



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Relazione della componente T3

UNIGE DISTAV - Dipartimento di Scienze della Terra
dell'Ambiente e della Vita

Version 1 - 30 Settembre 2020

La coopération au cœur de la Méditerranée

Sommario

| | |
|--|----|
| Premessa | 2 |
| 1.Relazioni specialistiche per area pilota (T.3.1.1.) | 2 |
| 1.1 Sintesi relazione specialistiche Regione Liguria | 2 |
| 1.2 Sintesi relazione specialistiche Regione Toscana | 6 |
| 1.3 Sintesi relazione specialistiche Regione Sardegna | 8 |
| 1.4 Sintesi relazione specialistiche Office de l’Environment de la Corse | 12 |
| 1.5 Sintesi relazione specialistiche Conservatoire du littoral | 14 |
| 1.6 Sintesi relazione specialistiche Department du VAR | 17 |
| 2. Piani di intervento per area pilota con misure e priorità di intervento specifiche (T 3.2.2) ... | 20 |
| 2.1 Piano di intervento Regione Liguria | 20 |
| 2.2 Piano di intervento Regione Toscana | 22 |
| 2.3 Piano di intervento Regione Sardegna | 24 |
| 2.4 Piano di intervento Office de l’Environment de la Corse | 26 |
| 2.5 Piano di intervento Conservatoire du littoral | 26 |
| 2.6 Piano di intervento Department du VAR | 27 |
| 3. Piattaforma transfrontaliera di modellizzazione, simulazione, pianificazione e formazione (T3.2) | 29 |
| 4.Interventi sperimentali per la rinaturalizzazione della costa e del ripristino delle dinamiche naturali (T3.3 & T3.4) | 30 |
| 4.1 Conservatoire du Littoral: Rinaturalizzazione del sito delle Vecchie Saline Hyeres (infrastruttura verde) | 30 |
| 4.2 Département du VAR: Opera sperimentale di previsione dei rischi di erosione costiera (infrastruttura verde) | 32 |
| 5.Conclusioni | 33 |

Premessa

La component T3 ha previsto l'applicazione delle metodologie transfrontaliere per la redazione dei piani di intervento lungo le aree pilota individuate dai partner del progetto; il riconoscimento dei principi generali e l'adozione di una strategia congiunta e transfrontaliera ha permesso di individuare le criticità comuni all'interno delle aree pilota dei rispettivi partner, attraverso l'utilizzo di metodologie comuni e piani di intervento mirati al ripristino dell'equilibrio ambientale dei litorali e alla valorizzazione del bene naturale. La cooperazione, realizzata all'interno del progetto MAREGOT, ha permesso di accelerare i processi decisionali attraverso l'acquisizione di metodologie consolidate nata dal confronto tra i partner e con gli stakeholders in accordo con il "protocollo sulla Gestione Integrata delle Zone Costiere"(GIZC).

Le metodologie comuni individuate durante la component T2 sono state applicate su differenti scale spaziali e temporali, in funzione dei dati raccolti dai singoli partner nelle rispettive aree di studio e delle differenti caratteristiche morfologiche e urbanistiche che sono emerse in questa fase. In prima analisi, è stato possibile constatare che le metodologie individuate in questo progetto hanno prodotto risultati omogenei e confrontabili sulle differenti aree pilota ed hanno prodotto un quadro comune in tutta l'area interessata dal progetto.

Questa fase ha previsto: una raccolta dati con eventuali integrazioni; rilevamenti specifici di campagna ed elaborazione dei dati ottenuti; gestione e valorizzazione dei dati raccolti attraverso applicazioni informatiche; descrizione delle dinamiche e trend individuati; analisi delle criticità e proposta di misure in risposta a queste.

In generale, i piani di intervento hanno prodotto un efficace modello per la gestione delle aree costiere con caratteristiche fisiografiche comparabili e hanno garantito la partecipazione dei soggetti pubblici in funzione di uno sviluppo integrato della fascia costiera.

Inoltre, è stata realizzata una piattaforma di modellizzazione e simulazione multirischio messa a punto dal SIS2B.

Infine, sono stati eseguiti due interventi, basati su un approccio di tipo naturalistico (infrastrutture verdi), nei quali sono state ripristinate aree precedentemente compromesse mediante la costruzione di opere a basso impatto ambientale.

1.Relazioni specialistiche per area pilota (T.3.1.1.)

1.1 Sintesi relazione specialistiche Regione Liguria

Il sito pilota è situato nell'estremo 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 e raggiunge un'estensione di circa 110 km. 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. 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; all'interno del territorio sono presenti aree protette di livello nazionale e regionale: Parco Nazionale delle Cinque Terre, Parco regionale di Portovenere e Parco regionale di Montemarcello Magra.

La suddetta area è suddivisa in sette unità fisiografiche, da ponente a levante:

- Moneglia, da punta Baffe a Punta Rospo;
- Deiva, da Punta Rospo a Punta Monte Grosso;
- Ghiararo, da Punta Monte Grosso a Punta Mesco;
- Cinque Terre, da Punta Mesco a Punta di Montenegro;
- Muzzerone, da Punta Montenegro a Capo dell'isola;
- Golfo della Spezia, da Capo dell'isola a Punta Santa Teresa;
- Magra, da Punta Santa Teresa al torrente Parmignola.

Il regime del moto ondoso è caratterizzato dai mari provenienti da Sud-Ovest (Libeccio), mentre le ondazioni secondarie provengono da Sud (Mezzogiorno). Le agitazioni provenienti da Sud-Est risultano poco incisive sulle dinamiche costiere, in quanto il *fetch* risulta limitato; 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. Lo studio dei principali processi idrodinamici costieri è stato condotto utilizzando una catena modellistica che ha permesso di descrivere la propagazione del moto ondoso da largo a riva; questo ha permesso di valutare le criticità delle singole unità fisiografiche, come l'erosione dei litorali, l'impatto di mareggiate estreme e le conseguenze del sollevamento del livello medio mare a causa dei cambiamenti climatici.

Nell'ambito dell'Azione T3 è stata realizzata una mappatura di dettaglio, in scala 1.10.000 dei principali popolamenti bentonici marini; come base di partenza è stato utilizzato l'"Atlante degli habitat marini della Liguria" edito dalla Regione Ligure, nella versione del suo aggiornamento

cartografico del 2009, che ha prodotto una cartografia in scala 1:10.000 dei principali popolamenti bentonici tra 0 e 50 metri di profondità, già disponibile in formato GIS. A partire da tale livello informativo, le perimetrazioni e i relativi dati qualitativi sono stati aggiornati utilizzando principalmente i nuovi dati acquisiti con le indagini territoriali condotte.

In estrema sintesi viene confermato che i fondali marino-costieri dell'area presentano una buona varietà di habitat e popolamenti. Le praterie di *Posidonia oceanica* rivestono in questo settore costiero una superficie molto ridotta rispetto ad altre situazioni liguri ma si tratta probabilmente di una situazione fisiologica in quanto il settore di ponente dell'ambito è caratterizzato prevalentemente da alte falesie la cui interazione con il moto ondoso può restringere notevolmente la fascia di fondale colonizzabile da questa pianta marina; la parte di levante è invece fortemente condizionata dal fiume Magra, anch'esso elemento limitante per lo sviluppo dei posidonieti.

Invece gli habitat delle coste sabbiose, sono collocate principalmente nell'ultimo tratto di costa, alla foce del Magra, dove generalmente risiedono specie indicate come flora psammofila e alofila; tali ambienti naturali sono particolarmente vulnerabili rispetto agli usi antropici della costa e sono stati inclusi fra gli habitat meritevoli di salvaguardia nella direttiva comunitaria 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e della fauna selvatiche.

Lo studio del bilancio sedimentario delle spiagge è stato effettuato attraverso l'analisi dei dati acquisiti mediante rilievi batimetrici multibeam realizzati tra il 2010 e il 2019. Da questi rilievi è stato ricavato un modello digitale del fondale con maglia 1x1 m, utilizzando il software Global Mapper. L'indagine ha riguardato la fascia compresa tra 1.5 m e 30 m di profondità. L'evoluzione della spiaggia sommersa è stata indagata attraverso il confronto tra rilievi batimetrici storici (1878 e 2006) ed il rilievo multibeam realizzato nel 2010. Ovviamente le diverse metodologie utilizzate per il rilievo e soprattutto la diversa scala dei rilievi non permettono un confronto quantitativamente attendibile ma possono essere comunque molto utili per un'analisi qualitativa ed una stima semi-quantitativa delle variazioni morfologiche e volumetriche della spiaggia sommersa.

In generale si possono individuare tre tipologie di spiagge in funzione della loro tendenza evolutiva che dipende sostanzialmente dagli apporti naturali e artificiali e dalla configurazione morfologica del contesto in cui si situano e da quella delle eventuali opere di difesa. La prima categoria rappresenta le spiagge di origine prettamente artificiale, create nel secolo scorso dalle

discariche antropiche; Alla seconda categoria appartengono quelle spiagge, in passato anche di origine naturale, ma ormai prevalentemente artificiali e non alimentate in via naturale; La terza categoria, infine, rappresenta quelle spiagge che sono alimentate naturalmente dai corsi d'acqua e che necessitano solo di un'eventuale revisione delle opere di difesa al fine di sfruttare al meglio e stabilizzare l'input sedimentario che le interessa.

Congiuntamente, è stata valutata l'instabilità del sistema unitario costiero, riferito alle coste alte, attraverso l'utilizzo delle informazioni raccolte dal portale cartografico di Regione Liguria sono state effettuati rilievi laser scanner da terra e aerofotogrammetrici da drone, finalizzati all'ottenimento di modelli topografici 3D e modelli digitali del terreno (DSM e DTM) ad elevato grado di dettaglio. All'interno dell'area pilota sono stati individuati alcuni siti più significativi dal punto di vista delle dinamiche geomorfologiche della costa alta rocciosa e degli scenari di rischio in termini di erosione costiera. I rilievi di dettaglio con tecniche di remote sensing hanno riguardato il settore di costa compreso tra le località di Monterosso al Mare e Riomaggiore, all'interno del territorio del Parco Nazionale delle Cinque Terre. L'insieme dei dati acquisiti è stato elaborato utilizzando tecniche e algoritmi di fotogrammetria automatica per generare modelli 3D ad una risoluzione costante di 20 cm. Successivamente, a tali modelli sono state applicate procedure di classificazione finalizzate alla rimozione di errori e disturbi. Dai modelli 3D classificati sono stati infine generati modelli digitali della topografia (DSM - Digital Surface Model e DTM - Digital Terrain Model) con risoluzione pari a 1 m. Nella fase seguente, sono stati individuati alcuni tratti di costa rappresentativi delle principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geomeccaniche dell'area pilota, oltre che significativi dal punto di vista degli scenari di propensione al dissesto e rischio da erosione, all'interno dei quali sono state effettuate indagini geomeccaniche di dettaglio. La metodologia adottata è basata sull'esecuzione di rilievi fotografici delle pareti di falesia con tecniche di stereoscopia terrestre, con lo scopo di valutare la qualità dell'ammasso roccioso, espressa attraverso gli indici RQD (Rock Quality Designation), RMR (Rock Mass Rating) e GSI (Geological Strength Index).

In aggiunta, è stato effettuato un'analisi delle tendenze evolutive per le principali spiagge e coste alte situate all'interno del sito pilota; l'evoluzione recente della linea di riva è stata analizzata attraverso l'utilizzo delle fotografie aeree zenitali, georeferenziate e, quando possibile, ortorettificate.

Sono state utilizzate le linee di riva dai voli bassi costieri realizzati dalla Regione Liguria con cadenza decennale a partire dal 1973 al 2013 e, come primo volo di confronto, il volo eseguito dalla Royal Air Force per motivi bellici nel 1944. Lo studio ha rivelato una sostanziale regressione

della linea di riva dal 1944 al 2013 in tutte le unità fisiografiche, fatta eccezione per le spiagge di Levanto e Monterosso al Mare, dove si registra una progradazione dovuta alla costruzione di opere marittime.

