della dinamica delle barre sottomarine e il loro rapporto con l'evoluzione della linea di riva e forse la parte superiore della spiaggia (duna) sulle parti non urbanizzate.

#### Inondazione marina

Il litorale della spiaggia dell’Arinella non è stato oggetto di uno studio specifico sul pericolo di immersione marina da parte dello studio del BRGM e dell’OEC (Balouin *et al.*, 2012). Si tratta comunque di un'area inclusa nell'atlante delle zone sommergibili nell'attuazione della direttiva europea sulle alluvioni. Le mappe, tuttavia, non sono state pubblicate dallo Stato.

### Piani di prevenzione dei rischi costieri

Nonostante l'esposizione della costa all'erosione costiera e all'inondazione marina in tempesta, non esiste una regolamentazione specifica dello Stato in termini di prevenzione del rischio costiero nella pianura orientale. Non esiste un piano di prevenzione del rischio costiero (erosione e / o sommersione marina) prescritto in questo territorio. Tuttavia, come in tutta la costa francese, un portare a conoscenza delle comunità sui rischi di immersione marina con è stato realizzato dai servizi dello Stato (DREAL Corse) nel quadro dell'attuazione della direttiva europea inondazioni (Atlas zone sommergibile).

### Attività presente

La spiaggia dell'Arinella è una spiaggia quasi urbana situata vicino a Bastia. Come parte dello studio sull'esposizione della pianura orientale all'erosione costiera (Stepanian *et al.*, 2010), è stato completato un inventario delle attività su questa linea costiera (Figura 7). Assetti lineari e assetti immobiliari si distinguono in base al loro uso socio-economico. Questo lavoro è stato oggetto della creazione di uno strato di informazioni georeferenziate specifico.

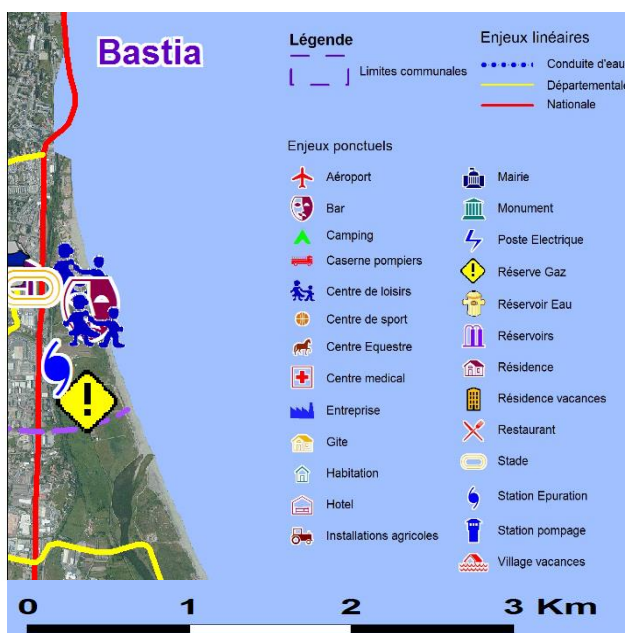


Figura 7 – Cartografia delle attività sul littorale della spiaggia dell'Arinella (Stépanian *et al.*, 2010).

Su questa spiaggia sono presenti una serie di attività economiche (ristoranti, circoli velici, centro ricreativo). Le istituzioni pubbliche (scuole, stadio, gendarmeria, centro di salvataggio) sono presenti sulla costa e potenzialmente esposte a un arretramento della costa.

## **Conclusion**

### **Sintesi delle problematiche del sito**

La spiaggia dell'Arinella si trova nella pianura orientale della Corsica, vicino a Bastia, che è molto popolare per scopi ricreativi. È una costa piuttosto stabile, con marcate fasi erosive, che si trova a valle della deriva sedimentaria Sud-Nord che domina le dinamiche costiere della pianura orientale. Il progetto di costruire un'estensione portuale nella parte settentrionale porterà a una profonda modifica dei transiti sedimentari su questo sito. È inoltre probabile che disturbi le dinamiche del



grau di Biguglia che garantisce gli scambi tra la laguna e il mare. Simulazioni della futura evoluzione del litorale, con e senza sviluppo, eseguita da SOGREAH, mostrano che per un periodo di simulazione di 30 anni, solo la costa situata a meno di un chilometro a sud del porto sarebbero colpiti da un accrescimento significativo della costa a seguito della costruzione del porto. Oltre al Sud, le simulazioni mostrano che la dinamica costiera al Grau di Biguglia e sul Lido de la Marana, non sarebbe significativamente influenzata dagli effetti della costruzione del porto.

### **Rappresentatività transfontalièra del site**

La spiaggia dell'Arinella si trova alla fine di una cella sedimentaria, con un contesto piuttosto favorevole in termini sedimentari. Il monitoraggio morfologico sviluppato in MAREGOT permetterà di evidenziare, a tutte le scale temporali, gli effetti della deriva costiera, dell'impatto delle tempeste, su un spiaggia con barre sottomarine tridimensionali, su un sito complementare a quello di Moriani. Questo sito è anche oggetto di un progetto di estensione del porto di Bastia che richiede l'implementazione di una strategia di monitoraggio per migliorare la comprensione delle dinamiche idro-sedimentarie naturali per fornire competenze locali e aggiornato della sua attuale evoluzione.

### **Bibliografia**

CTC (2006). Extension du Port de Bastia sur le site de la Carbonite – Etudes hydrauliques maritimes et hydrosédimentaires - SOGREAH - Rapport final 1711597, 66 p. + Annexes.

CTC (2010). Extension du Port de Bastia sur le site de la Carbonite – Etudes hydrauliques maritimes et hydrosédimentaires complémentaires - SOGREAH - Rapport final 171994, 50 p. + Annexes.

Delpont G., et Oliveros C. (1999). Littoral oriental corse : évolution du trait de côte de 1948 à 1996 de Bastia-Furiani à Cervione et de l'embouchure du Travo (Solaro) à Solenzara. Rapport BRGM/RP-40504-FR, 22 p.

Stépanian A., Balouin Y., Bacon A., Bodéré G., Danger Y., Hennequin V., (2010). Atlas littoral de la Plaine Orientale de Corse. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 78 p., 13 ill., 28 planches.

Bélon R. et Bodéré G. (2016) – Réseau d'Observation du Littoral de la Corse. Rapport d'observations 2015. Rapport BRGM RP-66351-FR, 111 p., 66 ill.

Balouin, Y., Belon, R., Delvallée, E., Lamy, M. et Bodéré, G., 2011. ROL : Etude complémentaire sur l'impact des tempêtes sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse. Cartographie de la submersion marine, de la sensibilité à l'érosion côtière et de l'exposition des enjeux. RP-59724-FR, 39p + volume cartographique

Palvadeau E., et Nay K.M. (2002). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2001. Rapport BRGM/RR-51503-FR. Orléans : BRGM, 89 p.

Stépanian A., Balouin Y., Bacon A., Bodéré G., Danger Y., Hennequin V., (2010). Atlas littoral de la plaine orientale de Corse. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 80 p., 13 ill., 28 planches.

Stépanian A., Palvadeau E., Balouin Y., et Bélon R. (2012) – Compte-rendu de la participation de 2009 à 2011 du BRGM Corse au Comité Scientifique mis en place dans le cadre du projet d'extension du port de Bastia sur le site de la Carbonite. Rapport BRGM/RP-61265-FR. 23 p., 3 ill + 1 ann.



## Sito di Aléria-Ghisonaccia (Haute-Corse, Francia)

### Presentazione del sito

#### Ubicazione

Il Sito che ha lo scopo di questo documento è formato da lato linea tra il comune di Aleria nel nord e la città di Ghisonaccia a sud, dipartimento della Alta-Corsica-Francia (Figura 1). È una costa bassa che si estende su circa 15 km di lunghezza.



**Figura 1 - Vista aerea e localizzazione del sito della Piana Orientale della Corsica (Source : Google map)**

Questa valutazione è soggetta a un fenomeno di erosione costiera cronica, che, in passato, ha condotto a più o meno danni sulle questioni presenti lungo la spiaggia. Discussioni con il rappresentante dello stato, i sindaci dei comuni interessati e gli operatori hanno avvenuto, ma senza mai dare un seguito concreto in termini di gestione del rischio. Parecchi studi del BRGM hanno portato a relazioni che sono disponibili online<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://infoterre.brgm.fr/> ; [www.littoral-corse.fr/](http://www.littoral-corse.fr/)

### **Descrizione geografica**

Si tratta di una costa bassa sabbiosa che confina con il territorio che l'altitudine media è di 16 metri per la città di Ghisonaccia e 10 metri per un comune di Aleria che induce un'elevazione 1 a 2 metri di ritorno immediati dalla costa. C'è un gran numero di aziende agricole, ristoranti, camping e spiagge così come società di produzioni di, pesci, ostrica e cozze crescendo soprattutto nello stagno di Urbinu.

La linea costale presenta una superficie di pendenza spiaggia subacqueo (meno dell'1%) con morfologie di banchi di sabbia molto appiattita e una spiaggia relativamente stretta.

### **Caratteristiche fiografice ed ecosistema**

Lo stagno di Urbinu è classificato come "area naturale di interesse ecologico, fauna e floristica» (ZNIEFF) 2, e « Zona di protezione speciale » (ZPS) a titolo della "Directive oiseaux" de 1979. È anche riconosciuto sito Ramsar dal 15 settembre 2008. È stata completamente acquisita dal Conservatoire du Littoral, che mantiene la tradizionale attività (pesca, cozze...) c'è anche un ecosistema di notevole.

### **Conoscenze disponibile**

La piana orientale della Corsica è stata studiata molte volte per scopi diversi. Le principali conoscenze acquisite nel campo della gestione dei rischi costieri in questo tratto di costa sono raccolti nelle tabelle sottostanti.

Questi sono i dati che vengono utilizzati più tardi nel rapporto per descrivere il sito MAREGOT Plaine Orientale.

Queste tabelle identificano recenti eventi meteorologici sulla Corsica, gli elementi relativi al litorale orientale dell'isola sono di colore grigio (Figura 2).



N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
9	21/06/1999	Vents violents de secteur Ouest à Nord sur le Cap Corse - 2 morts à Lumio et Calvi
10	08/07/1998	Tempête sur la Corse / liaisons maritimes coupées
11	15/03/1998	Fortes précipitations sur le versant est de l'île ; Plaine Orientale en état d'alerte
12	02/01/1998	Vent violent sur la région bastiaise
13	17/08/1995	Violents orages accompagnés de fortes rafales de vents.
14	13/05/1995	Violents orages et vents très forts
15	28/03/1995	Rafales à plus de 150 km/h sur toute l'île
16	26/02/1995	170 km/h sur Cap Corse (Libecciu)
17	27/01/1995	Vents à 160km/h perturbant la navigation aérienne
18	19/01/1995	140 km/h sur le cap corse
19	11/01/1995	137 km/h sur le cap corse
20	23/12/1994	Violente tempête d'Est à Bastia occasionnant des dégâts importants au port de Toga - "vents poussés vers la marina"
21	25/08/1994	140 km/h ; bateaux bloqués au large de Bastia
22	12/06/1994	Inondations à Bastia
23	10/04/1994	Froid, vents, pluies
24	02/04/1994	Un coup de vent violent perturbe le trafic aérien et maritime
25	28/01/1994	Bastia : rafales à 120 km/h, empêchent le Kalliste d'entrer au port
26	01/01/1994	Bastia : sous des rafales de 150 km/h, le car-ferry de la snom rompt ses amarres et percute un navire italien
29	26/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
28	17/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
27	08/12/1993	De violentes rafales de vent (180 km/h) soufflent sur Bastia et la Haute-Corse / Le 11, 212 km/h sur le Cap, 220km/h le 12, un avion Marseille-Bastia détourné vers Ajaccio
30	31/10/1993	Fleuves en crue dans la Plaine Orientale, cellule de crise à la préfecture, 6 morts, plan ORSEC enclenché jusqu'au 7 novembre
31	28/02/1993	Pluies et vents
32	05/12/1992	Vents et pluies diluviennes en Haute-Corse
33	21/10/1992	Haute-Corse sous les eaux : plaine de la Marana inondée
34	18/10/1992	Pluies et vents sur la Haute-Corse : 170 km/h au Cap Corse
35	05/10/1992	Bastia paralysée par la tempête : nombreux dégâts sur le vieux port, tunnel inondé...
36	23/11/1990	Tempête sur le Nord de la Corse
37	27/02/1990	Tempête en haute corse : mini-tornade à Bastia, maisons évacuées sur la côte orientale, incendies, bulletin spécial le 27/08
38	14/02/1990	Vents de 160 km/h dans la région bastiaise, >200 km/h au Cap Corse (W à NW sur est corse), aucun bateau ne peut entrer ou sortir du port, incendies, toiture envolée à Bastia, ponton retourné à Bonifacio
39	08/10/1989	Trombes d'eau et vents violents sur la région bastiaise, dégâts importants, coulées de boues, incendies

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
9	21/06/1999	Vents violents de secteur Ouest à Nord sur le Cap Corse - 2 morts à Lumio et Calvi
10	08/07/1996	Tempête sur la Corse / liaisons maritimes coupées
11	15/03/1996	Fortes précipitations sur le versant est de l'île ; Plaine Orientale en état d'alerte
12	02/01/1996	Vent violent sur la région bastiaise
13	17/08/1995	Violents orages accompagnés de fortes rafales de vents.
14	13/05/1995	Violents orages et vents très forts
15	28/03/1995	Rafales à plus de 150 km/h sur toute l'île
16	26/02/1995	170 km/h sur Cap Corse (Libecciu)
17	27/01/1995	Vents à 160km/h perturbant la navigation aérienne
18	19/01/1995	140 km/h sur le cap corse
19	11/01/1995	137 km/h sur le cap corse
20	23/12/1994	Violente tempête d'Est à Bastia occasionnant des dégâts importants au port de Toga - "vents poussés vers la marina"
21	25/08/1994	140 km/h ; bateaux bloqués au large de Bastia
22	12/06/1994	Inondations à Bastia
23	10/04/1994	Froid, vents, pluies
24	02/04/1994	Un coup de vent violent perturbe le trafic aérien et maritime
25	28/01/1994	Bastia : rafales à 120 km/h, empêchent le Kalliste d'entrer au port
26	01/01/1994	Bastia : sous des rafales de 150 km/h, le car-ferry de la snom rompt ses amarres et percute un navire italien
29	26/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
28	17/12/1993	Risées violentes sur la côte est et houle dans le Vieux Port de Bastia
27	08/12/1993	De violentes rafales de vent (180 km/h) soufflent sur Bastia et la Haute-Corse / Le 11, 212 km/h sur le Cap, 220km/h le 12, un avion Marseille-Bastia détourné vers Ajaccio
30	31/10/1993	Fleuves en crue dans la Plaine Orientale, cellule de crise à la préfecture, 6 morts, plan ORSEC enclenché jusqu'au 7 novembre
31	28/02/1993	Pluies et vents
32	05/12/1992	Vents et pluies diluviennes en Haute-Corse
33	21/10/1992	Haute-Corse sous les eaux : plaine de la Marana inondée
34	18/10/1992	Pluies et vents sur la Haute-Corse : 170 km/h au Cap Corse
35	05/10/1992	Bastia paralysée par la tempête : nombreux dégâts sur le vieux port, tunnel inondé...
36	23/11/1990	Tempête sur le Nord de la Corse
37	27/02/1990	Tempête en haute corse : mini-tornade à Bastia, maisons évacuées sur la côte orientale, incendies, bulletin spécial le 27/08
38	14/02/1990	Vents de 160 km/h dans la région bastiaise, >200 km/h au Cap Corse (W à NW sur est corse), aucun bateau ne peut entrer ou sortir du port, incendies, toiture envolée à Bastia, ponton retourné à Bonifacio
39	08/10/1989	Trombes d'eau et vents violents sur la région bastiaise, dégâts importants, coulées de boues, incendies

**Interreg**UNION  
EUROPÉENNE

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
40	01/09/1989	Graves inondations, principalement sur la Plaine Orientale
41	01/03/1989	Vents violents Mer démontées Inondations (sur reportage TF1 sortie de port agitée pour un paquebot + vagues par-dessus un brise-lame à Ajaccio ??)
43	13/05/1988	Grosse Houle sur la Plaine Orientale (pas prévu par Météo)/ Vedette prise dans la tempête au large de Calvi (3 morts)
44	28/04/1988	Mauvais temps sur Bastia
45	12/01/1987	Trafic maritime perturbé à Bastia
46	15/01/1987	Trafic maritime et aérien perturbé à Bastia (Digue emportée à Cargèse)
47	20/11/1987	Le vent a atteint 180 km/h sur Bastia (incendies sur la Plaine Orientale)
48	20/12/1986	Vent à 200 km/h sur la Haute-Corse : trafic aérien perturbé, 2000 abonnés privés d'électricité
49	20/10/1986	Vent à 230 km/h sur le Cap Corse
50	30/03/1986	Libecciu à 200 km/h
51	02/03/1986	Mauvais temps : trafic portuaire perturbé à Bastia
52	15/01/1986	Libecciu à 180 km/h, nombreux dégâts
53	12/01/1986	Tempête de vent, 160 km/h au Cap Corse
54	20/11/1985	Mauvais temps sur la Haute-Corse et plus particulièrement sur la région bastiaise
55	06/11/1985	vent de 120 km/h sur la région bastiaise
56	24/01/1985	Dans la région bastiaise, pointes de vent à 150 km/h
57	08/02/1984	Grosses rafales (160 km/h à Sagro, 200 à Pertusato et 130 à Poretta), cargo en péril à Calvi, mort à Bastia suite à rafale, incendies dans la Plaine Orientale, vagues sur la route du Lido de la Marana, Pylônes FT et EDF tombés sur toute le littoral Est
58	24/01/1984	Trafic maritime et aérien perturbé suite au vent violent dans la région bastiaise. Vent 130km/h à Poretta (cargo rompt ses amarres) Motos et camion renversés à Teghime
59	28/11/1983	Nombreux dégâts dans la plaine du Golo suite à un coup de vent
60	24-25/04/1982	Tempête sur la Corse
61	06-10/11/1982	Arrêté catastrophe naturelle "tempête" - La Solenzara se transforme en torrent de boue suite aux précipitations importantes
62	13/12/1981	Tempête sur la Côte orientale incendies, Bastia vents >100 km/h
63	19/07/1981	Tempête sur l'île : noyades et voiliers en difficulté sur la côte ouest et l'extrême sud. Incendies sur la Plaine Orientale (noyade due aux vagues le 22/07/81 à Campoloro)
64	20/01/1981	Vent violent à Bastia et sur la Cap Corse, un voilier coule au large de Giraglia
65	04/01/1981	Violente tempête sur la Cap Corse (190 km/h)
66	21/04/1980	Violente tempête et voilier en détresse au large de Bastia
67	15/01/1980	Pris par la tempête, un cargo italien s'échoue et coule au large du Cap Corse
68	01/01/1979	Vents atteignant 150 km/h nuit 31 au 1er. Pointe à 150km/h. incendies à Casinca. Trafic aérien perturbé, voiture renversée à Teghime. (forte neige le lendemain)

N°	Date	Commentaires / Dégâts et perturbations constatés
69	22/12/1979	Vent de force 11, vagues de plusieurs mètres (digue port de commerce détruite sur 100m, blocs arrachés, chantier du tunnel inondé, hangars et canalisations détruits) Bilan de la tempête à Bastia : 40 millions de francs
70	11/01/1977	Tempête sur toute la Corse (dégâts plus importants sur la côte Ouest) Bourrasque la nuit suivante à Bastia (description = courtes rafales comme coup de buttoir)
71	03/12/1976	plaine de la Marana inondée (voies d'accès coupées) - vent Force 12 enregistré à Poretta - navire Livourne-Bastia annulé
72	23/02/1973	Bateau de pêche pris dans tempête (large des Sanguinaires)
73	18/12/1968	Mer en furie Ajaccio paquet de mer sur la route des sanguinaires - Bastia touchée par des inondations (pluies)
74	25/09/1924	Violents orages, importants dégâts sur le vieux port
75	09/12/1924	Cyclone - accident : bateau coulé puis renfloué à l'entrée du vieux port

**Figura 2 - Conoscenze disponibili sul sito pilota della Piana Orientale della Haute-Corse in materia di eventi climatici importanti (fonti BRGM, Rapporto BRGM/RP-59046-FR Stéphanian, Balouin, Belon, Bodéré)**

## Stato di conoscenze

### Rischi costieri

#### Scala di tempo storico 1937-2011

A parte l'evoluzione storica della linea è stata studiata dalle fotografie aeree per date diverse (Belon et al 2014). Le linee delle sponde per ogni anno sono state digitalizzate e sono paragonate a vicenda da un'analisi quantitativa, diacronica.

Il declino è considerato forte se le velocità sono superiori a 0,5 m/anno e moderato per range di velocità da 0,1 a 0,5 m/anno. La spiaggia è considerata stabile per velocità di progresso o declino dell'ordine di 0.1 m/anno. L'anticipo è moderato per range di velocità da 0,1 a 0,5 m/anno.

Un inventario di eventi è stata quindi effettuato in informazioni bibliografiche raccolte dopo consultazione con gli archivi dipartimentali e diverse agenzie. È evidente da questa analisi che le tempeste che hanno conseguenze importanti sulla costa e infrastrutture costiere sono relativamente rare.

69 eventi sono stati oggetto di pubblicazioni a stampa e così sono stati identificati dal 1979.

Tra queste tempeste di dicembre 1979 e novembre 2008 sono considerati che le informazioni più importanti e per cui più sono disponibile.

Per quanto riguarda il rischio di sommersione marina, è stato identificato alcun caso di sommersione di rottura diga o violazione del midollo di Laguna. Immersioni che si sono verificati sono stati causati dall'incrocio dei mari sopra il cavo costiero.

Infine vale la pena notare le tempeste che ha colpito la pianura orientale che erano quasi esclusivamente danni. Un singolo caso di perdite umane è stato segnalato per Valle di Campoloro in luglio 1981.

Questa analisi ha anche mostrato che informazioni precise circa il processo fisico di tempeste sono rari nella parte orientale della Corsica. Infatti, anche se un premio atmosferico è associato quasi sistematicamente agli eventi, l'assenza di mareografo sul settore è un grosso handicap per la determinazione del evento locale e alla distinzione tra l'oversize correlato per il vento e l'oversize



dovuto all'effetto inverso barometrico. Tuttavia, un modello digitale di oversize è disponibile dal 2008 a Meteo-Francia.

## **Problemi presenti**

La linea di lato comprende molte strutture vulnerabili, in particolare con problemi umani ed economici che sono stati evidenziati da BRGM. Su c'è una rete stradale secondaria che serve specialmente nelle spiagge molto popolare in stagione turistica, hosting istituzioni e in particolare quattro molto esposti campeggi, graus delli stagni Diana e Urbino che sono utilizzati per la coltivazione delle ostriche, cozze e pesce e infine molti ristoranti sulla spiaggia.

## **Conclusione**

### **Rappresentatività trasfrontaliere del sito**

Il sito della plaine orientale della Corsica, tra Aleria e Ghisonaccia, dall'esposizione turistica e le questioni ambientali dalla storia del pericolo e il comune saranno le parti interessate ad avviare una strategia di gestione, è un sito ottimale per la definizione di metodi predefiniti e l'analisi dei rischi costieri di sommersione marina.

Informazioni di eventi a livello nazionale rimane ad analizzare e la modellazione e la simulazione migliorerà la conoscenza circa i meccanismi della sommersione su un sito tipico delle spiagge sulla costa dello spazio MARITIMO su una costa rappresentativa della morfologia trovata sulle diverse regioni del progetto.

Questo modello idrodinamico, che avverrà utilizzando il Modeler destinato dal SIS2B nel progetto MAREGOT, vi permetterà di visualizzare la sommersione, il loro impatto su questioni economiche e umano, strategico, turistico variando parametri meteorologici.

Di queste modellazione e simulazioni possono derivare misure che è necessario mettere in atto per la protezione delle popolazioni, avviso e informazioni. Questi studi saranno anche usati alla formazione per tutti gli attori (servizi di emergenza, servizi statali, servizi della Collettività di Corsica) mobilitati in caso di evento maggiore climatico a fianco i sindaci delle diverse comune.

## **Bibliografia**

Stépanian A., Balouin Y., Bacon A., Bodéré G, Danger Y., Hennequin V., (2010). Atlas littoral de la Plaine Orientale de Corse. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 78 p., 13 ill., 28 planches.

Bélon R. et Bodéré G. (2016) – Réseau d'Observation du Littoral de la Corse. Rapport d'observations 2015. Rapport BRGM RP-66351-FR, 111 p., 66 ill.

Balouin, Y., Belon, R., Delvallée, E., Lamy, M. et Bodéré, G., 2011. ROL : Etude complémentaire sur l'impact des tempêtes sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse. Cartographie de la submersion marine, de la sensibilité à l'érosion côtière et de l'exposition des enjeux. RP-59724-FR, 39p + volume cartographique

Palvadeau E., et Nay K.M. (2002). Réseau d'observation du littoral de la Corse. Rapport d'observation 2001. Rapport BRGM/RR-51503-FR. Orléans : BRGM, 89 p.

Stépanian A., Balouin Y., Bacon A., Bodéré G, Danger Y., Hennequin V., (2010). Atlas littoral de la plaine orientale de Corse. Rapport final. Rapport BRGM RP-59058-FR, 80 p., 13 ill., 28 planches.



## Sito Capo Altano (Sardegna, Italia)

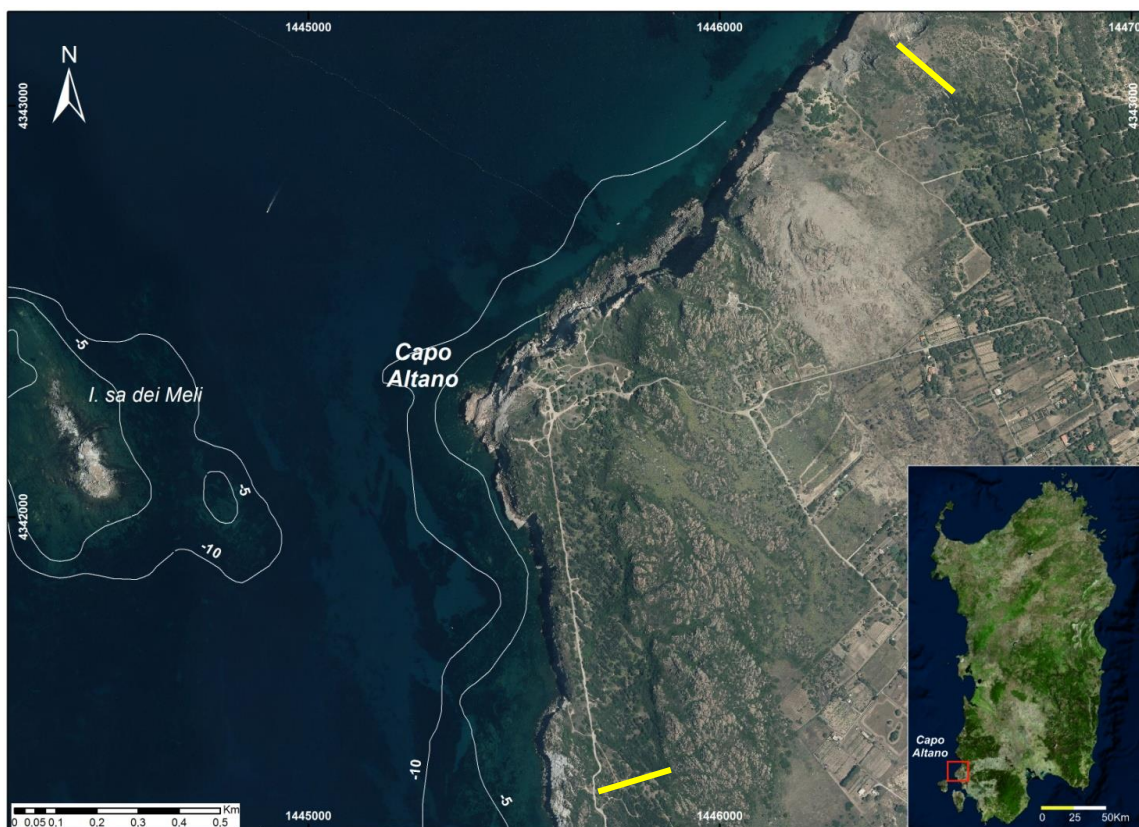
### Presentazione del sito

#### Localizzazione

Capo Altano (Sardegna sud-occidentale) si trova nel settore nord-occidentale del territorio comunale di Portoscuso.

L'area in studio comprende il settore litorale che si estende per circa 1.100 metri e 700 metri rispettivamente a nord-est e a sud di Capo Altano (**Figura 2**).

L'area è cartografata nel Foglio 555 sezione III – della Carta Topografica d'Italia in scala 1: 25.000 - Iglesias - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 555130 – Portoscuso in scala 1:10.000.



**Figura 2 – L'area pilota di Capo Altano, il settore costiero indagato è quello compreso tra le linee gialle. Ortofoto RAS 2013**

## Caratteristiche fisiografiche-ecosistemiche

Il sistema litorale di Capo Altano, delinea un territorio caratterizzato dalle forme legate ai prodotti dell'attività magmatica effusiva miocenica che caratterizza questa parte del Sulcis.

L'area oggetto di studio ricade all'interno del Parco Geominerario Storico ed Ambientale della Sardegna.

## Conoscenze disponibili

### Caratteristiche Geologiche

L'area di Capo Altano è caratterizzata dalla successione vulcano-sedimentaria oligo-miocenica del Gruppo di Monte Sirai (Figura 2) descritto nel Foglio geologico 564 – Carbonia (Pasci *et al.*, 2012) da cui sono tratte gran parte delle seguenti descrizioni formazionali:

**1- Unità di Lenzu -LNZ- (rioliti-riodaciti).** Macroscopicamente piuttosto uniformi, queste vulcaniti molto saldate presentano struttura massiva porfirica per la presenza di plagioclasti e subordinatamente pirosseni.

I plagioclasti torbidi, in glomeruli o in grossi individui tabulari geminati secondo la legge dell'Albite presentano di norma uno schema di zonatura complesso.

Il K-feldspato, tabulare, limpido, generalmente geminato Karlsbad, mostra valori di ortoclasio abbastanza costanti e sovente fenomeni di riassorbimento e ingloba gocce di vetro vulcanico. L'olivina, in cristalli di minute dimensioni è riconoscibile soltanto dall'abito. I pirosseni si presentano in individui raramente alterati, tabulari di minute dimensioni e sovente associati in glomeruli con i plagioclasti (Carmignani *et alii*, 2012). (Burdigaliano superiore).

**2- Complesso di Acqua sa Canna - AQC- (daciti).** Questa formazione corrisponde essenzialmente al Complesso di Acqua Sa Canna di Assorgia *et alii* (1990). Vi sono compresi sia depositi piroclastici saldati e non (generalmente predominanti) che epiclastici. Le piroclastiti iniziano con depositi di caduta (tufi a lapilli) potenti circa 3 m e passano ad un deposito piroclastico di flusso non saldato potente circa 7-8 m. Il deposito è costituito da matrice cineritica biancastra o rosata nella quale sono disperse pomice giallastre con dimensioni massime centimetriche, cristalli millimetrici di plagioclasti, femici (pirosseni, biotite) e clasti litici lavici centimetrici.

Al tetto della formazione è nuovamente presente un deposito pomiceo di caduta con spessore metrico, seguito da una piroclastite di flusso non saldata.

Al microscopio le pomice delle piroclastiti presentano fenocristalli di Pl e subordinati femici tra i quali Bt, pirosseni (Aug e iperstene spesso alterati in fillosilicati), Hbl e Ol. La tessitura è porfirica ipocristallina e vitroclastica, più o meno obliterata da ricristallizzazioni secondarie. La composizione è dacitica. Le età radiometriche calcolate col metodo  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  indicano circa  $16,6\pm 0,8$  Ma (Cincotti *et alii*, 1994; Assorgia *et alii*, 1995). Gli spessori complessivi di questa formazione sono variabili: da oltre 30 m (Su Narboni) si riducono a meno di 1 m (P.ta Torretta, S di Sa Gruxita, ecc.). Miocene Inferiore (Burdigaliano superiore)

### 3- Unità di Seruci -SRC- (rioliti)

La formazione è composta da un deposito di flusso piroclastico densamente saldato (**SRC**), corrispondente all'Unità di Seruci di Assorgia *et alii* (1990), e da limitati depositi epiclastici (**SRCa**). Alla base dell'unità piroclastica si osserva, talvolta, un livello decimetrico di tufi a lapilli non saldato, fortemente alterato. Il tufo è seguito, senza interposizione di suoli o materiali rimaneggiati, da un livello vitrofirico con spessore da centimetrico a decimetrico, con cristalli di Pl e litici. In qualche caso nel vitrofiro sono riconoscibili fiamme ossidiane.

Al di sopra del livello vitrofirico il deposito di flusso è densamente saldato, con matrice di colore variabile da bruno a rossastro. Sono inoltre presenti clasti litici da millimetrici a centimetrici con concentrazione inferiore al 10% e fenocristalli di PI e femici più o meno alterati. Presenta struttura eutassitica, data da fiamme variamente vescicolate biancastre, con dimensioni massime crescenti dal basso verso l'alto (fino ad alcuni decimetri). Nella parte sommitale dell'unità piroclastica le dimensioni delle fiamme si riducono rapidamente fino a scomparire.

Localmente in queste porzioni superiori la roccia assume colorazioni grigio-violacee, mostra grana più fine e maggiore grado di saldatura.

In sezione sottile la roccia ha tessitura vitroclastica ed eutassitica e risulta porfirica per PI, Fa iddingsitizzata, Hbl, pirosseni alterati. Sono poi presenti minerali accessori (Mag) e secondari (Crs e Trd). Le fiamme sono spesso devettrificate (cristallizzazione sferulitica) e ricche di cristallizzazioni minute (Trd). La composizione della piroclastite è riolitica. Gli spessori massimi dell'intera formazione si trovano nella zona di Su Narboni (circa 15 m) (Carmignani et alii, 2012). Miocene ?Inferiore-?medio (?Burdigaliano superiore - ?Langhiano)

**4- Unità di Monte Crobu – CBU.** Questa formazione comprende le unità di Monte Crobu e di Conca is Angius di Assorgia *et alii* (1990). I depositi piroclastici riferiti da questi autori a due unità distinte siano da considerarsi come prodotti da un unico evento vulcanico. Il passaggio dall'una all'altra si realizza sia verticalmente che lateralmente attraverso una variazione graduale delle caratteristiche di saldatura e contenuto in clasti litici; inoltre entro questa formazione non sono mai stati rilevati paleosuoli o depositi epiclastici.

Le rioliti di Monte Crobu sono generalmente riconducibili ad un'unità di flusso piroclastico principale. Questa formazione comprende anche depositi piroclastici di caduta e di flusso non saldati di spessore metrico, affioranti a tetto in modo discontinuo (ad es. M. Gavoni e Corongiu Murvonis a S. Antioco, Giba), e depositi pomicei di caduta di spessore decimetrico alla base del flusso principale.

Lo spessore complessivo è generalmente variabile da alcuni metri fino a qualche decina di metri; localmente lo spessore può essere molto più elevato (oltre 100 m) a causa della movimentata paleo-morfologia su cui poggia in discordanza la formazione (Carmignani et alii, 2012). Miocene ?Inferiore-?medio (?Burdigaliano superiore - ?Langhiano)

**5- Unità di Nuraxi – NUR - (rioliti).** Questa formazione corrisponde all'Unità di Nuraxi di Assorgia *et al.* (1990) ed è anch'essa molto diffusa nel Sulcis. Generalmente poggia su un paleosuolo di spessore decimetrico, talora arrossato, formato a spese delle rioliti di Monte Crobu e, localmente, anche a spese dei termini sottostanti. La formazione consiste principalmente di un deposito piroclastico di flusso, con colore variabile dal grigio ceruleo al rosso violaceo, densamente o moderatamente saldato, in cui spicca una notevole quantità di cristalli e/o aggregati plurimillimetrici di feldspati. Caratteristica comune a tutta la formazione è la marcata foliazione, con spaziatura da centimetrica a decimetrica, che appena al di sopra del livello basale vitrofirico è più fitta (da millimetrica a centimetrica). Alla base della formazione in genere si rinviene un deposito di pomice di caduta di spessore decimetrico, ricco di cristalli liberi. Il deposito piroclastico di flusso è quasi sempre caratterizzato da un livello vitrofirico basale, moderatamente ricco in cristalli, di spessore da decimetrico a metrico. Al di sopra del vitrofiro basale compaiono fiamme molto allungate (struttura paratassitica), solitamente di dimensioni decimetriche e di colore grigio chiaro, anch'esse ricche di cristalli di feldspati. Nella parte alta, cristalli singoli e/o aggregati aumentano di dimensione fino a circa 5-6 mm.

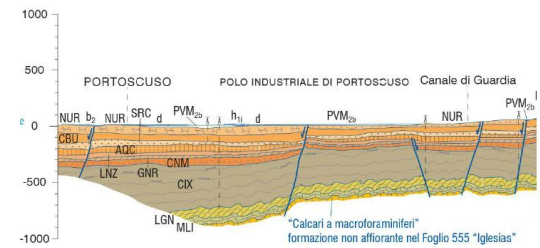
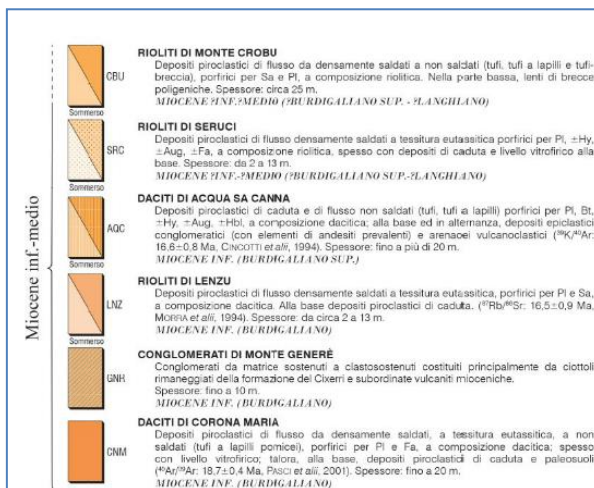
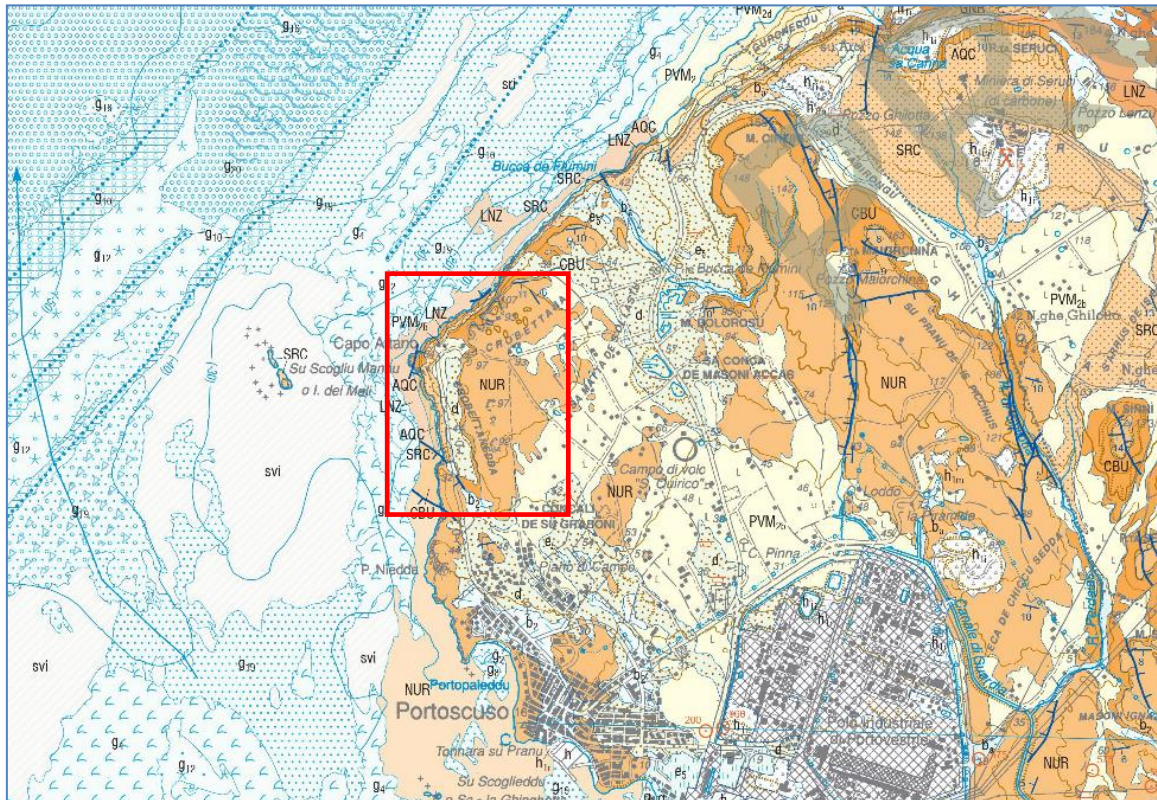
Al microscopio la tessitura è porfirica per PI e Sa; la componente femica (pirossenica) è scarsa e caratterizzata da una sistematica alterazione. La composizione è riolitica. Nuove determinazioni

radiometriche, eseguite col metodo 40Ar/40Ar con isocrone su Sa, indicano per queste rocce 15,8±0,2 Ma.

Gli spessori, relativamente costanti in tutta l'area di affioramento, si aggirano attorno ai 20 m. Miocene medio (Langhiano).

### Depositi quaternari

I depositi quaternari affioranti nell'area di studio sono prevalentemente sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali del Pleistocene Superiore (Litofacies nel Subsistema di Portoscuso - SINTEMA DI PORTOVESME) e successive le coltri eluvio-colluviali di età olocenica (Carmignani *et al.*, 2012).



**Figura 3 – Stralcio Carta Carta geologica D'Italia alla scala 1:50000- Foglio 555 – Iglesias.**  
In evidenza il settore litorale di Capo Altano, dominato da falesie incise su litologie vulcaniche.