La tendenza evolutiva a breve termine delle coste alte è per lo più connessa ai fenomeni di instabilità a cinematica rapida (i.e. crolli, ribaltamenti e scivolamenti di roccia) e alla naturale dinamica geomorfologica della falesia. Tale evoluzione risulta particolarmente accentuata durante fenomeni meteomarini o eventi di pioggia intensi e prolungati, soprattutto lungo i tratti di costa impostati a falesia. La tendenza evolutiva a lungo termine riguarda prevalentemente i versanti costieri molto acclivi e rivestiti da coltri eluvio-colluviali, nella maggior parte delle situazioni sistemate a terrazzamenti agricoli sostenuti da muri a secco, e i grandi corpi di frana quiescente e relitta presenti lungo numerosi tratti dell'area pilota.

Per quanto concerne l'indagine condotta per il rischio costiero, è stato considerato il rischio a lungo e a breve termine; il primo è basato sull'impatto dei cambiamenti climatici che comportano un sostanziale aumento del sollevamento del livello medio mare fino ad 1.15 metri previsto per il 2100, comportando una sostanziale perdita di spiaggia emersa tutte le spiagge del sito; il secondo, invece, è stato calcolato valutando l'impatto degli eventi meteo marini estremi lungo la costa, mediante l'utilizzo di simulazioni numeriche in grado di elaborare le fasce di inondazione per le singole unità fisiografiche in funzione degli elementi a rischio presenti sul territorio; conseguentemente, con la stessa metodologia è stato valutato il rischio legato alle rip currents presenti in alcuni tratti di costa.

1.2 Sintesi relazione specialistiche Regione Toscana

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. La fascia costiera è costituita da depositi marini, lagunari e continentali, con prevalenza di ghiaie nella parte interna, di argille-limi e ghiaie in quella mediana, e di argille-limi e sabbie in quella esterna, con quest'ultime che occupano i livelli più alti e rappresentano depositi di spiaggia e di duna recenti ed attuali. Il tratto di litorale occupato dal delta del fiume Ombrone ha un andamento cuspidale con apice in corrispondenza della foce e orientato da nord-ovest a sud-est, risultando quindi prevalentemente esposta ai mari da Libeccio. L'intera area di studio è protetta dal promontorio di Punta Rocchette a nord-ovest, non risultano infatti eventi apprezzabili da angolazioni superiori ai 300°, che corrisponde appunto all'orientamento della

direttrice Rocchette-Bocca d'Ombrone. Sul lato opposto, verso sud, è il Monte Argentario ad annullare gli eventi meteomarini che abbiano una minima componente orientale: il settore di provenienza delle onde dal largo è quindi pari circa a 120°. La percentuale di calme è pari a circa il 68%. L'area ricade all'interno di due Siti di Importanza Comunitaria e Regionale (SIC/SIR) che ai sensi della classificazione della Rete Natura 2000 sono così identificati: SIC IT51A0039, SIR 113 e A113, (ZPS) Palude della Trappola e Bocca d'Ombrone, e SIC IT51A0015, SIR 115 Dune costiere del Parco dell'Uccellina.

Il bilancio sedimentario della spiaggia emersa e sommersa del sito pilota risulta complessivamente negativo per 45.894 m³/anno, determinato da un deficit di 86.564 m³/anno delle spiagge adiacenti la foce e di un surplus di 40.173 m³/anno delle spiagge laterali; bisogna comunque considerare che, mentre a sud il sistema è chiuso dal promontorio dei Monti dell'Uccellina, verso nord i sedimenti possono superare Marina di Grosseto, specie prima della costruzione del porto.

Per tutto il tratto che costituisce l'area campione è possibile effettuare il confronto fra il rilievo del 1998 e del 2019: La situazione si mostra decisamente preoccupante, con una erosione del lobo settentrionale del delta che in tre settori supera i 280 m (circa 13 m/anno), mentre su quello meridionale si raggiungono circa i 100 m (oltre 3,5 m/anno). Complessivamente fra il porto di Marina di Grosseto e Cala Rossa sono stati persi 374.000 m² di spiaggia.

Si può ipotizzare che questi trend procedano nella stessa direzione da qui al prossimo futuro, considerando che da diversi decenni si osservano tassi erosivi di queste entità e non vi sono sintomi di inversioni di tendenza, se non nei tratti in cui sono stati effettuati interventi di ripristino e difesa della costa. Ad ora l'imponente erosione ha causato il taglio dei *beach ridges* che un tempo convergevano alla foce. Questo permette all'acqua marina di raggiungere gli stagni interdunari, compromettendo la vegetazione igrofila d'acqua dolce e della pineta costiera. Deve essere quindi valutata l'utilità dell'intervenire in quest'area, prevalentemente naturale, che finora, per lo meno nel lobo settentrionale del delta, è stata lasciata libera di arretrare (se si esclude un recente intervento con opere rigide di estensione ridotta presso i Chiari del Porciatti).

Nell'area pilota toscana, al fine di analizzare l'evoluzione a lungo termine di una delle zone della regione che presenta i maggiori tassi di erosione, è stato implementato un modello di morfodinamica costiera sviluppato dall'USGS (COSMOS-COAST); Le *run* di tali test, considerando uno scenario di incremento del livello medio del mare di 80 cm, evidenziano una possibile

evoluzione della linea di riva, in linea con i tassi di arretramento attuali, che prevede per il 2100 un arretramento massimo in prossimità della foce di oltre 700 m rispetto alla posizione attuale.

Per il rischio a breve termine è stata affrontata la tematica relativa al rischio da mareggiata. Altre problematiche relative al rischio a breve termine, quali le rip currents, non sono state affrontate. Un'analisi più completa di rischi a breve termine (compreso il rischio da rip currents e il rischio da alluvionamento) è stata affrontata nell'area test Foce del Magra - Marina di Massa che è stata appositamente scelta per testare la metodologia comune di valutazione del rischio legato al moto ondoso. Nell'area test sono state installate anche delle webcam per il video-monitoraggio costiero. L'analisi degli eventi estremi è stata quindi effettuata con tre diversi modelli statistici, la distribuzione di Gumbel, quella di Weibull e quella Generalizzata di Pareto (GPD). I risultati di tale analisi hanno mostrato un livello di inondazione fino 1.67 m con tempo di ritorno di 200 anni.

Lo stato ecologico di conservazione dell'area pilota si presenta soddisfacente, come dimostrato anche dalla presenza, in molte stazioni, di comunità a *Seiophora villosa*. Elementi di degradazione sono rappresentati dalle aperture nella continuità della macchia per favorire il passaggio verso il mare, così come segnalato anche dal Progetto "HASCITu – HABitat in the Site of Community Importance in Tuscany" oltre alla presenza di specie aliene, di impianti artificiali di pini e dall'erosione costiera.

1.3 Sintesi relazione specialistiche Regione Sardegna

La relazione specialistica illustra e descrive lo stato ed il trend evolutivo dell'area pilota identificata nell'Unità Gestionale Costiera (UGC) di Torre delle Stelle - Solanas e, per le finalità progettuali, rappresentativa del territorio regionale sardo. L'area pilota è situata nella Sardegna Sud Orientale, ricade nei Comuni di Maracalagonis e Sinnai ed è compresa entro un'ampia fascia costiera, caratterizzata dalla presenza di promontori e falesie a prevalente composizione granitica, alternate a spiagge "a tasca" sabbiose e ghiaiose, come:

- Cann'e Sisa (Riu Gavoi);
- Genn'e Mari (Canale Genn'e mari);
- Porto Perdosu (Canale di Portu Perdosu);
- Solanas (Riu Solanas)

Le coste alte del settore emerso dell'area studiata sono interessate dalla presenza di antiche superfici di spianamento dal quale si elevano morfologie a *inselberg* e *tor*; la più antica delle quali è costituita da una successione di creste e altopiani a quote comprese tra +400 e +500 metri,

attribuita alla fase continentale permo-triassica; mentre la parte sommersa è caratterizzata dalla presenza di piattaforme di abrasione, frane sommerse e spiagge sommerse sabbiose.

Per quanto concerne gli habitat, Posidonia oceanica è presente lungo tutto il tratto di costa sommersa in esame, mentre la costa bassa emersa è costituita da piante psammofile perenni che danno origine alle prime dune embrionali e la costa alta è ricoperta da vegetazione con specie alo-rupicole. La prateria a Posidonia oceanica nell'area esaminata risulta essere in uno discreto stato di conservazione, eccezion fatta per la prateria antistante la spiaggia di Solanas. In questa prateria sono stati riscontrati grossi solchi dovuti, probabilmente, ad un'azione meccanica dei divergenti di reti a strascico. Gli evidenti passaggi dei pescherecci dimostrano come questa tipologia di pesca è tutt'ora praticata a basse profondità. Le azioni di tale tipo, perpetuate in modo costante in questa tipologia di prateria, innescano dei meccanismi di erosione intermatte che portano al depauperamento dell'habitat.

Per l'area pilota di Torre delle Stelle – Solanas, il clima ondoso al largo è stato definito con riferimento alla serie storica rilevata dalla boa RON di Cagliari di tipo *directional waverider*. La boa è situata prossima a Capo Carbonara alle coordinate UTM-WGS84 39.115° N; 9.405° E (dal 2002) e 39.110° N; 9.454° E (dal 2009). La serie storica è costituita da:

- Altezza d'onda significativa spettrale (Hm0);
- Periodo medio dell'onda (Tm);
- Periodo di picco dell'onda (Tp);
- Direzione media di provenienza del moto ondoso (Dir);
- Massimo mensile di altezza d'onda significativa ("indicatore");
- Direzione associata al massimo mensile dell'altezza d'onda significativa ("indicatore").

Il periodo di misurazione per cui i dati sono liberamente scaricabili è:

- 07/02/2007 – 02/03/2008;
- 15/12/2009 – 31/12/2014.

I ***mari regnanti***, più frequenti, provengono principalmente da S-E (150°) e secondariamente anche da S-O (230°).

Le attività progettuali legate allo studio del bilancio sedimentario sono state indirizzate verso la caratterizzazione morfologica e sedimentologica delle tre spiagge comprese nelle Sub - unità

Gestionali attraverso rilievi e misurazioni eseguiti in più fasi e in due periodi stagionali differenti anche allo scopo di rappresentare il “profilo estivo” e “invernale” delle spiagge e le diverse dinamiche del trasporto sedimentario litoraneo. Analogamente all’approccio adottato per la valutazione del “trasporto solido litoraneo” nell’ambito di “spiaggia” (emersa e sommersa), trattato nel capitolo specifico, è stata applicata una metodologia comprendente indicatori e parametri analitici misurabili che ha consentito di caratterizzare l’ambiente fluviale, valutando le tendenze evolutive del corso d’acqua, le dinamiche di trasporto e la quantificazione in termini volumetrici dei sedimenti, quale input sedimentario verso le spiagge. L’analisi ha riguardato i due principali tributari afferenti al settore costiero, il Rio Gavoi ed il Rio Solanas, secondo uno schema metodologico di base che richiama la metodologia IDRAIM, protocollo già adottato in Italia per la valutazione idromorfologica dei corsi d’acqua e integrato dall’adozione del Sistema di Rilevamento e classificazione delle Unità morfologiche dei corsi d’acqua, denominato SUM. In riferimento alla valutazione della stabilità ed evoluzione delle coste alte è stato scelto il promontorio di torre delle Stelle; attraverso l’utilizzo di un single-beam e fotogrammetria digitale è stato possibile appurare le principali caratteristiche della costa rocciosa avvalendosi inoltre di laser scanner, un rilievo geomeccanico ed una analisi cinematica basandosi sul test di Markland. Per la quantificazione della pericolosità in riferimento alle frane di crollo e per la corretta progettazione degli interventi è stata valutata la distribuzione granulometrica dei blocchi attraverso rilievi diretti, effettuati sul campo, e indiretti, dall’analisi delle ortofoto con risoluzione 4 cm/pixel ottenute attraverso i rilievi aerofotogrammetrici da drone nell’area di Cala Delfino. I volumi sono stati calcolati assimilando i blocchi a delle “balls form” e quindi sferici (Fityus et al., 2013). Al fine ottenere un numero rappresentativo dei blocchi che costituiscono i depositi al piede della falesia, sono stati conteggiati 4670 blocchi, sia nei depositi di frana ai piedi della falesia (2768 blocchi) sia nei depositi di spiaggia costituiti da blocchi rimaneggiati dal moto ondoso (1549 blocchi). Le tendenze evolutive del sistema costiero sono state investigate analizzando il sistema idrografico e la morfologia litoranea; la Metodologia IDRAIM adottata ha consentito la determinazione qualitativa e la misura degli indici morfologici che caratterizzano l’alveo attivo analizzato; partendo da tali dati e riferendoli alle modificazioni passate è stato possibile impostare il monitoraggio morfologico dell’alveo fluviale con particolare riferimento alle zone focive quale principale interfaccia del fiume con il settore costiero e sede dei principali fenomeni deposizionali e di alimentazione delle spiagge. Analogamente a quanto sviluppato in ambito fluviale, per ciascuna spiaggia è stata fatta una analisi diacronica della linea di riva e della spiaggia emersa utilizzando le metodologie sopra esposte prendendo in considerazione un

intervallo temporale di circa 150 anni. Pertanto, i dati analizzati sono di tipo cartografico con cartografie storiche di differente estrazione e dettaglio mentre dal 1945 ad oggi si sono potute utilizzare foto aeree e immagini da satellite a differente risoluzione; in tutte le spiagge dell'area pilota si registra una forte tendenza erosiva con una regressione degli impianti dunari. L'evoluzione a breve termine per le coste alte ha evidenziato, nella maggior parte dei casi, situazioni più critiche alla sommità delle falesie talvolta non lontano da edifici e infrastrutture, e in corrispondenza dei compluvi dove tendono ad accumularsi gran parte dei depositi di crollo e quelle derivanti dall'alterazione. Le principali criticità lungo il tratto costiero esaminato sono relative alle falesie che sono interessate da localizzati, ma ripetuti: crolli, ribaltamenti e scivolamenti di blocchi di dimensioni variabili (da 0,3 a 2 mc) e colate di detrito concentrate soprattutto in corrispondenza dei compluvi. I processi di frana sono localizzati prevalentemente nei settori superiori rispetto alla fascia di *wave run-up*; in particolare si rinvencono in maggior misura nei settori superiori e alti dei versanti analizzati. In questi settori gli agenti morfogenetici (dilavamento, alterazione chimico-fisica della roccia, ecc.), asportano i prodotti di alterazione e isolano ed spongono i blocchi a successivi processi gravitativi di crollo, crollo/ribaltamento e scivolamenti.

L'ultima sezione è dedicata alla valutazione del rischio costiero a lungo termine; Sono state eseguite modellazioni ed indagini di campo sulle dinamiche sedimentarie di tre spiagge, le quali hanno determinate una generale dispersione dei sedimenti verso il largo, ma in quantità limitate. La dinamica morfo-sedimentaria per le tre spiagge (Sub Unità gestionali) appare simile per l'andamento dei flussi circolatori *nearshore* e *nearshore/offshore*, differenziandosi leggermente nella *surf-zone*, dove le correnti trasversali e l'accrezione delle barre longitudinali giocano un ruolo più significativo in quella di Solanas, rispetto a Genn'e Mari ed a Cann'e Sisa, anche se le velocità delle correnti risultano sempre moderatamente basse. La dinamica complessiva, in ogni caso, conferisce ai tre paraggi studiati un sostanziale equilibrio sedimentario, in cui gli scambi detritici tra la spiaggia sommersa, il largo e i paraggi attigui, risultano bassi e presumibilmente circoscritti alle sole frazioni granulometriche più fini. La valutazione del rischio associato agli eventi meteomarini "estremi" si basa ed è stato ricavato mettendo in relazione gli "elementi a rischio" con le fasce "dinamiche" di spiaggia ritenute significative (definite per "attacchi ondosi da 180°" e corrispondenti a quelle con Tr 50); tali fasce, classificate con un grado di "pericolosità moderata" corrispondono alle linee di massima risalita e altezza del *run-up* così come espresse nella tabella precedente e nelle figure rappresentative della risalita ondosa. In aggiunta gli esiti delle modellazioni sviluppate sottocosta dal presente studio, nonché il carattere dissipativo di

ognuna delle spiagge, quantunque siano assenti strutture artificiali come barriere parallele che possano costituire situazioni più favorevoli al loro sviluppo, suggeriscono la possibilità che esse siano sede, in determinate condizioni di frangimento, di *rip current* alimentate in ogni caso dalla corrente *long-shore*.

Inoltre, al fine di ottenere una carta della suscettività alle frane è stata utilizzata la metodologia denominata Certainty Factor; Il modello dei dati utilizzato per questo metodo è il modello dei dati raster per cui il valore di CF è calcolato per ogni singolo pixel per ogni *data layer*. Il valore di CF esprime la variazione in termini di probabilità di verificare una certa ipotesi (area suscettibile al franamento) relativamente alla presenza o assenza di evidenze note in un intervallo di variazione che varia tra -1 e +1.

1.4 Sintesi relazione specialistiche Office de l'Environment de la Corse

Il sito pilota è costituito dalla spiaggia di Moriani, collocata nella Pianura Orientale della Corsica che si distende per 100 km tra Bastia e Solenzara; L'Alta Corsica o Corsica alpina a nord-est dell'isola, nell'estensione meridionale delle Alpi, è caratterizzata da rocce sedimentarie, dalle formazioni metamorfiche di scisti lucenti e dalle loro sequenze oofiolitiche. Queste formazioni rocciose danno alla Corsica alpina un rilievo meno vigoroso di quello della Corsica ercinica ad ovest. La pianura orientale si estende ininterrottamente per un centinaio di chilometri tra Bastia e Solenzara sul territorio di 27 comuni costieri. Rappresenta il 10% della linea costiera della Corsica, che è composta per il restante 90% da coste rocciose e spiagge a tasca situate sul fondo di baie delimitate da promontori rocciosi. Dal punto di vista meteomarinario, questo tratto di costa è caratterizzato da un settore principale proveniente da Ovest-Sud-Ovest con onde inferiori a 2 metri. Le onde più forti (> 4 m) provengono da ovest, generalmente durante i temporali invernali. La prateria di Posidonia (*Posidonia oceanica*) sulla costa orientale è un ecosistema unico nel Mediterraneo per le sue dimensioni e lo stato di conservazione. Infatti, i diversi ruoli intrinseci di questo ecosistema (ad esempio la stabilizzazione e l'ossigenazione dei sedimenti, le aree di riproduzione e di nursery, l'attenuazione idrodinamica e la protezione delle zone costiere, la stabilizzazione dei fondali, il bacino di assorbimento del carbonio atmosferico), uniti alle notevoli dimensioni di questo tratto, che si estende su una superficie di oltre 22.600 ettari, rivelano l'importanza di questo sito per l'intero litorale della pianura orientale e per il Mar Tirreno. Per diversi decenni, la prateria di Posidonia è stata soggetta a molte fonti di disturbo, sia naturali che antropiche, e si è registrato un notevole declino. Il problema più importante di questo sito è la pesca a strascico nella prateria di Posidonia, che è un habitat protetto e una priorità della rete

Natura 2000 in mare. Questa attività ha causato danni fisici significativi al lido della Marana per diversi decenni.

Lungo la spiaggia di Moriani, l'acquisizione dati è frutto di misure topo-batimetriche a frequenza quasi annuale (dal 2001) e l'utilizzo di immagini video ad alta frequenza temporale (dal 2018).

Principio delle misure topo-batimetriche

Il principio delle misure si basa sull'acquisizione congiunta:

- di dati topo-batimetrici sui profili trasversali;
- di dati topografici della linea di costa longitudinale in alcuni siti.

La scelta dei metodi di misurazione utilizzati e gli indicatori geomorfologici selezionati rispondono ai problemi specifici delle spiagge delle isole microtidali.

Nell'ambito del progetto MAREGOT, sono stati installati, inoltre, tre sistemi di monitoraggio video nei siti pilota di Bastia (spiaggia di Arinella, Calvi e Moriani). Le immagini della telecamera hanno lo scopo di fornire informazioni ad alta frequenza temporale sull'evoluzione morfologica della spiaggia e di migliorare la conoscenza delle dinamiche idro-sedimentarie e in particolare del ruolo delle tempeste e delle azioni umane.

Di concerto, è stata studiata l'evoluzione della linea di costa su scala storica (1948-2007) utilizzando fotografie aeree su diverse date. Su Moriani si è avuta conferma della regressione in atto della linea di costa con un arretramento massimo della linea di costa di circa 20 m in 60 anni, cioè un valore medio di ritiro di 0,33 m/anno. L'impatto della costruzione del Porto di Taverna negli anni '70 ha avuto conseguenze in termini di diminuzione dell'apporto sedimentario su questa parte di costa, che è stato all'origine di parte di questa erosione.

Moriani è soggetta al monitoraggio delle sue coste nell'ambito della Rete di osservazione costiera della Corsica (www.littoral-corse.fr). È integrato nel sito di Camploloro Nord; Le operazioni intraprese per la protezione dall'erosione (riprofilatura e ripascimento) complicano l'interpretazione dei cambiamenti (a sud di Moriani, ad esempio). I pennelli di geotessili hanno un preciso effetto protettivo nel campeggio Merendella ma contribuiscono a modificare il transito sedimentario e ad amplificare il problema dell'erosione nel sottoflutto (sud-nord).

L'intera spiaggia è logicamente soggetta a potenziali inondazioni per sommersione marina. La diffusione della sommersione è controllata dalla topografia delle superfici del terreno. Ad esempio, le aree con una barriera dunale sviluppata sono relativamente protette, mentre le aree di foce dei piccoli fiumi costieri sono aree in cui le acque marine penetrano durante le tempeste.

Una valutazione della vulnerabilità della costa di Moriani in risposta al fenomeno della sommersione marina è stata effettuata lungo la Pianura Orientale. Questo approccio si è fondato su :

- Utilizzo di onde centennali basato su un database di onde sviluppato da BRGM alla periferia della Corsica;
- basato sul calcolo del Run-up raggiunto attraverso la formulazione di Stockdon del 2006;
- confronto di questi livelli di inondazione con i dati topografici Lidar acquisiti da BRGM e OEC nel 2010, su tutta la pianura orientale della Corsica.

A parte l'esposizione della linea di costa all'erosione costiera e alla sommersione marina nelle tempeste, non esistono attualmente norme statali specifiche in termini di prevenzione del rischio costiero nella Pianura Orientale. Non esiste un Piano di Prevenzione del Rischio Costiero (erosione costiera e/o sommersione marina) prescritto su questo territorio.; solo recentemente, Con decreto prefettizio n. 01/506 del 3 maggio 2001 è stato approvato un Piano di prevenzione del rischio di alluvione (PPRi). Si tratta dei piccoli bacini idrografici del fiume Moriani nei comuni di Cervione, Poggio Mezzana, San Nicolao, Santa Lucia di Moriani, Santa Maria Poggio, Taglio Isolaccio, Talasani e Valle di Campoloro.

1.5 Sintesi relazione specialistiche Conservatoire du littoral

L'applicazione dei piani di intervento ha interessato il sito di Vieux-Salins nel comune di Hyères, nel dipartimento del VAR, già gestito dal Conservatoire du littoral dal 2001; questa zona umida è tra le più grandi della costa sud della Francia e si estende per circa 350 ettari. Il litorale delle saline di Hyères apparteneva in origine alla cella idro-sedimentaria della Rade d'Hyères, delimitata a est dalla Pointe de l'Argentière, il primo promontorio della costa rocciosa verso Cap Bénat, e a ovest dal Cap de l'Esterel, che delimita l'estremità orientale della penisola di Giens. Il sito è classificato nel Piano Urbanistico Locale (PLU) come un'area naturale eccezionale ai sensi della legge costiera ed inserito in Rete natura 2000 (RAMSES). Può quindi essere soggetta a sviluppi artificiali (scogliere aderenti, dighe, ecc.) solo se vi è un'immediata vicinanza a imprese o abitazioni che potrebbero essere minacciate dalla sommersione marina.

I dati statistici riferiti al moto ondoso sono stati stabiliti utilizzando le serie temporali dal 1979 al 2009, derivate dal modello spettrale di propagazione delle onde sviluppato da BRGM (BRGM, 2014b). Al largo ci sono due settori dominanti molto distinti: il settore Ovest-Sud- Ovest (circa il 60% delle agitazioni) e il settore Est, che è molto ristretto (circa il 35%). L'altezza spettrale

dell'onda (Hm0) può raggiungere i 4 m in ciascuno di questi settori. La caratterizzazione degli habitat marini si concentra principalmente sulle praterie di Posidonia che coprono la maggior parte dei fondali della spiaggia della barriera di Vieux Salins e si estende su una superficie di circa 10.000 ettari, a pochi metri dalla riva con un limite inferiore di oltre 8 m dalla costa. La conservazione di questo habitat è di primaria importanza sia per la sua ricchezza ecologica sia per il suo ruolo protettivo rispetto al moto ondoso. Nelle zone centro-est si estende una biocenosi coralligena per circa 700 m lineari con una laguna di 25.000-30.000 m², che ripara numerosi punti e prati di *Cymodocea nodosa*. Questo coralligeno si estende ad est ma in modo più discontinuo, con un correlato arretramento della linea di costa. La zona posta più ad est è un coralligeno fossile, dove il trend di crescita delle alghe verso la superficie è rallentato dall'idrodinamica locale.