## Caratteristiche Geomorfologiche

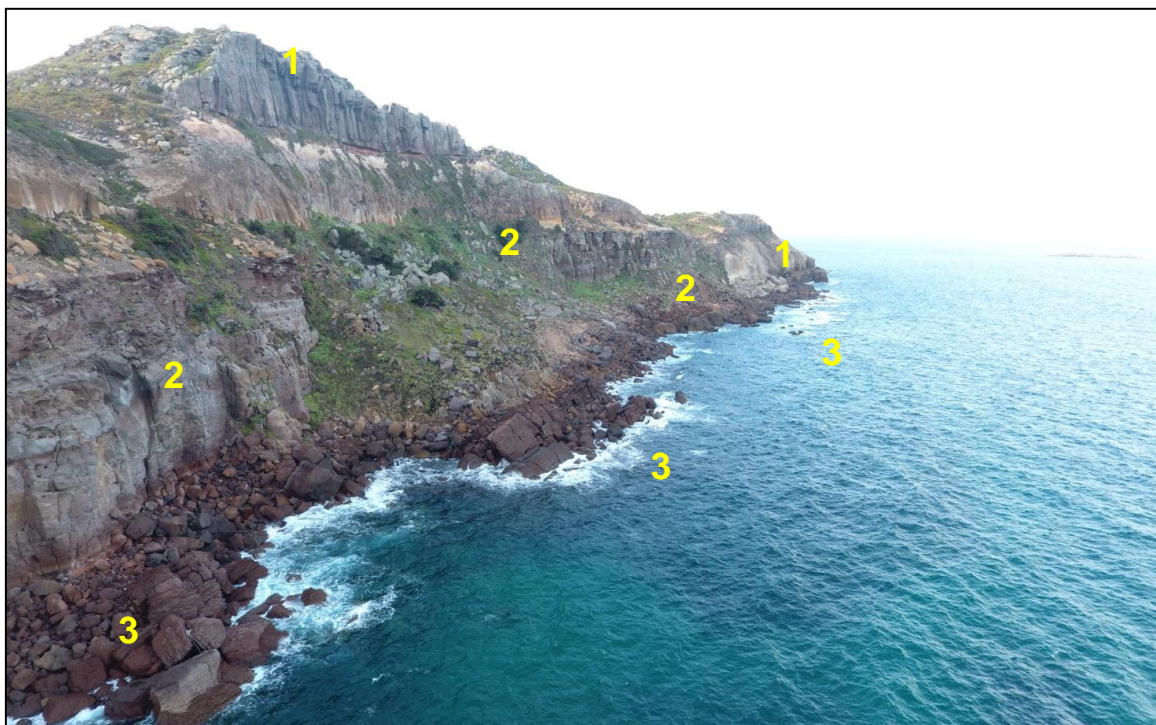
La geomorfologia del settore costiero di Capo Altano è fortemente influenzata dai caratteri litologici, giaciture e strutturali delle rocce affioranti e verosimilmente dai movimenti tettonici recenti che hanno interessato questa parte dell'Isola.

Nel settore nord-orientale rispetto a Capo Altano la linea di costa si sviluppa in maniera sub-lineare per circa 1200 metri ed è moderatamente articolata; le falesie raggiungono altezza massima di 52 metri s.l.m. (**Figura 4**).

Il profilo delle falesie per questo settore è debolmente "gradonato" per erosione differenziale (**Figura 5** e **Figura 6**). Su tutta la falesia sono rilevabili processi gravitativi correlabili con crolli, crollo-ribaltamenti e cunei che danno origine ad un deposito di blocchi al piede della falesia con dimensioni dei blocchi molto variabili e comprese tra 1 m e 6÷7 metri. Pur essendo in un contesto di massima esposizione all'azione dinamica del moto ondoso (questo settore litorale infatti è esposto agli eventi meteo marini estremi del terzo e del quarto quadrante, con uno dei *fetch* più vasti del mar Mediterraneo e con altezze d'onda conseguenti sino a 9,5 metri, **Figura 7**), i depositi di frana sono ben rilevabili con continuità su tutto il settore litorale in studio; questo aspetto può essere messo in relazione con le ottime caratteristiche di resistenza geomeccanica dell'ammasso roccioso.

Localmente, sul versante, si rilevano morfologie correlabili con processi di erosione accelerata di tipo calanchivo che interessano i depositi di frana più antichi.

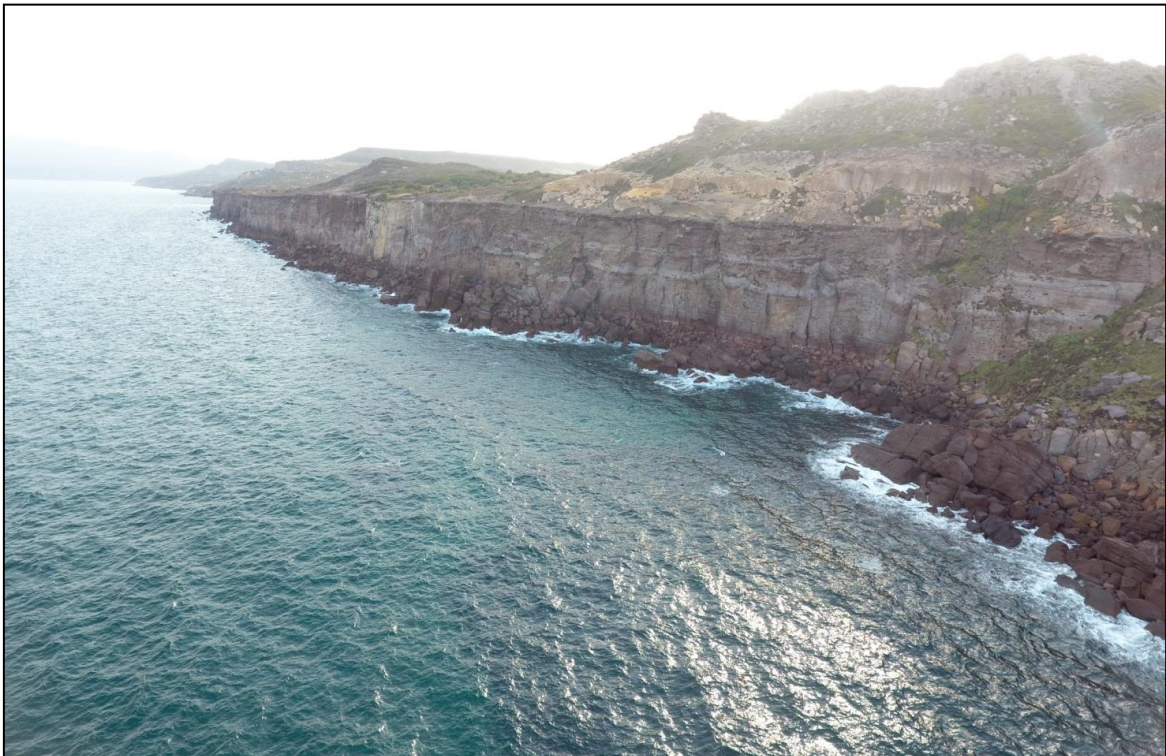
Nella parte sommersa si rileva la presenza di una piattaforma di abrasione con ridotta estensione areale esclusivamente nella parte più prossima a Capo Altano (**Figura 8**); per gli altri settori, il deposito di crollo al piede della falesia si estende sino alla batimetrica di -10÷-12 metri di profondità, sino al limite con le sabbie di piattaforma continentale interna.



**Figura 4 - Falesia a nord-ovest di Capo Altano. 1) Ciglio della falesia: 52 metri sul livello del mare; 2) Nicchie di distacco di frana di crollo e di crollo-ribaltamento; 3) Depositi di frana al piede della falesia.**

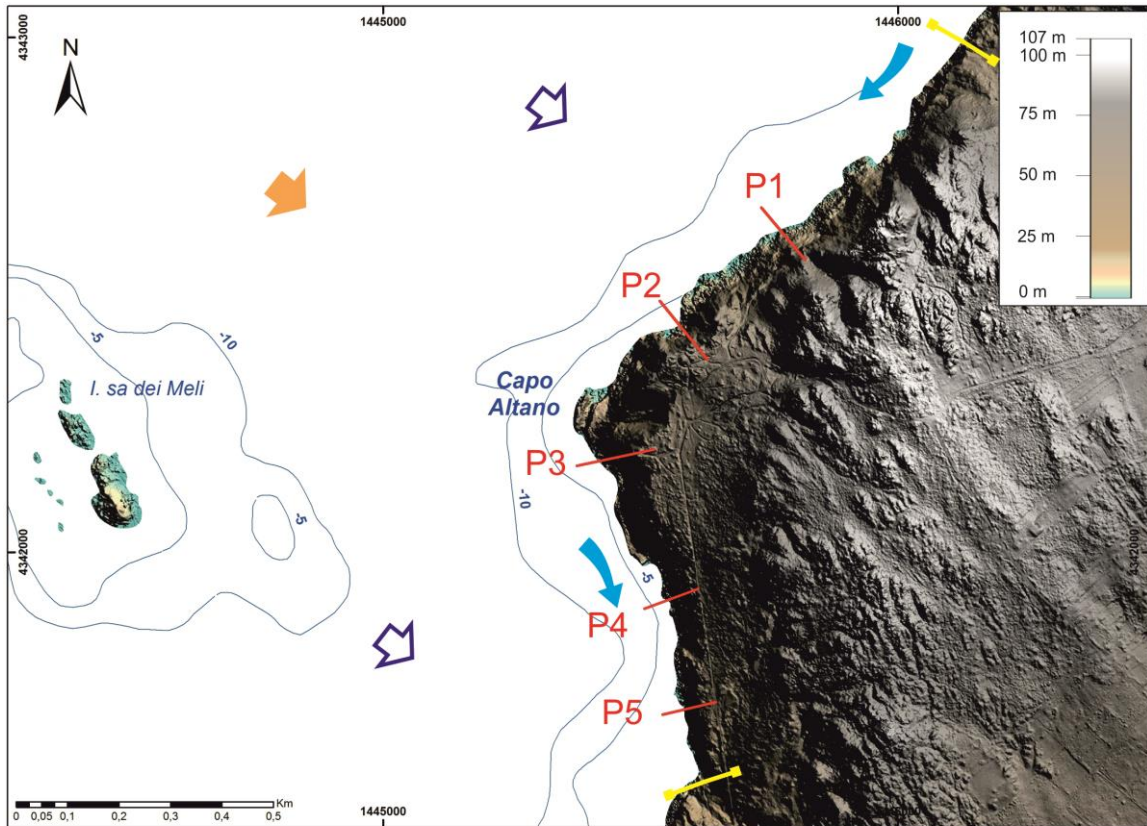


**Figura 5 - Falesia a nord-ovest di Capo Altano. 1) Ciglio della falesia; 2) Nicchie di distacco di frana di crollo e di crollo-ribaltamento; 3) Depositi di frana al piede della falesia.**



**Figura 6 - Falesia a nord-ovest di Capo Altano.**





Profili topografici estratti dal DTM - RAS con passo cella 1 metro.

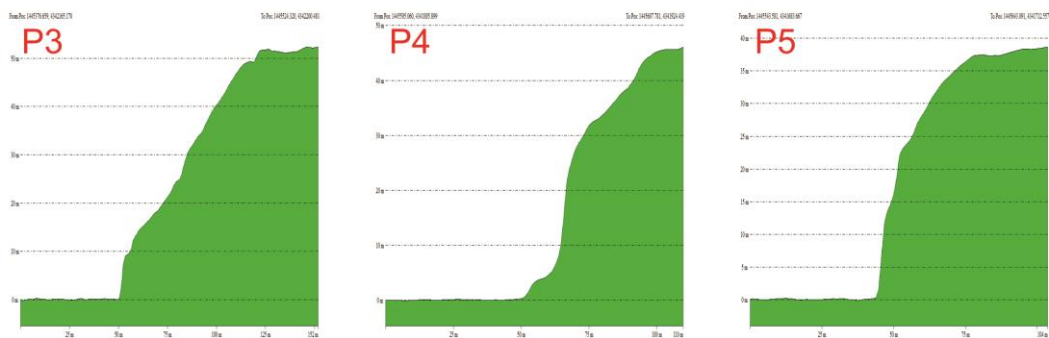
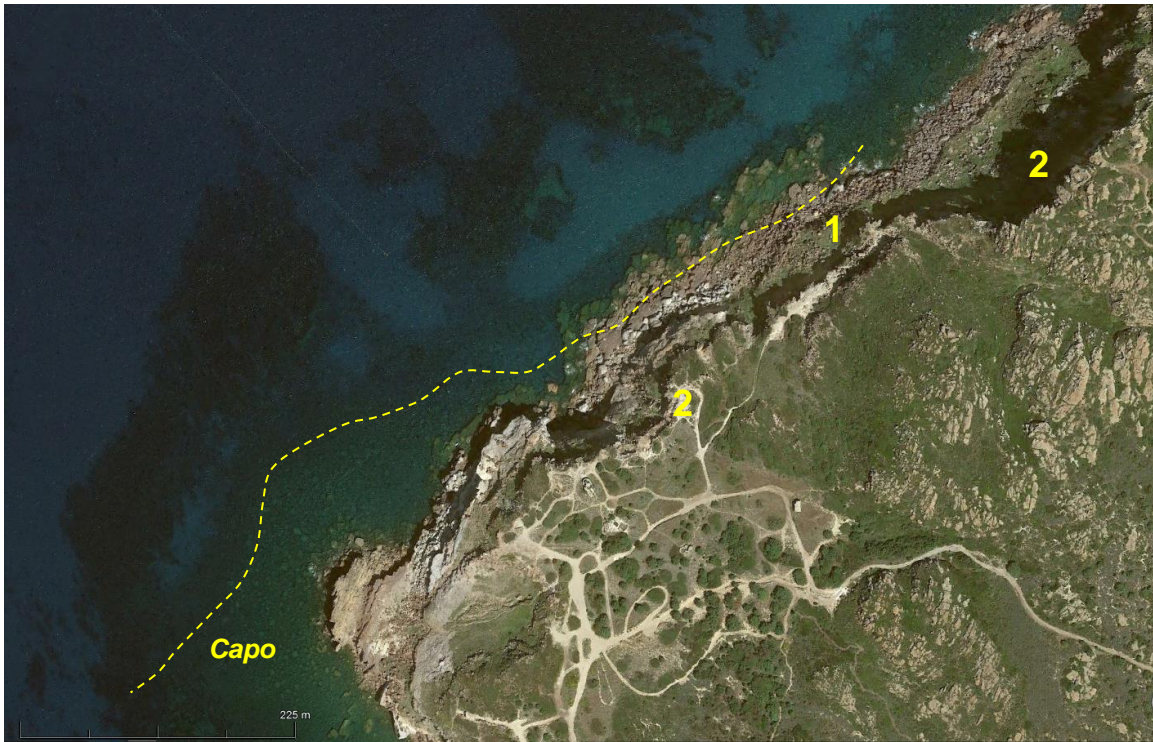


Figura 7 – DTM – RAS con passo cella 1 metro dell'area in studio e profili topografici della falesia.



**Figura 8 - Falesia a nord-ovest di Capo Altano. 1) Piattaforma di abrasione; 2) Depositi di frana al piede della falesia. La linea tratteggiata evidenzia l'estensione verso mare del deposito di crollo al piede della falesia.**

Le falesie a sud di Capo Altano raggiungono altezza massima di 32 m s.l.m (**Figura 9**). Anche per questo settore le aree di falesia sono dominate da estese aree a processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento (**Figura 10**). I relativi depositi di frana al piede della falesia sono caratterizzati per lo più da blocchi di vulcaniti con dimensioni comprese tra 2÷3 metri e 6÷7 metri (**Figura 11**). Il settore sommerso è caratterizzato dalla presenza di una estesa piattaforma di abrasione che si estende sino a circa -10 metri di profondità e in minor misura dai depositi di crollo del piede di falesia (**Figura 12**).



**Figura 9 – Settore litorale a sud di Capo Altano. 1) Ciglio della falesia;2) Depositi di frana al piede della falesia.**



**Figura 10 - Settore litorale a sud di Capo Altano. 1) Ciglio della falesia;2) Depositi di frana al piede della falesia.**



Figura 11 - - Settore litorale a sud di Capo Altano. 1) Ciglio della falesia; 2) Depositi di frana al piede della falesia.

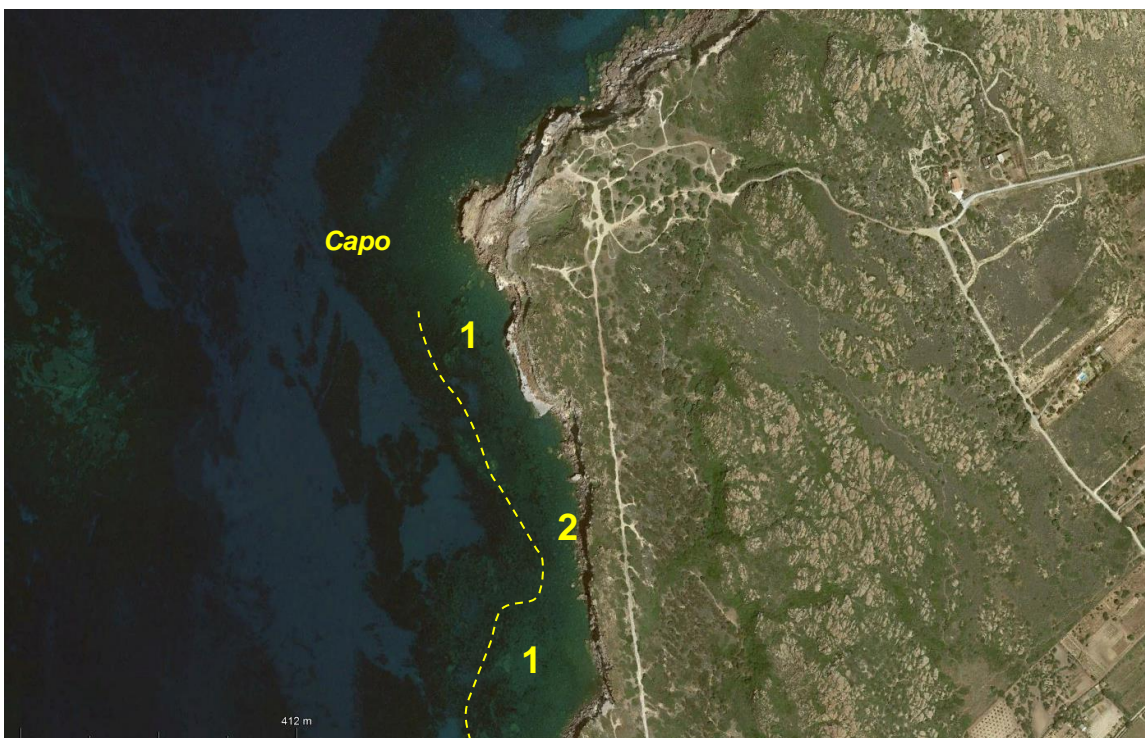


Figura 12 - Falesia a sud di Capo Altano. 1) Piattaforma di abrasione; 2) Depositi di frana al piede della falesia. La linea tratteggiata evidenzia l'estensione verso mare del deposito di crollo al piede della falesia.

IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)

Nel territorio regionale (Regione Sardegna) sono stati censiti 1.523 fenomeni franosi, informatizzati nel Data Base frane (DBfrane) cartograficamente.

Nell'area di Capo Altano non è stato censito alcun Punto Identificativo di Fenomeni Franosi (PIFF).

#### PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano.

Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici. L'area di Capo Altano è caratterizzata da pericolosità da frana molto elevata (Hg4) (Figura 13).



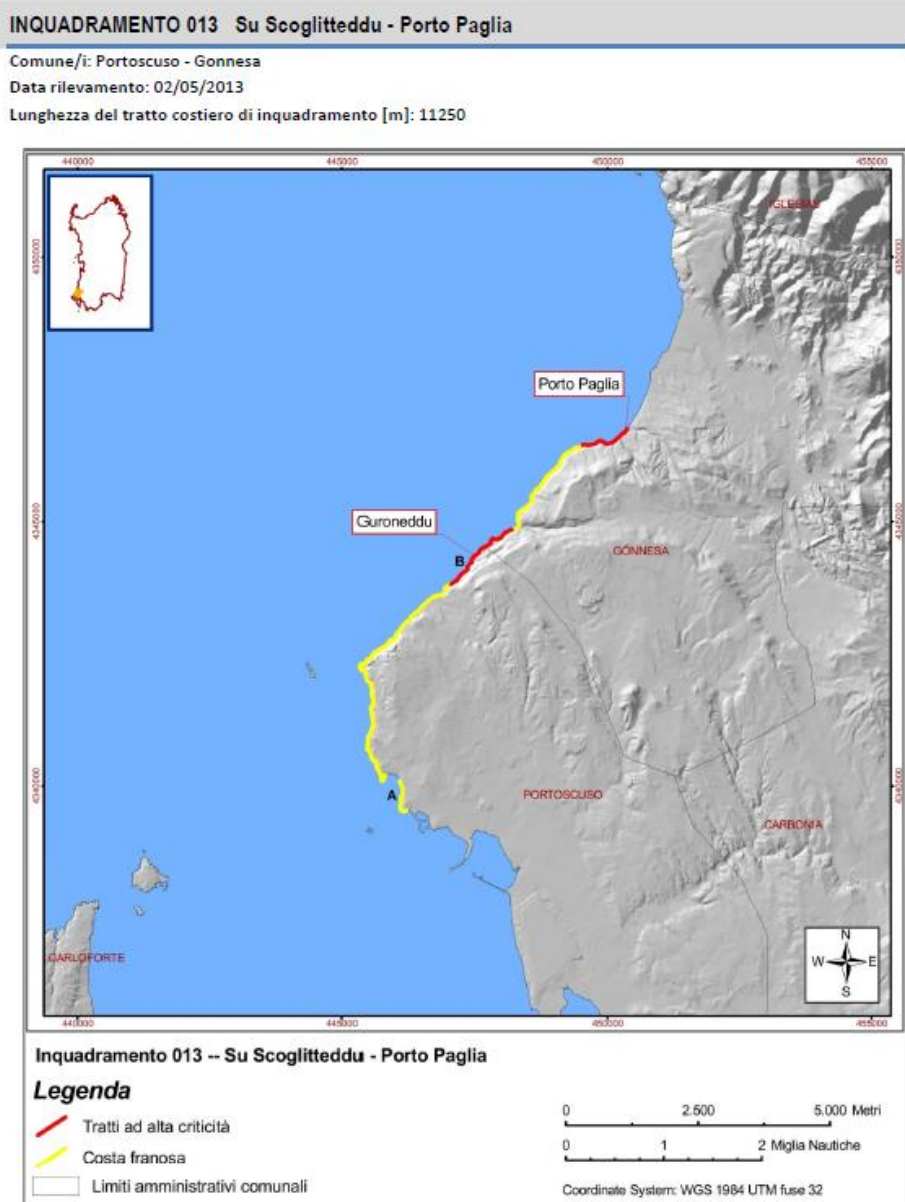
**Figura 13 – Perimetrazione PAI-ART8C2 Sella del Diavolo (Cagliari).**

#### PAC (Programma Azione Coste Sardegna 2013)

Nelle more dello sviluppo di un organico Piano coste, la Giunta regionale ha deliberato la redazione di uno strumento snello in ordine al quale individuare le linee programmatiche per le aree costiere a maggiore criticità di dissesto ed erosione e indirizzi applicativi di gestione costiera integrata. L'impulso maggiore a tale opzione è stato inizialmente promosso dalle necessità connesse all'attuazione della Linea di Attività 4.1.1B del POR Fesr Sardegna 2007-2013 "Attività di Tutela, prevenzione e difesa delle fasce costiere e litoranee dal rischio dei fenomeni di erosione, dissesto, ingressione marina nonché interventi finalizzati alla gestione integrata delle zone costiere", una misura finanziaria che per molti aspetti ha precorso un adeguato strumento pianificatorio propedeutico.

Il Programma d'Azione Coste ha realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale e ha posto le basi affinché le problematiche della tutela, salvaguardia e difesa dei litorali vengano inquadrati all'interno di una impostazione complessiva di gestione costiera integrata, mediante interventi organici non solo di tipo strutturale ma anche con sfondo regolamentatorio e gestionale.

Nell'ambito del PAC è stato censito un tratto costiero ad alta criticità della lunghezza di circa 1683 all'interno del territorio comunale di Portoscuso (**Figura 14**).



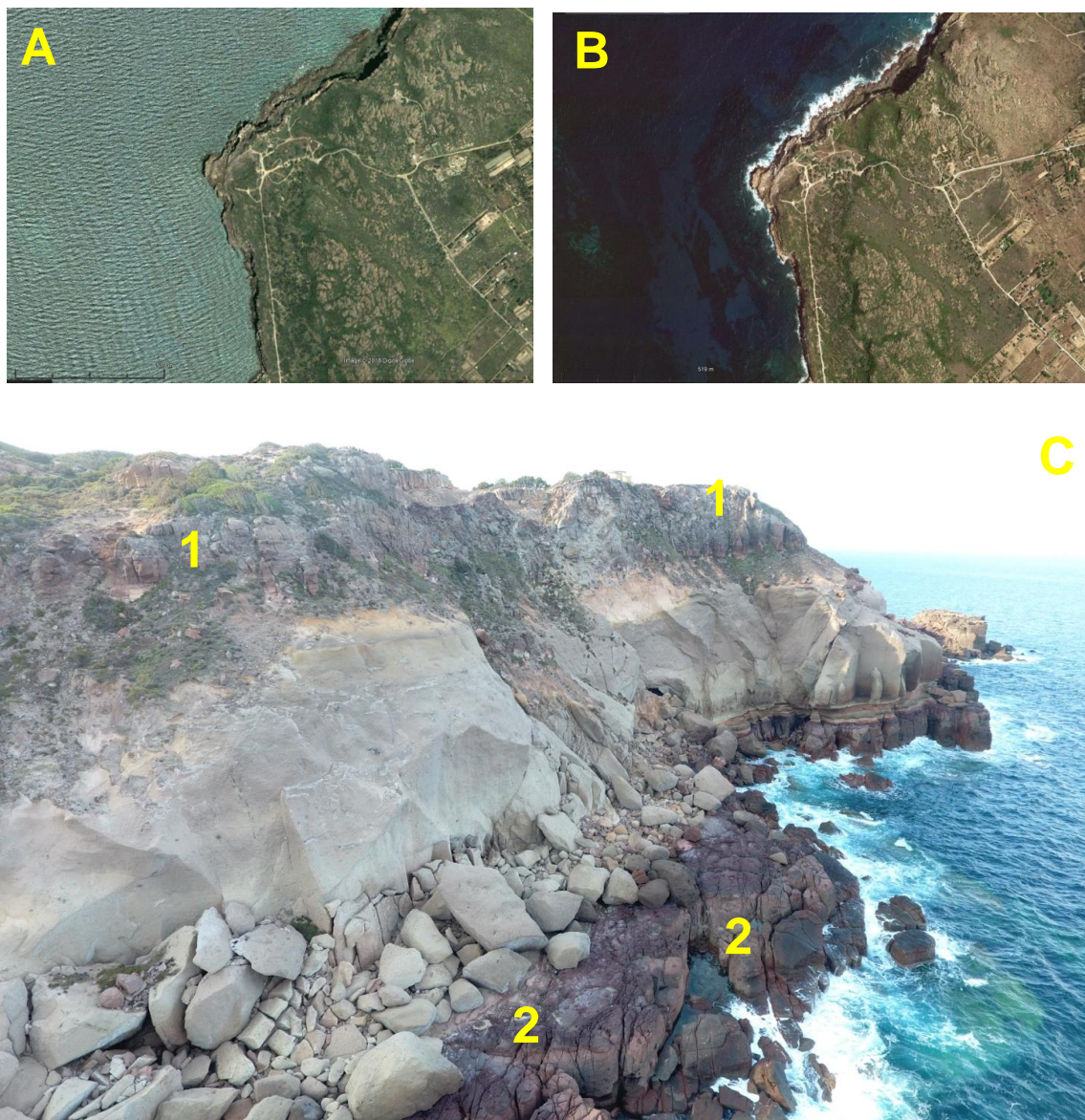
**Figura 14 - Classificazione delle coste all'interno del Programma Azione Coste – RAS dell'area di studio, INQUADRAMENTO 013.**

Dati climatici

I dati termo-pluviometrici di riferimento sono quelli relativi alla stazione meteorologica di Iglesias (Ente Idrografico) situata nelle vicinanze dell'area di studio; essa rappresenta fedelmente le condizioni climatiche generali del settore. La serie storica parte dal 1922 e arriva fino a oggi.

Foto aeree e immagini satellitari

La Regione Sardegna rende disponibili una serie di foto storiche e di servizi WMS e TMS (Ortofoto e immagini satellitari). Per l'area di studio sono presenti le foto storiche degli anni: 1968, 1977-78, 1998-99, 2003, 2006, 2008, 2010, 2013 (**Figura 15**).



**Figura 15 – Analisi multitemporale su base ortofoto dei processi gravitativi. A) Ortofoto 2003: i processi gravitativi sono quiescenti; B) Ortofoto 2017: nuovi depositi di frana per riattivazione dei processi gravitativi di crollo. C) Capo Altano: ciglio della falesia; 2- Depositi di frana di crollo e di crollo-ribaltamento.**

#### Modello digitale del terreno

La Regione Sardegna rende disponibile il DTM con passo cella 1 metro elaborato sulla base di acquisizioni LIDAR del 2008. Il DTM ha risoluzione idonea agli studi di inquadramento geologico-geomorfologico di area vasta.

#### Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 555, Iglesias

L'area di Capo Altano ricade all'interno del Foglio 555 "Iglesias" della Carta Geologica d'Italia, in scala 1:50.000 (Pasci *et al.*, 2012).

## **Pericolosità costiera**

## **Evoluzione del tratto di costa**

L'evoluzione morfogenetica del settore litorale in studio pare essere principalmente rappresentata da una lenta, graduale erosione retrograda delle falesie.

Processi di tipo gravitativo più rilevanti, quali crollo, crollo-ribaltamenti e cunei di roccia, che costituiscono elemento di pericolosità e rappresentano occasionali condizioni di rischio, possono essere innescati dalla presenza di grossi blocchi di vulcaniti, in posizione aggettante lungo il ciglio sommitale della parete (o nicchia di scarpata), per effetto del carico esercitato dai blocchi di vulcaniti interessate da intensa fatturazione.

## **Piani di prevenzione**

Nonostante la marcata tendenza evolutiva all'erosione e la significativa esposizione al moto ondoso (uno dei *fetch* più vasti del Mediterraneo con altezze d'onda fino a 9,5 m), per il settore costiero in oggetto, attualmente, non esistono piani di prevenzione della pericolosità costiera. Allo stato attuale, l'unico strumento pianificatore disponibili per la Regione Sardegna, che analizza i sistemi litorali delle coste alte, è il PAI che definisce il tratto costiero in base a diversi livelli di pericolosità. Il Programma Azione Coste (PAC) della Regione Sardegna ha inoltre realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale. In futuro sarebbe opportuno programmare interventi strutturali atti alla delimitazione temporanea delle aree con criticità geomorfologica elevata in attesa della realizzazione di opere volte alla mitigazione della pericolosità nelle aree più frequentate (spiagge e le calette); nei casi più estremi sarebbe opportuno provvedere all'interdizione delle aree più a rischio. Una programmazione a medio lungo termine, dovrebbe garantire il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati alle circostanze. L'aspetto preventivo nei confronti dei processi di dissesto può tradursi con un aumento del livello di sicurezza e una diminuzione del rischio.

## **Conclusione**

### **Promemoria delle problematiche presenti nel sito**

L'assetto morfostrutturale e geomorfologico del tratto costiero di Capo Altano e determina un livello elevato di pericolosità per frana; tutto il settore costiero è dominato dalla diffusa presenza di processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento che interessano il substrato roccioso a vulcaniti. Le cause di innesco principali, oltre che essere correlabili con l'assetto geologico-strutturale dell'ammasso roccioso, è da mettere in relazione alle condizioni di esposizione delle falesie al moto ondoso; questo settore litorale infatti è esposto agli eventi meteo marini estremi del terzo e del quarto quadrante.

### **Rappresentatività transfrontaliera**

L'analisi geologica-geomorfologica delle falesie di Capo Altano, consente di approfondire le conoscenze relativamente ai processi gravitativi che interessano gli ambiti di falesia su litologie vulcaniche (ignimbriti e flussi piroclastici) esposte alla dinamica di eventi meteomarinari estremi e la correlazione con modelli idraulici del moto ondoso basati sui dati sperimentali.

## **Bibliografia**

Assorgia A., Balogh K., Lecca L., Ibba A., Porcu A., Secchi F.A. & Tilocca G. (1995) – *Volcanological characters and structural context of the Oligo-Miocene volcanic succession from Central Sardinia (Italia)*. In:



R. Polino & R. Sacchi (Eds.): Atti del Convegno "Rapporti Alpi Appennino", 14, Accademia Nazionale delle Scienze, Scritti e Documenti: 397-424, Roma.

Assorgia A., Fadda A., Gimeno D., Morra V., Ottelli L. & Secchi F.A. (1990) - *Le successioni ignimbriche terziarie del Sulcis (Sardegna sud-occidentale)*. Mem. Soc. Geol. It., 45: 951-963, Roma.

Carmignani L., Conti P., Funedda A., Oggiano G. & Pasci S. -2012 - *La geologia della Sardegna*. Geological Field Trips: 4,2.2, pp.104. doi: 10.3301/GFT.2012.04.

Cincotti F., Balogh K. & Assorgia A. (1994) - *Strongly explosive products, collapse column related, from Sulcis Area (SW Sardinia). Volcanological and K-Ar geochronological data and implications for structural evolution*. International Association of sedimentologists 15th Regional Meeting, 1-6, Ischia, Italia.

Pasci S., Carmignani L., Pisanu G., Sale V., Ulzega A., Pintus C. & Deiana G.- (2012) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia 1:50.000 "Foglio 564 - Carbonia"*, Servizio Geologico d'Italia, Roma.



## Sito Capo Mannu (Sardegna, Italia)

### Presentazione del sito

#### Localizzazione

Capo Mannu (Sardegna centro-occidentale) è ubicato nella parte settentrionale della Penisola del Sinis che, assieme alle vicine isole, ha una superficie di circa 170 km<sup>2</sup> e ricade amministrativamente nel Comune di San Vero Milis (OR). Fanno parte di questa area oltre che il settore litorale a falesie e le coste sabbiose, anche le aree umide di *Pauli Marigosa* e *Sa Salina Manna*.

L'area in studio comprende il settore litorale che si estende per circa 1400 metri dalla Torre di Capo Mannu (a nord) fino a Capo Mannu (a sud) (**Figura 16**).

L'area è cartografata nel Foglio 514 sezione III – della Carta Topografica d'Italia in scala 1: 25.000 – Capo Mannu - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 514130 – Capo Mannu in scala 1:10.000.



Figura 16 - Ubicazione dell'area di studio di Capo Mann – Ortofoto RAS 2013

## Caratteristiche Fisiografiche-Ecosistemiche

Per la particolarità delle caratteristiche naturali, il promontorio di Capo Mannu è individuato come sito di importanza comunitaria S.I.C. “Stagno i Putzu Idu (Salina Manna e Pauli Marigosa)” (codice ITB030038) e Oasi di Protezione Faunistica “Capo Mannu” (legge regionale n. 31/1989).

Da Piano di Gestione del SIC “Stagno i Putzu Idu (Salina Manna e Pauli Marigosa)” (codice ITB030038):

*Gli studi effettuati nel presente progetto, hanno confermato la presenza di tutti i 9 habitat presenti nella scheda Natura 2000 e hanno permesso di verificare la presenza di altri 6 nuovi habitat (2230, 2250\*, 5320, 5330, 6220\*, 9320). Complessivamente gli habitat passano da 9 a 15.*

*Le dune del sito sono interessate da vegetazione annuale ascrivibile all'ordine Malcolmietalia (habitat 2230) e inoltre la maggior parte dei gineprei presenti crescono su sabbie (habitat prioritario 2250\*) piuttosto che su altri substrati (habitat 5210). Molti habitat seminaturali delle zone più interne sono stati trascurati, come le comunità erbacee (habitat 6220\*), le garighe costiere dell'alleanza *Euphorbion pithyusae* (habitat 5320), gli arbusteti a *Chamaerops humilis* (habitat 5330) e le formazioni a olivastro anche se molto destrutturate (habitat 9320).*

*Anche alcune interpretazioni qualitative presenti nella lista degli habitat della scheda Natura 2000 sembrano non condivisibili: si vuole sottolineare come la voce rappresentatività non va interpretata in relazione a comunità o habitat fisionomicamente simili, ma rispetto a comunità sintassonomicamente affini e tenendo conto della notevole originalità biogeografica degli ecosistemi insulari. Ad esempio l'habitat prioritario 1510\* non va confrontato con le praterie a *Limonium sp.* in genere, ma con quelle dell'associazione *Limonietum pseudolaeti-glomerati* diffusa solo nel Sinis, che quindi rappresenta l'unico sito mondiale di questa comunità sinendemica.*

## Cnoscenze disponibili

### Caratteristiche Geologiche

Le unità litostratigrafiche distinte nell'area del Sinis sono raggruppate in:

- 1) Successione vulcano-sedimentaria oligo-miocenica;
- 2) Successione vulcano-sedimentaria pliocenica;
- 3) Depositi quaternari.

Nell'area di studio sono identificabili almeno nove complessi litostratigrafici con un diverso significato paleogeografico e strutturale rappresentati da sedimenti marini del Miocene inferiore?-medio, del Miocene superiore, del Pliocene inferiore, da depositi continentali del Pliocene medio, da vulcaniti del Pliocene superiore, da depositi marini del Pliocene superiore, da depositi continentali del Pliocene superiore, da depositi marini di spiaggia e coperture continentali del Pleistocene medio-superiore e, *pro parte*, dell'Olocene (**Figura 17** e **Figura 18**).

### Successione sedimentaria del Miocene inferiore?-medio e medio-superiore

I termini sedimentari marini attribuiti al Miocene inferiore?-medio, costituiti da conglomerati poligenici a clasti paleozoici e vulcanici, su cui si sovrappongono lenti di calcari organogeni a grandi *Ostreidi* (Cherchi *et al.*, 1978) affiorano nel versante occidentale di Costa Atzori. Arenarie conglomeratiche riccamente fossilifere, con abbondanti elementi clastici andesitici di dimensioni fino a decimetriche, sono state recentemente rilevate in affioramento nella località di Riu Maiore, depositatesi in trasgressione sulle andesiti ed i tufi oligo-miocenici (Carboni *et al.*, 2002). Arenarie a balanidi e pettinidi e marne arenacee, attribuite al Tortoniano sulla base del contenuto microfaunistico (Cherchi *et al.*, 1978) affiorano in località Serra Araus.

Microfaune fossili rimaneggiate del Miocene inferiore e dell'Eocene rinvenute entro i sedimenti pliocenici (Pecorini, 1972) testimonierebbero un'intensa attività erosiva manifestatasi in ambito

continentale su ampia porzione della microplacca sarda, concomitante con la ben nota intensa regressione marina registratasi nel Mediterraneo durante il Messiniano. *Facies* sedimentarie appartenenti ad una successione marina, trasgressiva sulle unità terminali del Messiniano sono state descritte, nel promontorio di Scau 'e Sai (Sinis settentrionale), da Cornee *et al.*, (2008). Questi Autori, sulla base della posizione stratigrafica e soprattutto delle analogie con le associazioni faunistiche che caratterizzano la successione di Capo San Marco sopra indicata, attribuiscono al Pliocene questa successione marina.

### **Successione continentale del Pliocene medio**

I sedimenti continentali del Pliocene medio sono rappresentati da depositi alluvionali diffusamente rilevabili nel settore centrale del Sinis. Tale successione, potente localmente anche una decina di metri, è costituita, da ghiaie e microconglomerati in matrice limoso-argillosa fortemente addensati, da depositi sabbiosi fini con spessori metrici, sabbie grosse e ghiaie in matrice sabbiosa fine. Sono depositi talvolta organizzati in livelli ma più generalmente con disposizione caotica, con diverse variazioni locali. L'abbondante contenuto clastico è prevalentemente costituito da quarzo e da rocce metamorfiche, con elevato grado di elaborazione, a tratti molto ben arrotondato. La matrice mostra ovunque caratteri di intensa alterazione evidenziati dall'intenso arrossamento; sovente si osserva la presenza di noduli ferrosi. Il complesso, che giace in appoggio discordante sui calcari della successione messiniana, si è depositato prima dei basalti che costituiscono il "plateau" del Sinis (Carboni & Lecca, 1995).

### **Vulcaniti plioceniche**

Sono rappresentate flussi lavici a composizione basaltica, bollosi e scoriacei che ricoprono vari lembi di un paleoaltopiano del Sinis e da una struttura di *neck*, con propaggini laccolitiche, costituita da basalto in *facies* doleritica localmente a struttura colonnare. I basalti costituiscono inoltre la copertura sommitale del promontorio di Capo San Marco. Lo spessore di queste vulcaniti, che ricoprono i sedimenti continentali argilloso-quarzosi del Pliocene, è variabile, raggiungendo al massimo circa 10 metri; datazioni radiometriche ne stimano l'età in  $3,12 \pm 0,19$  MA (Montigny *et al.*, 1981).

### **Formazione di Capo Mannu**

Sui depositi in *facies* eolica della sequenza dei Calcari di Mandriola poggia una successione anch'essa eolica che costituisce la Formazione di Capo Mannu. Questa rappresenta un "*carbonate sand body*" dello spessore massimo affiorante di 50 m, costituito dalla sovrapposizione di quattro principali unità dunari lateralmente continue e di altre tre unità discontinue, separate da più sottili depositi eolici, dallo sviluppo lentiforme, talora contenenti dei resti di mammiferi. Le unità dunari principali, che raggiungono in alcuni casi uno spessore medio di 6-9 m, al loro interno mostrano numerose sub-unità dunari di rango inferiore. Il contenuto litico dell'intero complesso è in prevalenza rappresentato da una frazione carbonatica di natura biogena ed in subordine, in alcune sub-unità, da una frazione quarzoso-litica terrigena. I depositi eolici lentiformi, in genere fortemente arrossati, mostrano uno scheletro tessituralmente omogeneo, costituito quasi esclusivamente da sabbia fine quarzosa e rappresenterebbero degli episodi di rimobilizzazione degli elementi più fini dai corpi dunari principali, in regime eolico di bassa energia.

Sulla base di confronti con altre situazioni stratigrafiche nel contesto regionale (Pecorini *et al.*, 1974) e sulla base interpretativa di stratigrafia ciclica climatica, nonché del contenuto faunistico (Carboni & Lecca, 1995; Carboni & Lecca, 2003; Abbazzi *et al.*, 2008), questa formazione è stata attribuita al Pliocene superiore, non escludendo per la sua parte più alta l'appartenenza al Pleistocene inferiore.