Les Vieux Salins ospita un mosaico di habitat costieri, di spiaggia e di retroterra. Il litorale sabbioso è composto da una spiaggia e da una sottile e poco sviluppata barriera dunale. Su questo cordone cresce una vegetazione adattata all'ambiente salato, nota come vegetazione alofila. Questa vegetazione intrappola i sedimenti e ha un ruolo fondamentale nel conservare lo stato delle dune e delle spiagge. Il sistema dunare delle Vieux Salins presenta molte criticità derivate da diversi fattori (calpestio, arretramento della linea di costa, siccità, salinizzazione del suolo) che stanno minando l'insediamento e anche il mantenimento della vegetazione. Questo stress è facilmente individuabile in quanto il sistema dunare è caratterizzata da una mescolanza di comunità vegetali che sono di solito successive e compartimentate lungo la costa mediterranea.

Diverse indagini topo-batimetriche sono state effettuate dal comune per monitorare l'evoluzione di questo litorale e sono state valutate e analizzate:

- Indagini batimetriche sigle beam condotte sull'area di studio nel 2007, 2008, 2009 e 2010 secondo le linee guida ogni 50 metri. Queste indagini coprono la parte sommersa dell'area di studio fino a profondità di circa 6-7 metri, fino ai pennelli presenti a destra del Camping le Pansard.

Nel 2015, nell'ambito del programma di monitoraggio costiero DREAL, è stata inoltre effettuata un'indagine LIDAR topo-batimetrica (per via aerea) la quale ricopre l'intera area di studio ad una risoluzione di 1 metro. Eurofins ha condotto una campagna di campionamento dei sedimenti che compongono il fondale marino a basse profondità il 20/07/2017. È stata effettuata un'analisi laser delle dimensioni delle particelle dei campioni raccolti.

La posizione della linea di costa, individuata utilizzando il confine terra-mare, è stata identificata analizzando le immagini scattate nei seguenti anni: 1920, 1924, 1971, 1971, 1998, 2006, 2008, 2011, 2014 e 2017 attraverso la fotointerpretazione (L. Velay, 2016, IGN, 2017). I risultati hanno fornito una regressione nel settore est ed un accumulo nel settore ovest, nei pressi di Port Porthau; mentre il settore centrale è rimasto invariato fino al 1971 per poi regredire di circa 0,3 m l'anno fino al 2017. Infine, un'analisi più a breve termini ha evidenziato che tra il 2011 e il 2017 la regressione della linea di riva ha raggiunto 1,2 metri l'anno.

Gli input solidi del fiume Maravenne sono stimati in circa 6500 tonnellate, per lo più limo e circa 1500 tonnellate di sabbia/ghiaia e ciottoli. L'area a destra del Maravenne tende ad insabbiarsi sin dal 2009, principalmente a causa dell'afflusso derivato dalla spiaggia di Tamaris, situata immediatamente a est del letto del fiume. Gli input solidi del Gapeau sono i più significativi (rappresentano circa l'80% del totale degli input di sedimenti nell'area di studio) e alcuni di questi sedimenti vengono poi depositati alla foce.

L'analisi storica ha evidenziato il ruolo importante dell'antropizzazione del sito con, ad ovest, la costruzione del porto militare di Pothuau e della sua diga che blocca il conseguente transito costiero orientato da est a ovest (processo longitudinale). Il processo di antropizzazione ha coinvolto anche il settore est con la costruzione del porto di Miramar e dei pennelli sulla spiaggia adiacente; queste opere hanno bloccato l'ingresso di tutti i sedimenti impedendo il naturale transito costiero.

Per il futuro, un'accelerazione dell'innalzamento del livello del mare porterà ad un effetto finale più marcato dell'effetto del riscaldamento globale.

In previsione di un innalzamento del livello medio mare, l'impatto sull'evoluzione della linea di costa è stato stimato utilizzando la regola di Brüun (1962) e il modello SBEACH. Nel primo caso, il risultato ottenuto mostra un adattamento della spiaggia e del retrospiaggia rispetto al sollevamento del livello medio del mare, mentre con l'approccio modellistico utilizzando SBEACH la capacità di rifornimento da parte della duna risulta insufficiente a compensare l'erosione lungo la linea di costa.

A conferma di questi risultati il modello è stato applicato per la valutazione del livello d'inondazione dell'area pilota per diversi scenari di sollevamento per mareggiate con tempi di ritorno fino a 100 anni;

Una volta che il modello è stato calibrato su ciascuno dei profili, l'evoluzione della fascia dunale per gli anni 2025, 2050 e 2100 sono stati ottenuti simulando le tempeste estreme associate a

ciascuno di questi periodi. Vale a dire, una tempesta con un periodo di ritorno di 10, 50 e 100 rispettivamente entro il 2025, 2050 e 2100; tempeste con una probabilità di verificarsi tra il 50% e il 60% circa rispetto alle rispettive scadenze. L'analisi delle tempeste estreme mostra che la differenza di intensità tra queste è ridotta: ad esempio, la differenza in termini di Hm0 è di 0,5 m tra una tempesta con un periodo di ritorno di 5 anni e una tempesta con un periodo di ritorno di 100 anni. I risultati di questo studio dimostrano che già nel 2025 il sito verrà totalmente sommerso durante le mareggiate più intense e conseguentemente è stato ipotizzato l'inondazione della cittadina di Les Salins situata ad ovest.

1.6 Sintesi relazione specialistiche Department du VAR

Vieux Moulin

La spiaggia dell'ansa del Vieux Moulin è collocata nel golfo di Saint-Tropez (Comune di Grimaud, Dipartimento del Var) e dal punto di vista morfologico è classificabile come pocket beach; questa spiaggia larga circa 185 m si inserisce in un tratto di costa più ampio lungo circa 5 km, comprendente quasi 3 km di litorale sabbioso. La morfologia della parte sottomarina della spiaggia si presenta complessa: la cartografia dei fondali indica un'alternanza di sabbia e roccia, il profilo topo-batimetrico rivela la probabile presenza di un vincolo morfologico forte imposto dal substrato roccioso sotto i fondali sabbiosi. È probabile che questo sia solo superficialmente ricoperto da sedimenti mobili. Il clima ondoso è fortemente regimato dai mari provenienti da Est, dato il settore di traversia del golfo di Saint-Tropez espone il litorale a stati di mare estremo decisamente impattanti con altezze d'onda di 4.4 metri con tempi di ritorno cinquantennali. La circolazione indotta dalle correnti segue la direzione privilegiata della deriva litoranea, evidenziata dallo studio di fattibilità SOGREAH (2008). La circolazione è orientata da est verso ovest. Attraverso l'utilizzo dell'interferometria e del censimento visivo è stato possibile individuare le principali biocenosi presenti nel sito pilota; l'indagine ha rivelato la presenza di posidonia oceanica a macchia di leopardo e matta morta fino a basse profondità; il censimento visivo ha portato alla luce una pessima condizione del posidonieto. Il biota si può considerare come fragile, date le numerose zone di matte morte osservate in situ. Le variazioni della costa sono state analizzate grazie allo studio di fotografie aeree relative a diverse date. Le linee di costa per ciascun anno sono state digitalizzate e poste a confronto con un'analisi diacronica quantitativa realizzata grazie al software MobiTC del Cerema (2018). Quest'analisi mette in evidenza una dinamica erosiva moderata ma tuttavia costante su scala secolare. Negli ultimi 20 anni (1998-2014), tuttavia, si è verificato un avanzamento nella parte centrale della spiaggia ed un'erosione persistente ai piedi del pennello così come all'estremità sud-ovest. Per quanto

concerne l'impatto sugli habitat costieri, l'ansa del Vieux Moulin appare sensibile a un certo numero di pressioni di seguito elencate in ordine decrescente d'importanza:

- Urbanizzazione;
- Sviluppo costiero;
- Turismo balneare;
- Inquinamento dai corsi d'acqua;
- Pesca professionale;
- Erosione.

In riferimento al rischio inondazione è stata realizzata una cartografia regionale delle zone potenzialmente interessate da un rischio di inondazione marina nell'ambito di uno studio prodotto dal BRGM e commissionato da DREAL PACA, in collaborazione con le tre DDTM litoranee. Questo atlante presenta diverse situazioni di riferimento:

- una situazione d'occorrenza centennale, con un innalzamento di + 0,20 m del livello del mare, detta "situazione attuale";
- una situazione d'occorrenza centennale, con un innalzamento di + 0,60 m del livello del mare, detta "situazione 2100", in linea con le raccomandazioni dell'ONERC;

Saint-Raphael

La spiaggia del Veillat si situa in fondo alla baia di Saint-Raphaël, ai bordi del golfo di Fréjus. Si tratta di una piccola spiaggia urbana lunga 400 m che sorge nel centro città del comune di Saint-Raphaël ed è lateralmente delimitata da due pennelli. In occasione dello "Studio di diagnosi per la protezione contro l'erosione della spiaggia del Veillat" condotto da Ecoplage nel 2009, sulla parte subaerea della spiaggia sono stati rilevati alcuni profili topografici, il 3, 4 e l'8 dicembre 2009 con l'ausilio di una stazione totale. Dal momento che i profili non presentano una grande quantità di misure, non è possibile valutare con precisione la topografia della spiaggia per distinguervi delle forme sedimentarie. Lo spessore della spiaggia inoltre decresce nettamente da ovest a est. I rilevamenti LiDAR aerei realizzati nell'ambito del programma Litto3D® PACA 2015 permettono di identificare degli affioramenti rocciosi nella parte centrale della spiaggia sottomarina, mentre i profili topo-batimetrici rivelano una pendenza nella parte sottomarina dell'ordine del 4,5%. L'ecosistema costiero è stato investigato mediante l'uso di interferometria tramite video HS sottomarino ed ha rivelato una scarsa distribuzione di Posidonia oceanica e la

presenza di matte morte. Di concerto è stato effettuato un censimento visivo su due punti specifici, i quali hanno rivelato uno stato di vitalità media con una densità e un tasso di ricoprimento medio.

Dai dati della rete SURFSTAT (Andromède Océanologie, Agence de l'Eau RMC) emerge una netta regressione dei fondali erbosi nella parte sottomarina della spiaggia. Il 48,7% di questa dinamica può essere legato all'antropizzazione del litorale (impatti diretti e indiretti). Benché sia difficile legare con certezza la regressione del fondale erboso alla costruzione del pennello (che modificano l'idrodinamica) e/o all'erosione.

La parte emersa della spiaggia del Veillat è stata oggetto di svariati rilevamenti topo-batimetrici dal 2009:

- 3, 4 e 8 dicembre 2009: stazione totale (teodolite) – Osservazioni: colpo di mare il 3 e 4 dicembre 2009, sabbie rialzate sulla spiaggia l'8 dicembre 2009 (cfr. illustrazione sotto);
- 16 giugno 2012: LiDAR aereo (programma Litto3D® PACA 2015);
- 17 ottobre 2017: D-GPS RTK – Osservazioni: sabbie rialzate.

Le variazioni della costa sono state analizzate grazie allo studio di fotografie aeree relative a diverse date. Le linee di costa per ciascun anno sono state digitalizzate e poste a confronto con un'analisi diacronica quantitativa realizzata grazie al software MobiTC del Cerema (Pons & Trmal, 2018).

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

Per quanto concerne impatto sugli habitat costieri, La spiaggia del Veillat appare sensibile a un certo numero di pressioni, di seguito elencate in ordine decrescente d'importanza:

- Urbanizzazione;
- Turismo balneare;
- Sviluppo costiero;
- Pesca professionale;
- Scarichi urbani;

- Agricoltura.