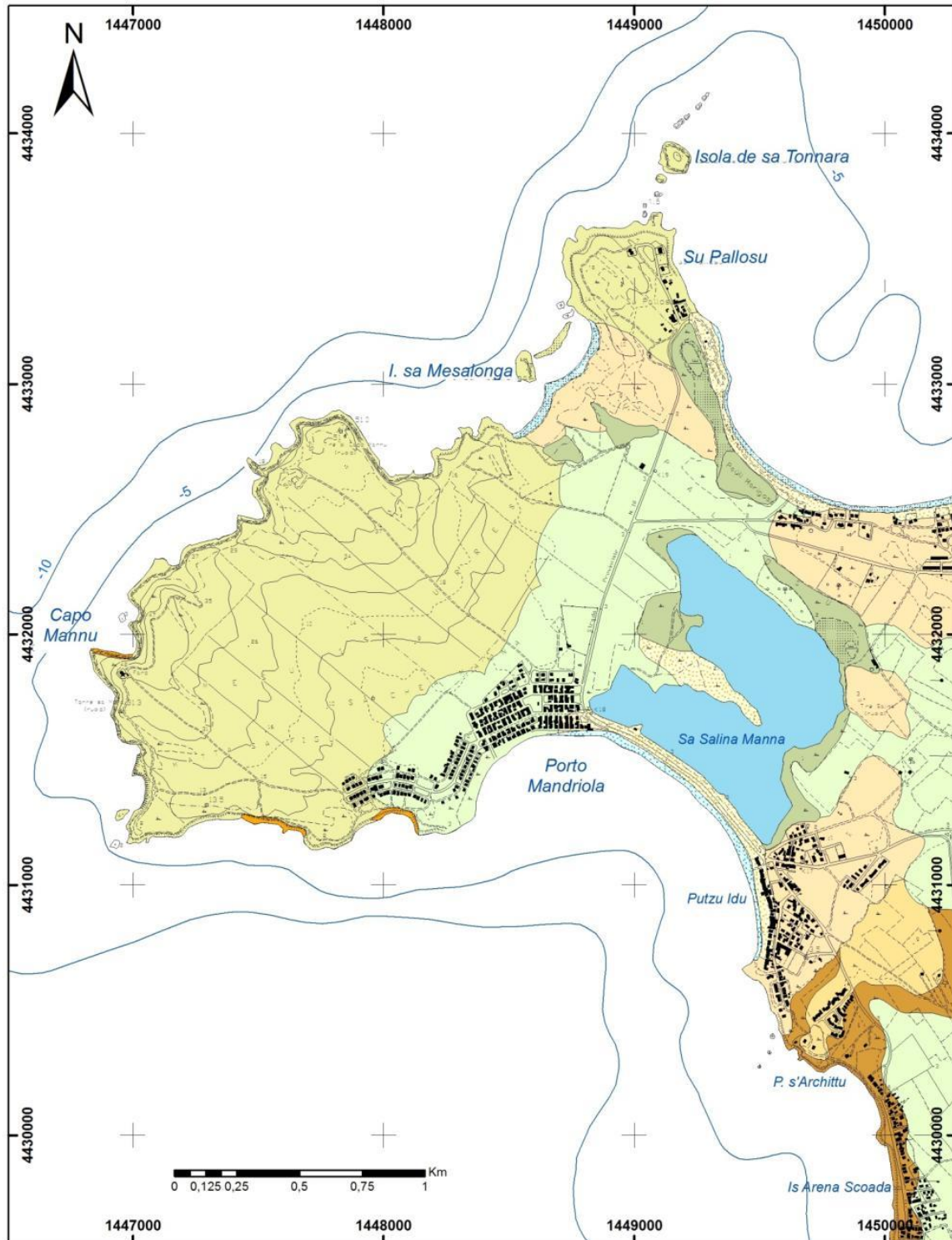


Figura 17 – Stralcio Carta geologica vettoriale della Sardegna scala 1:25000, RAS.

### Legenda















-  **Laguna**
-  **Coltri eluvio-colluviali. Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica. OLOCENE**
-  **Depositi palustri. Limi ed argille limose talvolta ciottolose, fanghi torbosi con frammenti di molluschi. OLOCENE**
-  **Depositi lacustri. Calcari lacustri talvolta con gasteropodi polmonati. OLOCENE**
-  **Depositi eolici. Sabbie di duna ben classate. OLOCENE**
-  **Depositi di spiaggia. Sabbie e ghiaie, talvolta con molluschi, etc. OLOCENE**
-  **Depositi di spiaggia antichi. Sabbie, arenarie, calciruditi, ghiaie con bivalvi, gasteropodi, con subordinati depositi sabbioso-limosi e calcilutiti di stagno costiero. Spessore: fino a 3-4 m. ?PLEISTOCENE SUP. - ?OLOCENE**
-  **Litofacies nel Subintema di Portoscuso (SINTEMA DI PORTOVESME). Sabbie e arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali. PLEISTOCENE SUP.**
-  **Subintema di Calamosca (Panchina Tirreniana Auct.) (SINTEMA DI PORTOVESME). Conglomerati e arenarie litorali a cemento carbonatico, con malacofauna a molluschi (*Strombus bubonius*) e coralli (*Cladocora coespitosa*). PLEISTOCENE SUP.**
-  **FORMAZIONE DI CAPO MANNU. Arenarie eoliche con paleosuoli intercalati ricchi in resti di vertebrati e microfossili rimaneggiati. PLIOCENE SUP.**
-  **CALCARI DI TORRE DEL SEVO. Calcari e calcari dolomitici residuali, generalmente brecciati; biocalcareni fossilifere con bivalvi. MESSINIANO**
-  **CALCARI LAMINATI DEL SINIS. Calcari microcristallini e marme calcaree, con rari fossili di bivalvi. MESSINIANO**
-  **FORMAZIONE DI CAPO SAN MARCO. Siltiti argillose e arenacee, calcari bioermali a *Cardidae*, *Mytilidae*, foraminiferi planctonici (*Globorotalia acostaensis*). MESSINIANO INF.**
-  **CALCARI DI VILLAGRECA. Calcari bioclastici e biocostruiti (bioherme a coralli -*Porites*- e briozoi, e biostromi ad alghe -*Lithothamnium*- e molluschi -*Ostrea edulis lamellosa*-). AQUITANIANO INF.**

Figura 18 – Legenda della carta geologica in Figura 17

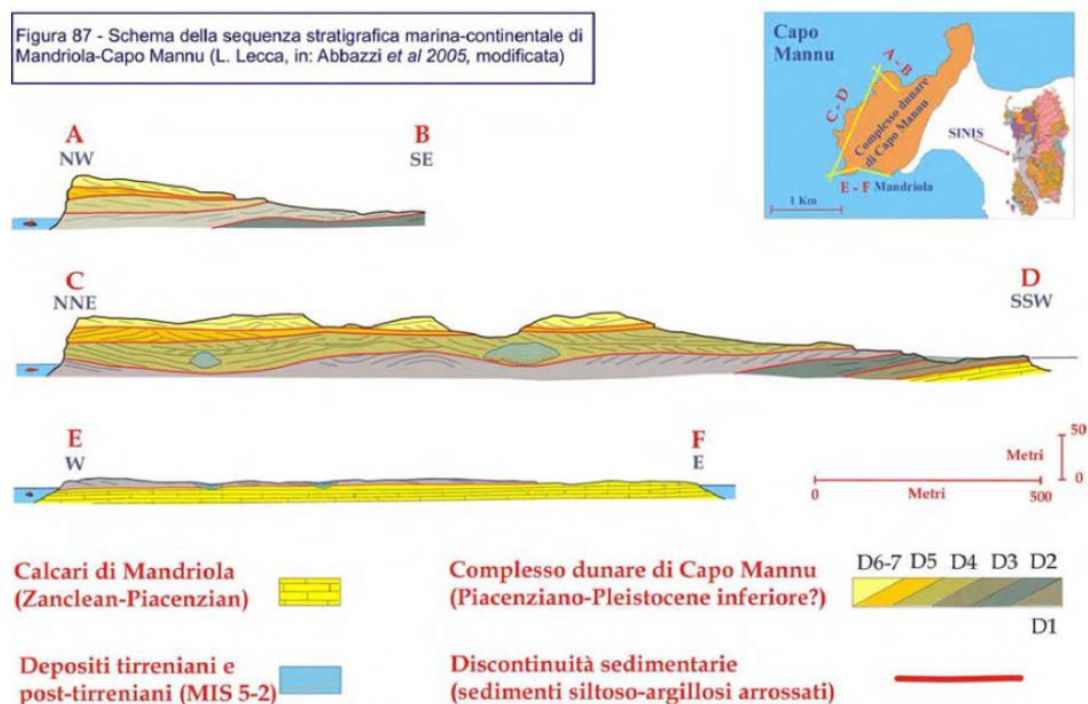


Figura 19 – Schema della sequenza stratigrafica marina-continentale di Mandriola-Capo Mannu (da Lecca et al., 2010).

## **Sedimenti marini e coperture continentali quaternarie**

I depositi quaternari sono rappresentati nel Sinis da sedimenti marini e continentali del Pleistocene medio superiore e dell'Olocene.

### ***Depositi pleistocenici***

I depositi in *facies* marina costiera e di spiaggia del Pleistocene, che testimoniano le alterne fasi deposizionali relative allo “stadío 5” della scala isotopica dell'ossigeno (Shackleton, 1987) rappresentano i prodotti della sedimentazione di “*shoreface*” e di “*foreshore*” (spiaggia bassa emersa, interessata dal moto ondoso) del Tirreniano e sono in prevalenza costituiti da arenarie, arenarie conglomeratiche e conglomerati fossiliferi, con la frazione detritica litica costituita da quarzo, metamorfici e raramente vulcaniti. Tali depositi, che affiorano a quote comprese tra 0 e 8 m sull'attuale livello marino, interessano numerosi tratti della fascia costiera anche con estese coperture di retro-spiaggia e dunari; essi sono inoltre rappresentati in *facies* lagunare e di mare protetto nelle aree più interne e pianeggianti del Sinis, ove sono state rinvenute in sondaggi, fino alla profondità di 7-10 m dal piano di campagna (Tegas e Carboni 2000). Differenti generazioni di arenarie in *facies* eolica variamente arrossate, limi palustri debolmente cementati, a gasteropodi polmonati, crostoni carbonatici di evaporazione e crostoni di carbonati di origine pedogenetica intercalati rappresentano i processi deposizionali in ambito continentale manifestatisi, anche con intermittenza, tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

### ***Depositi olocenici***

I depositi olocenici sono costituiti da sedimenti di spiaggia, in prevalenza sabbioso-ghiaiosi, quasi esclusivamente quarzosi nel settore costiero meridionale e centrale, altamente bioclastici in quello settentrionale e da ampi cordoni di retro-spiaggia. Sedimentazione di limi carbonatici nelle aree interne in ambiente palustre o solo morfologicamente depresse, depositi di pendio ad elementi basaltici sui versanti più acclivi, l'esteso campo dunare di Is Arenas nel settore settentrionale completano il contesto geologico dell'intero Sinis.

## **Caratteristiche Geomorfologiche**

Il settore litorale compreso tra la Torre di Capo Mannu (a nord) e Capo Mannu (a sud) è dominato da un morfotipo a coste rocciose alte; in particolare le falesie sono incise sulla formazione di Capo Mannu: arenarie eoliche a giacitura sub orizzontale con paleosuoli intercalati ricchi in resti di vertebrati e microfossili rimaneggiati del Pliocene superiore.

L'analisi geomorfologica consente la distinzione di almeno due settori:

1- **Torre di Capo Mannu:** si tratta di un'area in cui la falesia è sub-verticale, talora a sbalzo, che raggiunge l'altezza massima di 50 metri e con esposizione a nord-est (**Figura 20** e **Figura 21**). Su tutta la falesia sono evidenti le nicchie di distacco correlabili con processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento; al piede della falesia si rileva la presenza di blocchi dimensioni variabili e comprese tra 1 e 3 metri. La ridotta presenza areale dei depositi al piede della falesia può essere correlabile con intensa azione erosiva da parte del moto ondoso in occasione degli eventi meteo marini eccezionali, sia con le scarse proprietà geomeccaniche dei litotipi che caratterizzano questo settore di falesia (**Figura 22**).





**Figura 20- Falesia in corrispondenza della Torre di Capo Mannu. 1) Ciglio della falesia: 50 metri sul livello del mare; 2) Nicchie di distacco di frana di crollo e di crollo-ribaltamento; 3) Depositi di frana al piede della falesia; 4) piattaforma di abrasione marina.**

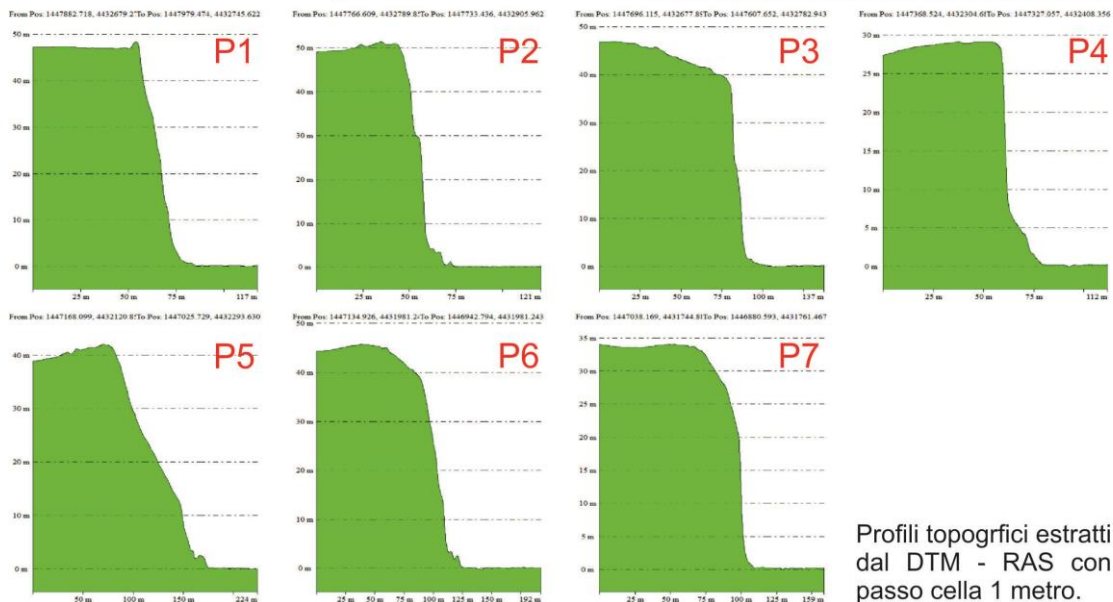
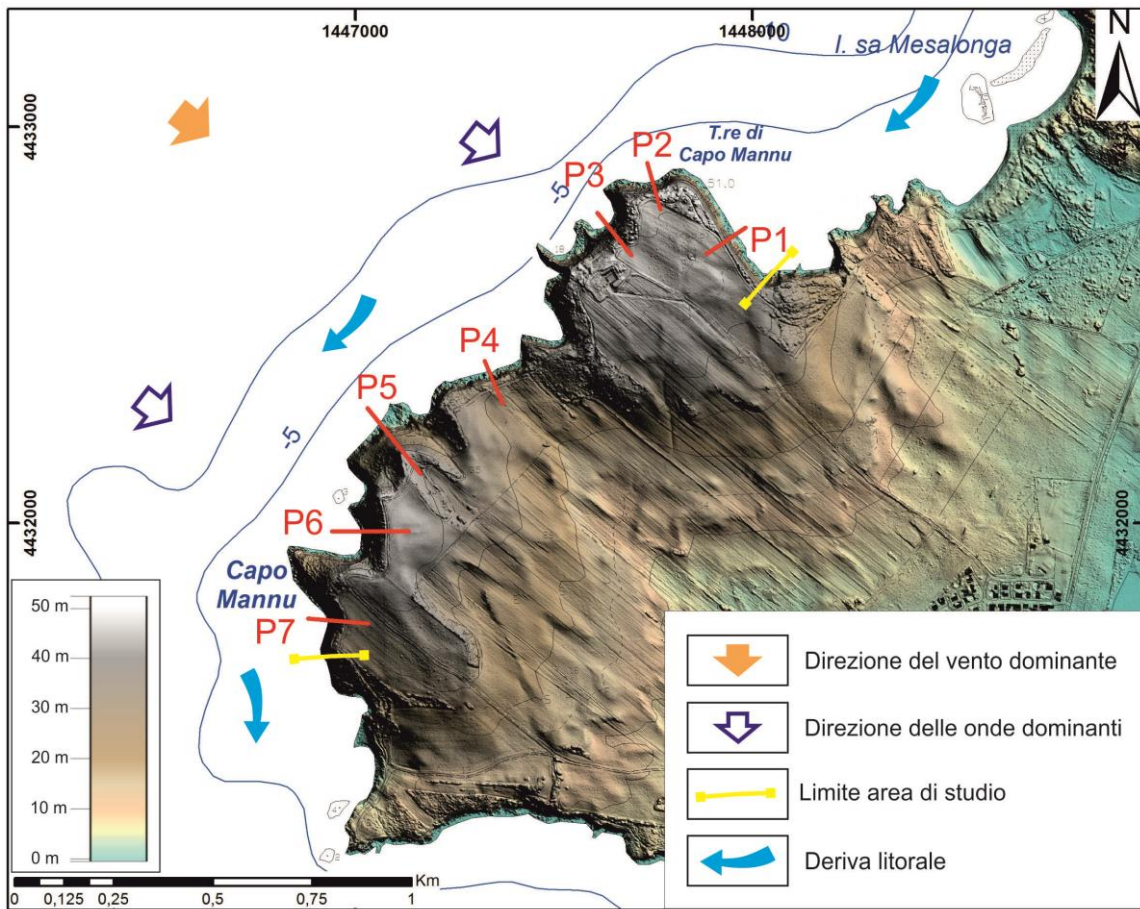
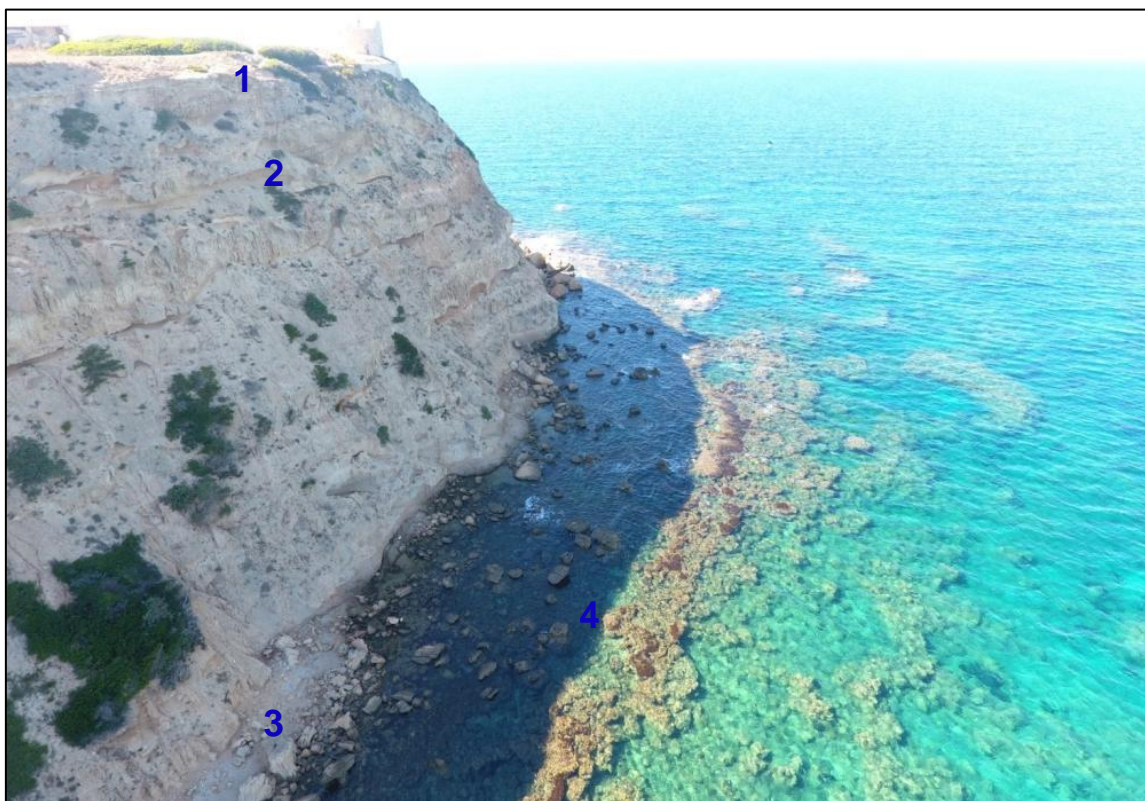


Figura 21 – DTM – RAS con passo cella 1 metro dell'area in studio e profili topografici della falesia.



**Figura 22 - Falesia in corrispondenza della Torre di Capo Mannu. 1) Ciglio della falesia: 50 metri sul livello del mare; 2) Nicchie di distacco di frana di crollo e di crollo-ribaltamento; 3) Depositi di frana al piede della falesia; 4) piattaforma di abrasione marina.**

La parte sommersa è caratterizzata dalla presenza di una piattaforma di abrasione, rilevabile sino alla profondità di circa -3 metri, che conserva, unitamente ai morfotipi tipici delle forme di erosione alla base delle falesie, quali canali, marmitte, blocchi di frana ecc., le morfologie caratteristiche del *weathering* sub-aereo (docce, *lapiez*, sifoni) e litorale (rilievi fungiformi, vaschette) (Forti S. & Orrù P., 1995).

**2- Falesia tra Torre di Capo Mannu e Capo Mannu:** si estende per circa 1.300 m ed è caratterizzato da falesie con esposizione a nord-ovest, con inclinazione variabile da verticale a circa  $55^{\circ}$ ÷ $60^{\circ}$  e altezza del ciglio compresa tra 42 e 32 metri. La morfologia della costa è articolata dall'alternanza di piccole baie e promontori incisi sulle arenarie (**Figura 23**).

Anche per questo settore le aree di falesia sono dominate da estese aree a processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento. I relativi depositi di frana al piede della falesia sono caratterizzati per lo più da blocchi di arenarie con dimensioni comprese tra 2÷3 metri e 6÷7 metri (**Figura 24**). Nella parte sommersa si rileva una piattaforma di abrasione che raggiunge la massima estensione areale in prossimità del promontorio di Capo Mannu.



**Figura 23 – Settore litorale compreso tra Torre di Capo Mannu e Capo Mannu dominato dall’alternanza di baie e promontori.**

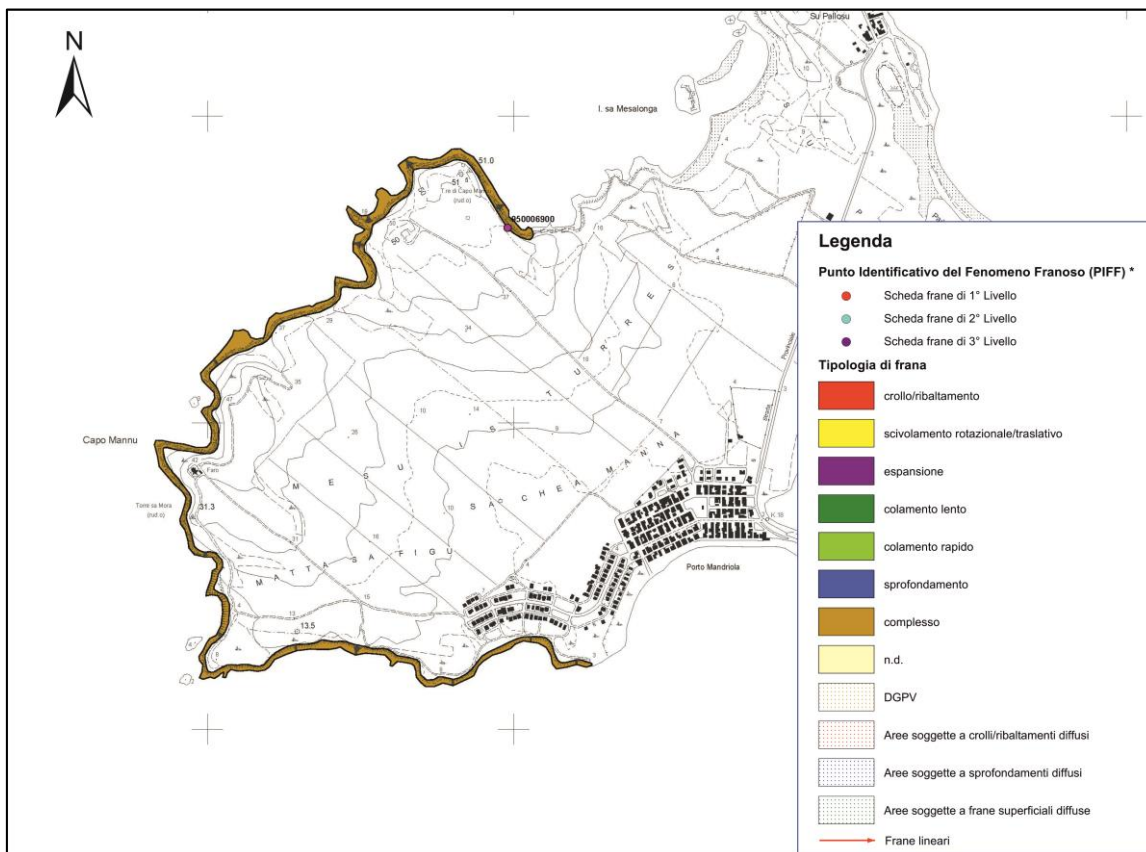


**Figura 24 - Settore litorale compreso tra Torre di Capo Mannu e Capo Mannu; in evidenza i depositi di crollo alla base delle falesie.**

**IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)**

Nel territorio regionale (Regione Sardegna) sono stati censiti 1.523 fenomeni franosi, informatizzati nel Data Base frane (DBfrane) cartograficamente.

Nell'area del Sinis è stato censito un unico Punto Identificativo di Fenomeni Franosi (PIFF); si tratta di un PIFF di terzo livello. Le principali tipologie di frane censite sono associate a cinematismi complessi (**Figura 25**).



**Figura 25 - Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna C.T.R. N. 514-030.**

**PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)**

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano.



**Figura 26 – Perimetrazione PAI-ART8C2 Capo Mannu.**

Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici. L'area del Sinis, compresa Isola sa Mesalonga e Capo Mannu è caratterizzata da pericolosità da frana elevata (Hg3) (Figura 26).

#### PAC (Programma Azione Coste Sardegna 2013)

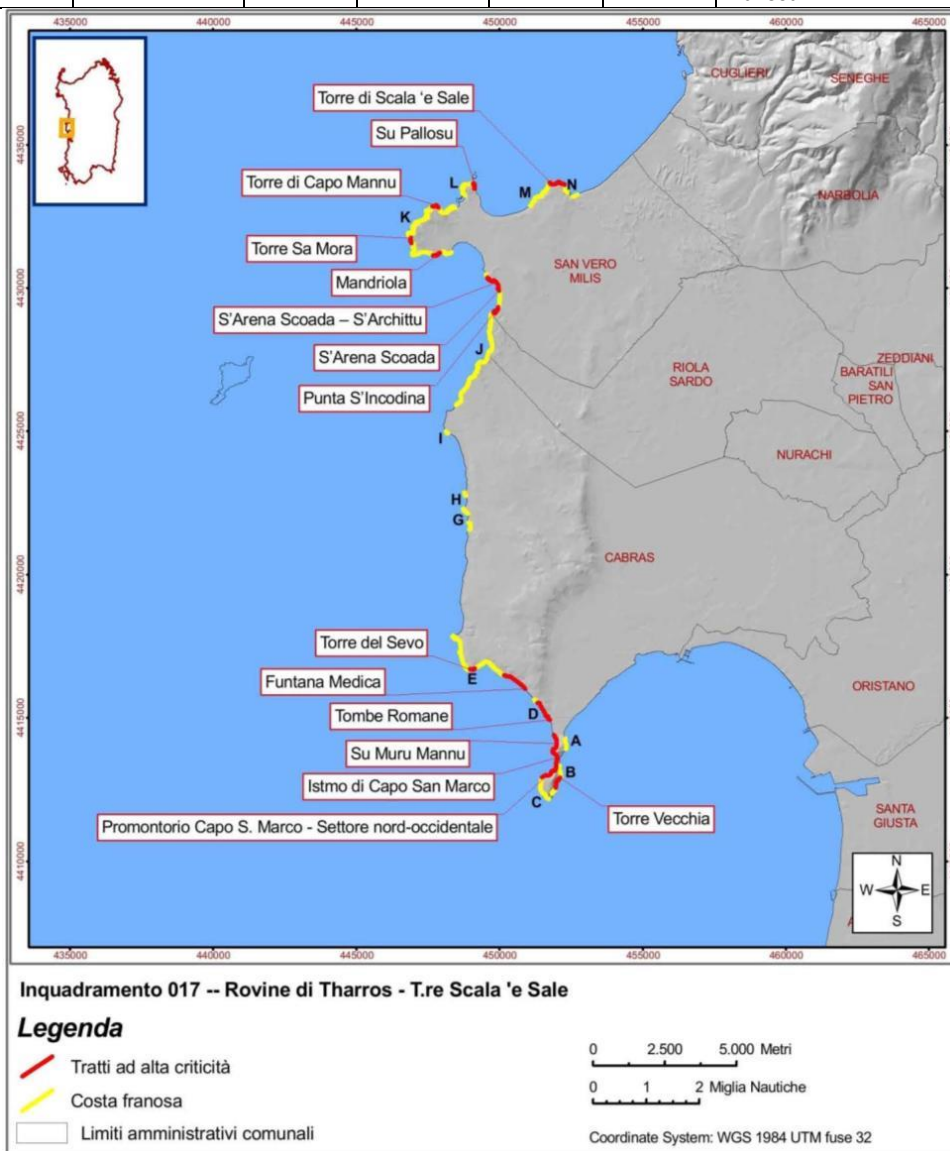
Nelle more dello sviluppo di un Piano coste organico, la Giunta della Regione Sardegna ha deliberato per la redazione uno strumento di pianificazione snello in ordine al quale individuare le linee programmatiche per le aree costiere a maggiore criticità di dissesto ed erosione e indirizzi applicativi di gestione costiera integrata. L'impulso maggiore a tale opzione è stato inizialmente promosso dalle necessità connesse all'attuazione della Linea di Attività 4.1.1B del POR Fesr Sardegna 2007-2013 "Attività di Tutela, prevenzione e difesa delle fasce costiere e litoranee dal rischio dei fenomeni di erosione, dissesto, ingressione marina nonché interventi finalizzati alla gestione integrata delle zone costiere", una misura finanziaria che per molti aspetti ha precorso un adeguato strumento pianificatorio propedeutico.

Il Programma d'Azione Coste ha realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale e ha posto le basi affinché le problematiche della tutela, salvaguardia e difesa dei litorali vengano inquadrati all'interno di una impostazione complessiva di gestione costiera integrata, mediante interventi organici non solo di tipo strutturale ma anche con sfondo regolamentatorio e gestionale.

Nell'ambito del PAC è stato censito anche il settore litorale del territorio comunale di San Vero Milis; è stato individuato un tratto costiero ad alta criticità della lunghezza di 2.839 m, che si estende dalla Torre di Scala 'e Sale (a nord) fino a Punta S'Incodina (Figura 27).

**Tabella 5 – Stralcio Tabella di sintesi dei dati significativi per comune – da Programma Azione Coste – Regione Sardegna).**

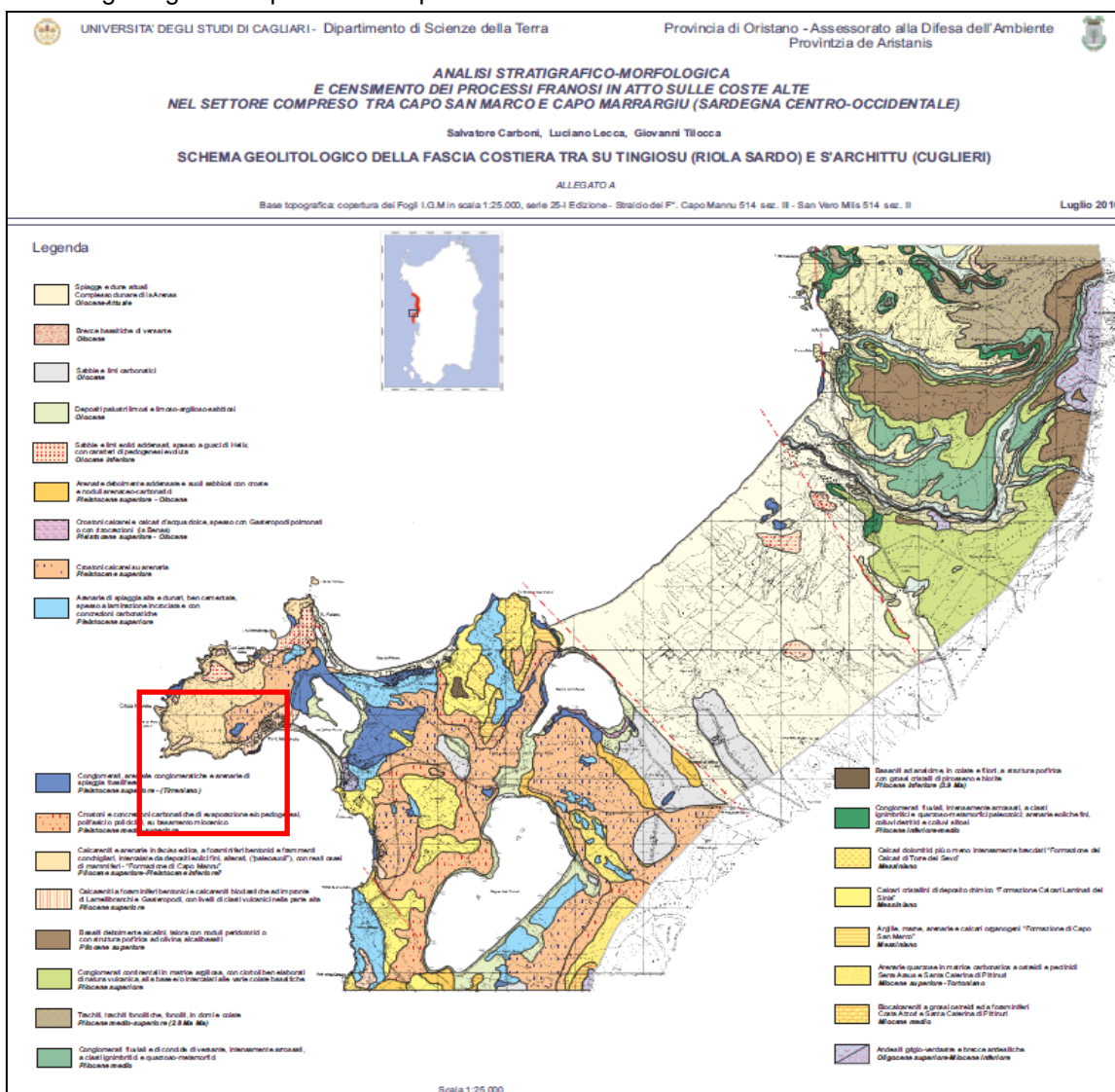
Comune	Sviluppo costiero comun. [m]	n° tratti franosi	Sviluppo tratti franosi [m]	% costa franosa	n° tratti ad alta criticità	Toponimi tratti alta criticità	Sviluppo tratti alta criticità [m]
SAN VERO MILIS	21.786	5	11.354	52%	8	Punta S'Incodina; S'Arena Scoada - S'Archittu; S'Arena Scoada; Mandriola; <b>Torre di Capo Mannu</b> ; Torre Sa Mora; Torre di Scala 'e Sale; Su Pallosu	<b>2.839</b>



**Figura 27 – Classificazione delle coste all'interno del Programma Azione Coste – RAS: inquadramento 017 Rovine di Tharros – T.re Scala 'e Sale.**

Analisi stratigrafico-morfologica: censimento dei processi franosi in atto nel settore compreso tra Capo San Marco e Capo Marrargiu (Sardegna centro-occidentale)

L'area compresa tra Torre di Capo Mannu a Capo Mannu è stata oggetto di studio nell'ambito dell'analisi stratigrafico-morfologica e censimento dei processi franosi in atto nel settore compreso tra Capo San Marco e Capo Marrargiu (Sardegna centro-occidentale) (Lecca, *et al.*, 2010; **Figura 28**). Si tratta di una ricerca sulla fascia costiera della provincia di Oristano i cui risultati hanno destato l'attenzione dell'Assessorato alla Difesa dell'Ambiente della Provincia di Oristano, interessato ad acquisire informazioni e dati scientifici inerenti lo studio dei processi di morfogenesi in atto in quell'area geografica. I contenuti del lavoro tracciano, in una prima parte, una descrizione delle caratteristiche geo-litologiche, stratigrafiche, morfologiche ed un originale censimento sui processi erosivi e sulle tendenze morfoevolutive dell'intero sviluppo costiero della provincia di Oristano, relativamente coste rocciose alte, in un dettagliato quadro descrittivo e qualitativo del modello geologico interpretativo dei processi evolutivi in atto.



**Figura 28 – Schema geo-litologico della fascia costiera tra Su Tingiusu (Riola Sardo) e S'Archittu (Cuglieri) (Lecca *et al.*, 2010); in evidenza l'area in studio.**



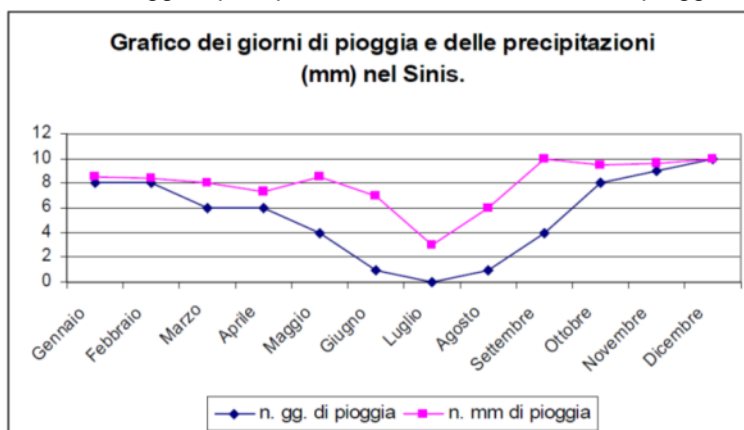
### Dati climatici

La climatologia del Sinis risente della sua posizione geografica e della morfologia del suo territorio che, mancando di ostacoli orografici di qualche rilievo, consente ai venti di sviluppare la massima velocità. Dal mare la penisola è aperta ai venti del III° e IV° quadrante. Dalla vallata del Tirso si incanalano i venti del I quadrante e particolarmente il grecale e, dalla pianura del Campidano, lo scirocco.

Per quanto riguarda i dati sulla nuvolosità risulta che in media nel Sinis si riscontrano 133 giorni sereni, 112 con nuvolosità media e 120 coperti (Servizio Meteorologico dell'Aeronautica di Capo Frasca, in Fadda F.A. et al., 1993).

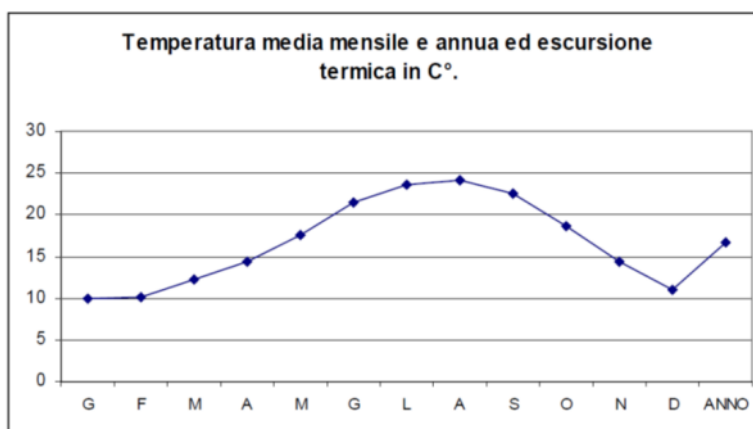
Per quanto riguarda la piovosità si può affermare che le precipitazioni medie ed annue sono relativamente basse ed hanno la loro massima intensità nel periodo ottobre – marzo e con un periodo arido che abbraccia parte della primavera e tutta l'estate.

Dal grafico in **Figura 29** si può notare come nel mese di maggio, nonostante le poche giornate di pioggia, in totale 4, si siano raggiunti 8,5 mm di precipitazioni. Lo stesso si può affermare per il mese di settembre dove in 4 gg. di precipitazioni sono caduti 10 mm di pioggia.



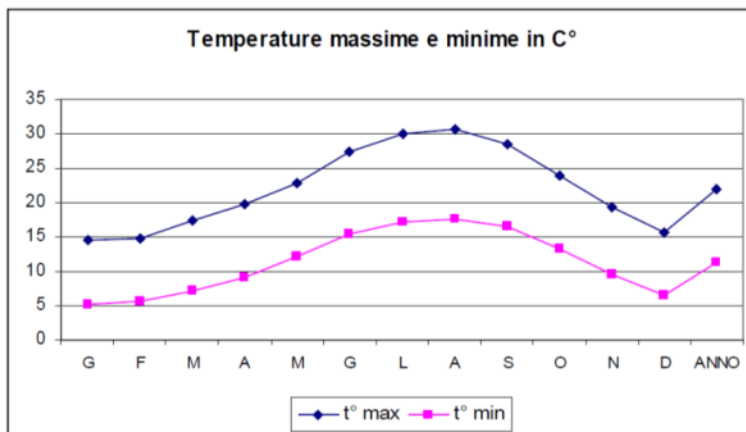
**Figura 29 – Valori di precipitazione nella Penisola del Sinis.**

La temperatura media annua rilevata nella stazione di S. Giusta è di 16,7 ° con il valore medio mensile più alto nel mese di agosto (24,1°) e valore medio mensile più basso nel mese di gennaio (9,9°) (**Figura 30**)



**Figura 30 – Valori medi mensili di temperatura nella Penisola del Sinis.**

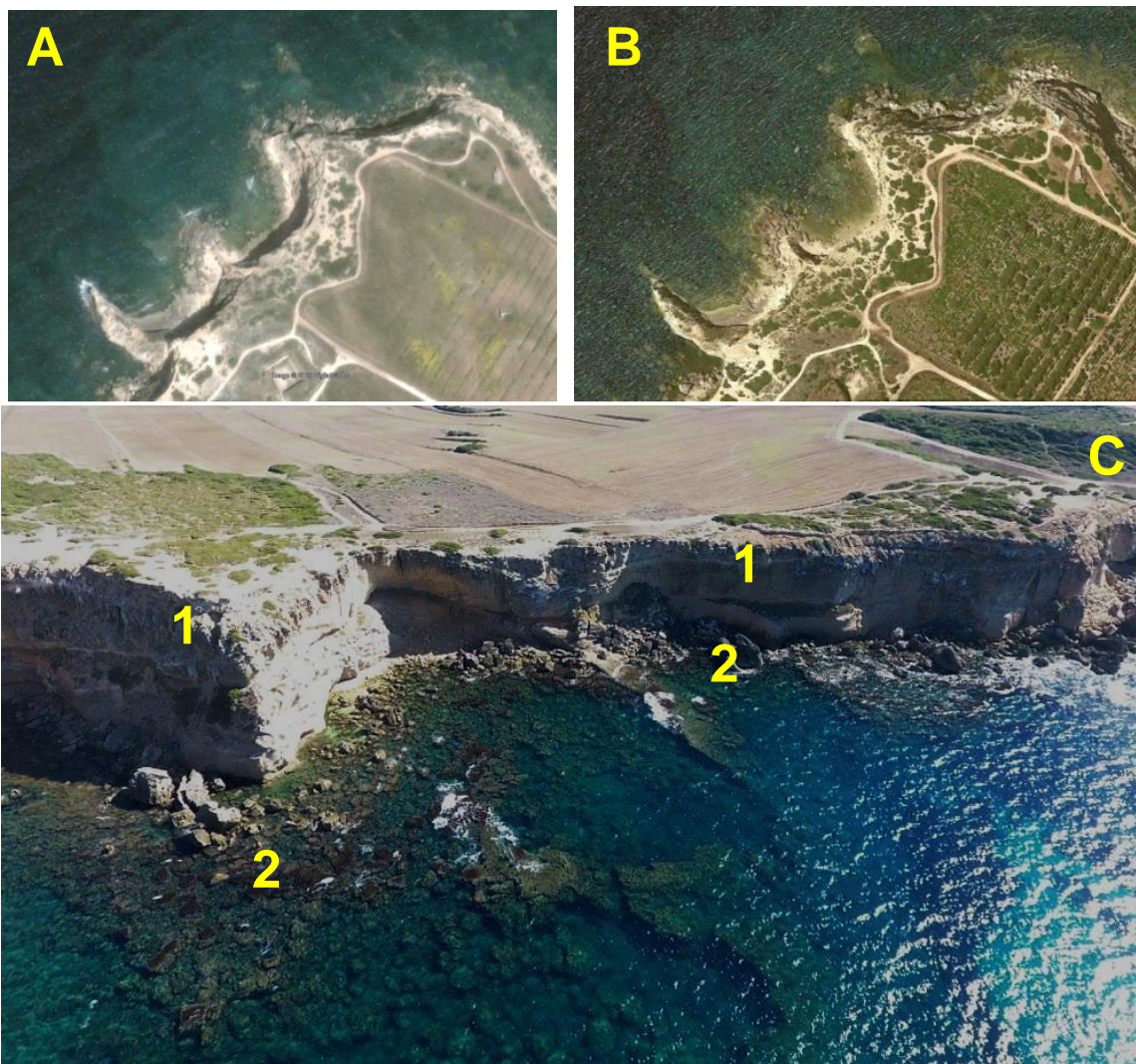
Le temperature massime più elevate sono state rilevate nei mesi di giugno, luglio, agosto e settembre. Viceversa, le temperature minime più basse sono state riscontrate nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio (**Figura 31**).