Nell'ambito degli studi sul sito pilota MAREGOT intrapresi dal raggruppamento CORINTHE – DHI (2019), viene utilizzato il modello MIKE 3 Wave FM (M3WFM) per simulare la sommersione della spiaggia e delle opere. Le zone sommerse constatate nel corso della simulazione e gli ordini di grandezza dei superamenti sono coerenti rispetto alla constatazione visiva realizzata durante la tempesta del 4 maggio 2010. Per estensione, questo lavoro mette altresì in evidenza la grande vulnerabilità delle opere a ovest della spiaggia come pure degli impianti situati nell'area retrostante la spiaggia (locali commerciali).

Inoltre, è stata realizzata una cartografia regionale delle zone potenzialmente interessate da un rischio di sommersione marina nell'ambito di uno studio prodotto dal BRGM e commissionato da DREAL PACA, in collaborazione con le tre DDTM litoranee. Questo atlante presenta diverse situazioni di riferimento:

- una situazione d'occorrenza centennale, con un innalzamento di + 0,20 m del livello del mare, detta "situazione attuale";

- una situazione d'occorrenza centennale, con un innalzamento di + 0,60 m del livello del mare, detta "situazione 2100", in linea con le raccomandazioni dell'ONERC;

2. Piani di intervento per area pilota con misure e priorità di intervento specifiche (T 3.2.2)

Redazione dei piani di intervento per contrastare i problemi di erosione nel breve e lungo termine.

2.1 Piano di intervento Regione Liguria

Fase 1: Diagnosi

L'area è situata nell'estremo levante della Liguria e racchiude la fascia di versante ligure-tirrenico comprendente il tratto terminale della provincia di Genova e l'intera provincia della Spezia. Il tratto indagato, quasi totalmente costituito da costa rocciosa, raggiunge un'estensione di circa 110 km. L'area pilota è delimitata ad ovest dal promontorio di Punta Baffe, mentre ad est si estende fino al confine con la regione Toscana.

Le principali problematiche del sito pilota sono ascrivibili ai fenomeni erosivi delle spiagge ed ai dissesti interessanti la costa rocciosa. Infatti, come evidenziato nella relazione per le Attività T 3.1.1., l'area presenta numerose criticità e diffuse condizioni di rischio, che rendono il territorio

costiero fragile ed in disequilibrio. La riduzione degli apporti sedimentari ha avuto 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. Il sistema di opere di mitigazione presente nell'area indagata è spesso frutto di una programmazione frammentata e settoriale, spesso basata su opere realizzate per tamponare situazioni di emergenza.

Tra gli elementi che maggiormente condizionano gli ambienti costieri vi è l'accelerazione dell'innalzamento del livello del mare (SLR), che, nel caso più sfavorevole, potrebbe raggiungere +1,15 m nel 2100. I risultati ottenuti nell'attività 3.1.1 evidenziano la perdita di migliaia di metri cubi di spiaggia, la parziale o totale sommersione di opere di difesa, la perdita di molte aree dedicate al diporto. Alla luce di questo, la valutazione del rischio costiero richiede un nuovo approccio sulle misure strategiche che devono essere adottate. In particolare, necessita di una analisi più approfondita sul lungo termine, considerando questi elementi:

1. Forte arretramento della linea di costa.
2. Aumento del rischio inondazione del tessuto urbano.
3. Perdita di strutture turistiche.
4. Modifica delle foci fluviali.
5. Perdita di efficacia delle opere di difesa attuali.

Fase2: Proposta di misure per la riduzione del Rischio

La pianificazione degli interventi riguardanti la sistemazione idraulica, ambientale e geomorfologica della fascia costiera nell'ambito dell'unità fisiografica di appartenenza, la cui programmazione organica deve prevedere la realizzazione di opere o misure di salvaguardia necessarie per l'eliminazione o la mitigazione delle criticità individuate.

Le indicazioni di intervento vengono distinte in:

interventi sulla costa bassa

S1 ripascimento strutturale

S2 dragaggio e/o prelievo barra di foce

S3 rimozione e/o rivisitazione opere esistenti

S4 rivisitazione/realizzazione opere di appoggio associate al ripascimento strutturale

S5 completamento opere già approvate

interventi sulla costa alta

C1 consolidamento

interventi di miglioramento ambientale:

A1 regolamentazione nautica in area ZDR

A2 dissuasione pesca a strascico illegale

A3 azioni per il ripristino e la riqualificazione della vegetazione delle spiagge in area ASR

A4 rimozione attrezzi da pesca abbandonati sui fondali e campagna di sensibilizzazione

A5 mitigazione dell'impatto di scarichi.

Fase 3: Proposta di attività per la valutazione delle misure adottate

Il programma di monitoraggio post-intervento fa riferimento alla norma regionale D.G.R. 1793/2005 che prevede un piano di monitoraggio morfo-sedimentologico e ambientale per ogni intervento strutturale a carico del proponente.

La Regione Liguria, ai sensi dell'art. 2, c.5 della L.R. n. 13/99, è chiamata a svolgere l'attività di indirizzo e di coordinamento in materia di protezione ed osservazione della costa e ripascimento degli arenili. Al fine dell'esercizio efficace e positivo di tali funzioni, l'Amministrazione regionale ha assunto una serie di provvedimenti, di cui, in particolare, i "Criteri generali inerenti alla progettazione e l'esecuzione delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili".

In riferimento alla norma vigente il programma di manutenzione per gli interventi strutturali è demandato ai concessionari, ossia i Comuni. Fanno eccezione gli interventi di tipo ambientale che si possono configurare come gestione dei SIC-ZPS, che sono in carico al gestore dello stesso, o alla Regione.

2.2 Piano di intervento Regione Toscana

Fase 1: Diagnosi

Il monitoraggio ha confermato il deficit sedimentario di cui soffre l'area pilota, in particolare nel tratto corrispondente al delta del Fiume Ombrone, deficit derivante dal ridotto apporto solido del Fiume, che si manifesta dalla fine dell'800. La criticità ambientale dell'area campione rimane elevata e non sembra possa ridursi; aspetto che coinvolge la spiaggia, non solo come elemento di attrazione turistica e per le sue naturali funzioni eco-sistemiche, ma come sistema di difesa del territorio interno.

Fase2: Proposta di misure per la riduzione del Rischio

Nel progetto MAREGOT si sono distinte due tipologie di rischio: quella "a breve termine", legata alle mareggiate che investono la costa e ai fenomeni collegati (alluvionamento), e quella a "lungo termine" che riguarda i rischi di lungo periodo, dovuti principalmente all'erosione costiera. Nell'area del Parco Naturale della Maremma – Foce Ombrone è soprattutto quest'ultimo il rischio più concreto, anche perché negli ultimi decenni il litorale, specie in prossimità della foce è arretrato sensibilmente, con conseguenze su un lungo tratto a nord della foce. Le criticità sollevate nelle attività condotte nell'azione T3.1.1. hanno posto la necessità di proporre un approccio integrato lungo tutto il tratto di costa in esame con l'obiettivo di contrastare fenomeni come: salinizzazione delle falde, riequilibrio del litorale e ripristino delle zone umide. La pianificazione degli interventi riguardanti la sistemazione idraulica, ambientale e geomorfologica della fascia costiera dell'ala nord del delta del F. Ombrone, la cui programmazione organica deve prevedere la realizzazione di opere o misure di salvaguardia necessarie per l'eliminazione o la mitigazione delle criticità individuate nel paragrafo precedente è attualmente in corso.

Nell'ottica di preservare l'attuale ambiente costiero, la priorità degli interventi dovrebbe essere data a quelli che impediscono o rallentano l'arretramento della linea di riva in corrispondenza degli stagni costieri (Chiari e Padule La Trappola).

Trattandosi di tratti limitati, è ipotizzabile anche la ricostituzione del sistema dunale, con una difesa sommersa antistante, garantendo un raccordo con i tratti adiacenti sui quali non devono essere scaricate tutte le ricadute negative. Un'ulteriore ipotesi di intervento potrebbe essere la ricostruzione di una serie di secche artificiali realizzate con scogli o sedimenti alluvionali grossolani del F. Ombrone che in futuro potrebbero rendersi disponibili, per la larghezza necessaria al frangimento delle onde, in modo da creare un'ampia area di dissipazione dell'energia del moto ondoso che si possa estendere dalla Foce dell'Ombrone in direzione nord.

Un'opera completamente soffolta da realizzare anche a stralci, per valutarne l'efficacia attraverso un attento monitoraggio.

Fase 3: Proposta di attività per la valutazione delle misure adottate

In base a quanto previsto dall'art. 17 della L.R. n. 80/2015, competono alla Regione le funzioni di monitoraggio e di manutenzione ad eccezione delle opere di cui all'art. 18 c. 2 lett. b), cioè delle opere, "riguardanti il territorio di un solo comune direttamente connesse e funzionali alla gestione del demanio marittimo" di competenza dei Comuni. Lo stesso art. 18 al comma 2 bis definisce le opere di manutenzione " *direttamente connesse e funzionali alla gestione del demanio marittimo*" come:

a) la progettazione e realizzazione di interventi di riprofilatura stagionale della spiaggia, che consistono in interventi di versamento sulla spiaggia di sedimenti marini o di materiali geologici inorganici finalizzati al rimodellamento stagionale dell'arenile e con quantitativi inferiori a venti metri cubi per metro lineare di spiaggia;

b) la progettazione e realizzazione di altri interventi di manutenzione connessi e funzionali alla gestione del demanio marittimo finalizzati a mantenerne le corrette condizioni di utilizzo che riguardino un tratto dello stesso all'interno del territorio di un solo comune.

Per quanto riguarda invece il monitoraggio dello stato di conservazione delle specie e degli habitat di interesse comunitario presenti nei siti della rete Natura 2000, la normativa di riferimento è la Direttiva 92/43/CEE, il DPR 357/97 e la L.R. n. 30/2015 "Norme per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturalistico-ambientale regionale" (Modifiche alla L.R. n. 24/1994, alla L.R. n. 65/1997, alla L.R. n. 24/2000 ed alla L.R. n. 10/2010).

2.3 Piano di intervento Regione Sardegna

Fase 1: Diagnosi

L'area pilota è situata nella Sardegna Sud Orientale, ricade nei Comuni di Maracalagonis e Sinnai ed è compresa entro un'ampia fascia costiera a prevalente composizione granitica, caratterizzata dalla presenza di scogliere e promontori che ospitano spiagge "a tasca", in genere sabbiose e ghiaiose, quando sottendenti limitati bacini idrografici, ciottolose o a grossi blocchi, ai piedi delle falesie. L'applicazione della strategia transfrontaliera adottata da MAREGOT nell'area pilota Torre delle Stelle – Solanas ha messo in luce numerose criticità che si esercitano su questo settore e di cui si dovrà tenere conto nei differenti scenari di gestione.

Negli ultimi 50 anni, le spiagge prese in esame mostrano un elevato grado di erosione e instabilità, dovuto principalmente alla forte riduzione dell'apporto solido fluviale e al massiccio aumento delle attività antropiche lungo tutto il tratto costiero; segni evidenti sono riportati lungo gli impianti dunari che mostrano fragilità diffusa sia per la morfologia che per la copertura vegetale. Per quanto concerne le principali criticità che interessano il tratto costiero roccioso del promontorio di Torre delle Stelle, queste sono legate a processi di dissesto geomorfologico come crolli e colate di detrito. Queste dinamiche sono attive lungo i versanti sino al mare e coinvolgono anche le piccole cale, frequentate in gran parte nel periodo estivo. La rete idrografica del sito pilota presenta diffuse criticità di tipo idraulico-morfologico, che comportano: Rischio da esondazione, erosione diffusa, interferenze sulle dinamiche di deflusso incanalato, ridotta funzionalità idraulica, sovralluvionamento e qualità idromorfologica moderata-sufficiente.

Fase2: Proposta di misure per la riduzione del Rischio

Partendo dai principi generali introdotti nell'attività T2, il tema dell'erosione costiera è stato affrontato adottando alternative strategiche di gestione del tratto costiero e per definire, a breve e medio termine, l'evoluzione della costa tenendo conto dei fenomeni erosivi di origine marittimo-costiera e di quelli connessi all'immersione marina.

Per fare ciò, sono state riportate tutte le scelte di azioni, misure e interventi che potrebbero essere implementati nell'area pilota, sulla base delle diverse strategie generalmente utilizzate per questi approcci.

Parallelamente, e nella fase propedeutica di *governance* del progetto, si è tenuto conto di un lavoro di ricerca, raccolta e ricognizione degli atti di pianificazione e progettazione, passata ed in essere, che interessa l'area pilota, in maniera tale da avere il quadro più completo possibile della conoscenza.

Tra questi si è tenuto conto ed assumono rilevanza per le finalità del progetto:

1) Progetto esecutivo per la realizzazione di "Interventi di riassetto idraulico del Rio Solanas" (2009), aventi l'obiettivo di riconfigurare un tratto dell'alveo del Rio Solanas per migliorarne le condizioni di deflusso ed al fine di ridurre il rischio idraulico. Gli interventi, volti a conservare la stabilità delle sponde e a provvedere al mantenimento della sezione di progetto si articolano essenzialmente nelle seguenti tipologie:

- Riprofilamento dell'alveo (allargamento della sezione e approfondimento delle livellette attuali);

- Difese spondali in materassi metallici tipo Reno;
 - Difese spondali con gabbioni cilindrici al piede della sponda e rivestimento esteso con biostuoia e rete metallica a doppia torsione;
 - Interventi di ingegneria naturalistica consistenti principalmente in idrosemina e piantumazione di talee ed arbusti, finalizzati al contenimento dell'erosione del suolo e delle difese spondali messe in opera;
 - Demolizione e ripristino del guado di attraversamento in località Piscina Bertula;
 - Pulizia dalla vegetazione infestante ed ostruente e potatura di arbusti e alberi che non costituiscono ostacoli rilevanti al deflusso delle acque.
- 2) "Interventi di manutenzione ordinaria e pulizia nei corsi d'acqua ricadenti nel territorio comunale di Sinnai" tra i quali rientra il Rio Solanas, che prevede la pulizia dell'asta fluviale a monte del ponte sulla S.P.17, per uno sviluppo di circa 500 metri.
- 3) Progettazione e realizzazione di interventi di riqualificazione delle reti di drenaggio in area urbana – Canale di guardia a difesa dell'abitato di Solanas (2019);
- 4) Interventi di messa in sicurezza del versante di retrospiaggia nel settore orientale della spiaggia di Solanas.

Fase 3: Proposta di attività per la valutazione delle misure adottate

In un contesto estremamente dinamico quale quello costiero, estrema rilevanza assume la gestione degli interventi, che deve essere predisposta in relazione all'intervento e adeguato a seguito dell'attività di monitoraggio di cui al paragrafo precedente. Dunque, il programma di gestione deve anch'esso essere uno strumento dinamico, poiché i reali effetti di un intervento costiero non sempre possono essere valutati nel breve periodo.

2.4 Piano di intervento Office de l'Environment de la Corse

Alla data di presentazione di questo documento non è stato fornito alcun contributo.

2.5 Piano di intervento Conservatoire du littoral

Fase 1: Diagnosi

Il tratto costiero del Vieux Salins è soggetto ad erosione di oltre 1 m/anno a causa dello sviluppo di porti e pennelli ad est, che bloccano la deriva sedimentaria. Di fronte a questo stato erosivo, questo tratto di costa è stato oggetto d'interventi di difesa già negli anni '80, effettuati dalla "Compagnie des Salins du Midi" e rivolta a proteggere l'attività di produzione del sale.

Fase2: Proposta di misure per la riduzione del Rischio

L'impatto dell'innalzamento del livello del mare sull'evoluzione della linea di costa è stato stimato utilizzando la regola di Brünn (1962), ipotizzando che quando il livello del mare si alza lentamente, la spiaggia ed il sistema barriera laguna si adatteranno all'innalzamento del livello del mare. Le proiezioni fino al 2100, tenendo conto del cambiamento climatico, mostrano una forte erosione della spiaggia e della barriera a destra dell'Etang de l'Anglais e del canale di approvvigionamento del Vieux Salins, probabilmente già nel 2050 durante eventi estremi questo fenomeno potrebbe verificarsi.

Sulla base di un'analisi multicriteriale, sono state selezionate le misure più efficaci a breve e medio termine, di concerto con il TPM e il Conservatoire du Littoral, per formulare una proposta di schema di gestione dell'area di studio.

Tra queste misure, le operazioni di rinaturalizzazione del litorale attualmente protetto da pennelli sono le più in linea con l'orientamento scelto dal Comitato Direttivo, che auspica un ritorno a un'operazione di tipo naturalistico. Questa operazione di rinaturalizzazione è anche la meno impattante su ambiente e paesaggio e la più facile da eseguire dal punto di vista legale e amministrativo.

Queste operazioni di rinaturalizzazione del litorale, attualmente protetto da pennelli nell'area dell'Etang de l'Anglais e della pineta di Vieux Salins, permetteranno di ridistribuire su una linea costiera più ampia l'erosione attualmente concentrata nell'area dell'Ournèdes e del Quenet Sud.

Fase 3: Proposta di attività per la valutazione delle misure adottate

Data la morfologia della cella idro-sedimentaria in cui si trova il sito di Vieux Salins e gli impianti già esistenti (il sito è circondato da pennelli e porti), la rimozione delle scogliere dal sito non avrà effetti negativi sulle zone costiere vicine. Al contrario, questa operazione permetterà una redistribuzione dei sedimenti lungo la costa del Vieux Salins.

In ogni caso, al fine di analizzare l'effetto di questa riqualificazione sugli ambienti costieri, il monitoraggio delle praterie di Posidonia e il regolare monitoraggio topografico è previsto fino alla metà del 2021 nell'ambito del programma Life ADAPTO gestito dal Conservatoire du littoral.

2.6 Piano di intervento Department du VAR

Fase 1: Diagnosi

L'applicazione della strategia transfrontaliera MAREGOT sui siti pilota dell'insenatura di Vieux Moulin e della spiaggia del Veillat ha messo in luce le criticità che interessano questi tratti di costa; la problematica principale è pertanto quella dell'erosione della linea di riva per entrambe;

il rapporto T3.1.1 su questi siti ha evidenza una dinamica erosiva moderata seppur costante su scala secolare.

Fase2: Proposta di misure per la riduzione del Rischio

Il Comune di Grimaud ha affidato all'Ufficio Tecnico ACRI-IN il compito di elaborare delle misure di riduzione dei rischi nell'insenatura di **Vieux Moulin**. La pertinenza degli scenari è stata valutata con un approccio modellistico per i seguenti casi: 1) apertura parziale del pennello ad est; 2) radicamento di una nuova opera sommersa parallela alla costa alla profondità di 1,5 metri; 3) Realizzazione di un nuovo pennello nell'area ovest della spiaggia. Gli scenari di sviluppo costiero per l'insenatura di Vieux Moulin devono quindi contribuire a ridurre il rischio di erosione; le problematiche maggiori sono osservate per le condizioni di onde provenienti dal settore 75°N:

- La zona costiera è soggetta a un'erosione per condizioni annuali con onde provenienti dal settore 75°N e 95°N. Per le onde provenienti dal settore 115°N, la zona è stabile, in quanto gli arretramenti sono compensati da apporti esterni.
- L'apertura del frangiflutti non compromette l'equilibrio della spiaggia in caso di tempesta annuale.
- La creazione di un frangiflutti a ovest dell'insenatura comporta uno squilibrio che porta a un aumento significativo del processo erosivo nel caso di tempesta annuale.
- La creazione di un'opera sommersa non ha conseguenze sull'equilibrio della spiaggia nel caso di tempesta annuale.

Infine, viene proposto l'installazione di geotubi e scogliere artificiali sommerse, destinate alla riduzione dell'erosione e alla salvaguardia dell'ambiente costiero.

La Città di Saint-Raphaël ha affidato al raggruppamento degli studi Corinthe Ingénierie e DHI France il compito di elaborare delle misure di riduzione dei rischi per la spiaggia di Veillat. La pertinenza degli scenari è valutata con un modello matematico. In questo studio è stata applicata la modellizzazione idrodinamica e morfodinamica e la parametrizzazione per le spiagge a parabola; questo ha condotto a formulare diverse ipotesi per la riprogettazione e allungamento dei pennelli già presenti nel sito, accoppiato a ripascimento artificiale. Successivamente è stato preso in considerazione l'ipotesi di installare opere sommersa con l'obiettivo di ridurre l'impatto visivo.

Queste ipotesi progettuali, oltre a ridurre potenzialmente i fenomeni erosivi, hanno la funzione di proteggere il litorale dalle inondazioni marine; la necessità di ridurre la vulnerabilità ha

comportato l'ipotesi di utilizzare sia strutture emerse che sommerse dato che le precedenti ipotesi non forniscono adeguata protezione al litorale. In particolare, i blocchi adibiti alla parte sommersa saranno appositamente progettati per formare habitat più complessi ed eterogenei di quelli formati dall'allestimento dei blocchi 2/5 T. Sono previste cavità profonde e altre più piccole in superficie alle pareti del modulo. Anche perchè la conservazione delle specie di alto valore ecologico, posidonie, madrepore e cimodocee, presenti nel sito hanno un ruolo fondamentale per quest'area.

Per tutte queste ragioni, in questo progetto è stato proposto un approccio innovativo per la dissipazione del moto ondoso. Si tratta di un allestimento leggero con strutture flessibili che consentono di ripristinare artificialmente il ruolo di attenuatore del moto ondoso da parte delle praterie di posidonia e di cimodocea.

Fase 3: Proposta di attività per la valutazione delle misure adottate

In base alla normativa vigente sarà stilato un programma di monitoraggio per entrambi i siti che prevede: rilievi topo batimetrici, rilievo bentonologico, analisi sedimentologica e una valutazione dei tempi di manutenzione. Le attività sono rese disponibili alla cittadinanza mediante l'affissione di cartelloni informativi.

3. Piattaforma transfrontaliera di modellizzazione, simulazione, pianificazione e formazione (T3.2)

SIS2B ha proposto e deciso di sviluppare una piattaforma di modellazione e simulazione multirischio nell'ambito del programma Interreg PC Italia Francia Marittimo 2014-2020.

I progetti Proterina 3Evo e Maregot hanno quindi cofinanziato a SIS2B questo strumento innovativo che permette una migliore acculturazione degli amministratori locali e del personale amministrativo e tecnico che sono particolarmente coinvolti nella gestione delle crisi in caso di inondazioni o sommersioni marine.

Questa piattaforma è costituita da un insieme di computer in una rete chiusa, collegati tra loro da un sistema wifi privato. È composto da un insieme "fisso" di computer desktop, schermi panoramici e stazioni di gestione delle esercitazioni che integrano la cabina di pilotaggio di aerei idrobombardieri ed elicotteri di comando e controllo. Questo sistema fisso è ospitato a Corte sulla piattaforma tecnica della Scuola dei Pompieri SIS2B in un edificio modulare acquisito grazie

al. Questo sistema è completato da un set mobile di computer portatili che assumono le stesse funzioni del set fisso.

L'obiettivo finale dello sviluppo di questa piattaforma di modellazione e simulazione è quello di aggiornare gli addetti sulla gestione del rischio legato ad eventi di inondazione fluviale o marina. Questa gestione delle crisi passa necessariamente attraverso quattro fasi principali che sono: la fase di prevenzione, la fase di preparazione e di allerta, la fase operativa e infine la fase di ritorno alla normalità.

4. Interventi sperimentali per la rinaturalizzazione della costa e del ripristino delle dinamiche naturali (T3.3 & T3.4)

4.1 Conservatoire du Littoral: Rinaturalizzazione del sito delle Vecchie Saline Hyeres (infrastruttura verde)

Il litorale sabbioso di fronte al sito di Vieux Salins d'Hyères è soggetto a fenomeni erosivi dovuti a molteplici fenomeni (innalzamento del livello del mare, modifica della cellula idrosedimentaria, artificializzazione del litorale, sovraffollamento pubblico, ecc.). Durante le tempeste si verificano eventi di inondazione che comportano la penetrazione marina all'interno dei canali di approvvigionamento delle ex saline situate al di sotto del livello medio del mare. L'attuale situazione pregiudica il funzionamento idraulico del sito ed è in contrasto con gli obiettivi di gestione e valorizzazione definiti dal Conservatoire du littoral.

Una prima operazione di eliminazione delle scogliere è stata effettuata nel 2011 dal Conservatoire du Littoral per rimuovere i blocchi di macerie e cemento che l'ex proprietario (la Compagnie des Salins du Midi) aveva depositato come opera di difesa.