**Figura 31 – Temperature massime e minime nella Penisola del Sinis.**

Foto aeree e immagini satellitari

La Regione Sardegna rende disponibili una serie di foto storiche e di servizi WMS e TMS (Ortofoto e immagini satellitari). Per l'area di studio sono presenti le foto storiche degli anni: 1968, 1977-78, 1998-99, 2003, 2006, 2008, 2010, 2013 (**Figura 32**).



**Figura 32 – Analisi multitemporale su base ortofoto dei processi gravitativi. A) Ortofoto 2006: i processi gravitativi sono quiescenti; B) Ortofoto 2017: nuovi depositi di frana per riattivazione dei processi gravitativi di crollo. C) Falesia a sud di Torre di Capo Mannu: ciglio della falesia; 2- Depositi di frana di crollo e di crollo-ribaltamento.**

#### Modello Digitale del Terreno

La Regione Sardegna rende disponibile il DTM con passo cella 1 metro elaborato sulla base di acquisizioni LIDAR del 2008. Il DTM ha risoluzione idonea agli studi di inquadramento geologico-geomorfologico di area vasta.

## **Pericolosità Costiera**

### **Evoluzione del tratto di costa**

L'evoluzione morfogenetica del settore litorale in studio pare essere è principalmente rappresentata da una lenta, graduale erosione retrograda delle falesie.

Processi di tipo gravitativo più rilevanti, quali crollo e crollo-ribaltamenti, che costituiscono un elemento di pericolosità e rappresentano occasionali condizioni di rischio, possono essere innescati dalla presenza di grossi blocchi di arenaria, in posizione aggettante lungo il ciglio sommitale della parete (o nicchia di scarpata), per effetto del carico esercitato dai blocchi di

arenaria poggianti sia direttamente sui paleosuoli, sia sulle coperture detritico-arenacee colluviali a comportamento plastico dei prodotti di alterazione (argille e carbonati)

### **Piani di prevenzione**

Nonostante la marcata tendenza evolutiva all'erosione e la significativa esposizione al moto ondoso (uno dei *fetch* più vasti del Mediterraneo con altezze d'onda fino a 9,5 m), per il settore costiero in oggetto non esistono piani di prevenzione della pericolosità costiera. Allo stato attuale, l'unico strumento pianificatore disponibili per la Regione Sardegna, che analizza i sistemi litorali delle coste alte, è il PAI che definisce il tratto costiero in base a diversi livelli di pericolosità. Il Programma Azione Coste (PAC) della Regione Sardegna ha inoltre realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale. In futuro sarebbe opportuno programmare interventi strutturali atti alla delimitazione temporanea delle aree con criticità geomorfologica elevata in attesa della realizzazione di opere volte alla mitigazione della pericolosità nelle aree più frequentate (spiagge e le calette); nei casi più estremi sarebbe opportuno provvedere all'interdizione delle aree più a rischio. Una programmazione a medio lungo termine, dovrebbe garantire il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati alle circostanze. L'aspetto preventivo nei confronti dei processi di dissesto può tradursi con un aumento del livello di sicurezza e una diminuzione del rischio.

### **Conclusione**

#### **Promemoria delle problematiche presenti nel sito**

L'assetto morfostrutturale e geomorfologico del tratto costiero sopra descritti e determina un livello elevato di pericolosità per frana; tutto il settore costiero è dominato dalla diffusa presenza di processi gravitativi di crollo e crollo-ribaltamento che interessano il substrato roccioso ad arenarie della Formazione di Capo Mannu.

Le cause di innesco principali, oltre che essere correlabili con l'assetto geologico-strutturale dell'ammasso roccioso, è da mettere in relazione alle condizioni di esposizione delle falesie al moto ondoso; questo settore litorale infatti è esposto agli eventi meteo marini estremi del terzo e del quarto quadrante.

#### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

L'analisi geologica-geomorfologica delle falesie di Capo Mannu, consente di approfondire le conoscenze relativamente ai processi gravitativi che interessano gli ambiti di falesia su litologie silico-clastiche esposte alla dinamica di eventi meteomarinari estremi e la correlazione con modelli idraulici del moto ondoso basati sui dati sperimentali.

La presenza di numerosi processi di dissesto attivi (frane di crollo, crollo-ribaltamento e scivolamenti) con i loro tempi di ritorno particolarmente brevi, potrebbero dare dei dati statistici utili sulla dinamica morfologica costiera.

### **Bibliografia**

Angelone C. & Kotsakis T., 2001 – Rhagapodemus azzarolii n.s.p. (Muridae, Rodentia) from the Pliocene of Mandriola (Western Sardinia, Italia). Boll. Soc. Paleont. It., 40 (2), 127-132.

Beccaluva L., Civetta L., Macciotta G., Ricci C.A., 1985 – Geochronology in Sardinia: results and problems. Rend. Soc. It. Miner. Petrol., 40, 57-72.

Carboni S. & Lecca L., 1995 – Le Pliocène de Capo Mannu (Sardegna occidentale): transition marin littorale-continentaldunaire. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 320, (II a), 1203-1210.

Carboni S., Pala A., Guaita S., 1998 – Geologia e Idrogeologia di Is Arenas (Narbolia-San Vero Milis, Sardegna centro-occidentale). Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, LXVIII, 177-220.

Carboni S. e Tegas M., 2000 – Carta geologica del Sinis nord-occidentale. Università di Cagliari, inedita.

Carboni S. e Zammarrano R., 2000 – Carta geologica dei depositi quaternari costieri tra Bosa Marina e Punta di Foghe. Università di Cagliari, in edita.

Carboni S., Nicolò C., Pala A. e Pili S., 2002 - Studio idrogeologico degli acquiferi profondi del Sinis (Sardegna centro-occidentale). Rend. Sem. Fac. Sc. Univ. Cagliari, 72, 51-90.

Cherchi A., Marini A., Murru M., Robba E., 1978 – Stratigrafia e paleoecologia del Miocene superiore della penisola del Sinis (Sardegna occidentale). Riv. Ital. Paleont., 84, 973 -1036.

Cornée J.-J., Maillard A., Conesa G., Garcia F., Saint Martin J. P., Sage F., Münch P., 2008 – On shore to offshore reconstruction of the Messinian erosion surface in Western Sardinia: Implication for the Messinian salinity crisis. Sedimentary Geology, 210, 48-60.

Di Battistini G., Mezzadri M., Zerbi M., 1974 – Su un affioramento della formazione andesitoide superiore nei sedimenti quaternari del Sinis (Sardegna centro-occidentale). Ateneo Parmense, Acta Nat., 10 (1), 59-81.



## Sito Sella del Diavolo (Sardegna, Italia)

### Presentazione del sito

#### Localizzazione

L'area di studio è ubicata all'interno del territorio di Cagliari (Sardegna-Italia), nel promontorio che sorge nella zona meridionale di Città in corrispondenza del tratto di costa che va dal porticciolo di Marina Piccola fino a Capo Sant'Elia-Cala Mosca; copre una lunghezza totale di circa 3-4 km (Figura 1). L'area è cartografata nel Foglio 566 sezione III-IV della Carta Topografica d'Italia in scala 1: 25.000 - La Maddalena - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 566020 e 566030 in scala 1:10.000.

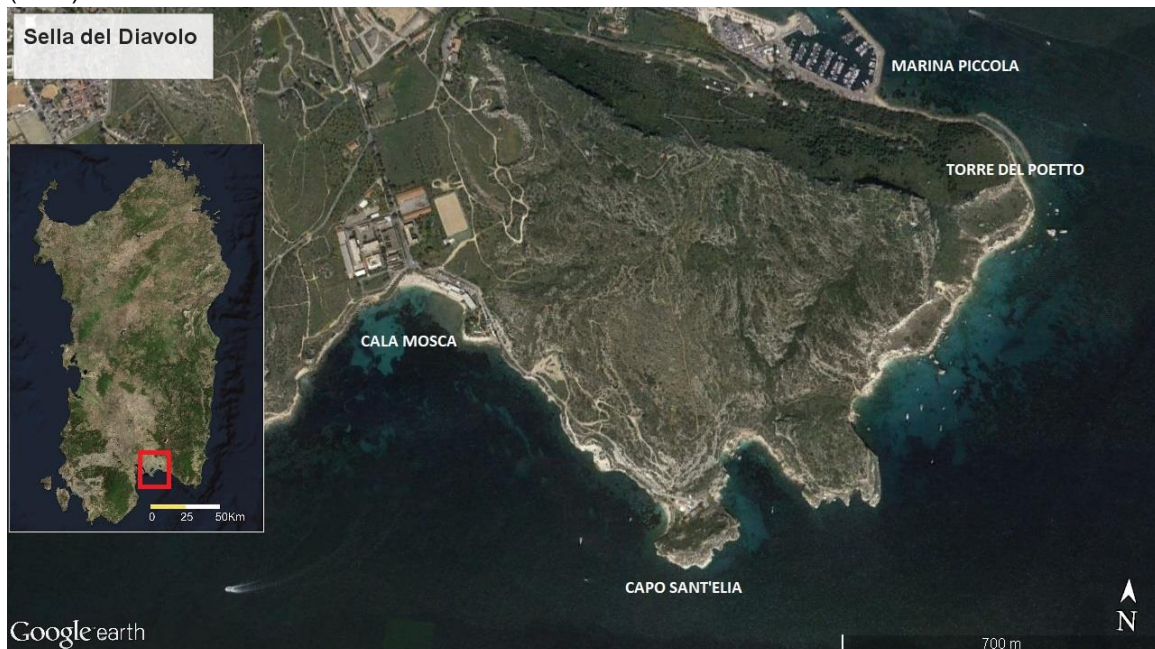


Figura 33 - Area della Sella del Diavolo (Cagliari). Immagine da Google Earth

#### Descrizione Geografica

L'area è costituita da una serie di falesie a picco sul mare, al di sotto delle quali si trovano frequentemente depositi di crollo e piccole spiagge. In passato il sito è stato interessato da numerosi processi di dissesto che purtroppo hanno causato anche delle perdite umane (luglio 1987); sicuramente l'area che presenta più problematiche è quella situata al di sotto della Torre del Poetto. Di recente sono avvenuti ulteriori crolli nella suddetta località (febbraio 2017), fortunatamente non hanno causato danni a cose o persone.

#### Caratteristiche fisiografiche/ecosistemiche

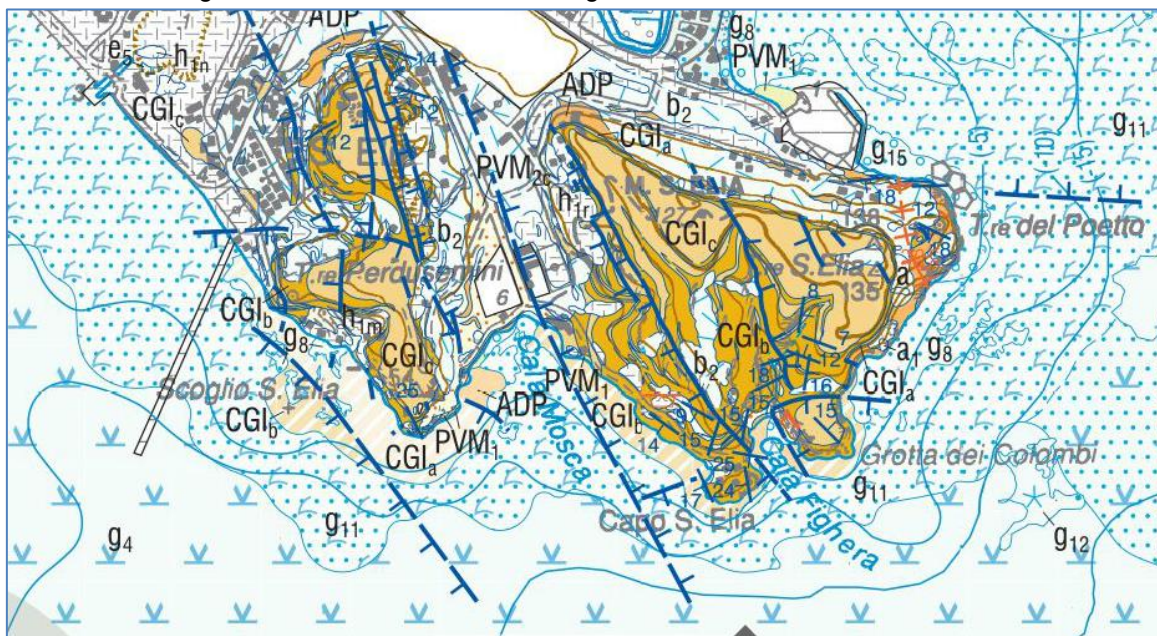
Dal punto di vista paesaggistico la Sella del Diavolo è un'area ad elevato valore ambientale e paesaggistico che rappresenta uno dei simboli morfologici più noti della zona costiera dell'area urbana di Cagliari. Per la particolarità delle caratteristiche naturali, il promontorio di S. Elia è tutelato con vincolo paesaggistico (decreto legislativo n. 42/2004 e D.M. 26 aprile 1965) ed in parte con vincolo idrogeologico (regio decreto n. 3267/1923 e successive modifiche ed integrazioni), ed è

individuato come sito di importanza comunitaria S.I.C. “Sant’Elia - Cala Mosca - Cala Fighera” (codice ITB002243) e futura riserva naturale regionale “Capo Sant’Elia” (legge regionale n. 31/1989). L’area è tuttora in parte demanio militare (ramo Esercito e ramo Marina, artt. 822 e ss. cod. civ.). Nel nuovo piano urbanistico comunale questa zona è stata classificata come zona “H” con possibilità di interventi di “valorizzazione turistica”. Negli ultimi anni le associazioni ecologiste col Comune di Cagliari hanno realizzato un sentiero naturalistico ed archeologico che ha promosso la riscoperta e la fruizione pubblica della Sella del Diavolo da parte di numerosissimi visitatori.

## Conoscenze disponibili

### Caratteristiche Geologiche

La Sella del Diavolo è costituita da rilievi originatisi per effetto della Tettonica plio-pleistocenica; una serie di faglie con orientazione preferenziale NNW-SSE, dislocano e basculano le successioni sedimentarie mioceniche (**Figura 34** e **Figura 35**). Le litologie principali sono: arenarie, calcari, marne, conglomerati, argilliti, depositi di spiaggia; depositi di frana recenti e Paleofrane; depositi palustri; depositi di versante; coltri eluvio-colluviali; depositi antropici. Le formazioni geologiche affioranti (**Figura 35**) in ordine stratigrafico sono: Arenarie di Pirri; Calcari di Cagliari (Gandolfi & Porcu, 1967; Cherchi, 1974; Cherchi & Montadert, 1984); Sistema di Portovesme; Depositi quaternari. La più recente descrizione di questa successione è quella contenuta nel Foglio 557-Cagliari (Barca *et al.*, 2005), da cui sono tratte gran parte delle seguenti descrizioni (**Figura 36**) e all’interno del Foglio 566 “Pula” della Carta Geologica d’Italia, in scala 1:50.000.



**Figura 34 – Stralcio del Foglio 566 “Pula” della Carta Geologica d’Italia.**

La formazione delle **Arenarie di Pirri (ADP)** è caratterizzata da arenarie ben cementate e sabbie quasi incoerenti grigio-giallastre mediogranulari, costituite da granuli di quarzo (per più del 70%), feldspato e mica, a cemento carbonatico. L’unità è ricca in fossili, rappresentati da abbondanti frammenti di molluschi, bioturbazioni, macroforaminiferi, foraminiferi planctonici e nannoplancton calcareo, solo localmente. L’età della formazione è riferibile al Serravalliano.

I **Calcari di Cagliari** si dividono in tre litofacies: calcari marnoso arenacei (Pietra cantone), calcari argillosi (Tremezzario), calcari massivi bianchi e calcari bioclastici (Pietra Forte).



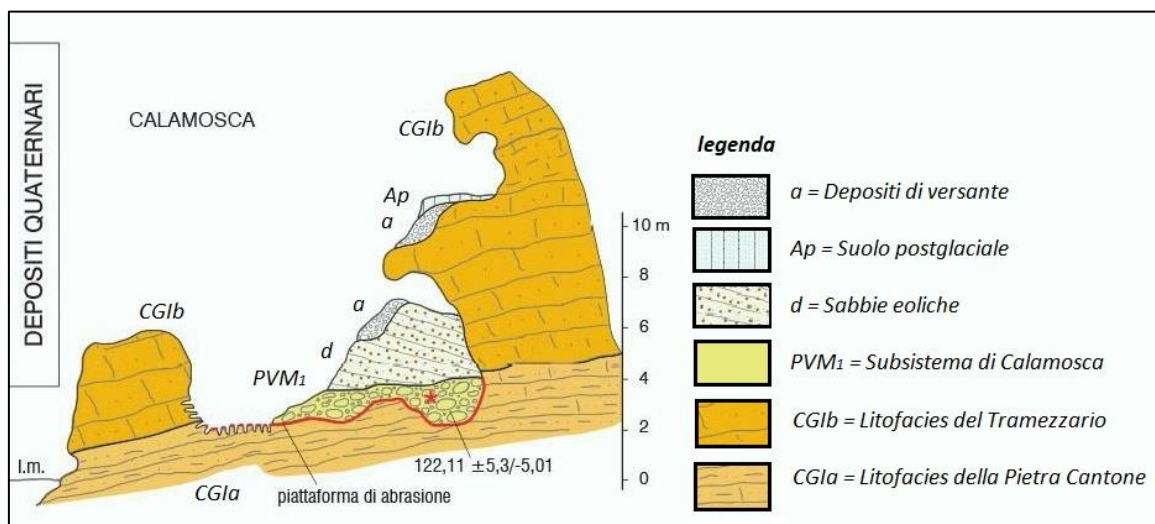
La litofacies della **Pietra Cantone** presenta una colorazione giallastra, con un'intensamente bioturbazione. Poggia direttamente sulle ADP con un contatto trasgressivo con una superficie di discontinuità suborizzontale. Il ricco contenuto paleontologico è dato da foraminiferi planctonici e bentonici, bivalvi, gasteropodi, echinidi, coralli isolati e bioturbazioni. Sono noti inoltre resti di crostacei, pesci, rettili e cetacei. I foraminiferi planctonici datano l'età della litofacies al Tortoniano (Pecorini *et al.*, 1969; Cherchi, 1974; Cherchi & Montadert, 1984).



**Figura 35 - Caratteristiche Geolitologiche di un versante presso la Sella del Diavolo.**

Il **Tramezzario** presenta una colorazione biancastra con aspetto talvolta farinoso. All'interno di questa litofacies è notevole la presenza di faglie, *slump* e rampe. La stratificazione è maggiore rispetto alla Pietra Cantone e presenta giacitura suborizzontale. I caratteri litologici, sedimentologici e paleontologici mostrano una certa instabilità tettonica del bacino di sedimentazione e l'assenza di una graduale transizione con le litofacies circostanti (Leone *et al.*, 1992).

La **Pietra Forte** ha una colorazione biancastra, solitamente massiva e con ricca frazione paleontologica. Si distinguono molto facilmente molluschi bivalvi. La fratturazione è molto marcata e si sviluppa principalmente su piani Est-Ovest; la sua compattezza da luogo, grazie anche all'erosione, ad una morfologia a creste con pareti subverticali, con rotture di pendio. La presenza di superfici di discordanza e brecce miste testimonia l'instabilità del bacino di sedimentazione. L'età relativa (non precisabile sui soli dati micropaleontologici) sulla base correlazioni stratigrafiche è riferibile al Tortoniano (Cherchi, 1985c; Leone *et al.*, 1992; Assorgia *et al.*, 1997b); alcune affinità con formazioni analoghe affioranti nel Golfo di Oristano, non possono escludere a priori un'età Messiniana.



**Figura 36 – Rapporti stratigrafici tra i depositi Quaternari e i Calcari di Cagliari (da Foglio Cagliari 1:50.000 ISPRA).**

Il **Sistema di Portovesme** con particolare riferimento al subsistema di Calamosca, comprende prevalentemente depositi costituiti da sedimenti costieri come conglomerati e arenarie a cemento carbonatico (Vardabasso, 1956; Comaschi *et al.*, 1959; Ozer *et al.*, 1980; Ulzega *et al.*, 1982; Belluomini *et al.*, 1986; Hearthy *et al.*, 1986; Ulzega & Hearthy, 1986; Kindler *et al.*, 1997); questi depositi sono caratterizzati dalla presenza di una fauna tipica dei mari caldi riferibile l'intervallo temporale dello stadio isotopico 5e.

I **Depositi olocenici** sono dei depositi prevalentemente gravitativi, sono costituiti da coltri eluvio-colluviali, depositi di frana, depositi di versante, depositi antropici; prevalentemente si tratta di depositi continentali originatisi dallo smantellamento ed erosione delle litologie affioranti nelle immediate vicinanze.

### **Caratteristiche Geomorfologiche**

L'area costiera compresa tra Marina Piccola e Capo Sant'Elia presenta versanti particolarmente acclivi, con frane di crollo, ribaltamenti, scivolamenti, colate superficiali e paleofrane; alcuni processi sono in parte ancora attivi con tempi di ritorno da annuali a decennali. Le falesie presentano altezze ragguardevoli (fino a 70-80 m), hanno inclinazioni da verticali a sub-verticali e interessano più successioni stratigrafiche; i versanti sono composti, oltre che da falesie anche depositi quaternari che possiedono angoli di riposo molto elevati, in alcuni punti, prossimi ai 40°. La differenza di competenza delle litologie genera un'erosione differenziale che influenza la morfologia dei versanti, questa si manifesta in particolare nelle litologie più tenere con delle forme calanchive (**Figura 37**). Il solco di battente si sviluppa in corrispondenza delle litologie carbonatiche tra Capo Sant'Elia e Cala Mosca; la sua genesi potrebbe essere correlata da l'interazione con la falda freatica e il moto ondoso. Lungo il promontorio della sella del Diavolo si sono conservati forme e depositi di paleo frana (**Figura 38****Figura 36**). Si possono osservare casi di movimenti gravitativi di scivolamento rotazionali o planari spesso caratterizzati da superfici di distacco profonde, controllate da faglie, fino ad identificare contesti da deformazioni gravitative profonde. In altri casi si rilevano grandi corpi deposizionali di frana, spesso cementati o debolmente cementati, la cui superficie sommitale è troncata dai processi di arretramento della ripa di erosione attuale; la base del corpo di frana si trovava quindi distante dalla linea di riva attuale, in piattaforma continentale interna attuale.

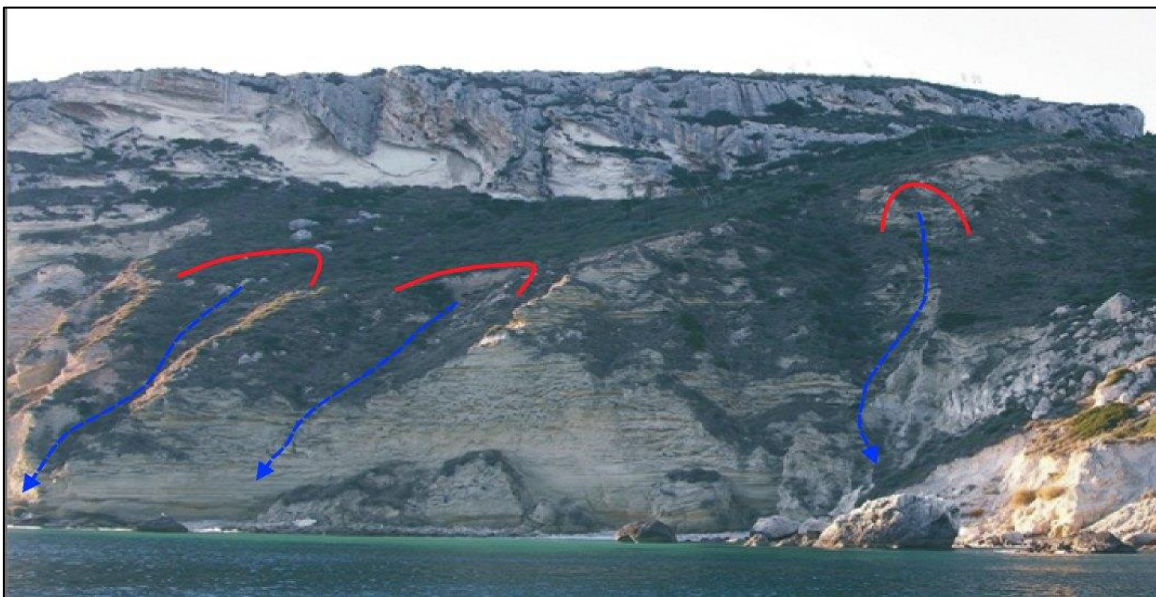


Figura 37 - Solchi di erosione accelerata su arenarie a matrice marnosa sulla costa del promontorio della Sella del Diavolo (Cagliari); si notano sia l'erosione lineare calanchiva che le testate in erosione retrogressiva.

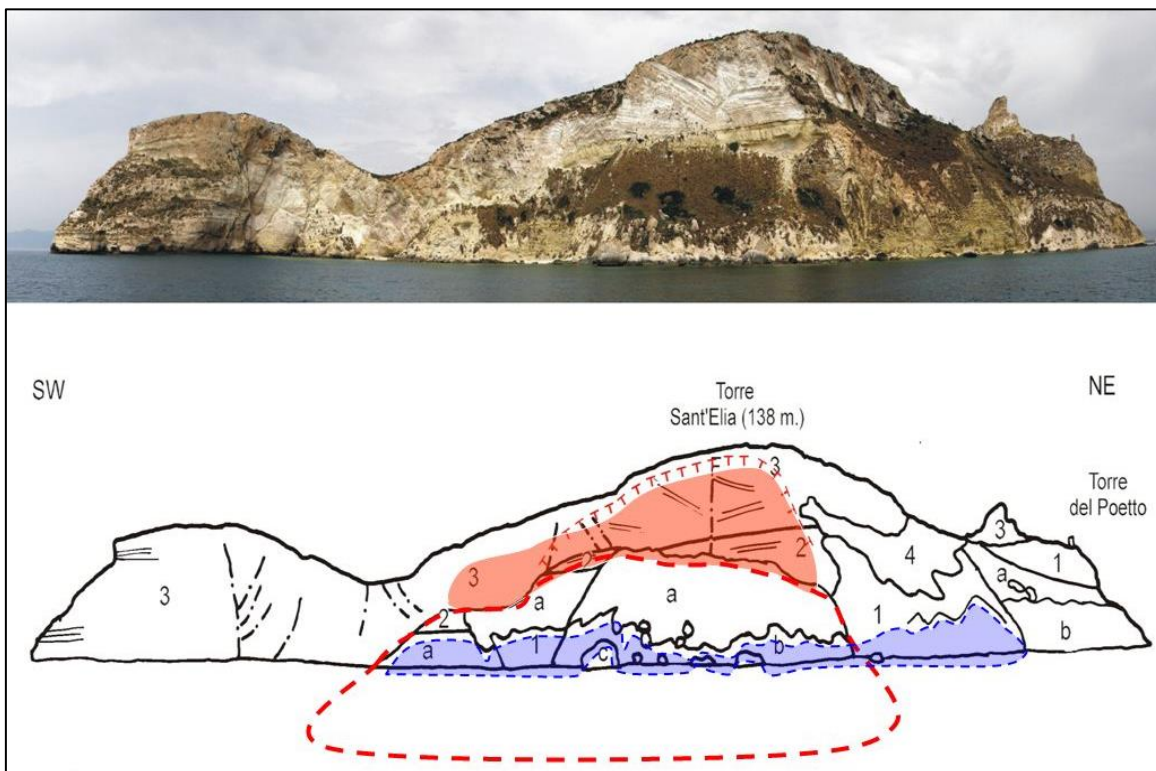
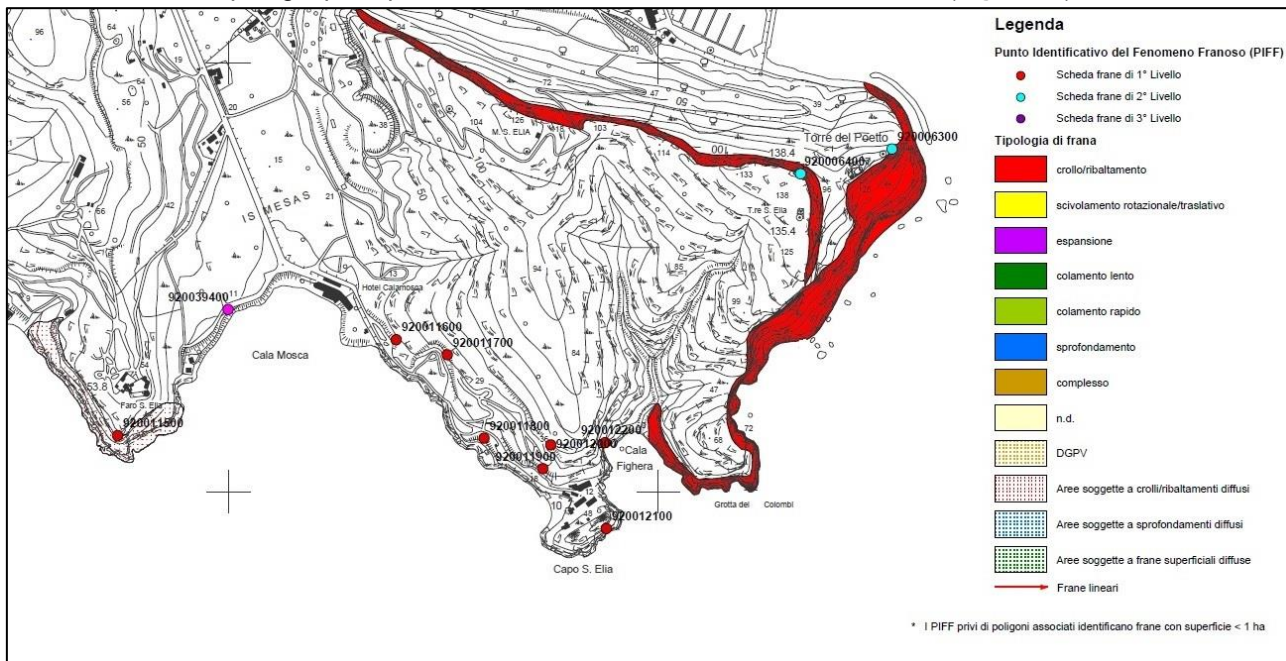


Figura 38 - Paleofrana lungo la costa del promontorio della Sella del Diavolo (Cagliari); si distingue la paleo-falasia a controllo tettonica (a); il corpo di frana, versante deposizionale di sostituzione (b); la ripa di erosione in arretramento accelerato incisa dalla linea di riva attuale.

IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)

Nel territorio regionale (Regione Sardegna) sono stati censiti 1.523 fenomeni franosi, informatizzati nel Data Base frane (DBfrane) cartograficamente. Nell'area della Sella del Diavolo sono stati censiti

11 Punti Identificativi dei Fenomeni Franosi (PIFF) di cui 8 di primo livello, 2 di secondo livello e 1 di terzo livello. Le tipologie principali di frane sono associate a crolli/ribaltamenti (**Figura 39**).

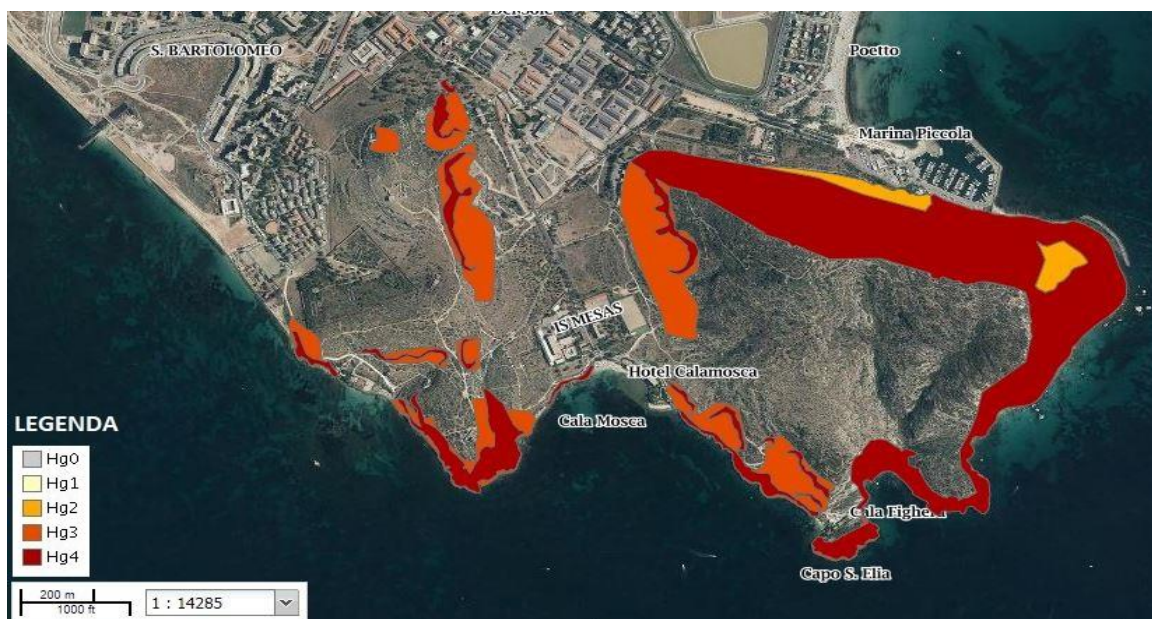


**Figura 39 - Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Sardegna C.T.R. N. 566-020/030.**

#### PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano.

Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici. L'area della Sella del Diavolo presenta una pericolosità molto elevata (Hg4) compresa nel tratto di costa che va da Marina Piccola a Cala Mosca (Figura 8).



**Figura 40 – Perimetrazione PAI-della Sella del Diavolo (Cagliari).**

PAC (Programma Azione Coste Sardegna 2013)

È uno strumento atto ad individuare linee programmatiche per le aree costiere a maggiore criticità di dissesto ed erosione e indirizzi applicativi di gestione costiera integrata. Il Programma d’Azione Coste (PAC) ha realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale e ha posto le basi affinché le problematiche della tutela, salvaguardia e difesa dei litorali vengano inquadrati all’interno di una impostazione complessiva di gestione costiera integrata, mediante interventi organici non solo di tipo strutturale ma anche con sfondo regolamentatorio e gestionale. Il Programma d’Azione Coste descrive e classifica le evidenze fenomenologiche di arretramento della linea di costa regionale connesse a processi erosivi di litorali sabbiosi e di dissesto franoso di tratti rocciosi. Da tali condizioni critiche scaturiscono implicazioni di natura ambientale, economica e di sicurezza pubblica, con l’ovvia considerazione che i fenomeni di arretramento della costa di per sé non possono e non devono essere classificati con la sola accezione negativa. Essi infatti rappresentano il risultato di tendenze evolutive generali che rientrano nelle dinamiche naturali dei sistemi fisici terrestri e che l’uomo, attraverso opere o utilizzi specifici, può localmente condizionare, modificandone la velocità di trasformazione o addirittura innescando i processi.

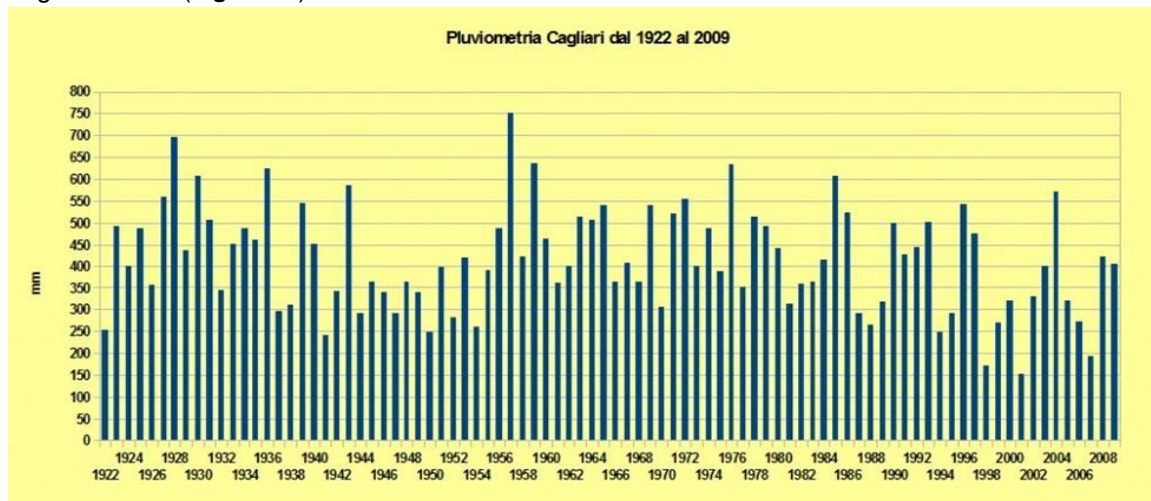
Comune	Sviluppo costiero comun. [m]	n° tratti franosi	Sviluppo tratti franosi [m]	% costa franosa	n° tratti ad alta criticità	Toponimi tratti alta criticità	Sviluppo tratti alta criticità [m]
CAGLIARI	58.615	3	4.422	8%	7	Faro di Cala Mosca; Torre del Poetto - Torre Sant’Elia; Cala Fighera; Cala Mosca; Cala Mosca strada ex Stabulario; Capo Faro di Cala Mosca; Torre Perdusemi;	2.090

**Figura 41 - (Programma d’ Azione Coste Sardegna 2013).**

All’interno del PAC è stata censita anche l’area della Sella del Diavolo; è stato individuato un tratto costiero ad alta criticità della lunghezza di circa 2090 m, che si estende dalla torre del Poetto fino alla torre Perdusemi (**Figura 41**).

Dati climatici

I dati termo-pluviometrici di riferimento sono quelli relativi alla stazione meteorologica di Cagliari (Ente Idrografico) situata nelle vicinanze dell'area di studio; essa rappresenta abbastanza fedelmente le condizioni climatiche generali del settore. La serie storica parte dal 1922 e arriva fino ai giorni nostri (**Figura 42**).



**Figura 42 – Pluviometria totale Cagliari dal 1922 al 2009.**

Caratteristiche geologico-tecniche dei terreni dell'area urbana di Cagliari (Barrocu G., Crespellani T., Loi A., 1979)

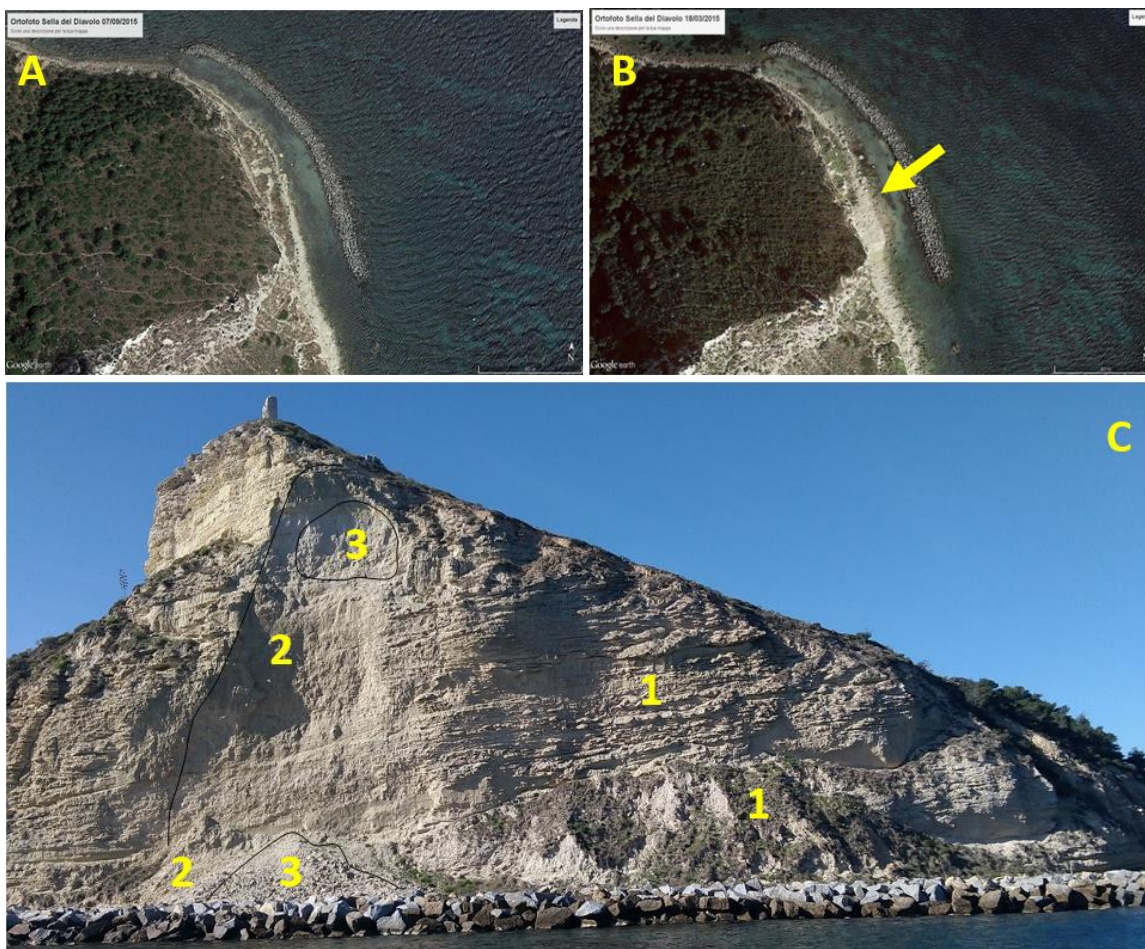
Lo studio individua le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni dell'area urbana di Cagliari, con particolare riferimento alla valutazione dei parametri più significativi che definiscono il comportamento meccanico dei vari litotipi e ai problemi inerenti alle opere di fondazione. I dati stratigrafici sono stati elaborati mediante opportune procedure statistiche ai fini di determinare insieme con le caratteristiche geotecniche tipiche, le rispettive affinità in relazione ai problemi che sorgono nella realizzazione delle opere ingegneristiche. L'intento è legato a fornire informazioni geotecniche di base per progetti di massima, dando gli elementi essenziali per la programmazione delle indagini geologico-tecniche più opportune ai fini della corretta esecuzione delle opere. Nel lavoro vengono trattate dettagliatamente tutte le caratteristiche geologico-stratigrafiche e geomeccaniche delle litologie affioranti e anche quelle geotecniche dei terreni e idrogeologiche.