L'applicazione della strategia transfrontaliera di Maregot combinata con uno studio realizzato dalla Metropoli Toulon Provence Méditerranée (Artelia, 2017-2018) ha portato alla definizione del seguente piano d'intervento: per limitare il rischio di sommersione ed erosione, si propone di rimuovere una parte delle opere di difesa al fine di eliminare la cella di erosione prodotta dal pennello e, migliorare la qualità del paesaggio costiero.

Pertanto, i progetti proposti nel piano d'intervento sono suddivisi nelle azioni presentate di seguito:

1. Proteggere il sito dalle inondazioni marina ricostituendo una duna e creando delle difese nell'area retro-dunale

2. Riorganizzare la cella di erosione generata da i massi ad est del sito
3. Assicurare la sicurezza e percorribilità dei percorsi pedonali sul sito

Il progetto di rinaturalizzazione ha previsto inoltre un fitto programma di monitoraggio del litorale e dell'ambiente acquatico sottostante; in sintesi, ogni trimestre il BRGM effettua il monitoraggio della topografia della spiaggia lungo 8 transetti e il monitoraggio della posizione della linea di rive e due volte all'anno, monitora anche la topografia sulla base di immagini aeree elaborate con la fotogrammetria per creare un modello digitale del terreno (DTM) dell'intera spiaggia.

Di concerto, nell'ambito del progetto LIFE Adapto e in conformità con gli impegni assunti nei confronti delle autorità ambientali, nel 2019 il Conservatoire du littoral ha avviato uno studio di monitoraggio delle praterie di fanerogame e in particolare della prateria di Posidonia presente nell'area del Vieux Salins. Questo studio consiste in 4 campagne di misurazione del limite superiore della prateria di Posidonia e delle superfici coperte dalle praterie di cimodocea

4.2 Département du VAR: Opera sperimentale di previsione dei rischi di erosione costiera (infrastruttura verde)

Vieux Mulin

Tra le misure proposte per ridurre il rischio di erosione in questo sito pilota del progetto MAREGOT (rapporto T3.2.2), l'allestimento di un'opera sommersa è identificato come il tipo di intervento più appropriato, secondo le simulazioni matematiche effettuate sui vari scenari di sviluppo.

L'opera (dighe sommerse di geotessuto, distanziate tra loro), portata a termine nel dicembre 2019, ha consentito di creare una zona di dissipazione e modificare la zona di frangenza a favore della spiaggia sommersa.

D'altronde, il Comune di Grimaud ha suggerito il posizionamento di scogliere artificiali per compensare l'impatto dell'opera sulle biocenosi. La progettazione dei massi ha permesso di definire una forma tale da conservare la sua stabilità rispetto al moto ondoso con periodo di ritorno cinquantennale.

Durante le operazioni di posizionamento dei geotubi è stata utilizzata una rete in grado di impedire il raggiungimento del materiale in sospensione della zona occupata dal poseidonieto escludendo ogni possibile conseguenza sull'ambiente acquatico. Per poter posizionare l'opera su di una superficie piana e orizzontale, è stato realizzato un livellamento della zona individuata ed è stato necessario rimobilizzare 340 m³ di sabbia per ottenere una profondità uniforme di -2,40 m. Una volta completata la doppia linea di geotubi, questo cumulo di sabbia è stato riposizionato nel sito iniziale, ricoprendo così parzialmente gli elementi di geotessuto (tappeti e tubi).

Si fa presente che l'operazione non rientrava nell'ambito della normativa sui dragaggi, poiché queste sabbie sono considerate "pulite", in assenza di ogni eventuale fonte di inquinamento nelle immediate vicinanze. Il Comune di Grimaud ha acquistato 1500 m³ di sabbia di cava necessari al riempimento dei geotubi; Il criterio principale per la scelta del materiale è stato la compatibilità con la sabbia già presente nel sito. Infatti, qualora l'opera abbia un impatto negativo sia sulle biocenosi che sul litorale, il Comune di Grimaud è obbligato a rimuoverla. Per i geotubi, verrà rimosso soltanto l'involucro di geotessuto, la sabbia di riempimento viene lasciata sul posto; per questo motivo, non deve avere caratteristiche granulometriche troppo diverse dalla sabbia naturalmente presente. Infine, i rilievi effettuati nel febbraio 2020 hanno evidenziato una netta progradazione della linea di riva rispetto all'ultima indagine fatta nell'ottobre 2018.

Saint Raphael

Per il progetto di ripristino del litorale del litorale del Veillant (Saint Raphael) è stata utilizzato uno studio modellistico accoppiato con rilievi di campo per determinare le dinamiche idrologiche e morfologiche

che comportano il forte trend erosivo e l'elevato rischio inondazione che caratterizza questo tratto di costa. In collaborazione con il comune, una società di ingegneria idraulica e DHI, il Department du VAR ha redatto le principali attività da svolgere:

1. Ripascimento della spiaggia (22.000 m³) che consente un significativo ampliamento su tutto il litorale costituendo una zona cuscinetto per mitigare gli attacchi da moto ondoso. Questo ampliamento consente di aumentare notevolmente la superficie potenzialmente sfruttabile dalle concessioni balneari, nonché la superficie di spiaggia pubblica.

2. Ampliamento del pennello Bonaparte (opera sottomarina affiorante, leggermente emersa all'altezza del raccordo con l'esistente), che eviterebbe la fuoriuscita del materiale versato sul lato ovest della spiaggia.

3. Ampliamento del pennello Diana (opera sottomarina affiorante) che costituisce un frangiflutti sommerso destinato a limitare l'impatto del moto ondoso sulla parte centrale e orientale della spiaggia; quest'opera è inoltre destinata a ostacolare le rip currents che costeggiano il pennello esistente per limitare la fuoriuscita di materiali verso il largo.

L'analisi dei risultati mostra che questo progetto, rispetto all'attuale situazione porterebbe a:

- Ridurre significativamente l'altezza delle onde all'interno della spiaggia del Veillat;
- Accelerazione delle correnti con una circolazione in senso orario all'interno delle celle sedimentaria della spiaggia (attualmente si osservano due circolazioni opposte da ambo i lati della scogliera centrale);
- Un'inversione del trasporto di sedimenti per la parte occidentale della spiaggia, dovuta principalmente a:

o Riprofilatura della spiaggia, che modifica l'orientamento della riva rispetto all'incidenza delle onde;

o Prolungamento verso sud-est del pennello Bonaparte, che induce localmente una forte accelerazione delle correnti;

Inoltre, nella parte est della spiaggia, il prolungamento del pennello Diana rafforzerebbe il trasporto di sabbia dal centro verso l'estremità est.

5. Conclusioni

Le Attività svolte dai partner per la component T3 hanno portato alla luce le principali criticità delle rispettive aree pilota e hanno fornito le soluzioni per la mitigazione del rischio e la tutela dell'ambiente costiero. Attraverso l'utilizzo di una metodologia comune, redatte nella component T2, è stato possibile individuare gli agenti e le cause del dissesto costiero nei siti pilota.

Le aree pilota individuate dai partner presentano caratteristiche morfologiche, ecologiche, idrologiche e urbane molto differenti tra loro, ma i risultati emersi in questo progetto hanno evidenziato un filo comune nella determinazione e risoluzione dello stato critico nel quale versano le spiagge e le coste alte delle regioni coinvolte nel progetto MAREGOT. Sicuramente, l'impatto antropico gioca un ruolo fondamentale nel trend negativo che i partner hanno descritto nelle rispettive attività; la massiccia edificazione lungo le coste e la scarsa tutela dei beni ambientali hanno determinato una repentina perdita di litorale e un comprovato depauperamento dei sistemi ecologici annessi; inoltre è emerso che la costruzione di opere che avrebbero dovuto mitigare e proteggere la costa, in alcuni casi, hanno accelerato i processi erosivi e compromesso gli habitat costieri. Le politiche attuate in questo progetto puntano a disegnare nuove strategie comuni per garantire, almeno in parte, la prospettiva di resilienza e ripristino dei territori; sicuramente l'approccio integrato resta la strada da percorrere, definendo strategie comuni al di là dei confini amministrativi e degli strumenti introdotti dagli enti preposti.

Un elemento che accomuna le attività svolte dai partner, è l'impiego di tecnologie sempre più avanzate nello studio delle coste; In questo ambito, di concerto con il progetto *Proterina 3EVO*, è stata sviluppata una piattaforma in grado di gestire tutte le fasi durante lo svolgimento di eventi estremi come alluvioni e inondazioni marine; questo strumento predispone attività di formazione e tutoring per gli enti locali.

Da questa component è, inoltre, emersa la necessità di valutare l'impatto dei cambiamenti climatici che potrebbero inficiare le strategie adottate nel futuro prossimo; l'aumento del livello medio mare, la tropicalizzazione del Mediterraneo, l'intensificarsi degli eventi estremi e l'aumento delle attività antropiche lungo la costa sono elementi che devono essere considerati nella progettazione e gestione della costa.

Gli studi condotti dai partner hanno chiarito che l'interazione tra enti preposti, comunità scientifica e cittadini hanno un ruolo determinante nella battaglia al dissesto idrogeologico, in quanto la connessione di questi tre elementi fornisce un quadro informativo utile per l'attuazione di strategie comuni, per la valorizzazione delle coste e la tutela degli habitat terrestri e marini.

L'attuazione delle attività della component T3 ha evidenziato la bontà delle strategie comuni adottate dai partner per le rispettive aree pilota in risposta alle criticità emerse; da questo documento è possibile individuare le buone pratiche per la gestione del territorio costiero transfrontaliero, basandosi su tre semplici indicazioni: Osservare le dinamiche in gioco, Conoscere l'evoluzione della costa e Prevenire le criticità tempestivamente.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Rapport de la composante T3

UNIGE DISTAV - Dipartimento di Scienze della Terra
dell'Ambiente e della Vita

Version 1 - 30 Settembre 2020

Table des matières

| | |
|---|----|
| Avant-propos | 2 |
| 1. Rapports spécialisés par zone pilote (T.3.1.1.) | 3 |
| 1.1 Résumé des rapports d'experts Regione Liguria | 3 |
| 1.2 Résumé des rapports d'experts Région Toscane | 8 |
| 1.3 Résumé des rapports d'experts Région Sardaigne | 11 |
| 1.4 Rapport de synthèse spécialiste Office de l'Environnement de la Corse | 15 |
| 1.5 Résumé des rapports d'experts Conservatoire du littoral | 19 |
| 1.6 Résumé du rapport du spécialiste du Département du VAR | 22 |
| 2. Plans d'action par zone pilote avec mesures spécifiques et priorités d'action (T.3.2.2) | 27 |
| 2.1 Plan d'intervention Région Ligurie | 27 |
| 2.2 Plan d'intervention Région Toscane | 30 |
| 2.3 Plan d'intervention de la région Sardaigne | 31 |
| 2.4 Plan d'intervention Office de l'Environnement de la Corse | 34 |
| 2.5 Plan d'intervention Conservatoire du littoral | 34 |
| 2.6 Plan d'intervention du département du VAR | 35 |
| 3. Plateforme transfrontalière de modélisation, de simulation, de planification et de formation | 37 |
| 4 Interventions expérimentales pour la renaturalisation du littoral et la restauration de la dynamique naturelle | 38 |
| 4.1 Conservatoire du Littoral : Re-naturalisation du site des salines du Vieux Hyères (infrastructure verte) | 38 |
| 4.2 Département du VAR : Travaux expérimentaux de prévision des risques d'érosion côtière (infrastructure verte) | 40 |
| 5. Conclusions | 42 |

Avant-propos

La composante T3 prévoyait l'application de méthodologies transfrontalières pour l'élaboration de plans d'intervention dans les zones pilotes identifiées par les partenaires du projet ; la reconnaissance des principes généraux et l'adoption d'une stratégie commune et transfrontalière ont permis d'identifier des problèmes critiques communs dans les zones pilotes des partenaires respectifs, grâce à l'utilisation de méthodologies et de plans d'intervention communs visant à rétablir l'équilibre environnemental des côtes et à valoriser le patrimoine naturel. La coopération, menée dans le cadre du projet MAREGOT, a permis d'accélérer les processus de décision grâce à l'acquisition de méthodologies consolidées issues de la comparaison entre les partenaires et avec les parties prenantes conformément au "Protocole sur la gestion intégrée des zones côtières" (GIZC).