Foto aeree e immagini satellitari

Sul Geoportale della Regione Sardegna sono disponibili una serie di foto storiche e di servizi WMS e TMS (Ortofoto e immagini satellitari). Per l'area di studio sono presenti le foto storiche degli anni: 1968, 1977-78, 1998-99, 2003, 2006, 2008, 2010, 2013 (**Figura 43**).

## Pericolosità Costiera

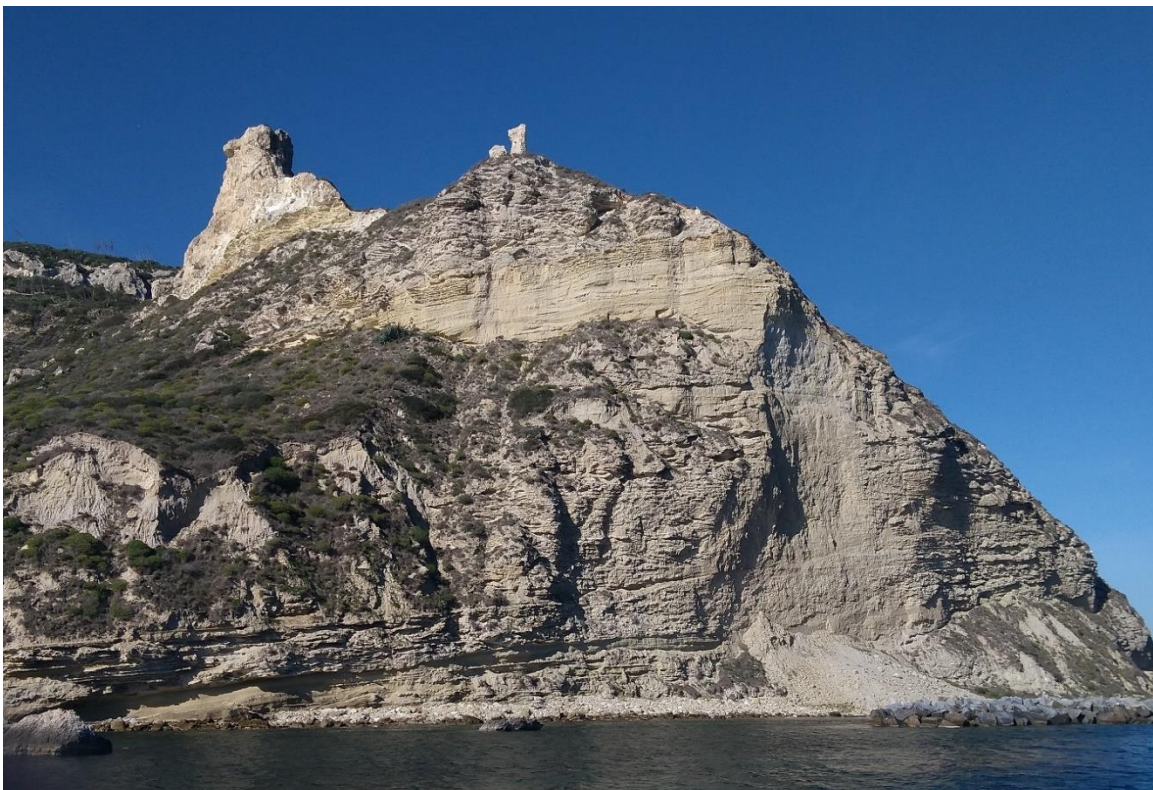
Le falesie con i versanti prospicienti alla Sella del Diavolo, come noto, da tempo sono interessate da numerosi processi di dissesto che espongono a rischi visitatori, strutture presenti e bagnanti. Dopo la frana nel 1987 (**Figura 44**), che causò la morte di una persona, iniziarono ad essere emanati una serie di provvedimenti che vietavano l'accesso alle aree sensibili. La Capitaneria di porto ha emanato un'ordinanza che, tra gli altri divieti, vietava "l'accesso alla zona costiera anche attraverso i sentieri esistenti al di fuori della fascia demaniale marittima interessata", cioè dalla verticale della Torre de Su Perdusemmini fino a 200 metri a nord della verticale della Torre del Poetto. Altre frane nella stessa area (avvenute il 12 e il 18 luglio del 2010) portarono il 27 luglio 2010 a un nuovo divieto di transito e sosta e nel 2012, un nuovo divieto fu emanato nei pressi dell'area di Cala Mosca a seguito di alcuni crolli avvenuti dopo una grossa mareggiata.



**Figura 43 – Analisi multitemporale su base ortofoto dei processi gravitativi del promontorio della Sella del Diavolo ove si sono sviluppate frane di scivolamento lungo superfici sub planari di fratturazione e crollo presentano tempo di ricorrenza trentennali. A) Ortofoto 2015: i processi gravitativi sono quiescenti; il deposito di frana è correlabile con l'evento del 30 luglio del 1987. B) Ortofoto 2017: nuovi depositi di frana per riattivazione dei processi gravitativi (febbraio 2017). C) Depositi di frana di crollo in località Marina Piccola:1) nicchie di distacco alterate e deposito colonizzato dalla vegetazione evolutosi tra 1940 e 1950; 2) nicchia di distacco e deposito al piede della frana del 2 luglio 1987; 3) nicchia di distacco e deposito del 21 febbraio 2017. In primo piano la barriera di massi protettiva messa in opera successivamente all'evento del 1987.**

### **Evoluzione del tratto di costa**

L'area di studio presenta una accentuata dinamica morfologica dovuta sia all'azione del moto ondoso che dei processi evoluzione del versante retrostante; le mareggiate in determinate condizioni sono capaci di destabilizzare le falesie e i versanti. La presenza di numerosi processi di crollo recenti e passati riflette un'elevata dinamicità del litorale. Le falesie denotano numerose condizioni di potenziale dissesto legate alle scadenti caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso intensamente alterato e fratturato; allo stesso modo i depositi pleistocenici e olocenici presentano delle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche sfavorevoli che nel tempo portano ad un progressivo collasso gravitativo delle falesie e dei versanti. L'azione incessante del moto ondoso, assieme ai processi di alterazione, nel tempo tendono ad asportare i depositi di crollo lungo la linea di riva esponendo così il piede della falesia ad ulteriori dinamiche erosive.



**Figura 44 – Tratto della falesia nel promontorio della Sella del Diavolo, al di sotto della Torre del Poetto, più volte sede di attività franosa dal 1987 al 2017, si nota l'accumulo di frana ai piedi della falesia e la superficie lungo la quale è avvenuto il distacco.**

### **Piani di prevenzione**

Nonostante la marcata tendenza evolutiva all'erosione e la significativa esposizione al moto ondoso (*fetch* altezze d'onda fino a 5-6 m), per il settore costiero in oggetto, attualmente, non esistono piani di prevenzione della pericolosità costiera. Allo stato attuale, l'unico strumento pianificatore disponibili per la Regione Sardegna, che analizza i sistemi litorali delle coste alte, è il PAI che definisce il tratto costiero in base a diversi livelli di pericolosità. Il Programma Azione Coste (PAC) della Regione Sardegna ha inoltre realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale. Come rilevato nei paragrafi le autorità competenti hanno interdetto gran parte del tratto di costa in attesa che vengano stabilito se sia possibile realizzare interventi di mitigazione o procedere ad una zonazione della pericolosità e del rischio più dettagliata. È in corso la programmazione di interventi strutturali da parte del Comune di Cagliari con il contributo della RAS. L'ipotesi attuale è che si possa realizzare una delimitazione temporanea delle aree con criticità geomorfologica elevata in attesa della realizzazione di opere volte alla mitigazione della pericolosità nelle aree più frequentate (spiagge e le calette). Una programmazione a medio-lungo termine, dovrebbe garantire il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati alle circostanze. L'aspetto preventivo nei confronti dei processi di dissesto può tradursi con un aumento del livello di sicurezza e una diminuzione del rischio.



## Conclusione

### Riassunto della problematica del sito

Le problematiche di maggior rilievo della Sella del Diavolo sono legate essenzialmente all'elevata pericolosità geomorfologica, concentrata in prossimità delle falesie e dei versanti lungo il perimetro costiero; l'erosione delle formazioni geologiche presenti, può essere mitigata (dove possibile) solo attraverso interventi di consolidamento e stabilizzazione mirati, ma nei casi più estremi si possono effettuare solo delle prescrizioni gestionali atte a ridurre l'esposizione al rischio. L'assetto morfostrutturale del tratto costiero in esame determina un livello elevato di pericolosità per frana; allo stato attuale è difficile prevedere una significativa riduzione del rischio a meno di significativi interventi finalizzati al consolidamento delle aree a rischio di frana. La tipologia di eventuali interventi futuri dovrebbe derivare da una specifica analisi di dettaglio per ogni sito atta ad individuare tutti gli elementi (geologici, geomeccanici, geomorfologici, ecc.) capaci di evidenziare le diverse criticità geostatiche.

### Rappresentatività transfrontaliera del sito

La Sella del Diavolo è un'area ad elevato valore ambientale e paesaggistico che rappresenta uno dei simboli morfologici più noti dell'area urbana di Cagliari (**Figura 44**); essa è particolarmente frequentata in tutto il periodo dell'anno sia da escursionisti, turisti e bagnanti. Da punto di vista geomorfologico, come ampiamente esposto in precedenza, è sede di una serie di processi di dissesto che in passato hanno causato danni di una certa entità a cose e persone. Un aspetto della rappresentatività transfrontaliera del sito è dato dal fatto che siano presenti una serie di caratteristiche che permetterebbero di approfondire le conoscenze relativamente ai processi gravitativi che interessano ambiti di falesia su litotipi carbonatici ampiamente diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo (correlazione con altre aree partner: es. falesie di Bonifacio, falesie della Provenza). L'interazione del substrato litoide con l'erosione marina, potrebbe essere utile per valutarne la vulnerabilità rispetto all'incremento dell'energia del moto ondoso legato al global change. La presenza di numerosi processi di dissesto attivi con i loro tempi di ritorno particolarmente brevi, potrebbero dare dei dati statistici utili sulla dinamica morfologica costiera. L'area in esame presenta un'esposizione abbastanza variabile (da W Torre Perdusemi a E-NE di Marina Piccola) che consente di valutare l'influenza delle correnti dominanti e delle mareggiate rispetto alla direzione di provenienza.



**Figura 45 – Tratto di costa delle Sella del Diavolo compreso tra Cala Fighera e Marina Piccola.**

## Bibliografia

Assorgia A., Barca S. & Spano C. (1997b) - A synthesis on the Cenozoic stratigraphic, tectonic and volcanic evolution in Sardinia (Italia). *Boll. Soc. Geol. It.*: 116, 407-420, Roma.

Barca, S., *et al.* (2005) - "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000, Foglio 557, Cagliari." Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Servizio Geologico d'Italia.

Barrocu G., Crespellani T., Loi A (1979). Caratteristiche Geologico-Tecniche dei terreni dell'area urbana di Cagliari. Università degli Studi di Cagliari – Facoltà di Ingegneria.

Cherchi A. (1974) - Appunti biostratigrafici sul Miocene della Sardegna (Italia). *Inter. Nèogène Medit.*, Lyon-1971, Mem. B.R.G.M.: 78, 433-445, Orleans.

Cherchi A. & Montadert L. (1984) - Il sistema di rifting oligomiocenico del Mediterraneo occidentale e sue conseguenze paleogeografiche sul Terziario sardo. *Mem. Soc. Geol. It.*: 24, 387-400, Roma.

Cherchi A. (1985c) - Oligo-Miocene Basin. "19th European Micropaleontological Colloquium-Guide Book", AGIP, Sardinia, October 1-10, 1985, 87-101.

Cugusi, P., *et al.* "Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000-Foglio 566 Pula-progetto Carg."

Gandolfi R. & Porcu A. (1967) - Contributo alla conoscenza delle microfacies mioceniche delle colline di Cagliari (Sardegna). *Riv. It. Paleont. Strat.*: 73, 313-348, Milano.

Leone F., Pontillo C. & Spano C. (1992) - Benthic paleocommunities of the middle-upper Miocene lithostratigraphic units from the Cagliari hills (Southern Sardinia, Italia). In: CARMIGNANI L. & SASSI F.P. (Eds.), *Contribution to the Geology of Italia with special regard to the Paleozoic basement. A volume dedicated to Tommaso Coccozza*. IGCP Project No. 276, Newsletter, 5, 151-158, Siena.



Pecorini G. & Pomesano Cherchi A. (1969) - Ricerche geologiche e biostratigrafiche sul Campidano meridionale (Sardegna). Mem. Soc. Geol. It.: 8, 421-451, Roma.



## Sito Villaggio Nurra (Sardegna, Italia)

### Presentazione del sito

#### Localizzazione

L'area di studio è ubicata all'interno del territorio di Sassari (Sardegna-Italia), nei pressi dell'area residenziale Villaggio Nurra in corrispondenza del tratto di costa che va dalle Punte di Lu Nibaru a Punta Furana (



**Figura 46);** copre una lunghezza totale di circa 2 km. L'area è cartografata nel Foglio 440 sezione II della Carta Topografica d'Italia in scala 1: 25.000 – Pozzo San Nicola - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 440150 in scala 1:10.000.



**Figura 46 — L'area pilota di Villaggio Nurra (Sassari). Immagine da Google Earth**

### **Descrizione Geografica**

L'area di studio è costituita da una serie di versanti acclivi con alcune falesie a picco sul mare, al di sotto delle quali si trovano dei depositi di crollo. Il tratto di costa più significativo, ai fini dell'indagine, è sicuramente quello situato tra le Punte de Lu Nibaru e la Cala di Rena Minori.

### **Caratteristiche Fisiografiche/Ecosistemiche**

Il tratto di costa indagato è un'area con elevata naturalità e difficile accesso, ma presenta anche aspetti connessi con un utilizzo pregresso del territorio che evidenzia un degrado paesaggistico e ambientale (abitazioni edificate sul coronamento delle falesie o su versanti inclinati verso la costa, disboscamenti e lavorazioni agricole scorrette). L'area è sede di alcune calette con delle spiagge particolarmente frequentate nel periodo estivo. All'interno del tratto costiero sono comprese anche le spiagge di Rena Majori e Rena Minori. Le due spiagge sono tra le più rappresentative del tratto di costa nord-occidentale; Rena Majori è costituita da un arenile caratterizzato da sabbia chiara a grani medi con piccoli ciottoli levigati dal mare, mentre Rena Minori è meno estesa e profonda. A ridosso delle due spiagge sono presenti numerose falesie che sono spesso interessate da processi di colto.

### **Conoscenze disponibili**

#### **Caratteristiche Geologiche**

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza delle metamorfite del basamento varisco e da depositi quaternari. Le metamorfite sono interessate da una deformazione polifasica che genera una serie di strutture tettoniche come sovrascorrimenti e pieghe. Le successioni varisiche sonodistinte in diverse unità tettoniche (Unità di Li Trumbetti, Unità di Canaglia, Unità dell'Argentiera) separate da una serie di sovrascorrimenti principali e secondari (**Figura 47** e **Figura 3**; Oggiano & Mameli, 2006). La successione paleozoica della Nurra si differenzia dalla zona

esterna e dalle falde esterne (datate su basi biostratigrafiche) per lo scarso contenuto paleontologico; gli unici dati paleontologici presenti riguardano alcuni ortoceratidi (Venerandi, 1965) all'interno delle filladi nere siluriane (Di Pisa & Oggiano, 1984; Oggiano & Mamei, 2006).

**Unità dell'Argentiera:** alla base di questa unità si trova la Formazione di Monte Forte composta da metarenarie e quarziti con età riferibili al Cambriano-Ordoviciano inferiore; segue la Formazione di Palmadula costituita da metargilliti laminante e metapeliti nere con età riferibile all'Ordoviciano superiore-Siluriano.

**Unità di Li Trumbetti:** alla base si trova la Formazione di Flumin'Alis costituita da metarenarie, metasilti e metargilliti del Cambriano-Ordoviciano inferiore; segue la Formazione di Capo Negro costituita da due litofacies una a metavulcaniti acide e l'altra a metagrovacche con metavulcaniti acide con età riferibile all'Ordoviciano medio (Di Pisa *et al.*, 1992); al di sopra si trovano le metargilliti nere delle Formazione di La Pedraia con età riferibile al Siluriano; seguono i metagabbri e le metadoleriti di presunta età siluriana.

**Unità di Canaglia:** alla base di questa unità tettonica si trova la Formazione di Biancareddu suddivisa a sua volta in alcune litofacies, la prima litofacies è costituita da metaconglomerati con concentrazioni di ferro oolitico (Ordoviciano medio-superiore), seguono due litofacies una a metavulcaniti acide e a metavulcaniti basiche entrambe riferibili all'Ordoviciano medio-superiore, chiude al tetto la litofacies delle metargilliti finemente laminate (Ordoviciano medio-superiore); al di sopra della Formazione di Biancareddu seguono le metargilliti nere siluriane della Formazione di Li Corti.

**Depositi pleistocenici, Sintema di Portovesme.** Al di sopra del basamento metamorfico seguono, in discordanza angolare, i depositi del Pleistocene superiore (Vardabasso, 1956; Comaschi *et al.*, 1959; Ozer *et al.*, 1980; Ulzega *et al.*, 1982; Belluomini *et al.*, 1986; Hearnthy *et al.*, 1986; Ulzega & Hearnthy, 1986; Kindler *et al.*, 1997) riconducibili al Sintema di Portovesme costituiti da sabbie ed arenarie eoliche con subordinati detriti e depositi alluvionali (Subsintema di Portoscuso). Tali depositi si ritrovano prevalentemente lungo il settore sud della spiaggia di Rena Majore e si spingono fino all'interno del Villaggio Nurra. Sono presenti anche le facies afferenti al Subsintema di Calamosca riferibili al Tirreniano (Ulzega *et al.*, 1982; Ulzega & Hearnthy, 1986), affioranti in prossimità della linea di costa, sino a qualche metro di altezza costituiti prevalentemente da arenarie bioclastiche.

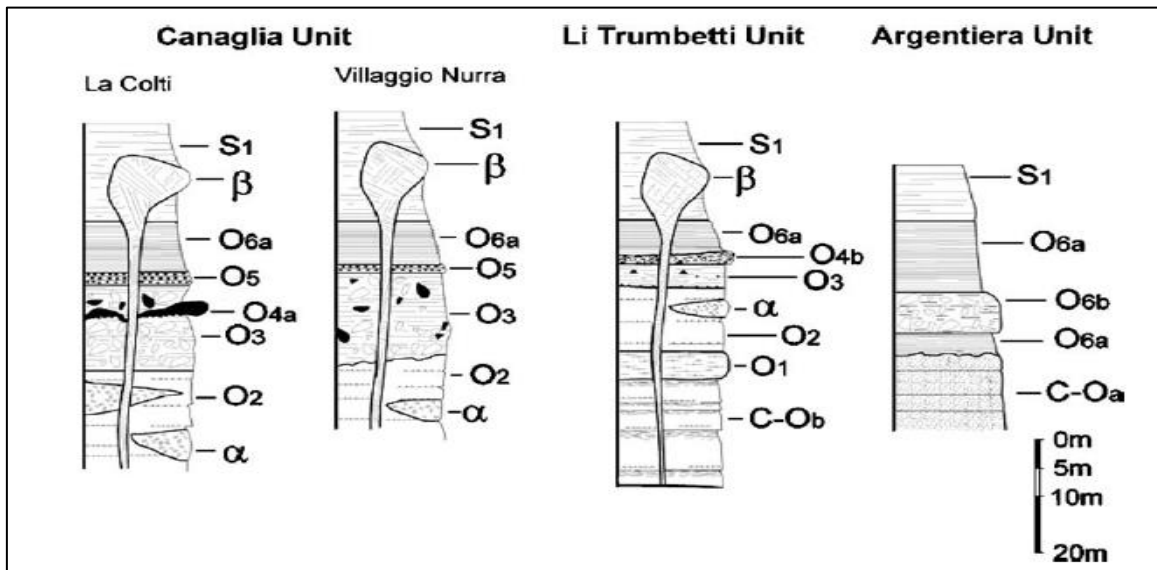


Figura 47 - Schema stratigrafico delle successioni alla base degli scisti neri siluriani nelle unità tettoniche della Nurra centrale. Legenda: C-Oa, Metarenarie e quarziti rosati (? Cambrian-Ordovician); C-Ob, Metarenarie e ardesie (? Cambrian-Ordovician); O1, Metavulcaniti acide (Ordoviciano medio); O2, Metagrovacche (Ordoviciano superiore); O3, metapelite diamictitica massiva metagrovacche con orizzonte di pirite; O4a, ferro duro conglomeratico; O4b, Microconglomerati; O5, Livelli sottili di argilliti; O6a, metargilliti finemente laminate; O6b, Argentiera diamictite; S1, Filladi nere (Siluriane);  $\alpha$ , metabasiti alcaline;  $\beta$ , metagabri alcalini e metadoleriti (Oggiano & Mameli, 2006).

**I Depositi olocenici.** Sono dei depositi prevalentemente gravitativi costituiti da coltri eluvio-colluviali, depositi di frana, depositi di versante, depositi antropici. I depositi continentali sono dovuti allo smantellamento delle litologie affioranti nelle immediate vicinanze. Limitatamente alle spiagge si ritrovano i depositi litorali attuali costituiti prevalentemente da sabbie grossolane a quarzo e ghiaie con subordinati ciottoli. L'età di questi depositi è riferibile al Pleistocene superiore-Olocene.

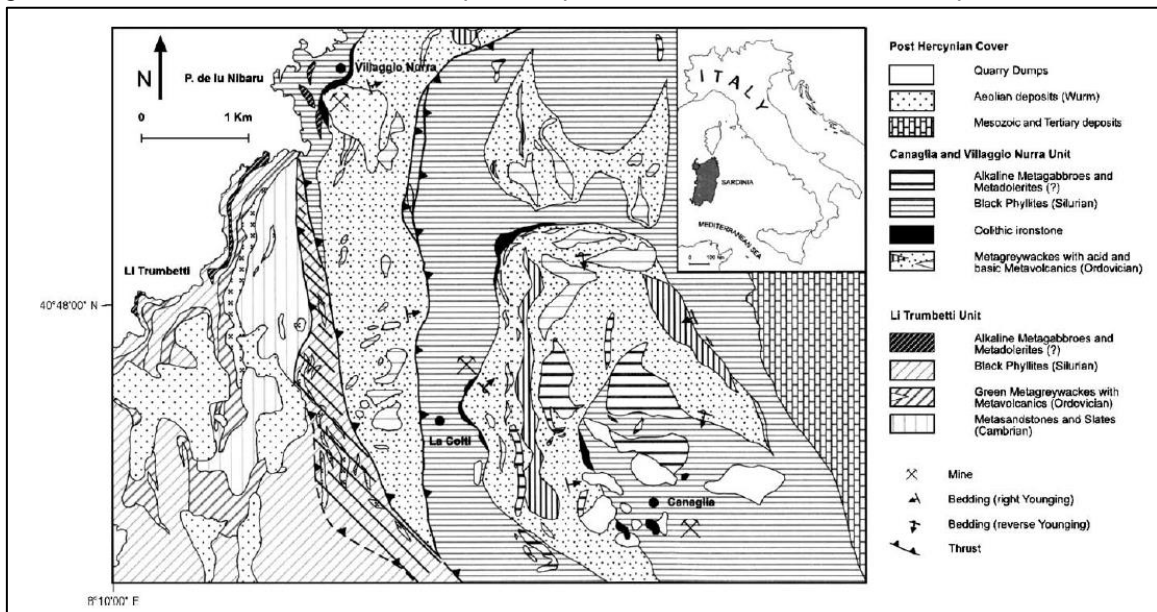


Figura 48 – Carta Geologico-Strutturale della Nurra Centrale (Oggiano *et al.*, 2006)



## Caratteristiche Geomorfologiche

L'area di studio è inserita in un contesto fisiografico dominato dalla costa alta rocciosa modellata al piede del versante dal moto ondoso e da altri agenti erosivi. I rilievi al contorno sono prevalentemente tabulari, raggiungono quote dell'ordine di 100-150 m s.l.m.; sono contraddistinti da uno spartiacque poco marcato disposto nelle immediate vicinanze della costa (circa 100÷200 m). Il reticolo idrografico ha un'estensione limitata e presenta prevalentemente carattere torrentizio. I versanti sono piuttosto inclinati con falesie a picco sul mare e pendii che raggiungono angoli prossimi ai 40-45°; in alcuni casi si sviluppa una ripa di erosione di forma irregolare e di altezza variabile tra qualche metro e la decina di metri. L'entroterra, presenta una morfologia da pianeggiante a debolmente ondulata. L'assetto morfodinamico mostra evidenti processi di dissesto come crolli e scivolamenti; questi depositi sono sottoposti all'incessante azione delle mareggiate e ai processi di alterazione chimico-fisica. In alcuni tratti sono evidenti alcuni processi di erosione regressiva con estensione del dissesto verso monte. L'ammasso roccioso risulta intensamente fratturato, soprattutto a causa degli elevati stress tettonici che hanno subito le rocce nel corso della loro storia; la giacitura con la fratturazione facilitano l'innescò di frane di crollo e scivolamento lungo le falesie, queste possono interessare direttamente le aree sottostanti frequentate dai bagnanti nel periodo estivo. I processi di crollo e ribaltamento, oltre che a spese del basamento varisco, possono verificarsi anche nelle arenarie pleistoceniche soprattutto in corrispondenza del solco di battente; l'erosione da luogo a molteplici forme aggettanti, che determinano l'accumulo lungo l'arenile di blocchi di grandi e piccole dimensioni. In alcuni punti sono presenti anche delle piattaforme di abrasione marine derivate dal progressivo smantellamento e arretramento della costa alta a opera del moto ondoso (**Figura 49**).



**Figura 49** – Tratto di costa nei pressi del Villaggio Nurra.

### IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia)

Nell'area di studio non sono stati censiti Punti Identificativi dei Fenomeni Franosi (PIFF).

### PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)

Le perimetrazioni individuate nell'ambito del P.A.I. delimitano le aree caratterizzate da elementi di pericolosità idrogeologica, dovute a instabilità di tipo geomorfologico o a problematiche di tipo idraulico, sulle quali si applicano le norme di salvaguardia contenute nelle Norme di Attuazione del Piano. Queste ultime si applicano anche alle aree a pericolosità idrogeologica le cui perimetrazioni derivano da studi di compatibilità geologica-geotecnica e idraulica, predisposti ai sensi dell'art.8 comma 2 delle suddette Norme di Attuazione, e rappresentate su strati informativi specifici. L'area del Villaggio Nurra è stata interamente perimetrata all'interno del PAI; gran parte della costa è inquadrata nella classe Hg4, quindi di pericolosità geomorfologica massima (**Figura 50**).



**Figura 50 - Perimetrazione PAI del tratto costiero nei del Villaggio Nurra.**

### PAC (Programma Azione Coste Sardegna 2013)

È uno strumento atto ad individuare linee programmatiche per le aree costiere a maggiore criticità di dissesto ed erosione e indirizzi applicativi di gestione costiera integrata. Il Programma d'Azione Coste (PAC) ha realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale e ha posto le basi affinché le problematiche della tutela, salvaguardia e difesa dei litorali vengano inquadrati all'interno di una impostazione complessiva di gestione costiera integrata, mediante interventi organici non solo di tipo strutturale ma anche con sfondo regolamentatorio e gestionale. Il Programma d'Azione Coste descrive e classifica le evidenze fenomenologiche di arretramento della linea di costa regionale connesse a processi erosivi di litorali sabbiosi e di dissesto franoso di tratti rocciosi. Da tali condizioni critiche scaturiscono implicazioni di natura ambientale, economica e di sicurezza pubblica, con l'ovvia considerazione che i fenomeni di arretramento della costa di per sé non possono e non devono essere classificati con la sola accezione negativa. Essi infatti rappresentano il risultato di tendenze evolutive generali che rientrano nelle dinamiche naturali dei sistemi fisici terrestri e che l'uomo, attraverso opere o utilizzi specifici, può localmente condizionare, modificandone la velocità di trasformazione o addirittura innescando i processi.

Comune	Sviluppo costiero comun. [m]	n° tratti franosi	Sviluppo tratti franosi [m]	% costa franosa	n° tratti ad alta criticità	Toponimi tratti alta criticità	Sviluppo tratti alta criticità [m]
SASSARI	48.058	6	39.707	83%	6	Platamona; Torre de Bàntine Sale; Torre Bianca - Torre Negra; Argentiera; Argentiera nord; Punta de su Nibbaru;	2.458

**Figura 51 – (Programma d' Azione Coste Sardegna 2013).**

All'interno del PAC è stata censita anche l'area del Villaggio Nurra con particolare riferimento alle Punte De Lu Nibaru nelle quali è stato individuato un tratto ad alta criticità.

#### Dati Climatici

I dati termo-pluviometrici di riferimento sono quelli relativi alla stazione meteorologica di Stintino (Ente Idrografico) situata a circa 15 km in linea d'aria dall'area di studio; essa rappresenta abbastanza fedelmente le condizioni climatiche generali del settore. La serie storica parte dal 1934 e arriva fino al 2011.

#### Foto aeree e immagini satellitari

Sul Geoportale della Regione Sardegna sono disponibili una serie di foto storiche e di servizi WMS e TMS (Ortofoto, foto aeree e immagini satellitari). Per l'area di studio sono presenti le foto storiche degli anni: 1954-55, 1968, 1977-78, 1998-99, 2003, 2006, 2008, 2010, 2013. Immagini Google Earth dal 2004 al 2017 (**Figura 52 e Figura 53**).



**Figura 52 – Foto aerea 1954-55 dell'area del Villaggio Nurra (Sardegna Geoportale).**



**Figura 53 - Ortofoto 2006 dell'area del Villaggio Nurra (Sardegna Geoportale).**

#### PPR (Piano Paesaggistico Regionale del Golfo dell'Asinara)

L'area di Studio è inserita all'interno della Scheda D'Ambito N° 14 del Golfo dell'Asinara. Il sistema litoraneo occidentale, che costituisce uno degli elementi ambientali del sistema paesaggistico dell'ambito, è definito dalle falesie e dalla costa alta rocciosa impostata sugli affioramenti paleozoici ed interessati, più a sud, dai giacimenti metalliferi coltivati storicamente attraverso il centro minerario dell'Argentiera.

### **Pericolosità Costiera**

Il tratto costiero in esame denota una serie di problematiche geostatiche di una certa criticità scaturite da una serie di cause naturali e in parte anche antropiche. Le falesie circostanti sono sede di una serie di processi gravitativi (crolli e scivolamenti) capaci di interessare le sottostanti aree balneari con conseguente elevato pericolo per gli eventuali fruitori. Ai processi gravitativi si aggiunge l'erosione superficiale che si verifica in occasione di precipitazioni intense e prolungate; la presenza di opere antropiche (come strade e sentieri) di accesso alle spiagge, presentano elevate pendenze e di conseguenza sono sede di processi di ruscellamento superficiale che possono favorire l'innescò di processi di erosione sia areale che lineare. I depositi di versante con le coltri eluvio-colluviali, possono poggiare direttamente sul substrato litoide; questo quando presenta giaciture a franapoggio rispetto al versante, può favorire, soprattutto dopo periodi di piogge prolungate, processi di scivolamento che vanno ad interessare il tratto costiero sottostante. Fortunatamente gran parte di questi processi si verificano durante il periodo invernale quando le spiagge sono poco frequentate, di conseguenza il rischio con l'eventuale coinvolgimento da parte dei fruitori diminuisce notevolmente.

### **Evoluzione del tratto di costa**

L'area di studio presenta una accentuata dinamica morfologica dovuta sia all'azione del moto ondoso che dei processi evoluzione del versante retrostante; le mareggiate in determinate condizioni sono capaci di destabilizzare le falesie e i versanti. La presenza di numerosi processi di crollo recenti e passati riflette un'elevata dinamicità del litorale; la particolare esposizione del tratto di costa lo rende particolarmente vulnerabile alle grandi mareggiate in arrivo dai settori occidentali.

Le falesie, denotano numerose condizioni di potenziale dissesto legate alle scadenti caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso intensamente deformato e fratturato; allo stesso modo i depositi pleistocenici e quaternari presentano delle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche sfavorevoli che nel tempo portano ad un progressivo collasso gravitativo delle falesie e dei versanti.

### **Piani di prevenzione**

Nonostante la marcata tendenza evolutiva all'erosione e la significativa esposizione al moto ondoso (uno dei *fetch* più vasti del Mediterraneo con altezze d'onda fino a 9,5 m), per il settore costiero in oggetto, attualmente, non esistono piani di prevenzione della pericolosità costiera. Allo stato attuale, l'unico strumento pianificatore disponibili per la Regione Sardegna, che analizza i sistemi litorali delle coste alte, è il PAI che definisce il tratto costiero in base a diversi livelli di pericolosità. Il Programma Azione Coste (PAC) della Regione Sardegna ha inoltre realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale. In futuro sarebbe opportuno programmare interventi strutturali atti alla delimitazione temporanea delle aree con criticità geomorfologica elevata in attesa della realizzazione di opere volte alla mitigazione della pericolosità nelle aree più frequentate (spiagge e le calette, **Figura 54**); nei casi più estremi sarebbe opportuno provvedere all'interdizione delle aree più a rischio. Una programmazione a medio lungo termine, dovrebbe garantire il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati alle circostanze. L'aspetto preventivo nei confronti dei processi di dissesto può tradursi con un aumento del livello di sicurezza e una diminuzione del rischio.



**Figura 54 - Cala di Rena Maggiore**



**Figura 55 – Deposito di crollo ai piedi della falesia nei pressi del Villaggio Nurra**

## **Conclusione**

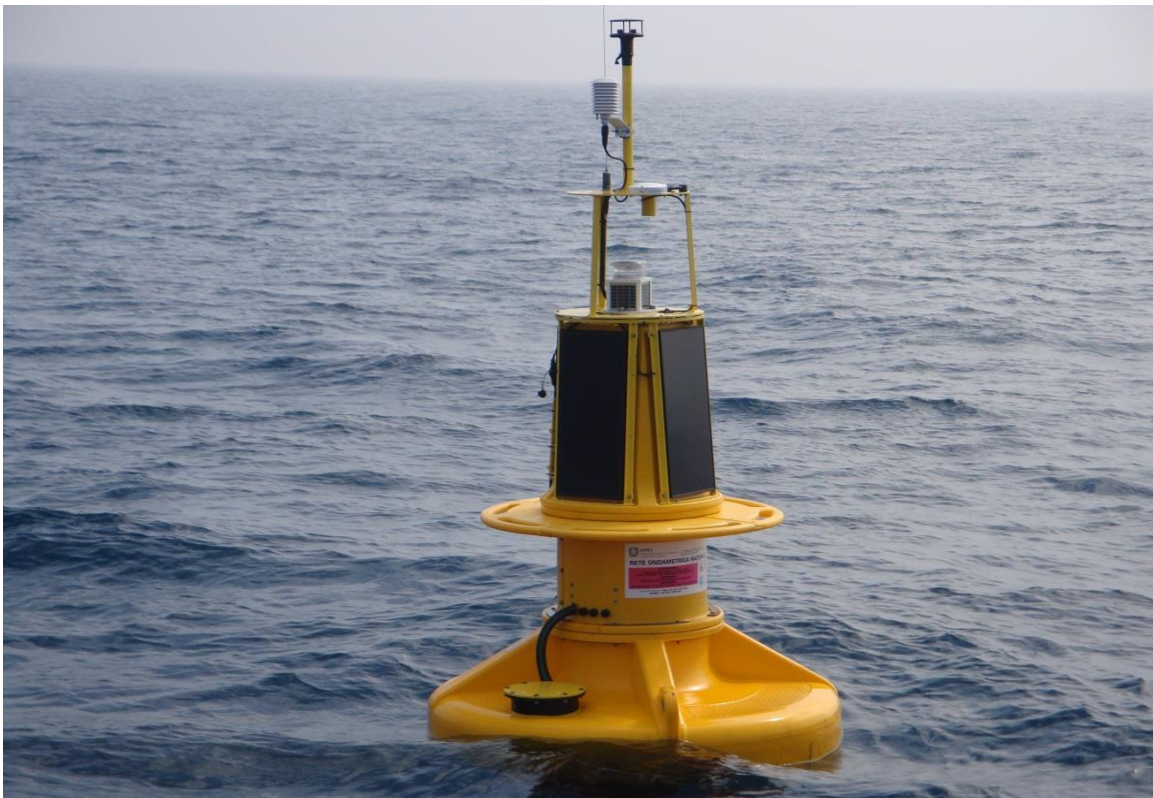
### **Riassunto della problematica del sito**

L'assetto morfostrutturale del tratto costiero in esame determina un livello elevato di pericolosità per frana (**Figura 55**); allo stato attuale è difficile prevedere una significativa riduzione del rischio a meno di significativi interventi finalizzati al consolidamento delle aree a rischio di frana. La tipologia di eventuali interventi futuri dovrebbe derivare da una specifica analisi di dettaglio per ogni sito atta ad individuare tutti gli elementi (geologici, geomeccanici, geomorfologici, ecc.) capaci di evidenziare le diverse criticità geostatiche. Le problematiche di maggior rilievo sono legate essenzialmente all'elevata pericolosità geomorfologica, concentrata lungo il perimetro costiero; l'erosione delle litologie presenti può essere mitigata (dove possibile) solo attraverso interventi di consolidamento e stabilizzazione mirati, nei casi più estremi si possono effettuare solo delle prescrizioni gestionali atte a ridurre l'esposizione al rischio.

### **Rappresentatività transfrontaliera**

La costa presso il Villaggio Nurra è sicuramente un'area ad elevato valore ambientale e paesaggistico, sede di alcune calette con delle spiagge particolarmente frequentate nel periodo estivo (spiaggia di Rena Majori e Rena Minori). Dal punto di vista geomorfologico, come ampiamente esposto in precedenza, è sede di una serie di processi di dissesto attivi che interessano le calette e spiagge sottostanti. Un aspetto della rappresentatività transfrontaliera del sito è dato dal fatto che siano presenti una serie di caratteristiche che permetterebbero di

approfondire le conoscenze relativamente ai processi gravitativi che interessano ambiti di falesia su litotipi interessati da foliazione pervasiva, pieghe e clivaggio (correlazione con altre aree partner: es. falesie liguri). La presenza di numerosi processi di dissesto attivi con i loro tempi di ritorno particolarmente brevi, potrebbero dare dei dati statistici utili sulla dinamica morfologica costiera. L'area in esame presenta un'esposizione a NW che consente di valutare l'influenza dell'ondazione massima durante le mareggiate più importanti; sono presenti dei dati ondamentrici di riferimento (R.O.N. Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'I.S.P.R.A.) relativi alla Boa di Alghero.



**Figura 56 – Boa ondamentrica della Rete Ondametrica Nazionale gestita dall'I.S.P.R.A.**

## Bibliografia

- Belluomini G., Branca A., Delitala L., Pecorini G. & Spano C. (1986) - Isoleucine Epimerization Dating of Quaternary Marine deposits in Sardinia, Italia. *Zeit. Geomorph., N.F., Suppl. Bd., 62: 109-117, Stuttgart.*
- Carmignani, L., Franciaschelli, M., Pertusati, P.C., Ricci, C.A., 1979. Evoluzione tettonico-metamorfica del basamento della Nurra (Sardegna NW). *Memorie della Società Geologica Italiana 20, 57–84.*
- Comaschi Caria I. (1959a) - Il Miocene in Sardegna. *Boll. Soc. Geol. It., 77: 183-198, Roma.*
- Di Pisa, A., Oggiano, G., 1984. Segnalazione di un orizzonte carbonatico nella Nurra paleozoica e suo significato stratigrafico nelle successioni dell'ercinico sardo. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A91, 141–154.*
- Di Pisa, A., Gattiglio, M., Oggiano, G., 1992. Pre-Hercynian magmatic activity in the Nappe Zone (internal and external) of Sardinia: evidence of two Within Plate basaltic cycles. In: Carmignani, L., Sassi, F.P. (Eds.), *Contribution to the Geology of Italia with Special Regard to the Paleozoic Basement. A Volume Dedicated to Tommaso Cocozza. IGCP Project 276, Newsletter 5, Siena, pp. 33–44.*

Hearthy P.J., Bonfiglio L., Violanti D., Sazo B.J. (1986) - "Age of late Quaternary marine deposits of Southern Italia determined by aminostratigraphy, faunal correlation and uranium-series dating". Riv. It. Paleont. Strat., 92: 149-164, Milano.

Kindler P., Davaud E. & Strasser A. (1997) - Tyrrhenian coastal deposits from Sardinia (Italia): a petrographic record of high sea level and shifting climate belts during the last Interglacial (isotopic substage 5e). Paleo3, 133: 1-25, Amsterdam.

Ozer A., Paskoff P. & Ulzega A. (1980) - Essai de corrélation du Pleistocène supérieur de la Sardegna et de la Tunisie. C. R. Acad. Sc. Paris, 291: 801-804, Paris.

Ulzega A. & Ozer A. (1982) - Comptes-Rendus de l'Excursion-Table rond sur le Tyrrhénien de Sardegna orientale. INQUA, pp. 110, Cagliari.

Ulzega A. & Hearty J.P. (1986) - Geomorphology, Stratigraphy and Geochronology of late Quaternary marine deposits in Sardinia. Z. Geomorph., N.F., Suppl. Bd., 62: 119-129, Stuttgart.

Vardabasso S. (1956) - Il Quaternario della Sardegna. Atti IV Congr. Intern. Quat. Rome-Pisa, 1953, 2: 995-1018.

Venerandi, I., 1965. Nuove osservazioni sul giacimento ferrifero della Nurra. Rendiconti della Società Mineralogica Italiana 21, 317-333..



## Sito di Santa Margherita di Pula (Sardegna, Italia)

### Presentazione del sito

#### Localizzazione

Il Sito di Santa Margherita di Pula è situato nella Sardegna Sud-Occidentale (Basso Sulcis) comprende il settore costiero del comune di Pula, si sviluppa tra porto d'Agumu a nord e Pinus Village a sud, e sottende il bacino idrografico dei Rii Palaceris/Santa Margherita, Su Tintiori e bacini minori (Figura1).

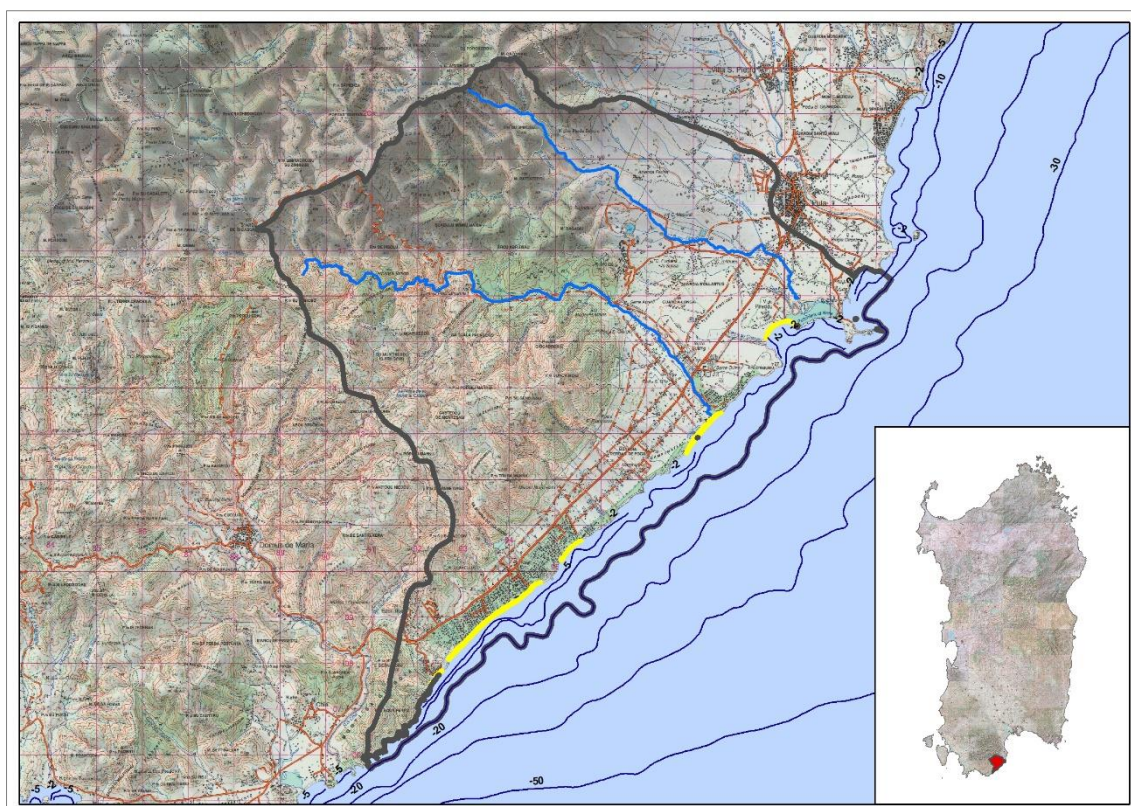


Figura 1 - Inquadramento corografico. Il bacino idrografico ed il litorale sotteso.

### Descrizione geografica

#### Geologia

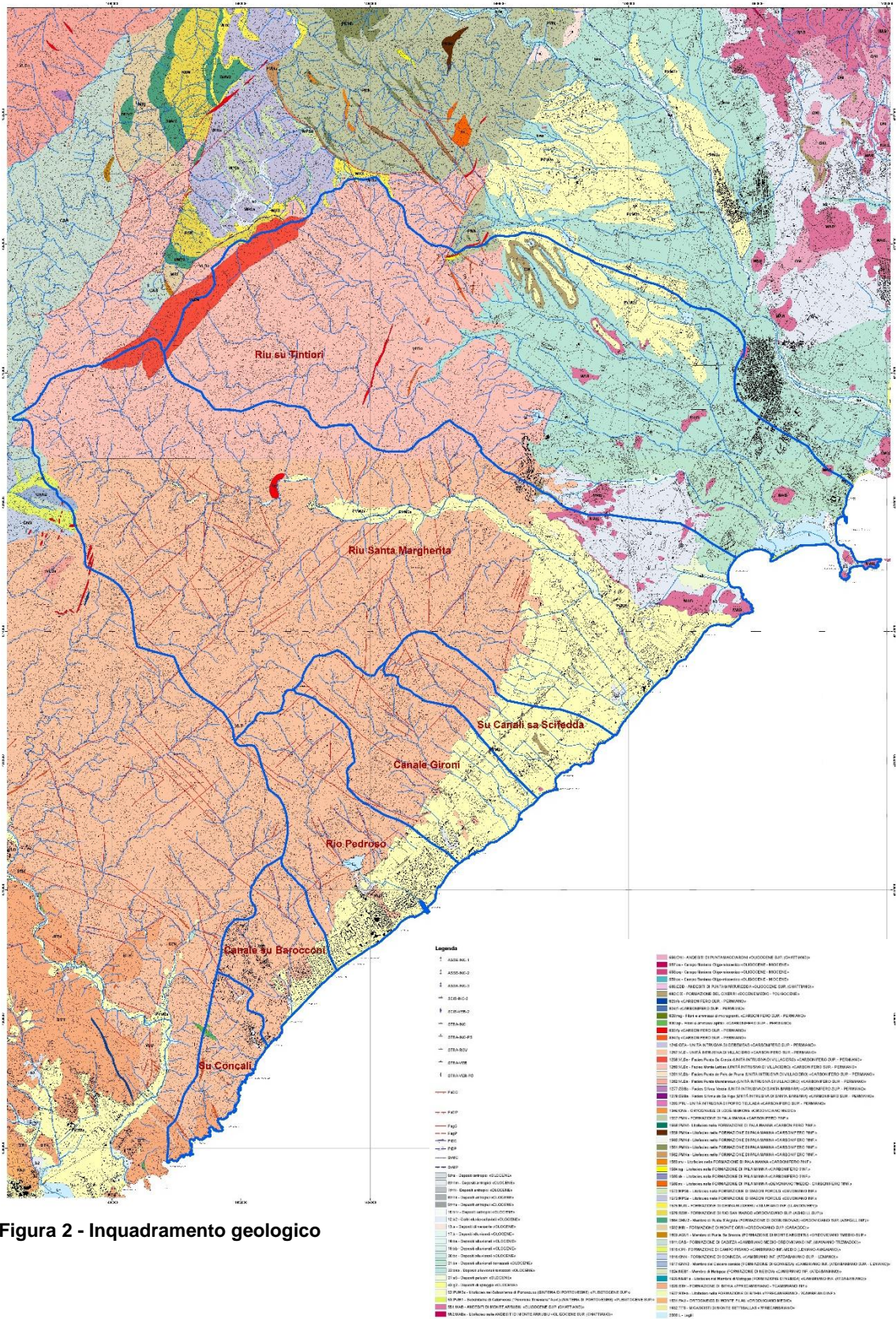
Salvo un esiguo tratto dello spartiacque a formazioni antiche del Cambriano inferiore-Ordoviciano (Calcare Ceroide, **GNN**, Formazione di Campo Pisano, **CPI** e Formazione di Cabitza, **CAB**), il Bacino idrografico Pilota nel suo complesso è caratterizzato da un basamento costituito in larga misura da **Unità del Complesso Intrusivo del Carbonifero-Permiano**, dove predomina l'**Unità Intrusiva di Villacidro (VLD)** a leucograniti. Questi litotipi affiorano estesamente nelle parti montane e pedemontane del bacino, spingendosi fino alla costa sul suo bordo Sud Occidentale.

Sugli spartiacque e in corrispondenza di cornici filoniane si manifestano processi gravitativi di crollo sugli ammassi rocciosi mentre i versanti più in basso sono in genere caratterizzati da coperture detritiche e regolitiche concentrate soprattutto nelle frange a mezzacosta non alterate che alimentano direttamente i fondovalle. In questi ultimi, gli alvei dei corsi d'acqua, incassati o confinati presentano, nelle varie configurazioni morfologiche (*Riffle, Cascade* etc.), discreti volumi di sedimenti alluvionali sciolti dell'Olocene (**b**) e attuali che non rivelano in alcun caso segni di corazzamento.

Ciò a riprova di fondi molto mobili spesso generanti stati di sovralluvionamento tali da far ipotizzare che in questi tratti si determinino soluzioni di continuità del trasporto entro l'alveo nel corso delle morbide e un effetto briglia nelle stesse piene. Fra tutti i bacini, quello del solo Riu Tintioni manifesta abbondanza di sedimenti paleosamente alluvionali Olocenici (**b<sub>b</sub>** e **b**) anche al di fuori del contesto montano e pedemontano. Si tratta di coperture ad ampia estensione superficiale che si sovrappongono a quelle sempre detritiche del **Subsistema di Portoscuso (PVM<sub>2a</sub>)** del Pleistocene superiore.

Queste ultime come litofacies di conoide pedemontana o come colluvi, costituiscono soprattutto verso SudOvest il raccordo alla costa, andandosi a sigillare, di fatto, ai piedi dei rilievi morfostutturali, ossia della struttura tettonica terziaria N60 che abbassa il asamento. Nella sua parte ribassata peraltro la stratigrafia sopra i graniti va arricchendosi delle arenarie grigio violacee della **Formazione del Cixerri (CIX)** dell'Eocene medio-Oligocene sottostanti lave andesitiche (**Andesiti di Monte Arrubiu, MAB**) attribuite all'**Oligocene superiore - Aquitaniano**.

Queste ultime sono abbondanti all'interno del tratto pedemontano e più costiero del Bacino del Tintioni, ma si rinvengono con molta chiarezza fino alla zona di Agumu sul lato Sx del bacino del Palaceris, mentre su quello Dx affiorano presso le falesie di Cala D'Ostia, accompagnandosi a selci e calcari continentali e proseguono in mare, probabilmente sino a Is Morus. Da qui in poi la Formazione del Cixerri in banchi arenacei rossastri o grigi ad ampie pieghe (Albergo Is Morus), tende in ambito emerso ad essere obliterata per diretto contatto coi soprastanti sedimenti detritici Pleistocenici (**Pleistocene superiore**) di **PVM<sub>2a</sub>** pur riuscendo ad affiorare in ristrette finestre sulle spiagge e soprattutto in mare sul fondo sommerso entro batimetrie inferiori alla profondità di chiusura.

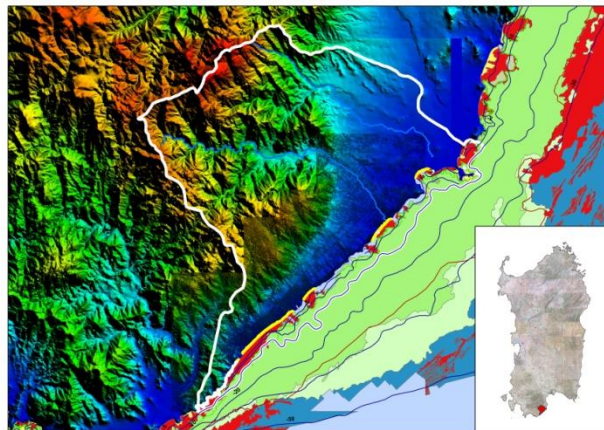


### Il sistema idrografico

Il bacino sotteso al settore costiero è dato dall'inviluppo dei bacini idrografici dei seguenti corsi d'acqua (da NordEst a SudOvest):

1. Riu su Tintiori)
2. Canale de Su Cristallu/Canale Saliu
3. Canale d'Agumu
4. Riu Palaceris/Riu Santa Margherita/Riu Foxi de Sali
5. Riu Canali de Sa Scifedda
6. Canali Gironi
7. Canale Bangiarrubiu
8. Riu Perdosu
9. Canale Su Baracconi
10. Canale de Passiali
11. Riu Su Concali

ed ha una superficie di circa 90 kmq che comprende anche una serie di compluvi minori di basso ordine gerarchico, (Figura2) il più delle volte direttamente defluenti in mare oppure scolanti ai margini del modesto sistema conoidale Sud Occidentale, spesso deviati o semi obliterati dagli insediamenti.



**Figura 2 - Inquadramento fisiografico da DTM.**

Il bacino idrografico d'inviluppo si configura secondo una fisiografia distinguibile in tre parti:

1. una parte a carattere pedemontana e soprattutto alluvionale centrata sul solo Riu Tintiori, ricadente nella cosiddetta Piana di Pula;
2. una parte montana largamente prevalente comprendente gran parte del bacino del Riu Palaceris, quello dei minori verso Ovest e, verso Nord, il settore montano del Riu Tintiori;
3. una pedemontana di raccordo con l'ambito costiero il cui margine inclinato si delinea fra 50m e 30m s. l.m. in direzione NordEst-SudOvest ma che si sospinge fin verso monte a circa 100m s.l.m. solo entro la valle del Palaceris.

### Il tratto costiero

Il litorale di riferimento si estende dal promontorio di Nora a Nord Est fin quasi a Capo Spartivento a SudOvest.

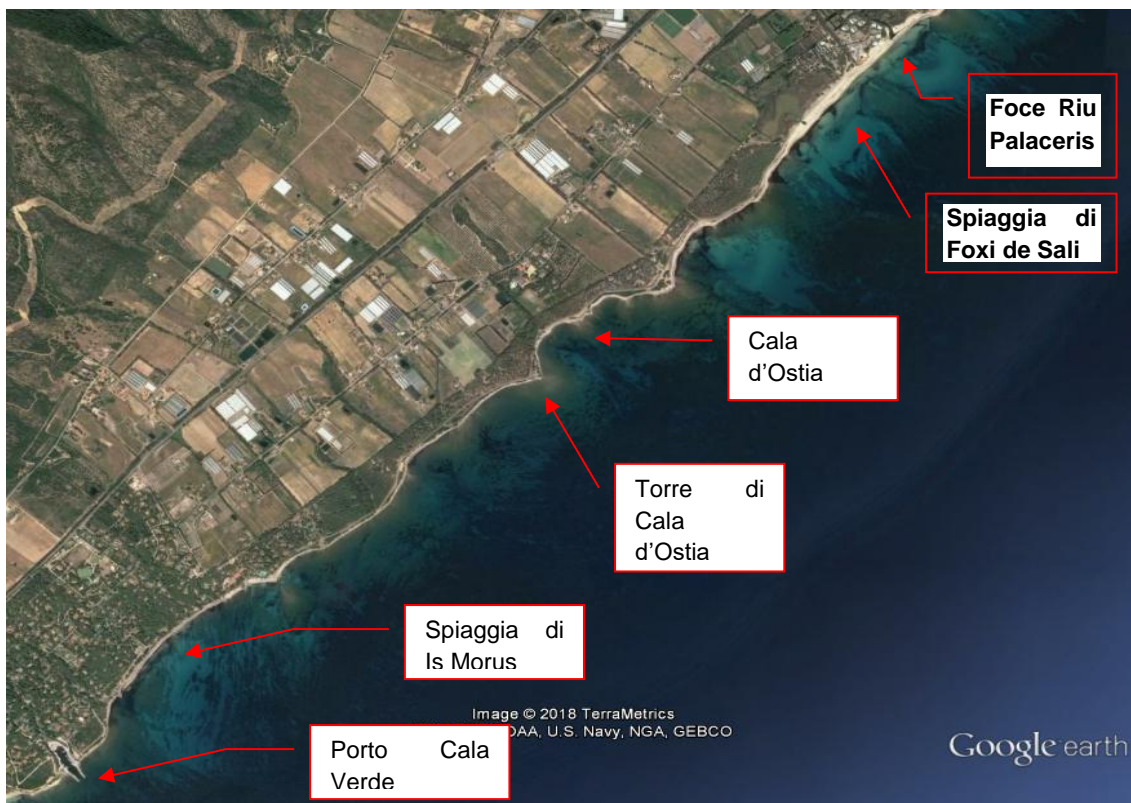
Ai fini espositivi in questa fascia di circa 14 km di estensione possono distinguersi quindi, quanto meno, quattro macrosegmenti a loro volta scomponibili in base ad elementi geomorfologici e morfodinamici (da NordEst a SudOvest):

1. la rada di Porto d'Agumu segnata da un compendio litorale sostanzialmente lagunare e delimitata dai promontori rocciosi a lave andesitiche di *Capo Pula-Punta d'Agumu* (Figura3);

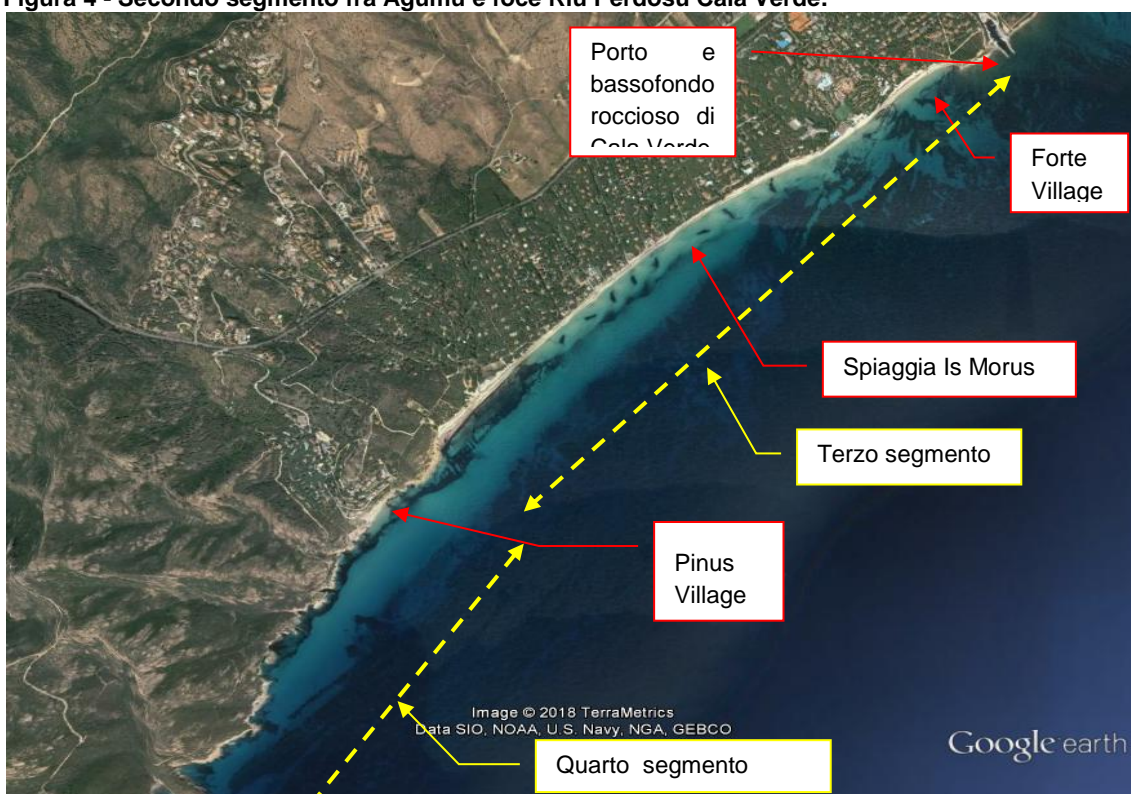
2. la costa a ripa su litologie in gran parte pleistoceniche e subordinatamente terziarie, con prevalenti spiagge ciottolose al piede, a cui si intercalano spiagge sabbiose incassate e poco approvvigionate che si sviluppano da Porto Agumu fino alla foce, su sostrato roccioso, del Riu Perdosu (oggi contrassegnato dagli aggetti artificiali del Porto di Cala Verde), (Figura4);
3. una estesa spiaggia sabbiosa con ripa retrostante ricavata su conoide pedemontana pleistocenica che si estende sino a *Cala Bernardini* (Figura5);
4. la costa a falesia rocciosa granitica con rare e strette *pocket beach* incassate geometricamente secondo fratturazione (*Pinus Village*), passante a falesia attiva con modeste frane al piede e fronteggiante sola spiaggia sommersa (*Porto de Su Scovargiu; Su Monti de Mesu*), (Figura5).



**Figura 3 - Primo segmento fra Nora e Agumu.**



**Figura 4 - Secondo segmento fra Agumu e foce Riu Perdosu Cala Verde.**



**Figura 5 - Terzo e Quarto segmento Spiaggia di Santa Margherita di Pula, da Cala verde a Pinus Village.**

## **Caratteristiche fisiografiche / ecosistemiche**

Dal punto di vista ecosistemico l'area pilota è caratterizzata dalla presenza del Sito d'importanza comunitaria proposto per la Rete Natura 2000 (SIC) denominato "Tra Forte Village e Perla Marina"(cod. ITB042231).

La rete include l'insieme delle aree identificate e proposte perché contenenti habitat e specie animali e vegetali elencate nella Direttiva Habitat 92/43/CEE e specie ornitiche elencate nella Direttiva Uccelli 79/409/CEE denominate Siti d'Importanza Comunitaria proposti (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS).

Il Sic denominato "Tra Forte Village e Perla Marina" ha una superficie di 0,32 Ha con uno sviluppo longitudinale di 1 km.

Il Piano di Gestione del Sic ha invece delimitato e preso in considerazione una superficie molto più ampia di circa 22 Ha e con uno sviluppo longitudinale di 2,6 km.

Gli habitat d'interesse, presenti e classificati nel sito come "prioritari" sono tre: Dune costiere con *juniperus spp* (cod.2250), Dune con foreste di *Pinus Pinea* e/o *Pinus pinaster* (cod.2270) e Prateria di *Posidonia (Posidonion oceanicae)* (cod.1120).

I primi due ambienti dunali sono spesso mescolati e difficilmente separabili dal punto di vista cartografico; si riscontrano nei settori dunali stabilizzati a quote fino a 6-8 metri sul livello del mare. Si sottolinea che la presenza dei pini è quasi certamente di origine antropica o per imboschimento artificiale oppure per rinnovazione spontanea in seguito all'impianto delle pinete nelle aree con insediamenti turistici. Si tratta di individui morfologicamente assimilabili alle specie arbustive o arborescenti (lentisco e ginepro coccolone) tipicamente modellati dal vento e quindi dal portamento prostrato che tuttavia svolgono un ruolo di protezione e stabilizzazione della duna. Per quanto riguarda l'Habitat Praterie di *Posidonia*, è accertata la sua presenza in aree estese di spiaggia sommersa che sono state oggetto di studi, analisi e monitoraggio per definirne la presenza, l'estensione e i caratteri soprattutto in relazione agli effetti ambientali ed agli impatti connessi alla realizzazione di opere di difesa e contrasto dell'erosione negli ultimi 15 anni.

Il Piano di gestione del Sic ha inoltre messo in evidenza l'importanza della presenza di altri Habitat non prioritari: "Dune con prati dei *Malcolmietalia*", che si possono osservare nei settori retrostanti le dune embrionali e "Vegetazione annua delle linee di deposito marine", che si ritrova nelle aree antistanti le dune mobili, caratterizzate dalla presenza di ravastrello marittimo (*Cakile maritima*) ed altre specie a carattere pioniero. Anche in questo caso si tratta di aree frammentate e sottoposte ad azioni di disturbo soprattutto meccanico.

Un altro habitat non prioritario, limitrofo al Sic in argomento, è rappresentato dalle "Scogliere con vegetazione delle coste mediterranee con *Limonium spp* endemici": si tratta di aree a valore naturalistico elevato, generalmente su substrati andesitici, su cui è presente una copertura vegetale discontinua e una scarsa presenza di endemismi, tra cui *Limonium tiglianum*, specie esclusiva del sottosettore biogeografico Sulcitano.

## Conoscenze disponibili

L'area costiera di Santa Margherita di Pula è particolarmente interessata da tempo da dissesti idrogeologici a carattere erosivo su alcuni compendi sabbiosi che la caratterizzano, i quali in taluni tratti, a partire da una quindicina di anni a questa parte, hanno reso necessaria, l'esecuzione di interventi di protezione, oltre a diverse soluzioni tampone a carattere stagionale o emergenziale. Tali interventi, si sono concentrati in particolare nel settore di spiaggia dinanzi al complesso denominato Forte Village Resort, il quale per varie ragioni di cui si tratterà più avanti, appare essere il più sofferente, a dispetto della sua particolare vocazione turistica.

L'area, per il suo interesse, inoltre, è stata oggetto di ampia ricerca scientifica, a cui si rimanda a margine, e di diversi studi, progetti e monitoraggi, elencati sinteticamente nel seguito:

1. "progetto di ripristino del litorale antistante il Forte Village Resort" (2003) che prevedeva un ripascimento con sabbia di cava per 15.000 m<sup>3</sup> circa, dei quali sono stati sversati solo 1.500 m<sup>3</sup>; per l'esecuzione di tali lavori sono state effettuate indagini geologiche, granulometriche e mineralogiche;
2. "progetto per la messa in sicurezza del litorale antistante il Forte Village Resort" (2006) che ha riguardato la realizzazione di 7 barriere soffolte realizzate in geotubi riempiti di sabbia proveniente da idonea cava. Il progetto è stato preceduto da due anni di monitoraggio correntometrico ed ondometrico e a seguito della sua realizzazione, nel 2009, è stato effettuato un monitoraggio per tre anni delle caratteristiche morfologiche ed ambientali del sito;
3. "progetto per la rimozione delle opere di protezione del litorale antistante il Forte Village Resort con contestuale riporto della sabbia residua nella spiaggia emersa – intervento localizzato a seguito dei danni provocati dalla mareggiata del 1/7 marzo 2013" realizzato nel 2014 e nel 2017, con la movimentazione complessiva di circa 1400 m<sup>3</sup> (800 nel 2015 e 600 nel 2017) del sedimento proveniente dai geotubi di cui al punto precedente, ormai danneggiati; durante i lavori è stato eseguito un monitoraggio delle componenti ambientali del sito.

Sulla stessa area di recente è stato progettato un ulteriore intervento denominato "Manutenzione periodica del litorale antistante il Forte Village Resort - Intervento di ripascimento annuale di media entità ai sensi del DM 173/2016", che è stato sottoposto a procedura di V.I.A., per l'impossibilità di escludere per l'intervento in esame impatti ambientali negativi e significativi.



## Stato delle conoscenze

### Rischi costieri

#### Evoluzione del tratto di costa

L'analisi complessiva dell'evoluzione della linea di costa\*, derivante dall'osservazione delle ortofoto storiche, mostra una generale tendenza della spiaggia all'arretramento nel suo settore orientale. L'intero arenile ed in particolare il tratto antistante la struttura ricettiva del Forte Village Resort, ha subito negli ultimi 60 anni arretramenti della linea di costa di entità variabile tra i 15 ed i 35 m (Figura7).



**Figura 7 - Evoluzione recente 1977-2008, tratto da PAC (Programma azione Coste, RAS - Schede delle spiagge ad elevata criticità)**

#### Inondazione costiera

Come detto nell'Introduzione, tutto il litorale di Santa Margherita di Pula è interessato da dissesti idrogeologici costieri che colpiscono tanto i compendi sabbiosi o talora ciottolosi, quanto le falesie o più spesso le ripe rocciose. Al di là della vulnerabilità naturale legata all'ambiente costiero e alla morfodinamica associata, alla base del generale stato di squilibrio geomorfologico parrebbe sussistere una certa stratificazione di cause, spesso concomitanti, sia legate all'ambito marittimo che a quello continentale idrografico.

#### Piani di prevenzione

In Sardegna non esiste un piano di prevenzione del rischio costiero (erosione e/o inondazione marina) tuttavia, su tutto il periplo della costa sarda, è stato realizzato, nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, uno studio che ha per oggetto la mappatura della pericolosità di inondazione da eventi meteomarini, costituente il presupposto per la redazione della mappatura del rischio di inondazione richiesta dal piano di gestione del rischio, ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D. Lgs 23 febbraio 2010, n. 49.

### **Opere ed elementi a rischio**

Tutta l'area costiera di riferimento è esposta alle dinamiche meteo marine stagionali invernali. L'elemento a rischio principale è attualmente rappresentato dalle strutture ricettive del Resort Forte Village. Il tratto antistante tale struttura appare quello più soggetto a retrocessione della battigia, in un contesto che deve tuttavia ritenersi assai dinamico spazialmente oltre che temporalmente, nel corso delle stagioni, per ragioni in parte già illustrate.

Inoltre, nel settore costiero a nord est di Cala Verde, più precisamente in località Is Morus, sono rilevabili diversi processi di arretramento e fenomeni di crollo (Figura8) in corrispondenza delle ripe pleistoceniche su cui si sono sviluppati diffusi insediamenti residenziali e turistici.

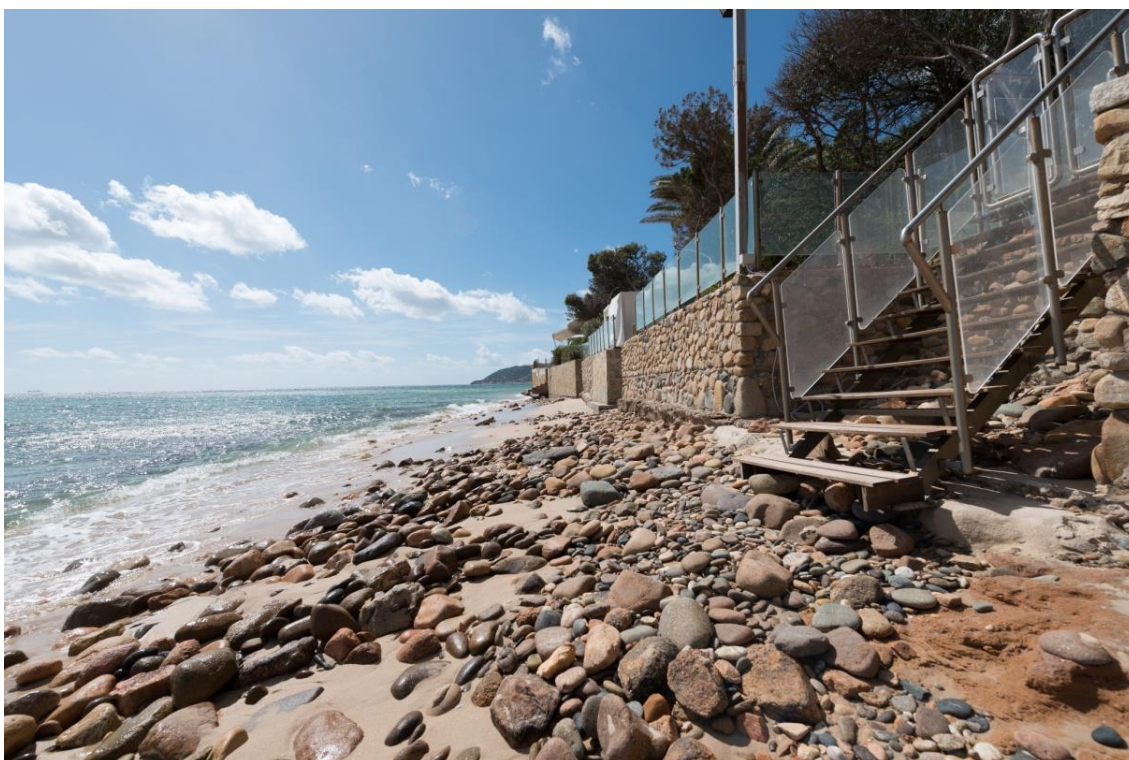
Infine si registra, a seguito di frequenti deposizioni di resti di posidonia oceanica una periodica inattività del porticciolo turistico di Cala Verde che obbliga i concessionari a frequenti operazioni di asportazione e bonifica dello specchio acqueo.



**Figura 8 – Località Is Morus. Fenomeni di crollo sulla ripa rocciosa.**



**Figura 9 – Resort di Forte Village - Foto del 19/03/2018. Inizio tratto a massimo dissesto. Foto da Nord Est verso SudOvest**



**Figura 10 – Resort di Forte Village - Esumazione dei volumi ciottolosi per drastica asportazione di sabbia verso la spiaggia sommersa e dinamica erosiva che si spinge al di sotto del manufatto, danneggiandolo**



**Figura 11 – Resort di Forte Village - La Swash zone interessa la struttura muraria in quanto l'assetto di spiaggia è privo di berma. La configurazione del manufatto è precaria**



**Figura 12 – Resort di Forte Village - Ulteriori danni strutturali al muro che delimita la struttura turistica.**



**Figura 13 – Resort di Forte Village - Attuale scalzamento della fondazione del muro.**



**Figura 14 – Villaggio residenziale di Is Morus - Danni strutturali al muro che delimita la struttura.**



**Figura 15 - Villaggio residenziale di Is Morus Ulteriori danni strutturali alla recinzione che delimita la struttura turistica.**

## Conclusioni

### Sintesi delle problematiche del sito

Il sito è interessato da dissesti idrogeologici costieri che colpiscono tanto le spiagge quanto le falesie o più spesso le ripe rocciose. Al di là della vulnerabilità naturale legata all'ambiente costiero e alla morfodinamica associata, alla base del generale stato di squilibrio geomorfologico costiero, parrebbe sussistere una certa stratificazione di criticità/problematiche, spesso concomitanti, sia legate all'ambito costiero marittimo che a quello continentale idrografico.

E' sulla base di tali criticità, meglio specificate nel seguito, che il sito è stato selezionato quale "area pilota" al termine di una fase di raffronto preliminare regionale che ha tenuto conto di numerosi aspetti tecnici riguardanti più di 20 località, che avessero evidenziato criticità e problemi di carattere strutturale associate alle dinamiche fluvio - costiere della Sardegna e interessate a vario titolo da dissesti idrogeologici di varia entità e facenti parte di subunità sottese a macro bacini idrografici.

Nel seguito, in estrema sintesi, le principali problematiche dell'area pilota:

1. Drastica riduzione degli apporti solidi torrentizi e della rete dei compluvi di primo o di secondo ordine (sensu Horton-Strahler), in conseguenza della riduzione degli afflussi idrici verso la costa, cagionata dagli insediamenti.
2. Progressiva riduzione del recapito solido per totale assenza di manutenzione della officiosità dei torrenti (gestione sedimenti) e formazione di briglie naturali per eccesso di sovralluvionamento (Riu Pula e Riu Palaceris-Santa Margherita).
3. Drastica riduzione del deflusso idrico per realizzazione di invasi artificiali, più o meno importanti.
4. Asportazione pluridecennale della berma a resti di Posidonia oceanica con sensibile vulnerazione degli equilibri geomorfologici stagionali regolanti la morfodinamica stessa e in definitiva della resilienza stessa della spiaggia interessata.
5. Relativo aumento della riflettività di porzioni di paraggio per presenza di strutture rigide che limitano la berma ordinaria e dunque la dissipazione di energia dell'onda.

6. Relativo aumento di volumetrie sabbiose allontanate in spiaggia sommersa in corrispondenza dei settori di cui al punto precedente.
7. Interruzione dello scambio longitudinale lungo costa per intervento di strutture aggettanti (Porto di Cala Verde).
8. Sottrazione pluridecennale definitiva di volumi sabbiosi derivanti dalla bonifica degli intasamenti di Posidonia oceanica nel porto di Cala Verde.
9. La relativa suscettività erosiva dei litotipi pleistocenici costituenti le ripe retro spiaggia che genera per lo più dissesti erosivi locali o frane di crollo di porzioni relativamente limitate.

### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

Il sito di Santa Margherita, per le sue caratteristiche fisiografiche, ecosistemiche ed ambientali, rappresenta un'area dove è evidente la necessità di adottare un approccio integrato alla pianificazione attraverso l'analisi dei principali aspetti ambientali (bilancio sedimentario, moto ondoso, habitat ed ecosistemi, etc.).

Inoltre, per le sue caratteristiche territoriali ed urbanistiche peculiari e per la presenza diffusa di elementi a rischio, risulta significativa per la gestione del rischio costiero ai fini della strategia transfrontaliera e per la sua applicazione in aree con caratteristiche fisiografiche comparabili.

Oltre che per gli aspetti specifici connessi al "rischio da erosione costiera", gli elementi che rendono l'area significativa per gli aspetti transfrontalieri sono configurabili nei suoi caratteri geologici, geomorfologici ed ecosistemici riscontrabili in tutte le altre regioni transfrontaliere.

### **Bibliografia**

De Muro S. (2013) - Progetto pilota di gestione ambientale integrata in un'area contermina alla foce del Rio Santa Margherita nel Comune di Pula

Di Gregorio, F., Federici, P. R., Fierro, G. & Ginesu, S. (1998) - Atlante delle spiagge della Sardegna, Fogli (167, 168, 179, 180, 192, 199, 205, 208, 219, 216, 224, 227, 232, 234, 235, 239) R.A.S, Cagliari.

Di Gregorio F., Atzeni A., De Muro S. & Piras G. (2004) - Carta del Rischio Geoambientale nelle coste della Sardegna – 2004 pubblicato unitamente a: Di Gregorio F., Federici P.R., Fierro G., Ginesu S. -Atlante delle spiagge della Sardegna.

Di Gregorio F., Pusceddu, M. & Serreli, A. (2009) - Valutazione del rischio costiero mediante tecniche GIS del litorale di Pula ( Sardegna Sud-occidentale), 903–908.

Kalb C (2008),– I sedimenti superficiali della piattaforma interna del Golfo di Cagliari. Relazioni tra moto ondoso, correnti indotte e processi di sedimentazione su sistemi di spiagge campione – Dottorato di ricerca in Scienze della Terra - XX ciclo – Università di Cagliari.

Pusceddu M. (2008) - Database geografico e applicazioni gis per l'analisi geoambientale della fascia costiera di Pula (Sardegna SO)- Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica. Ciclo XIX. Pp.153. Università di Cagliari.

Sole F.M. (2015) - Valutazione della vulnerabilità delle coste della Sardegna a fenomeni di erosione ed inondazione dovuti all'impatto degli eventi estremi meteo- marini. Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica - Ciclo XXVIII. Pp.154. Università di Cagliari.

Temi srl – Ingegneria per la sostenibilità (2006) Piano di gestione dei Siti Natura 2000 – “Tra Forte Village e Perla Marina” (cod.ITB042231).





## **Sito di Geremeas-Torre delle Stelle-Solanas (Sardegna, Italia)**

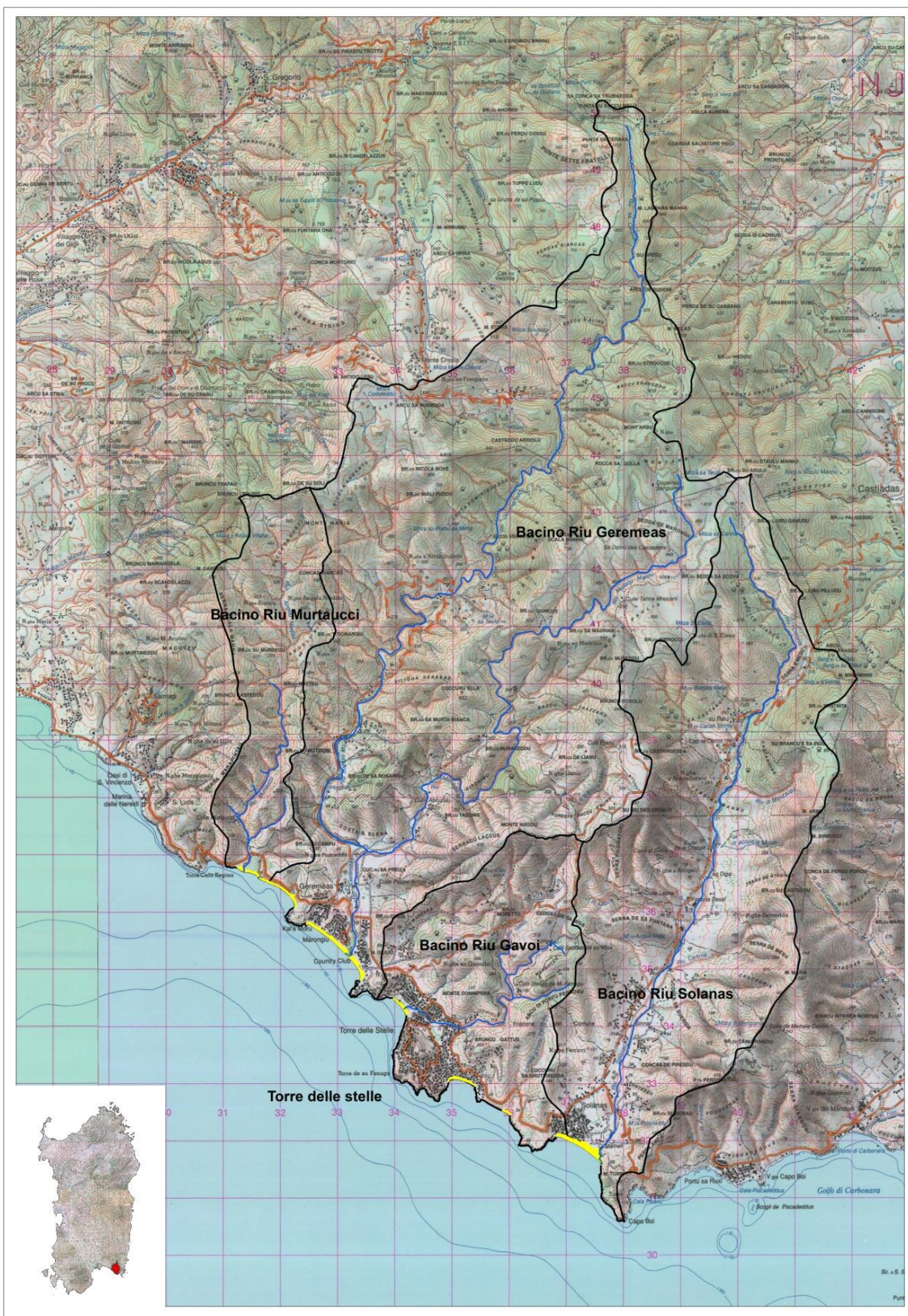
### **Presentazione del sito**

#### **Localizzazione**

Il Sito di “Geremeas -Torre delle Stelle - Solanas” è situato nella Sardegna Sud Orientale, ricade nei Comuni di Quartu Sant’Elena, Maracalagonis e Sinnai ed è compreso entro un’ampia fascia costiera, caratterizzata dalla presenza di promontori e falesie a prevalente composizione granitica, alternate a spiagge “a tasca” sabbiose e ghiaiose.

Il sistema costiero limita ad Est il Golfo di Cagliari, è compreso fra Capo Boi ad Est e Torre di Cala Regina a Ovest e sottende i seguenti principali bacini idrografici ed una idrografia minore complementare (Genn’e Mari e Portu Perdosu) a configurazione essenzialmente montana ed a bassa gerarchizzazione, da cui provengono i principali apporti sedimentari che alimentano le spiagge oggetto di studio (figura1):

- Riu Murtaucci (Spiaggia di Murtaucci; Mari Pintau);
- Riu Geremeas (Spiaggia di Geremeas –i);
- Riu Baccu Mandara (Spiaggia di Geremeas);
- Riu Gavoi (Spiaggia di Cann’e Sisa - Genn’e Mari),
- Riu Solanas (Solanas).



**Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area pilota.**

Rappresentativo del tratto di costa alta e oggetto specifico di analisi e studio è l'ampio promontorio (figura 2), ubicato all'interno del territorio di Maracalagonis, in corrispondenza dell'area residenziale di Torre delle Stelle compreso nel tratto di costa che va dalla spiaggia di Genn'e Mari alla Spiaggia di Cann'e Sisa; per una lunghezza totale di circa 1-2 km. L'area è cartografata nel Foglio 567 sezione IV della Carta Topografica d'Italia in scala 1:25.000 - Geremeas - e nella Carta tecnica regionale numerica della Regione Sardegna (CTR) 567050 e 567010 in scala 1:10.000.



**Figura 2 - Inquadramento geografico dell'area pilota (Il promontorio di Torre delle Stelle).**

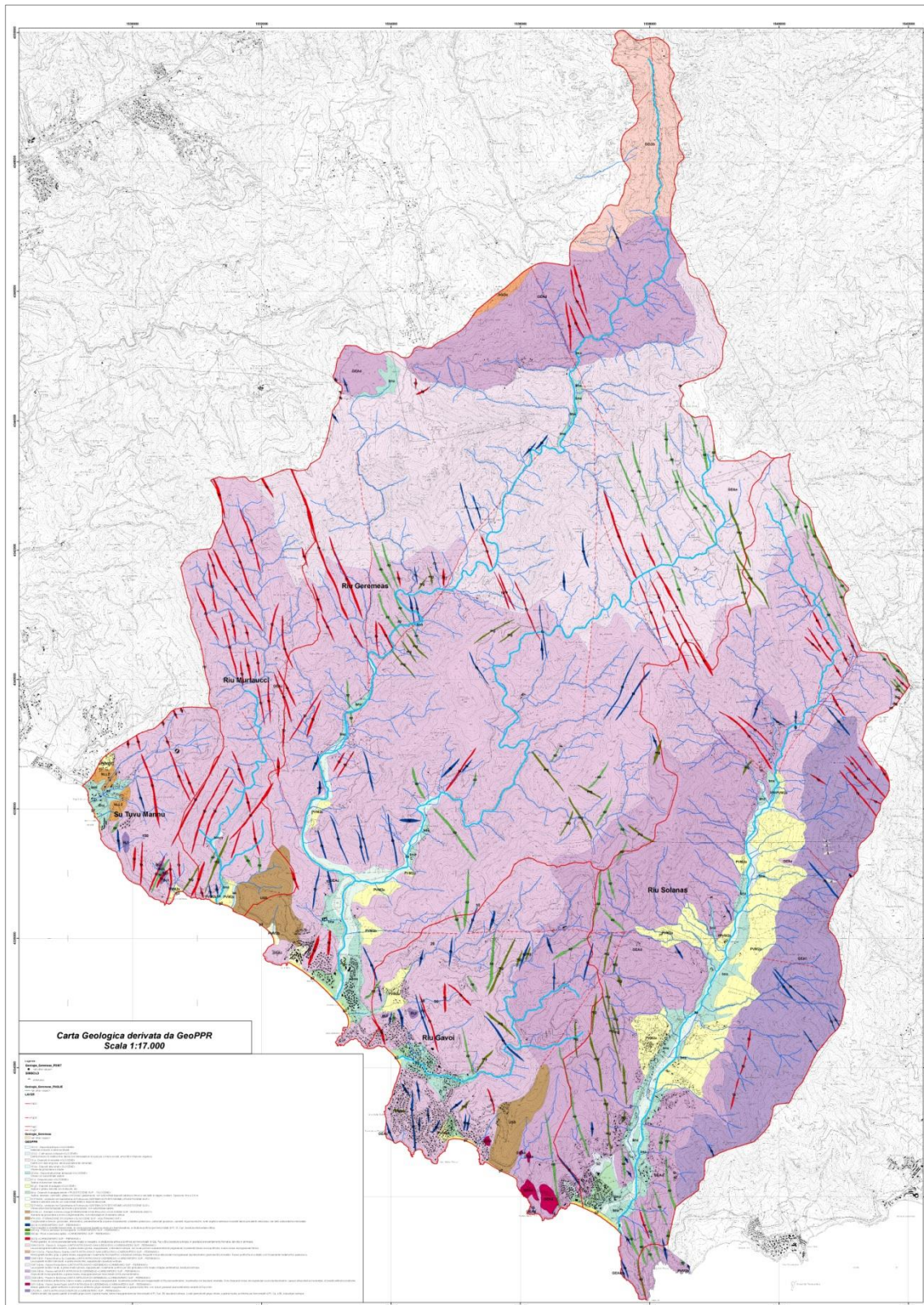
## Descrizione geografica

### Geologia

Il bacino complessivo, inteso come involuppo dei quattro principali bacini che lo costituiscono è interamente strutturato entro un substrato geolitologico a granitoidi del Complesso intrusivo e filoniano del Carbonifero superiore - Permiano e su più circoscritte coperture sedimentarie alluvionali, eoliche e di versante, in genere del Pleistocene superiore e soprattutto dell'Olocene. Le sole spiagge di *Murtaucci* a NordOvest e *Portu Pedrosu* a Sud Est sono a diretto contatto con porzioni di versanti collinari ospitanti conglomerati della Formazione di Ussana del Miocene (rispettivamente reg. *Canaleddus* e reg. *Serra Cazzola*) il cui detrito di versante, spesso "in frana" approvvigiona la costa di volumi solidi. Per tale ragione dette spiagge mostrano una configurazione piuttosto difforme dai restanti contesti, soprattutto per quel che riguarda la granulometria a ciottoli del settore emerso e di quello sommerso più prossimale; fatto questo che le rende ovviamente più resilienti rispetto alla problematiche erosive stagionali o meno (figura 3). Con riferimento al solo sostrato, data la sua preponderanza, si distinguono le seguenti litofacies:

- Bacino del Riu Geremeas: **GEA<sub>d</sub>**, **GEA<sub>e</sub>**, **GEA<sub>c</sub>** soprattutto con minoritari **GGO<sub>a</sub>** e **GGO<sub>b</sub>**;
- Bacino del Riu Solanas: **GEA<sub>d</sub>** in Dx idrografica e **GEA<sub>f</sub>** in Sx;
- Bacino Riu Gavoi: **GEA<sub>c</sub>** nell'ossatura principale e **GEA<sub>d</sub>** in Sx nella parte alta del bacino, **GEA<sub>a</sub>** nella parte costiera e decisamente subordinati;
- Bacino Riu Murtaucci: **GEA<sub>c</sub>** in gran parte e **GEA<sub>e</sub>** solamente nell'estemità montana.

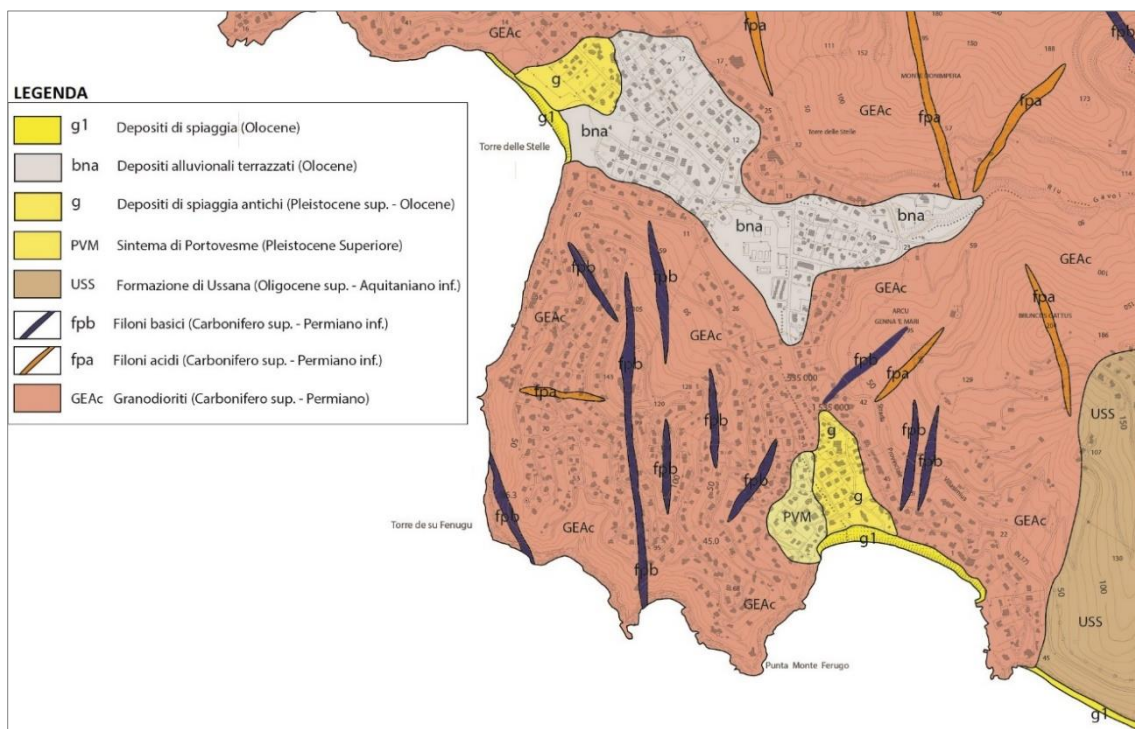
- GEA<sub>f</sub>**: Leucograniti biotitici biancastri a gran medio-fine, equigranulari.
- GEA<sub>d</sub>**: Granodioriti monzogranitiche a grana media, inequigranulari per fenocristalli di Kfs pluricentimetrici.
- GEA<sub>e</sub>**: Leucograniti biotitici rosati a grana medio grossa, equigranulari localmente porfirici, per Qtz globulare e Kfs rosato di taglia centimetrica.
- GEA<sub>c</sub>**: Granodioriti biotitico-anfibolico bianco-rosate a grana grossa, inequigranulari, localmente porfirici per megacristalli di kfs. Costituiscono la litofacies prevalente.
- GGO<sub>a</sub>**: Monzograniti biotitici grigi, a grana media, equigranulari, localmente micro porfirici.
- GGO<sub>b</sub>**: Leucosienograniti biotitici bianchi, a grana medio grossa, equigranulari.



**Figura 3 - Inquadramento geologico generale dell'area pilota.**

Alle intrusioni sono tardivamente associati porfidi granitici (**fp**) e alcune tipologie di filoni e ammassi (**ap**, **mg**, **fb**), orientati in gran parte NNW-SSE e NNE-SSW. Il complesso filoniano sotto il profilo composizionale, mostra una pronunciata variabilità e comprende facies sia melanocrate che leucocrate, le prime disposte spesso alle salbande dei filoni leucocrati, i quali ultimi inglobano talora porzioni a carattere femico. Tra i filoni melanocrati sono inclusi tutti i prodotti basici, riconoscibili sul terreno in virtù della loro colorazione scura e della presenza di abbondanti specie mineralogiche femiche quali biotite, anfibolo, pirosseni e olivina. Questi filoni sono spesso più o meno alterati, fino ad argillificati. Tra i filoni leucocrati sono possibili varie distinzioni avvalendosi di criteri tessiturali e strutturali macroscopici, oltre che composizionali. Nel complesso il sistema filoniano presenta spessori variabili e risulta intruso con orientazione secondo le fratture che mostrano una predominanza direzionale ossia quelli con orientazione NNW-SSE, direzione comune a gran parte dei sistemi filoniani della Sardegna meridionale (Ghezzi & Orsini, 1982; Atzori & Traversa, 1986; Ronca & Traversa, 1996), (figura 4).

Presumibilmente l'età del sistema filoniano è riferibile al Permiano.



**Figura 4.- Inquadramento geologico dell'area pilota (Il promontorio di Torre delle Stelle).**

Oltre alla già accennata Formazione di Ussana, le coperture si riducono ai soli sedimenti alluvionali pleistocenici e olocenici che occupano più o meno diffusamente il contorno della rete idrografica principale e possono essere connessi con sedimenti di versante collocati nelle frange più elevate e/o acclivi del sostrato.

Le alluvioni pleistoceniche (**PVM<sub>2a</sub>**): ("Sistema di Portovesme", Pleistocene superiore) costituite da sedimenti continentali consistenti in ghiaie alluvionali terrazzate di dimensioni variabili da medie a grossolane con sabbie subordinate risalenti dopo la fine della penultima fase fredda pleistocenica (Vardabasso, 1956; Comaschi *et al.*, 1959; Ozer *et al.*, 1980; Ulzega *et al.*, 1982; Belluomini *et al.*, 1986; Hearthy *et al.*, 1986; Ulzega & Hearthy, 1986; Kindler *et al.*, 1997) e quelle oloceniche (**b<sub>na</sub>**: Depositi alluvionali terrazzati, Olocene) si presentano ben terrazzate ma soprattutto molto abbondanti, diffuse e pervasive in particolare nel Bacino idrografico del Riu Solanas dove, per ragioni connesse con l'impostazione strutturale del reticolo e della sua asta

principale, caratterizzano il fondovalle per più di 7 km a monte della foce, non riuscendo a generare, tuttavia, una vera e propria piana allargata sulla costa.

Le alluvioni attuali sono quelle a diretto contatto con gli alvei e ne condizionano l'andamento geometrico poichè gli stati di sovralluvionamento locali impongono traiettorie diversive. Queste tendenze sono particolarmente evidenti sull'intero tronco pedemontano del Riu Solanas mentre sono più limitati nel Riu Geremeas e nei suoi due affluenti. Questa condizione non appare affatto disgiunta dal fatto che, soprattutto sul versante Sx del Riu di Solanas, in corrispondenza delle litofacies GEA<sub>f</sub> e GEA<sub>c</sub> e delle testate di monte della rete di drenaggio, siano localizzati i principali corpi di frana attuali (**a**) costituiti da pietraie ghiaiose e *blockstreams* (Monte Arbu, 693 m; Monte Minni Minni, 725 m) in genere ben connessi col sistema di recapito degli alvei principali.

Marginalmente all'ambito costiero sono reperibili inoltre lembi discontinui di terreni di genesi eolica olocenica (**d**).

#### Il sistema idrografico

L'inviluppo areale dei bacini idrografici sottesi alle 7 spiagge principali oggetto di studio, di forma circa triangolare, allungata verso Nord, è circoscritto da una superficie di circa 118 kmq che in corrispondenza della parte montana del bacino del Riu Geremeas (Riu Sa Ceraxa), si spinge oltre i 1000 m di altitudine a Punta Su Baccu Malu e Punta Sa Ceraxa (1016 m), nel massiccio dei Sette Fratelli in territorio di San Vito.

Il **Riu Geremeas**, il più importante per l'ampiezza del bacino di 62 kmq di superficie sottesa ad un alveo di 36 km, è generato a circa 2 km dalla foce (13 m s.l.m.), dalla confluenza del Riu Su Suergiu Mannu a Dx e il Riu Su Meriagu Mannu (entrambi non confinati negli ultimi 2 km a monte della confluenza) a Sx, a valle della quale il torrente, divenuto di **V Ordine** (*sensu* Horton-Strahler), scorre entro un settore alluvionale di trasferimento con esplicite caratteristiche fisiografiche pedemontane, passanti in poco spazio a quelle costiere. La foce sull'omonima spiaggia (Quartu Sant'Elena) non particolarmente instabile, ha una modesta tendenza a migrare SudEst, lembo di spiaggia su cui transita il confine comunale fra Quartu Sant'Elena e Maracalagonis.

Il **Riu Solanas** ha un pattern rettilineo con un unico tronco principale su cui si innestano diversi affluenti minori con pendenze accentuate, in particolare da Sx. Benchè con superficie pari a poco meno di 34 kmq sottesa ad un alveo di appena 13,4 km, la sua più evidente caratteristica morfometrica consiste nell'assumere numero d'**ordine V** in un tratto relativamente più montano rispetto al Riu Geremeas in ragione di una densità di drenaggio superiore. Sul piano fisiografico è innegabile la maggiore importanza del settore vallivo pedemontano, dove l'alveo non è confinato ma si espande entro una vasta area alluvionale di circa 1 km di ampiezza nel tratto di monte presso *Cungiaus Mannu* (subito a valle della sezione iniziale di **V Ordine**) e, più a valle, di circa 1,5 km a valle di *Costa sa Suergia*. Lungo tale tratto il torrente manifesta in tal modo chiare tendenze diversive con assetto *wandering* entro robuste alluvioni oloceniche anch'esse terrazzate. La foce è più o meno perenne con tendenza ad aprirsi sul margine Sud Est della spiaggia di Solanas (Sinnai).

Il **Riu Gavoi** è un bacino a pattern subdendritico di **IV Ordine** di circa 13 kmq sottesi ad un alveo di 6,5 km con foce sulla spiaggia di Cann'e Sisa (Maracalagonis). La sua caratteristica peculiare sta nel fatto che l'alveo principale scorre per la gran parte confinato e in ambito fisiografico montano, ad eccezione dell'ultimo chilometro corrispondente al settore d'insediamento turistico, il solo ad essere interessato da in terreni detritici.

Il **Riu Murtaucci** è un bacino di **IV Ordine** di poco più di 9 kmq e alveo di circa 6 km, con pattern subdendritico, in particolare nel tratto fisiograficamente più montano. L'alveo giunge a mare in condizione fisiografica pedemontana limitata ad un tratto di appena 0,5 km il solo ad essere interessato da significative coperture del basamento ed anche particolarmente carico di sedimenti sul fondo.

### Le coste "basse"

Il tratto costiero di riferimento rientra nell'Unità Fisiografica n.8 del PAC (Programma Azione Coste) della Regione Sardegna (2014). Le spiagge, intese come parte emersa e corrispettivo sommerso, sottendenti l'inviluppo dei suddetti bacini idrografici sono sette:

1. Murtaucci (Riu Murtaucci);
2. Mari Pintau (Riu Murtaucci);
3. Geremeas - Baccu Mandara (Riu Geremeas);
4. Cann'e Sisa (Riu Gavoi);
5. Genn'e Mari (Canale Genn'e mari);
6. Porto Perdosu (Canale di Portu Perdosu);
7. Solanas (Riu Solanas).

Si tratta di spiagge a tasca o pocket beach tutte esposte a Sud Ovest in relazione all'assetto morfostrutturale del profilo costiero, i cui aggetti più importanti coi relativi bassifondi sommersi, favoriscono l'isolamento di almeno 5 celle sedimentarie, confinate verso mare dal limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica*, probabilmente strutturata su fondale roccioso alterato.

Una tale configurazione geomorfologica suggerisce che lo stock di sedimenti intrappolato di volta in volta in ogni cella (con riferimento all'attuale livello di stazionamento):

- non sia costituito da soli sedimenti sabbiosi;
- sia volumetricamente alquanto modesto in rapporto ad altre situazioni sarde;
- sia condizionato dalla sue caratteristiche idrogeomorfologiche;
- sia proporzionato in qualche modo all'entità areale del bacino idrografico sotteso a ciascuna spiaggia ma ancor di più ai volumi delle coperture mobilizzabili (ad es. Solanas);
- e che le spiagge siano originate in epoca storica.

La presenza nei volumi di spiaggia di una componente più o meno importante di sedimenti grossolani, sia ciottolosi che ghiaiosi, appare dunque compatibile con l'assetto di tutte le spiagge, non solo di quelle emerse di **Murtaucci** e di **Porto Perdosu**. Ciò è dovuto alla presenza di foci sottendenti contesti alluvionali terrazzati ed alla vicinanza laterale di settori di falesia in evidente arretramento gravitativo per fenomeni di crollo e/o di erosioni incanalate (Punta Cabudi, Punta Monte Fenugu, Torre de Su Fenugu, Torre delle Stelle, Bruncu de Su Monte Moru).

La relativa modestia dei volumi rende ancor più affini questi contesti ai compendi sabbiosi del Nord Est della Sardegna (Coste a Rias) che in ogni caso sono al pari di questi morfodinamicamente meno esposti ma sedimentologicamente più vulnerabili e dipendenti dalla gestione sedimentologica e idrogeologica dei bacini idrografici. In tale ambito generale, la scomparsa o la riduzione non naturale della duna determina un ulteriore fattore di grave scompensamento morfodinamico per quel che riguarda la stabilità della linea di costa, poichè abbatte la capacità del sistema di autosostenersi, ossia la propria resilienza.

Nel contesto studiato le spiagge (figura 5), sia i compendi sabbiosi che, a maggior ragione, quelli ghiaiosi e ciottolosi, al netto dell'ovvia influenza idrodinamica nei vari scenari anemologici e di clima ondoso, sono, come già detto, particolarmente soggette a controllo geologico. Si tratta di spiagge microtidali corrispondenti a celle sedimentarie isolate a scarso stock di sedimenti, in genere delimitate a mare da posidonieti e rialzi morfostrutturali del sostrato. La gran parte di esse sono connesse a monte con sistemi idrografici che secondo dinamiche impulsive li riforniscono di sedimenti naturali; altre si situano ai piedi di versanti in roccia cristallina spesso alterata o con rade coperture pleistoceniche. I loro caratteri morfodinamici non sono gli stessi, sia in ragione dell'esposizione agli elementi del clima ondoso e del loro sviluppo in lunghezza che in ragione dell'influenza geologica. Con tale espressione s'intendono tanto le caratteristiche



granulometriche delle spiagge quanto quelle morfologico-clivometriche degli elementi affioranti e dei bassifondi del sostrato roccioso, presenti a profondità inferiori a quelle di chiusura.

Le sabbie che le costituiscono sono, in un tale contesto, soprattutto silicoclastiche, con una componente bioclastica in genere derivante dalla prossimità e dall'attività biogenica della Prateria di *Posidonia oceanica* che, a sua volta, può insediarsi in corrispondenza di frange alterate del basamento, ossia di sostanziali riserve di sedimenti terrigeni.

Su di esse, in prima approssimazione e sulla base delle conoscenze disponibili, si rilevano soprattutto condizioni di frangimento *surging* che sul piano morfodinamico possono essere messi in relazione a profili modali di spiagge "intermedie" in base alla tipizzazione di Masselink G. & Short A. D. (1993).

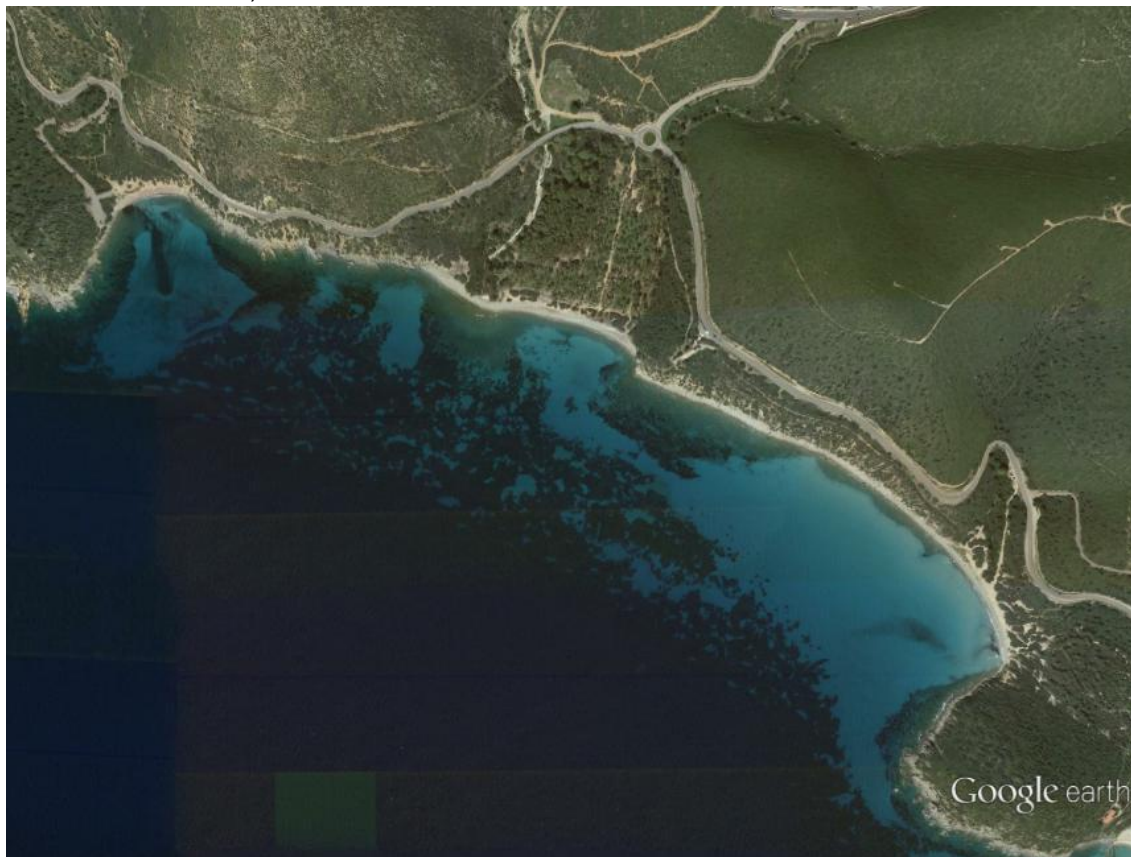


**Figura 5 - Identificazione e localizzazione delle spiagge.**

#### *Murtaucci e Mari Pintau*

Tali spiagge (figura 6), pur discontinue in superficie, fanno parte della stessa cella sedimentaria e le loro morfodinamiche sono decisamente soggette a controllo geologico. L'alimentazione sedimentaria risente dell'apporto dei torrenti drenanti nella cella e delle azioni gravitative sul versante a diretto contatto per cui, pur essendo planimetricamente non incassate, sono sostanzialmente spiagge stabili rispetto alle dinamiche erosive sia in senso stagionale che pluristagionale in quanto "protette" dalla struttura geologica e decisamente avvantaggiate dalle caratteristiche sedimentologiche dei sedimenti. Sulla spiaggia emersa prevalgono infatti decisamente le litofacies ciottolose e ghiaiose che risultano sepolte da sabbie in quella sommersa.

L'effetto operato dall'aggetto roccioso di Bruncu de Su Monte Moro favorisce su quel lato l'intrappolamento di più copiosi volumi di sabbie sul fronte di Mari Pintau al contrario di Murtaucci che risulta assai caratterizzata dalla natura della litofacies terziaria del versante (USS, Formazione di Ussana).



**Figura 6 - Spiaggia e cella sedimentaria di Murtaucci-Mari Pintau.**

#### *Geremeas e Baccu Mandara*

Il compendio di Geremeas si trova all'interno di una cella sedimentaria a sagoma trapezoidale con fronte longitudinale a contatto col limite superiore della Posidonia di circa 1700 m (tratteggio giallo in figura 7) definita dai due aggetti rocciosi di Monte Oru a NordOvest e di Baccu Mandara a SudEst ed alimentata attualmente dal torrente Geremeas. Si tratta di una spiaggia di sviluppo pari a 1465 m di lunghezza sulla battigia e di 1366 m in senso rettilineo (tratteggio rosso) longitudinale da un'estremità all'altra (tratteggio rosso), con uno sviluppo trasversale di 580 m profondità (tratteggio bianco) di cui 85 m del settore emerso (da retroduna a battigia). La cella al suo interno ricomprende anche la piccola spiaggia di Baccu Mandara, isolata dalla cella dal suo sottofondo roccioso.

Com'è evidente in foto aerea la cella sedimentaria è contrassegnata da affioramenti di ampie zone rocciose sul fondo, a significare sostanzialmente della relativa scarsità dei volumi sabbiosi sciolti trattenuti al suo interno (limite superiore *Posidonia oceanica*), il cui spessore massimo può valutarsi non superiore a 1,5 m. La struttura geologica è tale peraltro da creare trappole evidenti sul tratto più Nord Occidentale della falcata che appare il più stabile anche in affioramento.

La spiaggia è periodicamente interessata da eventi alluvionali impulsivi che determinano effimeri dissesti al profilo emerso.



**Figura 7 - Spiaggia e cella sedimentaria di Geremeas e Spiaggia di Baccu Mandara interna alla cella sedimentaria.**

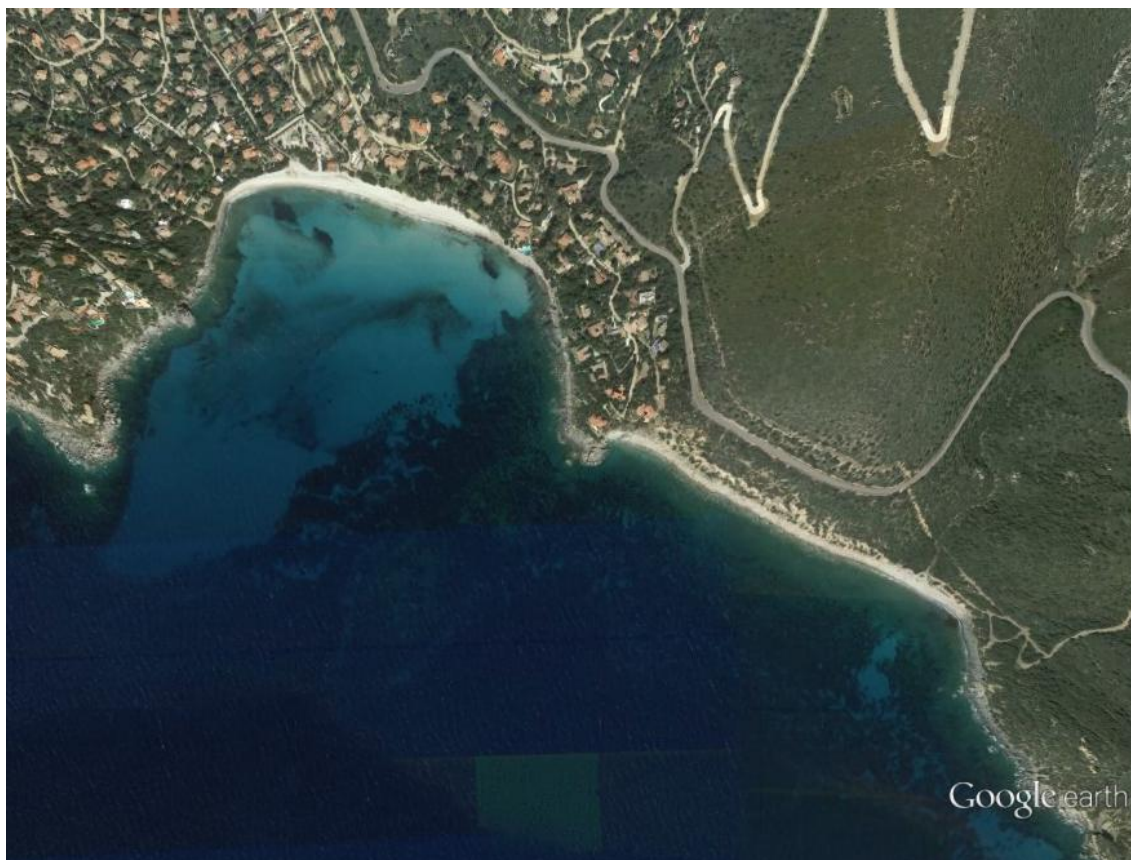
***Cann'e Sisa***

La spiaggia con sviluppo di circa 400 m è inserita entro una cella sedimentaria sottesa a bacino torrentizio, con planimetria trapezio rettangolo di dimensione massima lungo il limite superiore della P.o. di circa 600 m ed un'estensione verso il largo superiore ai 400 m. Si tratta con evidenza di una spiaggia microtidale a tasca a controllo geologico sia per intervento degli aggetti rocciosi che la delimitano (Baccu Mandara a Nord Ovest e Torre di Su Fenugu a Sud Est) sia dei bassifondi prossimi alla riva.

***Genn'e Mari e Portu Perdosu***

Si tratta di due compendi a controllo geologico tanto prossimi quanto differenti sul piano geomorfologico. La prima è una spiaggia microtidale sabbiosa ben incassata all'interno di due aggetti rocciosi in granodioriti (GEA<sub>c</sub>: Unità intrusiva di Geremeas, Facies di Is Mortorius) delimitanti una spiaggia sommersa estesa (circa 180.000 mq) in rapporto a quella emersa (circa 10.000 mq). La seconda è un compendio piuttosto esposto ai piedi di un versante costituito dai conglomerati della Formazione di Ussana (USS) e naturalmente sotteso al Bacino idrografico del Canale Portu Perdosu. Per tale ragione la spiaggia ai piedi del versante si presenta in prevalenza costituita da sedimenti ciottolosi con sabbie grossolane limitate al margine Sud Est o in trappole sommerse. Il settore è particolarmente interessato dunque dall'apporto dei materiali di origine gravitativa provenienti dai versanti a diretto contatto col Demanio marittimo (figura 8).

Fra i sedimenti ed il sostrato roccioso si rilevano conglomerati in facies di Beach rocks a -1 m e -5 m che vengono riferiti a livelli di stazionamento corrispondenti a 500 e 3000 anni BP (De Muro *et al.*, 2015).



**Figura 8 - Genn'e Mari a nord Ovest e Portu Perdosu a Sud Est.**  
*Solanas*

La spiaggia microtidale di Solanas (figura 9), la più orientale dell'Unità fisiografica è alimentata dal Riu Solanas, è delimitata ad Est dal promontorio di Capo Boi e a NordOvest da quello di Punta Cabudi, entrambi a granodioriti con filoni. La parte emersa, con uno sviluppo di circa 935 m fra i due bordi rocciosi che la contengono (tratteggio rosso) e lunghezza della battigia in genere variabile da 950 m a 980 m in funzione dello stato climatico, è una stretta porzione di un sistema a tasca a planimetria trapezoidale. La cella sedimentaria che risulta ben confinata ha ampiezza trasversale di 600 m (tratteggio bianco) e fronte longitudinale a contatto col limite superiore della Posidonia di circa 1400 m (tratteggio giallo); essa contiene sedimenti in genere sabbiosi ma con caratteristiche composizionali e tessiturali differenti fra spiaggia emersa e sommersa. In particolare nella spiaggia emersa si evidenzia la prevalenza di sabbie silicoclastiche per il 90% a Quarzo e Feldspati, da grossolane a molto grossolane, mentre in quella sommersa prevalgono le granulometrie medie e fini che tendono ad arricchirsi in bioclasti verso il limite col posidonieto. In tale settore fra i sedimenti ed il sostrato roccioso si rilevano conglomerati in facies di *Beach rocks* a -1 m e -5 m che vengono riferiti a livelli di stazionamento corrispondenti a 500 e 3000 anni BP (De Muro *et al.*, 2015).

Periodiche alluvioni del torrente determinano allagamenti e dissesti non strutturali sulla spiaggia.



**Figura 9 - Spiaggia di Solanas.**  
*Le coste "alte"*

In generale l'area costiera è caratterizzata da versanti e falesie che presentano altezze di alcune decine di metri; i versanti sono ricoperti principalmente da depositi quaternari originatisi dall'alterazione del complesso intrusivo sottostante; questi depositi possiedono angoli di riposo elevati (35-40°) ma i loro comportamenti geotecnici sono in ogni caso sensibilmente dipendenti dal contenuto d'acqua e dalle condizioni di saturazione. Le falesie sono costituite soprattutto da rocce intrusive e filoniane al cui grado di alterazione è strettamente legato il comportamento geomeccanico. Quello delle granodioriti GEA<sub>c</sub> studiate poco lontano dall'area costiera (Coli *et al.*, 2011), viene fatto ricadere fra W3 e W4 dello schema di classificazione proposto dalla Geological Society of London (1995), in cui W6 è la roccia residuale. A ridosso di Murtaucci e di Portu Perdosu si evidenzia la presenza della formazione conglomeratica terziaria di Ussana, con caratteristiche decisamente differenti dalle precedenti, tali da tipicizzare i rispettivi compendi demaniali marittimi.

Non esiste una grande differenza di competenza nelle litologie presenti questo a causa dei caratteri litologici abbastanza uniformi. L'idrolisi è il processo di degradazione meteorica per il quale i silicati, componenti essenziali dei granitoidi (feldspati e i minerali ferromagnesiaci), aggrediti dalle acque meteoriche leggermente acide si decompongono, con desquamazione ed esfoliazione sferoidale di superfici compatte, il che può comportare, per erosione selettiva, l'approfondimento e l'allargamento delle discontinuità di origine meccanica, prodotte dagli agenti fisici della degradazione (dilatazioni termiche differenziali, azione di cuneo delle radici) e dalle forze tettoniche. La deflazione eolica con l'abrasione marina possono, col tempo, rimuovere le parti rocciose distaccate, determinando nel blocco ancora inalterato la formazione di cavità

tipiche, note come tafoni. Spesso i tafoni possono essere ulteriormente ampliati per corrosione, sotto l'azione degli agenti atmosferici. La formazione dei tafoni procede principalmente dal basso verso l'alto, fino a causare il distacco ed il crollo anche di blocchi integri di roccia, per eccessivo assottigliamento delle loro parti di sostegno ed intercettazione di superfici di lesione.

## **Caratteristiche fisiografiche / ecosistemiche**

Dal punto di vista ecosistemico l'area pilota è caratterizzata dalla presenza del Sito d'importanza comunitaria proposto per la Rete Natura 2000, denominato SIC ITB040051 - "Bruncu de su Monte Moru - Geremeas (Mari Pintau)".

Il SIC "Bruncu de su Monte Moru - Geremeas (Mari Pintau)" ricade all'interno del territorio comunale di Quartu Sant'Elena, estendendosi su circa 139 ha (di cui 53 ha terrestri e 86 ha marini).

Si localizza al limite meridionale della regione storico-geografica del Sarrabus (Sardegna Sud-Orientale) ed appartiene al settore orientale del Golfo di Cagliari, collocandosi nella fascia litorale compresa tra i promontori di Cala Regina e Bruncu de su Monte Moru.

Il sito è raggiungibile percorrendo la litoranea per Villasimius, da cui dista una quindicina di chilometri ed è compreso in un tratto di costa molto panoramica, di estrema bellezza collocato tra la piccola cala rocciosa denominata "Cala Regina" e la spiaggia sabbiosa di "Kal'e Moru".

L'86% della superficie del SIC è costituito dal settore sommerso antistante la spiaggia di Mari Pintau, circa il 5% è rappresentato dalla spiaggia stessa e la superficie rimanente include la pineta artificiale impostata sui lembi residui di un sistema dunare che si localizza a ridosso del promontorio granitico di "Bruncu de su Monte Moru".

Il sito è caratterizzato dalla presenza di 12 habitat di interesse comunitario, di cui 4 prioritari. La rete include l'insieme delle aree identificate e proposte perché contenenti habitat e specie animali e vegetali elencate nella Direttiva Habitat 92/43/CEE e specie ornitiche elencate nella Direttiva Uccelli 79/409/CEE denominate Siti d'Importanza Comunitaria proposti (SIC) e Zone di Protezione Speciale (ZPS).

In particolare, per quanto riguarda la parte a mare, la sua importanza è dovuta alla presenza dell'habitat prioritario "Praterie di posidonie (*Posidonium oceanicae*)" (cod. 1120\*), di notevole interesse conservazionistico. Per la parte terrestre, l'habitat più rappresentato è "Dune costiere con *Juniperus* spp." (cod. 2250\*), seguito dagli habitat "Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*" (cod. 2270\*) e "Percorsi substeppici di graminacee e piante annue dei *Thero-Brachypodietea*" (cod. 6220\*).

## Conoscenze disponibili

L'area costiera di "Geremeas - Torre delle Stelle - Solanas" è particolarmente interessata da tempo da dissesti idrogeologici a carattere erosivo su alcuni compendi sabbiosi che la caratterizzano ed è stata, per il suo interesse, oggetto di ampia ricerca scientifica e di diversi studi, progetti e monitoraggi, elencati sinteticamente nella bibliografia a margine.

Fra le spiagge ricomprese nel Sito, è stata soprattutto quella di Solanas oggetto di studi scientifici recenti, in particolare a carattere sedimentologico (Kalb, 2008; Demuro *et al.*, (2015) e sulla pericolosità idrogeologica (Serreli, 2007).

Il sistema idrografico, più specificatamente il Riu Geremeas ed il Rio Solanas è stato oggetto di studi e approfondimenti tematici nell'ambito del PSFF (Piano Stralcio Fasce Fluviali).

## Rischi costieri

### Evoluzione del tratto di costa

#### *Le coste basse*

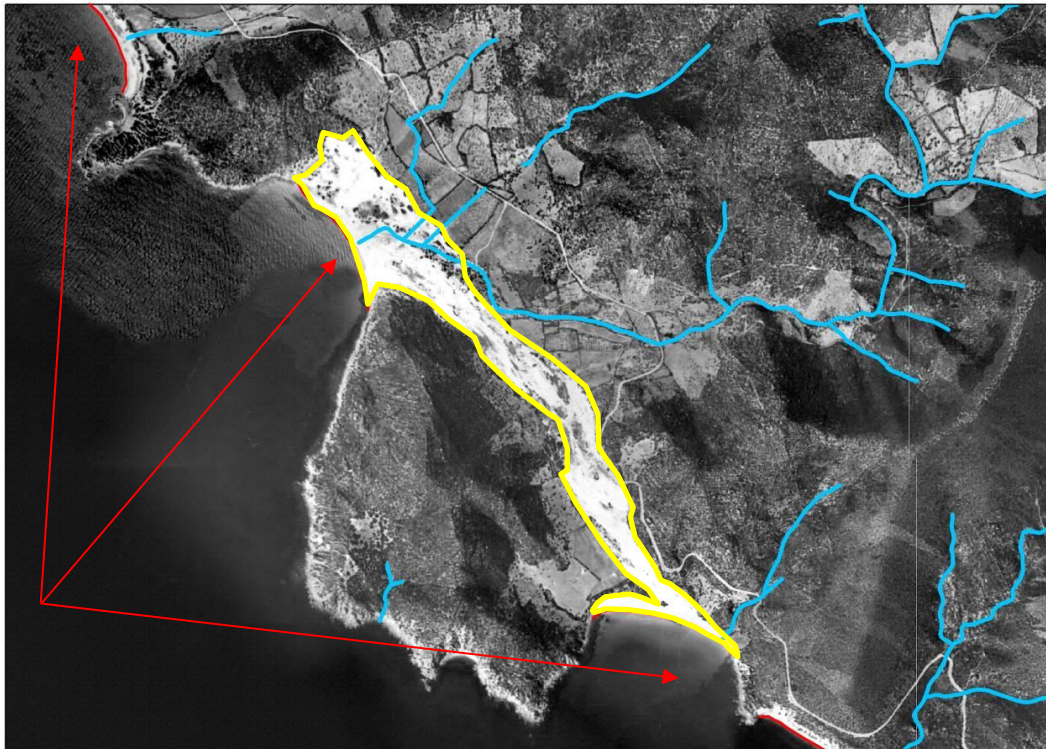
In questa fase ci si limita ad evidenziare i risultati delle analisi preliminari basate sul confronto diacronico della linea di costa fin qui svolte che mettono in evidenza come talune spiagge registrino consistenti retrocessioni della linea di riva su base sessantennale. Il Programma Azione Coste della RAS (2013), relativamente all'evoluzione della linea di costa considera le spiagge in studio "In stato di equilibrio o in avanzamento", relativamente allo Stato di conservazione del Sistema Dunale "con evidenze di degrado e smantellamento", relativamente all'Interferenza della frequentazione antropica sulle componenti di spiaggia, "Alta", mentre nel settore sommerso, lo Stato di conservazione ed evoluzione del limite superiore della prateria di *Posidonia oceanica*, è definito "in equilibrio e conservazione".

In realtà ad oggi sussistono sufficienti elementi probatori di uno stato sedimentario deficitario e di un relativo grave arretramento della linea di costa, come risultato di condizionamenti ed usi antropici, più che di un'evoluzione naturale.

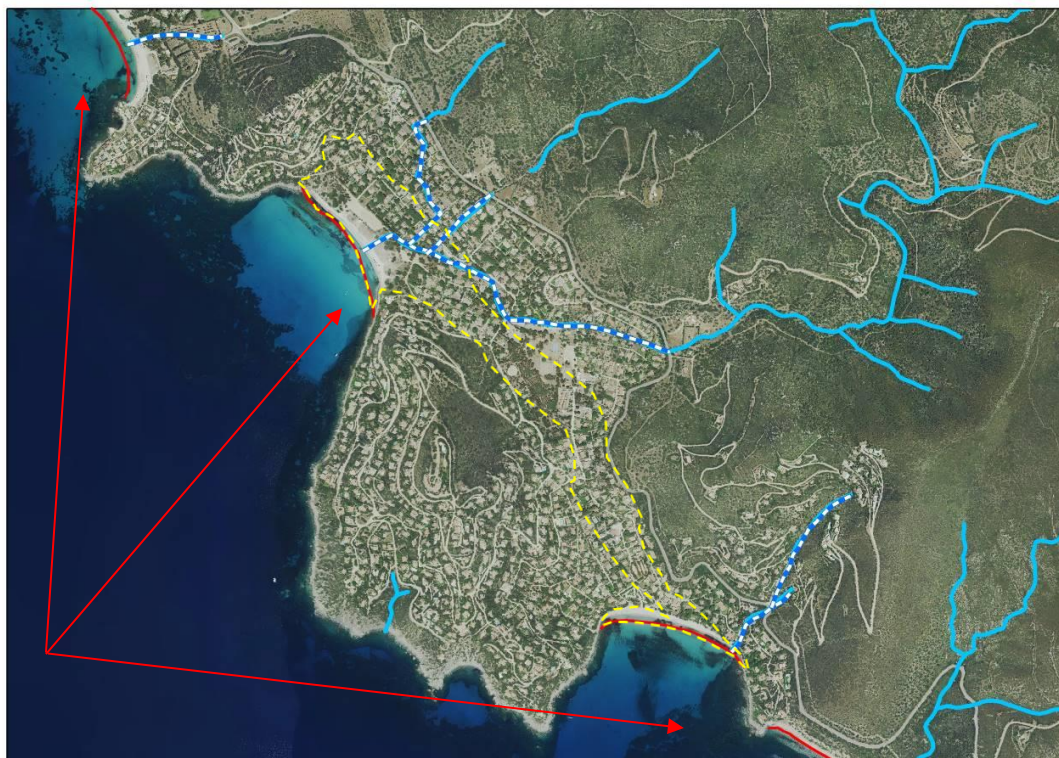
A titolo esemplificativo si evidenzia il confronto delle due immagini datate 1954/2016 da cui emergono le modificazioni antropiche del reticolo idrografico, la scomparsa di una buona parte di un esteso compendio dunare retrostante le spiagge di Genn'e Mari e Cann'e Sisa a cui si lega l'evidente arretramento della linea di riva. Dato il contesto idrografico e l'obliterazione del Riu Gavoi, tale concomitanza di condizioni appare di grave pregiudizio per l'assetto della spiaggia di Cann'e Sisa.

Sia la costa che la superficie dei bacini idrografici ad essa complessivamente sottesi sono interessati da pericolosità geomorfologica perimetrata dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sardegna e sono pertanto disciplinati ai sensi degli artt. 31, 32, 33 e 34 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI. In particolare su Murtaucci e Mari Pintau gravano in misura differente Pericolosità Hg4 (molto elevata) e Hg2 (media).

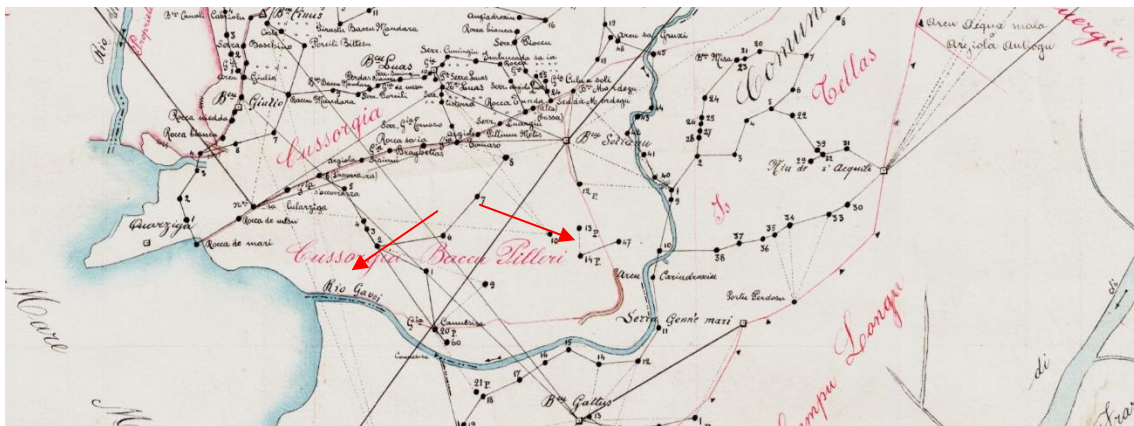
Nel seguito sono sintetizzate alcune analisi diacroniche che mettono in evidenza le relazioni tra le modificazioni della linea di riva e l'alterazione del sistema idrografico (figure 11, 12, 13, 14, 15).



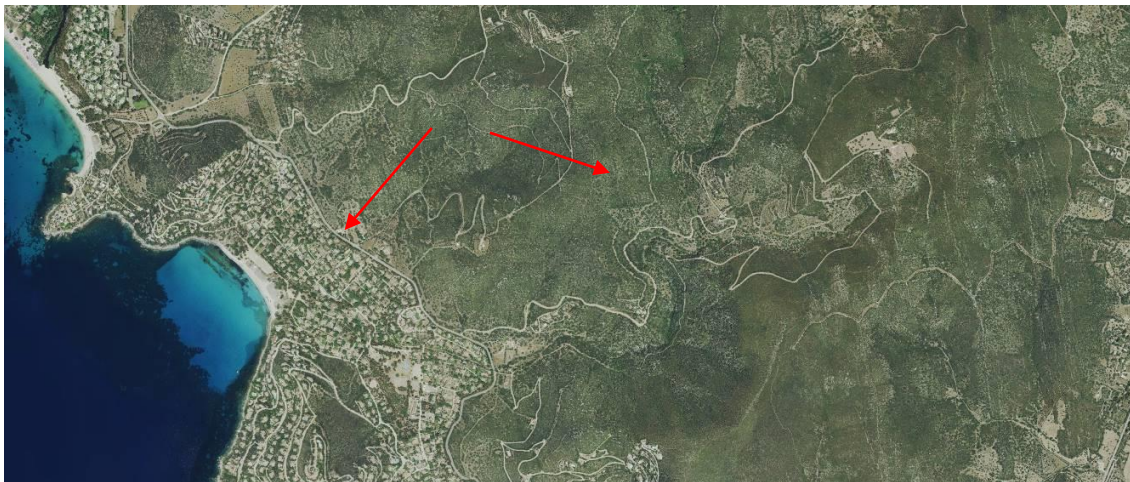
**Figura 10 - Nelle due immagini 1954/2016 le modificazioni antropiche del reticolo idrografico, la scomparsa del compendio dunare retrostante le spiagge di Genn'e Mari (a Sud) e Cann'e Sisa (a Nord) e l'evidente arretramento della linea di riva**







**Figura 11 - Il tracciato del Rio Gavoi a fine 800 (Catasto De Candia - Archivio di Stato) la continuità morfologica e la evidente naturalità fino alla foce garantivano l'input sedimentario della spiaggia di Cann'e Sisa.**



**Figura 12 - Il tracciato del Rio Gavoi nel 2016; completamente obliterato dall'espansione del turismo residenziale e dall'infrastrutturazione urbana.**



**Figura 13 - Il tracciato del Rio Marroccu e del Rio S'acqua Mala a fine 800 (Catasto de Candia-Archivio di Stato); la continuità morfologica fino alla foce di entrambi garantisce, insieme al Rio Geremeas l'input sedimentario della spiaggia.**



**Figura 14 - Il tracciato del Rio Marroccu e del Rio S'acqua Mala nel 2016; entrambi completamente obliterati dalla sede stradale.**



**Figura 15 - Un'altra situazione d'interesse, in relazione all'evoluzione del tratto costiero, viene evidenziata in corrispondenza della spiaggia di Solanas. L'analisi diacronica 1954/2016 mostra un netto arretramento della linea di costa.**

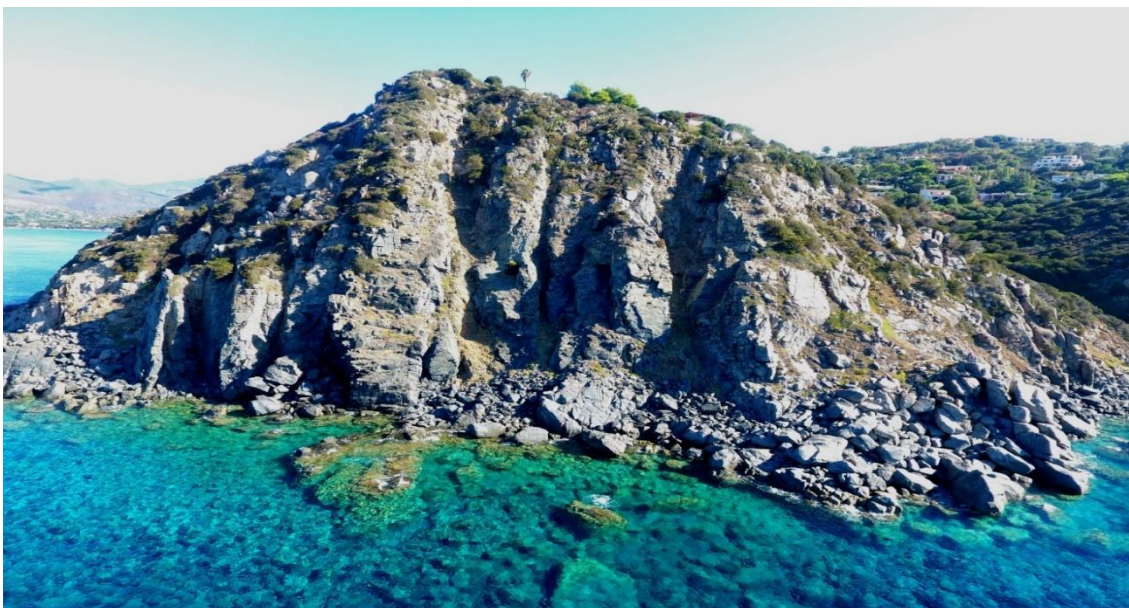


### *Le coste alte*

L'area è costituita da una serie di versanti acclivi con falesie a picco sul mare, al di sotto delle quali ,si trovano depositi di crollo. Il tratto di costa più significativo, ai fini dell'indagine, è sicuramente quello situato sotto la Torre de su Fenugu.

Le falesie con i versanti prospicienti l'area residenziale di Torre delle Stelle, sono interessate da alcuni processi di dissesto e gravitativi localizzati soprattutto nelle aree più acclivi. Le litologie meno competenti, rappresentate principalmente dal complesso filoniano, risultano maggiormente fratturate e alterate rispetto alle granodioriti. I Depositi quaternari e terziari sono sicuramente quelli più interessati da instabilità geostatica; spesso presentano angoli di riposo elevati (40-45°) e poggiano direttamente sul substrato litoide che in certe condizioni può fungere da superficie di scivolamento. In concomitanza con periodi di piogge intense o prolungate questi depositi possono essere interessati da processi gravitativi come scivolamenti e da ruscellamento. La presenza di vegetazione rappresenta un buon fattore di contenimento dei processi erosivi dato dall'azione combinata tra apparato radicale e chioma (le radici stabilizzano i depositi di versante con le coltri eluvio-colluviali, mentre la chioma intercetta le precipitazioni smorzandone l'azione erosiva).

La dinamica morfologica principale è dovuta all'azione del moto ondoso e dei processi di evoluzione del versante retrostante. La boa ondometrica RON di Cagliari presenta una localizzazione particolarmente favorevole (Lat 39° 6' 52" N; Long 9° 24' 20") per una caratterizzazione del moto ondoso ordinario che interessa il sito in esame, seppure il breve periodo di rilievo (2007-2008; 2009-2014) non appare sufficiente ad una robusta analisi di eventi estremi (Sulis, in press). Il moto ondoso proviene principalmente dal II Quadrante (35%) e dal III Quadrante (53%) con una frequenza di accadimento di circa 1% di onde con altezza significativa superiore a 3.5 m e direzione media di provenienza 140 °N. Le falesie, denotano condizioni di potenziale dissesto soprattutto legate alla fratturazione dell'ammasso roccioso (figura. 16) soprattutto lungo il complesso filoniano come fattore predisponente. Tuttavia i depositi di versante, le coltri eluvio-colluviali e soprattutto la formazione terziaria di Ussana appaiono le più vulnerabili ai processi gravitativi di versante, in quanto pur con un elevato angolo di riposo, col tempo, ma soprattutto in caso di piogge intense, vengono interessati da ricorrente collasso gravitativo.



**Figura 16 - Costa alta e rocciosa nei pressi della Torre de Su Fenugu a Torre delle Stelle.** Sicuramente la fragilità geostatica dell'area non è particolarmente elevata; questo grazie alle litologie presenti che sicuramente sono da annoverare tra le più resistenti (granodioriti). Sulle

falesie e sui versanti rocciosi l'erosione agisce molto lentamente, nel breve periodo non si osservano significative variazioni della linea di riva al contrario delle spiagge.

### Inondazione costiera

Si è visto come, tutto il litorale sia interessato da dissesti idrogeologici costieri che colpiscono tanto i compendi sabbiosi, quanto le falesie o più spesso le ripe rocciose. Al di là della vulnerabilità naturale dell'ambiente costiero e della morfodinamica associata, alla base del generale stato di squilibrio geomorfologico parrebbe sussistere una certa stratificazione di cause, spesso concomitanti, sia legate all'ambito marittimo che a quello continentale idrografico, quasi sempre in relazione alle attività antropiche. Assai meno documentato è invece il rischio da inondazione costiera. Al momento non sussistono studi inerenti la pericolosità di mareggiata (inondazione costiera). Tuttavia per simmetria con paraggi simili per esposizione e condizioni morfobatimetriche, è del tutto verosimile che le spiagge di Solanas, Geremeas, Cann'e Sisa, Genn'e Mari, stante l'assetto topografico siano vulnerabili agli effetti di mareggiate con elevati tempi di ritorno. In particolare la condizione fociva dei rispettivi torrenti espone Solanas, Geremeas e Cann'e Sisa alla penetrazione del livello marino lungo i tratti terminali degli stessi. Il tratto più depresso di Genn'e Mari, ancor che ristretto, è tuttavia il solo a non risentire della diffrazione dell'ondazione di Scirocco.

### **Piani di prevenzione**

In Sardegna non esiste un piano di prevenzione del rischio costiero (erosione e/o inondazione marina) tuttavia, su tutto il periplo della costa sarda, è stato realizzato, nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, uno studio che ha per oggetto la mappatura della pericolosità di inondazione da eventi meteomarinari, costituente il presupposto per la redazione della mappatura del rischio di inondazione richiesta dal piano di gestione del rischio, ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D. Lgs 23 febbraio 2010, n. 49. Nonostante la marcata tendenza evolutiva all'erosione e la significativa esposizione al moto ondoso (*fetch* relativamente esteso ed altezze d'onda Hs fino a 5-6 m), per il settore costiero in oggetto, attualmente, non esistono piani di prevenzione della pericolosità costiera.

Relativamente alle coste alte, allo stato attuale, l'unico strumento di pianificazione disponibile per la Regione Sardegna è il PAI che definisce in base a diversi livelli di pericolosità geomorfologica alcuni dei tratti costieri dell'isola.

Come già accennato, il Programma Azione Coste (PAC) della Regione Sardegna ha inoltre realizzato la classificazione delle aree costiere a maggiore criticità geomorfologico-ambientale ma non costituisce un presidio per l'applicazione di Norme di Salvaguardia. In futuro sarebbe opportuno programmare interventi non strutturali atti alla delimitazione temporanea delle aree con criticità geomorfologica elevata in attesa della realizzazione di opere volte alla mitigazione della pericolosità nelle aree più frequentate (spiagge e calette). Nei casi più estremi sarebbe opportuno provvedere all'interdizione delle aree più a rischio. Una programmazione a medio lungo termine, dovrebbe garantire il raggiungimento di livelli di sicurezza adeguati alle circostanze. L'aspetto preventivo nei confronti dei processi di dissesto può tradursi con un aumento del livello di sicurezza e una diminuzione del rischio.

All'interno del PAC, tra le coste alte, è stata censita come tratto costiero ad "alta criticità" quello di Torre delle Stelle fra Genn'e Mari e Cann'e Sisa, della lunghezza di circa 2218 m (figura 17).

Comune	Sviluppo costiero comun. [m]	n° tratti franosi	Sviluppo tratti franosi [m]	% costa franosa	n° tratti ad alta criticità	Toponimi tratti alta criticità	Sviluppo tratti alta criticità [m]
MARACALAGONIS	5.317	3	3.041	57%	1	Torre delle Stelle;	2.218

**Figura 17 - Dati dal Programma d' Azione Coste Sardegna (2013).**

Lo stesso PAC, relativamente alle coste basse, ha classificato con vari livelli e differente “valutazione preliminare di criticità” tutte le spiagge comprese all’interno dell’area pilota, classificando ad “alta criticità” le spiagge di Genn’e Mari e Cann’e Sisa.

### **Opere ed elementi a rischio**

Tutta l’area costiera di riferimento è esposta alle dinamiche meteo marine stagionali. Si è osservato inoltre che gli eventi alluvionali connessi alle dinamiche torrentizie costiere più intense sono concomitanti con gli eventi marittimi di maggiore ondatazione dal II quadrante. Gli elementi a rischio principali sono attualmente rappresentati dall’edificato residenziale stagionale (Villaggi di Geremeas, Torre delle Stelle e Solanas) e dalle infrastrutture primarie e secondarie che occupano le zone di piana costiera ma anche dalle abitazioni prospicienti i coronamenti delle falesie e delle scarpate; la presenza di opere antropiche come strade e sentieri di accesso alle abitazioni, spiagge e calette, presentano elevate pendenze che favoriscono processi di ruscellamento superficiale sia areale che lineare in quanto il più delle volte non dotate di adeguato sistema di smaltimento delle acque bianche. In concomitanza con eventi alluvionali possono verificarsi anche fenomeni assimilabili ai debris flow che possono trasportare verso valle materiale detritico anche di notevoli dimensioni.

## **Conclusione**

### **Sintesi delle problematiche del sito**

Nel Sito, al di là della vulnerabilità naturale legata all’ambiente costiero e alla morfodinamica associata, alla base dello stato di squilibrio geomorfologico più o meno conclamato deve considerarsi la stratificazione di problematiche, talvolta concomitanti, sia legate direttamente alle dinamiche di ambito costiero marittimo che alle dinamiche fluvio torrentizie e del contesto idrografico generale.

In sintesi:

- Riduzione degli stock sabbiosi emersi di taluni compendi, in particolare quelli dunari anche per deliberata sottrazione in epoca recente;
- Periodici eventi alluvionali a carico dei sistemi torrentizi drenanti;
- Obliterazione di tronchi idrici vallivi;
- Concentrazione degli edifici e incremento della capacità erosiva per diminuzione degli spazi di laminazione e concentrazione dei reticoli di drenaggio;
- Stato di manutenzione degli alvei principali con tendenziale riduzione degli apporti torrentizi per sovralluvionamento di tratti del tronco principale.

In riferimento al tratto di costa “alta” le problematiche di maggior rilievo, legate essenzialmente alla pericolosità geomorfologica, si riscontrano lungo il perimetro costiero con particolare riferimento alle falesie ed ai versanti del promontorio di Torre delle Stelle, estremamente urbanizzato (figura 18).

L’assetto morfostrutturale del tratto costiero in esame, tuttavia, non determina un livello “elevato” di pericolosità per frana anche grazie alla presenza di litologie particolarmente competenti e resistenti all’alterazione; una significativa riduzione del rischio la si potrebbe ottenere verificando le condizioni geostatiche locali dei versanti e delle falesie prospicienti alle opere antropiche presenti e ipotizzando eventuali opere di consolidamento che potrebbero essere realizzate solo dopo avere considerato le caratteristiche di contorno delle aree a rischio.



**Figura 18 - Confronto del tasso di urbanizzazione del promontorio di Torre delle Stelle tra il 2015 e gli anni '60.**

### **Rappresentatività transfrontaliera del sito**

Il sito, per le sue caratteristiche fisiografiche, ecosistemiche ed ambientali, rappresenta un'area dove è evidente la necessità di adottare un approccio integrato alla pianificazione attraverso l'analisi dei principali aspetti ambientali (bilancio sedimentario, moto ondoso, habitat ed ecosistemi, etc.).

Inoltre, per le sue caratteristiche territoriali ed urbanistiche peculiari e per la presenza diffusa di elementi a rischio, risulta significativa per la gestione del rischio costiero ai fini della strategia transfrontaliera e per la sua applicazione in aree con caratteristiche fisiografiche comparabili.

Oltre che per gli aspetti specifici connessi al "rischio da erosione costiera", gli elementi che rendono l'area significativa per gli aspetti transfrontalieri sono configurabili nei suoi caratteri geologici, geomorfologici ed ecosistemici riscontrabili in tutte le altre regioni transfrontaliere.

Il Sito è stato considerato rappresentativo di un settore costiero della Sardegna caratterizzata da una varietà di spiagge a tasca poco incassate, alcune fra aggetti rocciosi o ai piedi di versanti sia in roccia cristallina che su litofacies detritiche antiche, altre direttamente e periodicamente alimentate dalle aste torrentizie dei bacini ad esse sottesi.

Si tratta di compendi con tali assetti geomorfologici resilienti e che dunque non dovrebbero essere particolarmente vulnerabili all'erosione costiera; nella pratica tuttavia si trovano ad essere esposti, almeno in parte, a tutta una serie di perturbazioni dovute alle urbanizzazioni della frangia litorale e alla crescita dell'insediamento turistico che hanno indotto dissesti idrogeologici di varia natura ed entità.

In particolare, l'impermeabilizzazione delle superfici insediate, soprattutto quelle a pendenza significativa, l'obliterazione degli alvei, la riduzione e la concentrazione spazio temporale degli apporti idrici, il sovraffollamento delle spiagge, le esondazioni associate agli eventi intensi in ambiti a fasce torrentizie compromesse, nonché la deliberata sottrazione di ingenti volumi sabbiosi dunari, hanno creato effetti collaterali tanto indesiderati quanto non compatibili con l'assetto insediativo, sia sulle spiagge che nelle aree contermini. A ciò si aggiunga il fatto che le principali aste fluviali terminanti a mare (Rio Solanas soprattutto e Rio Geremeas), non beneficiando della manutenzione ordinaria dei sedimenti depositi in alveo, non possono garantire il consueto ripascimento naturale in condizioni di morbida.

Analogamente, l'area di Torre delle Stelle possiede sicuramente un elevato valore ambientale e paesaggistico e rappresenta una delle zone più frequentate della costa meridionale sarda; essa è particolarmente frequentata nel periodo estivo quando la popolazione può superare le 10.000 presenze. Nell'area sono presenti numerose abitazioni (alcune centinaia), talvolta edificate su dei versanti particolarmente acclivi o prospicienti alle falesie. Un aspetto della rappresentatività transfrontaliera del sito è dato dal fatto che siano presenti una serie di caratteristiche che permetterebbero di approfondire le conoscenze relativamente ai processi gravitativi che interessano ambiti di falesia su litotipi granitoidi ampiamente diffusi in tutto il bacino del

mediterraneo (correlazione con altre aree partner: es. Corsica, Provenza). L'interazione del substrato litoide con l'erosione marina, potrebbe essere utile per valutarne la vulnerabilità rispetto all'incremento dell'energia del moto ondoso. La presenza di numerosi processi di dissesto attivi con i loro tempi di ritorno particolarmente brevi, potrebbero dare dei dati statistici utili sulla dinamica morfologica costiera.

## Bibliografia

Atzori P. & Traversa G. (1986) - Post-granitic permo-triassic dyke magmatism in eastern Sardinia (Sarrabus p.p., Barbagia, Mandrolisai, Goceano, Baronie and Gallura). *Per. Mineral.* 55: 203- 231, Roma.

Belluomini G., Branca A., Delitala L., Pecorini G. & Spano C. (1986) - Isoleucine Epimerization Dating of Quaternary Marine deposits in Sardinia, Italia. *Zeit. Geomorph., N.F., Suppl. Bd.*, 62: 109-117, Stuttgart.

Barca S., Melis E., Annino E., Cincotti F., Ulzega A., Orrù P. & Pintus C. (2005) - Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 557 "Cagliari". *Serv. Geol. d'It., Reg. Auton. Sardegna, S.EL.CA.*, 240 pp., Firenze.

Brotzu P., Callegari E. & Secchi A. (1993). The search for the parental magma of the high-K calc-alkaline igneous rock series in the southernmost Sardinian Batholith. *Per. Mineral*, 62, 253-280.

Coli M., Castorina T. & Livi E. (2011) - Geostructural prospecting for the geomechanics characterization of a granitic rock-mass: the case history of the Terra Mala area (Sardinia, Italia). *Rendiconti online Soc. Geol. It.*, Vol. 15 (2011), pp. 43-47.

Comaschi Caria I. (1959a) - Il Miocene in Sardegna. *Boll. Soc. Geol. It.*, 77: 183-198, Roma.

Dean R.G. (1973) - Heuristic models of sand transport in the surf zone. *Proc. Conf. On Engineering Dynamics in the Surf Zone*, Sydney, N.S.W., pp. 208-214.

De Muro S., Ibba A. & Kalb C. (2015) - Morpho-sedimentology of a Mediterranean microtidal embayed wave dominated beach system and related inner shelf with *Posidonia* oceanic meadows: the SE Sardinian coast. *Journal of Maps*, pp. 15.

Di Gregorio F., Federici P.R., Fierro G. & Ginesu S. (1998) - Atlante delle spiagge della Sardegna, Fogli (167, 168, 179, 180, 192, 199, 205, 208, 219, 216, 224, 227, 232, 234, 235, 239) R.A.S, Cagliari.

Di Gregorio F., Atzeni A., De Muro S. & Piras G. (2004) - Carta del Rischio Geoambientale nelle coste della Sardegna - 2004 pubblicato unitamente a: Di Gregorio F., Federici P.R., Fierro G., Ginesu S. - Atlante delle spiagge della Sardegna.

Geological Society of London (1995) - The description and classification of weathered rocks for engineering purposes - Group Working Party Report, *Quarterly Journal of Engineering Geology* n° 28.

Ghezzi C. & Orsini J.B. (1982) - Lineamenti strutturali e composizionali del Batolite ercinico sardo- corso in Sardegna. In: L. Carmignani, T. Cocozza, C. Ghezzi, P.C. Pertusati & C.A. Ricci (Eds.): «Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo». *Guide Geologiche Regionali*, Soc. Geol. It., 165-181, Roma.

Hearthy P.J., Bonfiglio L., Violanti D. & Sazo B.J. (1986) - "Age of late Quaternary marine deposits of Southern Italia determined by aminostratigraphy, faunal correlation and uranium-series dating". *Riv. It. Paleont. Strat.*, 92: 149-164, Milano.

Kalb C. (2008) - I sedimenti superficiali della piattaforma interna del Golfo di Cagliari. Relazioni tra moto ondoso, correnti indotte e processi di sedimentazione su sistemi di spiagge campione - Dottorato di ricerca in Scienze della Terra - XX ciclo - Università di Cagliari.

Kindler P., Davaud E. & Strasser A. (1997) - Tyrrhenian coastal deposits from Sardinia (Italia): a petrographic record of high sea level and shifting climate belts during the last Interglacial (isotopic substage 5e). *Paleo3*, 133: 1-25, Amsterdam.

Komar P.D. (1998) - Beach Processes and Sedimentation, Chp. 04 - The Changing Level of the Sea, Prentice Hall.



Masselink G. & Hughes M.G. (1996) - Application of an energetics- based model to sediment transport in the swash zone. A field study. *Continent. Shelf Res.*, submitted.

Masselink G., Hughes M.G. & Knight J. (2011) - *Introduction to Coastal Processes & Geomorphology*, 2nd edition ed., Hodder Education, London.

Wright L.D. & Short A.D. (1984) - Morphodynamic variability of surf zone and beaches. *Marine Geology* 56: 93-118.

Masselink G. & Short A.D. (1993) - The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model, *J. Coastal Res.*, 9: 785-800.

Nicoletti M., Ardanese L.R. & Colasanti S. (1982). La granodiorite di Capo Carbonara (Sardegna-Italia). Età K/Ar di fasi minerali in paragenesi. *Rend. Soc. It. Mineral. Petrol.*, 38 : 765-769.

Ozer A., Paskoff P. & Ulzega A. (1980) - Essai de corrélation du Pleistocène supérieur de la Sardaigne et de la Tunisie. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 291: 801-804, Paris.

Pirinu N., Brotzu P., Callegari E. & Secchi F. (1996). Age and field relationship of albite-rich monzosyenite intruded into the Sarrabus granitoids (SE Sardinia, Italia). *Per Mineral.*, 65: 289-304.

Ronca S. & Traversa G. (1996) - Late Hercynian dyke magmatism of Sarrabus. *Per. Mineral.*, 65: 35-70, Roma.

Serrelli A. (2007) - Database geografico e applicazioni GIS orientate allo studio geomorfologico quantitativo e alla mappatura della pericolosità idrogeologica del bacino idrografico del rio Solanas (Sardegna SE). Tesi di Dottorato di Ricerca in Difesa del Suolo (Università di Cagliari).

Sole F.M. (2015) - Valutazione della vulnerabilità delle coste della Sardegna a fenomeni di erosione ed inondazione dovuti all'impatto degli eventi estremi meteo- marini. Dottorato di Ricerca in Difesa e conservazione del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica - Ciclo XXVIII, p.154. Università di Cagliari.

Sulis A. in press - Minor structures for the improvement of wave disturbance in a small harbor. *Advances in Civil Engineering*.

Ulzega A. & Ozer A. (1982) - Comptes-Rendus de l'Excursion-Table rond sur le Tyrrhénien de Sardegna orientale. *INQUA*, pp. 110, Cagliari.

Ulzega A. & Hearty J.P. (1986) - Geomorphology, Stratigraphy and Geochronology of late Quaternary marine deposits in Sardinia. *Z. Geomorph., N.F., Suppl. Bd.*, 62: 119-129, Stuttgart.

Vardabasso S. (1956) - Il Quaternario della Sardegna. *Atti IV Congr. Intern. Quat. Rome-Pisa*, 1953, 2: 995-1018.



## **Rapresentatività dei siti e interessi transfrontalieri**

L'analisi delle monografie dei siti pilota selezionati dai partner del progetto MAREGOT mostra che queste sono estremamente diversi in termini di caratteristiche geologiche e geomorfologiche (lido, spiagge di tasche, spiagge urbane, scogliere), ma anche in termini di grado di naturalità tra ambienti naturali, in via di sviluppo, e ambienti altamente artificiali.

La sintesi qui proposta illustra questa variabilità dimostrando il principali vantaggi di questi siti per capire il loro comportamento che risulta di entrambi i processi fisici naturali e da azioni umane. Questa vasta diversità dei casi e temi incontrati consentirà evidenziare soluzioni di gestione comuni a livello transfrontaliero.

## **Sintesi**

La seguente tabella (Figura B) riunisce le principali caratteristiche dei diversi siti, nonché il loro interesse metodologico e il loro interesse in una prospettiva di gestione transfrontaliera.

Site	Geomorfologia	Gestione	Interesse metodologico	Interesse transfrontaliero
<b>Vieux-Salins d'Hyères (FR)</b>	Costa sabbiosa, lido	Naturale	Smantellamento delle protezioni della zona litoranea adiacente	Esperimento pilota per la rinaturalizzazione di una costa sabbiosa Interesse ecologico (prate di Posidonia oceanica)
<b>Vieux-Moulin Grimaud (FR)</b>	Spiaggia di tasca	ripascimento opere di difesa	Piano di gestione dell'erosione	Metologia di gestione innovativa Dimensionamento delle strutture
<b>Veillat Saint-Raphael (FR)</b>	Spiaggia di tasca urbane	ripascimento	Piano di gestione dell'erosione	Metologia di gestione innovativa
<b>Riviera Ligure di Levante (IT)</b>	Spiagge di tasche e coste alte	Opere di difesa sulle spiagge	Approccio integrato regionale Strategia completa di gestione dell'erosione su spiagge e coaste alte	Lineare costiero misto con spiagge e coste alte Sovrapposizione degli usi (sviluppo del porto, aree turistiche, parchi naturali) Continuità territoriale Regione PACA - Liguria - Toscana
<b>Bocca di Magra e Marina di Massa (IT)</b>	Costa sabbiosa, lido	Opere di difesa sulle spiagge	Impatto delle opere su la spiaggia naturale Modellistica operativa dei rischi costieri	Usi diversi della costa (attività balneari, porti) Spiagge sviluppate con opere di difesa Sviluppi tecnologici in modellistica
<b>Senzuno (IT)</b>	Spiagge di tasche	Ripascimento e opere di difesa	Dimensionamento delle strutture	Svilupamento metodologico sulle opere esistenti
<b>Pratoranieri (IT)</b>	Spiagge di tasche	Ripascimento e opere di difesa	Ripascimento con una granulometria superiore	Svilupamento metodologico sulle opere di ripascimento
<b>San Vincenzo (IT)</b>	Costa sabbiosa Lido	Infrastrutture portuari e opere di difesa	Impatto delle opere sul litorale naturale Approccio integrato sul litorale	Sperimentazione pilota Sviluppi metodologici sulla conoscenza del stock sedimentario e dinamica dei sedimenti
<b>Parco regionale della Maremma (IT)</b>	Costa sabbiosa, lido a prossimità della foce del fiume	Ripascimento, modifiche del profilo di spiaggia	Gestione dinamica del bilancio sedimentario Progetto di reequilibrio del litorale al nord della foce, Foce del fiume dinamica	Esperimento pilota di reequilibrio della dinamica sedimentaria Impatti delle opere di difesa su una coast naturale e protetta
<b>Calvi (FR)</b>	Spiaggia di tasche	barriere	Monitoraggio a lungo termine	Svilupamento metodologico sul monitoraggio Monitoraggio degli impatti delle mareggiate
<b>Moriani (FR)</b>	Coste basse sabbiose	Ripascimento	Monitoraggio a lungo termine	Svilupamento metodologico sul monitoraggio Monitoraggio degli impatti delle mareggiate Monitoraggio dei ripascimenti
<b>Bastia (FR)</b>	Coste basse sabbiose	Progetto portuario	Monitoraggio a lungo termine	Svilupamento metodologico sul monitoraggio Monitoraggio degli impatti delle mareggiate Monitoraggio della spiaggia naturale con progetto portuario

Siti	Geomorfologia	Gestione	Interesse metodologico	Interesse transfrontaliero
<b>Aléria – Ghisonnaccia (FR)</b>	Coste basse sabbiose foce	Naturale	Modelistica dei rischi di inondazione marina	Svilupamento metodologico di caratterizzazione dei rischi costieri Gestione delle crisi
<b>Capo Altano (IT)</b>	Coste alte	Naturale	Gestione del rischio geologico (frane)	Sito rappresentativo delle coste alte vulcaniche (Massif des Maures)
<b>Capo Mannu (IT)</b>	Coste alte	Naturale	Gestione del rischio geologico (frane)	Sito rappresentativo delle coste alte silico-clastiche (Corse, Var, Liguria)
<b>Sella del Diavolo (IT)</b>	Coste alte	Naturale	Strategia integrata di prevenzione dei rischi geologici gravitari	Sito rappresentativo delle coste alte calcarie (Bonifacio in Corsica, Calanques in Provence)
<b>Villaggio Nurra (IT)</b>	Coste alte	Naturale	Gestione del rischio geologico (frane)	Sito rappresentativo delle coste alte con alta probabilità di frane (es : Liguria)
<b>Santa-Margherita (IT)</b>	Spiagge di tasche e Coste alte	Opere di difesa sulle coste sabbiose	Approccio integrato locale Strategia globale di gestione dell'erosione delle spiagge e coste alte Ruolo dei fiumi sul bilancio sedimentario Impatto delle opere di difesa	Lineare misto spiagge/ coste alte
<b>Torre delle Stelle (IT)</b>	Spiagge di tasche e Coste alte	Opere di difesa sulle coste sabbiose	Strategia globale di gestione dell'erosione delle spiagge e coste alte	Lineare misto spiagge/ coste alte Sito rappresentativo delle coste alte granitiche (Corsica, Provence)

**Figura B : Caratteristiche principale dei siti pilota del progetto MAREGOT**

## Specificità dei siti MAREGOT

Spiagge di tasche, coste basse, scogliere, coste miste: i siti pilota del progetto MAREGOT sono molto diversi. Questa diversità è una garanzia della re-applicabilità dei contributi del progetto MAREGOT a beneficio del territorio MARITIMO e, per estensione, delle zone costiere del Mediterraneo.

Resta tuttavia che particolari specificità possono essere evidenziate in questo inventario delle monografie.

## **Scala spaziale dei siti e contrinuti associati**

L'analisi dei vari siti mostra che essi coprono un ampio spettro spaziale da spiagge semplici (ad esempio la spiaggia di Veillat a Saint-Raphel) a zone costiere miste e complesse di scala locale (Santa-Magherita) o regionali (Riviera di Levante). Le varie azioni e metodologie implementate in MAREGOT copriranno quindi questo spettro e quindi apportare miglioramenti delle conoscenze e metodi di gestione a queste diverse scale, da un piano di gestione locale (sviluppo, ripascimento) a strategie regionali.

## **Sviluppi metodologici**

Gli sviluppi metodologici realizzati nel progetto MAREGOT, testati e implementati sui vari siti, andranno a beneficio dell'intera comunità scientifica e tecnica e dei gestori dell'area transfrontaliera.

Questi sviluppi sono di diversi tipi:

- Monitoraggio dell'evoluzione della costa, con, ad esempio, l'implementazione di nuovi sistemi video in Corsica, e sistemi batimetrici in Toscana a San Vincenzo per la conoscenza degli stock e delle dinamiche sedimentarie;
- Modellizzazione del rischio di inondazione marina con un sito pilota dedicato sulla costa bassa di Aléria, con una forte componente di gestione delle crisi, guidata dal SDIS Haute-Corse;
- Sperimentazione di ottimizzazione dei metodi di gestione dell'erosione in Toscana, con monitoraggio specifico sul ridimensionamento delle strutture di Senzuno e sul ripascimento con ghiaia in Pratoranieri.

## **Approccio dell'erosione delle coste alte**

I siti pilota scelti dai partner italiani della Regione Liguria e della Regione Autonoma della Sardegna sono coste alte o coste miste spiagge/coste alte.

Lo spettro geologico coperto dai diversi siti è molto ampio in termini di litologia e copre quasi tutta la geologia della Costa Sarda: calcare, arenaria, granito, rocce vulcaniche. Queste caratteristiche geologiche si trovano lungo le coste della zona Marittimo, come in Corsica (granito, calcare) o Provenza-Alpi-Costa Azzurra (calcare) o la regione Liguria (scisti, gnesi), ma anche alla scala dei paesi europei della faccia mediterranea (Croazia, Grecia, Spagna, ...).

Un'attenzione particolare è rivolta anche alla conoscenza dei processi di erosione delle coste alte legati all'azione delle onde in questi diversi contesti litologici. Questo campo di lavoro è molto innovativo perché la determinazione delle principali forzature responsabili della destabilizzazione delle falesie costiere (deflusso, tettonica, agenti marittimi) rimane molto complessa. L'interazione tra falesie e spiagge è anche evidenziata prendendo in considerazione i volumi rocciosi in termini di fonte sedimentaria per la spiaggia dopo il rimodellamento dovuto all'azione delle onde.

Tutto il lavoro svolto andrà indirettamente a beneficio del litorale roccioso delle coste alte della regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra in Francia, in particolare del dipartimento del Var e delle Alpi Marittime (Costa Azzurra).

## **Impatti delle opere di difesa contro il mare**

La maggior parte dei siti pilota di spiagge, aperte o di tasche, sono stati sottoposti a lavori di sviluppo, che hanno avuto un forte impatto sulla stabilità della linea di riva locale e / o sulle

coste adiacenti. La gran diversità dei siti pilota consente quindi di definire un catalogo quasi esauriente di soluzioni di gestione su spiagge microtidali e l'intera zona transfrontaliera beneficia di questo ritorno di esperienza (dimensionamento delle strutture, riconfigurazione, ecc.). . Questa esperienza porterà sicuramente beneficio anche ai siti pilota che saranno oggetto di piani di intervento locali con la costruzione di opere (Vieux salins Grimaud o Arinella in Bastia). Infine, gli esperimenti che verranno fatti sui lavori (ridimensionamento delle dighe a Senzuno, rimozione di difese rocciose a Hyères), porteranno sicuramente un sacco di conoscenze utile per molte altre aree costiere.

## **Gestione del rischio costiero**

In tutti i siti pilota, i metodi di gestione del rischio di erosione sono molto diversi a seconda dei fenomeni studiati. Pertanto, per le frane sulle coste rocciose, le monografie evidenziano che le misure restrittive di riduzione del rischio, limitando l'accesso ad esempio, sono favorite rispetto al lavoro di rinforzo. Sulle spiagge, è invece il contrario a favorire l'implementazione della mitigazione mediante la costruzione di strutture o il ripascimento artificiale. Tuttavia, nella maggior parte dei siti, è chiaro che i diversi metodi di mitigazione devono essere basati sugli studi più completi possibili, tenendo conto i processi fisici naturali e la loro evoluzione nel tempo lungo.

Per quanto riguarda il rischio di inondazione per il mare, viene preso principalmente in considerazione in un approccio operativo di gestione delle crisi sul sito di Aléria, ma le tecniche di videosorveglianza possono anche fornire informazioni rilevanti sui processi coinvolti, e quindi rinforzare un sviluppo metodologico riproducibile alla scala transfrontaliera.





## Conclusione

Questo rapporto corrisponde al risultato dell'attività T2-6. Contiene le diverse monografie di ciascuno dei siti pilota, in un formato di compilazione di articoli, prodotto dall'intero partenariato del progetto MAREGOT. Ogni monografia presenta le principali caratteristiche dei siti pilota:

- Contesto fisiografico, geologico e geomorfologico;
- specificità degli ecosistemi;
- dati e conoscenze disponibili sui processi costieri, i rischi e le caratteristiche geologiche;
- un breve inventario delle problematiche sulla zona litorale;
- tendenze di evoluzione del litorale a medio e / o lungo termine sulle spiagge sabbiose, ovvero sulla costa bassa) o sulle scogliere rocciose (ad es. costa alta);
- inventario dei rischi costieri e dei piani di prevenzione e gestione che possono essere attuati.

L'analisi delle monografie sui siti pilota scelti dai partner del progetto MAREGOT mostra che essi sono estremamente diversi in termini di caratteristiche geologiche e geomorfologiche (Lido, pocket beach, spiagge urbane, falesie costiere), ma anche in termini di grado naturalità tra ambienti naturali, in via di sviluppo, e ambienti altamente artificiali. Questa diversità è una garanzia di re-applicabilità dei contributi del progetto MAREGOT su tutto il territorio MARITIMO, in particolare:

- Alle scale spaziali dei siti che coprono un ampio spettro dalle spiagge semplice alle coste complesse (spiagge / scogliere / coste alte). Le varie azioni e metodologie implementate in MAREGOT copriranno quindi questo spettro e quindi miglioreranno le conoscenze utile per il sviluppo di metodi di gestione a queste diverse scale, da un piano di gestione locale (sviluppo, ripascimento) a strategie regionali;
- A livello degli sviluppi metodologici attuati sui vari siti (monitoraggio dell'evoluzione del litorale, modellizzazione dei rischi di inondazione marina, ottimizzazione dei metodi di gestione dell'erosione);
- A livello di un approccio specifico all'erosione delle falesie costiere, insistendo sulla diversità litologica tipica delle coste sarde che si ritrovano lungo il litorale del territorio MARITIMO (Corsica, Provenza-Alpi-Costa Azzurra, regione Liguria) ma anche in altri paesi europei della faccia mediterranea (Croazia, Grecia, Spagna, ...); sulla conoscenza dei processi di erosione delle coste alte legati all'azione delle onde; e sull'interazione delle coste alte e spiagge;
- a livello della conoscenza dell'impatto delle strutture di difesa con un catalogo quasi esauriente delle soluzioni di gestione e dei loro effetti sulle spiagge microtidali; e gli esperimenti che verranno fatti sui lavori (ridimensionamento delle dighe a Senzuno, rimozione di opere rocciose a Hyères);
- A livello di metodi di gestione del rischio costiero, mitigazione riducendo il rischio attuando sull'esposizione sulle coste alte e sulle spiagge.

Tutte le azioni che saranno condotte sui siti pilota consentiranno allo sviluppo concertato delle strategie di gestione transfrontaliere del rischio di erosione costiera e di inondazione marina, tenendo conto delle specificità normative locali.