Les méthodologies communes identifiées au cours de la composante T2 ont été appliquées à différentes échelles spatiales et temporelles, en fonction des données collectées par les différents partenaires dans leurs zones d'étude respectives et des différentes caractéristiques morphologiques et urbaines qui sont apparues au cours de cette phase. Dans la première analyse, il a été possible de voir que les méthodologies identifiées dans ce projet ont produit des résultats homogènes et comparables sur les différentes zones pilotes et ont produit un cadre commun dans toute la zone du projet.

Cette phase comprenait : une collecte de données avec d'éventuelles intégrations ; des enquêtes spécifiques sur les campagnes et le traitement des données obtenues ; la gestion et l'amélioration des données collectées par le biais d'applications informatiques ; la description des dynamiques et des tendances identifiées ; l'analyse des questions critiques et la proposition de mesures en réponse à celles-ci.

En général, les plans d'intervention ont produit un modèle efficace pour la gestion des zones côtières ayant des caractéristiques physiographiques comparables et ont assuré la participation des acteurs publics au développement intégré de la bande côtière.

En outre, une plateforme de modélisation et de simulation multirisque développée par SIS2B a été mise au point.

Enfin, deux interventions ont été réalisées, basées sur une approche naturaliste (infrastructures vertes), dans lesquelles des zones précédemment compromises ont été restaurées par la construction d'infrastructures à faible impact environnemental.

1. Rapports spécialisés par zone pilote (T.3.1.1.)

1.1 Résumé des rapports d'experts Regione Liguria

Le site pilote est situé à l'extrême est de la Ligurie et englobe la partie ligure-tyrrhénienne de la région, y compris la dernière partie de la province de Gênes et toute la province de La Spezia, et s'étend sur environ 110 km. Dans la zone pilote, la morphologie typique de la haute côte prédomine, qui s'articule par l'alternance de promontoires, d'étendues très déchiquetées, de falaises abruptes et d'anses occupées par des plages de poche. Dans la partie la plus orientale, en correspondance avec l'embouchure du fleuve Magra et les zones proches de la frontière avec la région de Toscane, les côtes rocheuses laissent place à de vastes environnements de plage ; à l'intérieur du territoire, il existe des zones protégées à niveau national et régional : le Parc national des Cinque Terre, le Parc régional de Portovenere et le Parc régional de Montemarcello Magra.

Cette zone est divisée en sept unités physiographiques, d'ouest en est :

- Moneglia, de Punta Baffe à Punta Rospo ;
- Deiva, de Punta Rospo à Punta Monte Grosso ;
- Ghiararo, de Punta Monte Grosso à Punta Mesco ;
- Cinque Terre, de Punta Mesco à Punta di Montenegro ;
- Muzzerone, de Punta Montenegro à l'île du Cap ;
- Golfe de La Spezia, du Cap de l'île à Punta Santa Teresa ;
- Lerici, de Punta Santa Teresa au ruisseau Parmignola.

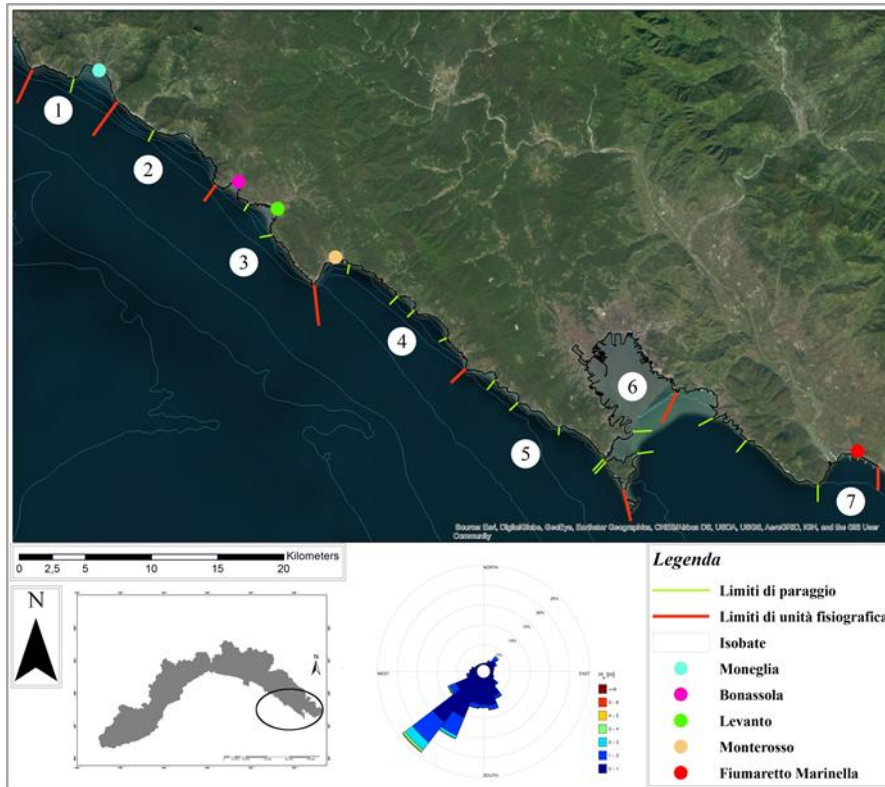


Figure 1 Site pilote; Unité physiographique: 1 - Punta Baffe - Punta Rospo; 2 - Punta Rospo - Punta Madonnina; 3 - Punta della Madonnina della guardia - Punta Mesco; 4 Punta Mesco - Capo Monte Negro; 5 Capo Monte Negro - Isola Palmaria; 6 Isola Palmaria - Golfo di La Spezia; 7 Golfo di La Spezia - Confine Toscano ; Diagramme polaire du climat des houles.

Le régime de mouvement des houles est caractérisé par les mers qui viennent du sud-ouest (Libeccio), tandis que les houles secondaires viennent du sud (Mezzogiorno). Les agitations venant du sud-est ne sont pas très incisives sur la dynamique côtière, car le *fetch* est limité ; la *dérive* côtière est constituée d'une direction ouest-offshore, contrairement à l'étendue de côte entre le fleuve Magra et la frontière toscane où la *dérive* est dirigée vers le sud. L'étude des principaux processus hydrodynamiques côtiers a été réalisée à l'aide d'une chaîne de modélisation qui a permis de décrire la propagation du mouvement des houles du large vers le rivage ; cela a permis d'évaluer la criticité des différentes unités physiographiques, telles que l'érosion côtière, l'impact des tempêtes de mer extrêmes et les conséquences de l'élévation du niveau de la mer due au changement climatique.

Dans le cadre de l'action T3, une cartographie détaillée à l'échelle 1/10 000 des principaux habitats marins benthiques a été réalisée ; comme point de départ, on a

utilisé l'"Atlas des habitats marins de la Ligurie" publié par la région Ligurie, dans la version de sa mise à jour cartographique de 2009, qui a produit une cartographie à l'échelle 1/10 000 des principaux habitats marins benthiques entre 0 et 50 mètres de profondeur, déjà disponible au format SIG. A partir de ce niveau d'information, les périmètres et les données qualitatives associées ont été mis à jour en utilisant principalement les nouvelles données acquises avec les enquêtes territoriales menées.

En bref, il est confirmé que les côtes des fonds marins de la région présentent une bonne variété d'habitats et de populations. Les prairies de *Posidonia oceanica* couvrent une très petite surface dans ce secteur côtier par rapport aux autres situations liguriennes, mais il s'agit probablement d'une situation physiologique puisque la partie occidentale de la zone est principalement caractérisée par de hautes falaises dont l'interaction avec le mouvement des houles peut considérablement restreindre la bande de fond marin pouvant être colonisée par cette plante marine ; la partie orientale est au contraire fortement conditionnée par le fleuve Magra, également un élément limitant pour le développement de la posidonite.

D'autre part, les habitats des côtes sableuses sont principalement situés dans la dernière partie de la côte, à l'embouchure du fleuve Magra, où résident généralement des espèces indiquées comme étant des flores psammophiles et halophiles; ces milieux naturels sont particulièrement vulnérables en ce qui concerne les utilisations anthropiques de la côte et ont été inclus parmi les habitats dignes de protection dans la directive communautaire 92/43/CEE concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages.

L'étude du bilan sédimentaire des plages a été réalisée à travers l'analyse des données acquises lors des relevés bathymétriques multifaisceaux effectués entre 2010 et 2019. À partir de ces relevés, un modèle numérique du fond marin avec un maillage de 1x1 m a été obtenu, en utilisant le logiciel Global Mapper. L'étude a porté sur une zone comprise entre 1,5 m et 30 m de profondeur. L'évolution de la plage submergée a été étudiée par la comparaison entre les relevés bathymétriques historiques (1878 e 2006) et le relevé multifaisceaux effectué en 2010. Il est évident que les différentes méthodologies utilisées pour l'enquête et surtout l'échelle différente des enquêtes ne permettent pas une comparaison quantitativement fiable

mais elles peuvent être très utiles pour une analyse qualitative et une estimation semi-quantitative des variations morphologiques et volumétriques de la plage submergée.

En général, trois types de plages peuvent être identifiés en fonction de leur tendance évolutive, qui dépend en grande partie des apports naturels et artificiels et de la configuration morphologique du contexte dans lequel elles se trouvent et de celle des éventuels ouvrages de défense. La première catégorie représente les plages d'origine purement artificielle, créées au siècle dernier par des décharges anthropiques; la deuxième catégorie comprend les plages, autrefois également d'origine naturelle, mais aujourd'hui principalement artificielles et non alimentées naturellement; la troisième catégorie, enfin, représente les plages qui sont naturellement alimentées par des cours d'eau et qui ne nécessitent qu'une éventuelle révision des ouvrages de défense afin de mieux exploiter et stabiliser l'apport sédimentaire qui les intéresse.

Grâce à l'utilisation des informations recueillies par le portail cartographique de la Région Ligurie, des scanners laser terrestres et des levés aéro photogrammétriques par drone ont été réalisés, afin d'obtenir des modèles topographiques 3D et des modèles numériques de terrain (DSM et DTM) avec un degré de détail élevé. Dans la zone pilote, quelques sites plus significatifs ont été identifiés du point de vue de la dynamique géomorphologique de la haute côte rocheuse et des scénarios de risque en termes d'érosion côtière. Les relevés détaillés réalisés à l'aide de techniques de télédétection ont concerné le secteur côtier entre Monterosso al Mare et Riomaggiore, sur le territoire du Parc national des Cinque Terre. L'ensemble des données acquises a été traité à l'aide de techniques et d'algorithmes de photogrammétrie automatique pour générer des modèles 3D à une résolution constante de 20 cm. Par la suite, des procédures de classification visant à supprimer les erreurs et les perturbations ont été appliquées à ces modèles. Enfin, des modèles numériques de topographie (DSM - Digital Surface Model et DTM - Digital Terrain Model) avec une résolution de 1 m ont été générés à partir des modèles 3D classés. Dans la phase suivante, quelques portions de côte, représentatives des principales caractéristiques géologiques, géomorphologiques et géomécaniques de la zone pilote ainsi que significatives du point de vue des scénarios de propension à l'effondrement et de risque d'érosion, ont été identifiées et dans lesquelles des études géomécaniques détaillées ont été réalisées. La méthodologie adoptée est basée sur

l'exécution de relevés photographiques des parois de la falaise à l'aide de techniques de stéréoscopie terrestre, dans le but d'évaluer la qualité de la masse rocheuse, exprimée par la RQD (Rock Quality Designation), la RMR (Rock Mass Rating) et le GSI (Geological Strength Index).

En Outre, une analyse des tendances évolutives des principales plages et des hautes côtes situées sur le site pilote a été réalisée ; l'évolution récente du littoral a été analysée grâce à l'utilisation de photographies aériennes zénithales, géoréférencées et, si possible, orthorectifiées.

Les lignes côtières des vols à basse altitude effectués par la Région Ligurie ont été utilisées tous les dix ans de 1973 à 2013 et, comme premier vol de comparaison, le vol effectué par la Royal Air Force pour des raisons de guerre en 1944. L'étude a révélé une régression substantielle du littoral de 1944 à 2013 dans toutes les unités physiographiques, à l'exception des plages de Levanto et de Monterosso al Mare, où il y a eu un décalage dû à la construction d'ouvrages maritimes.

La tendance évolutive à court terme des hautes côtes est principalement liée aux phénomènes d'instabilité cinématique rapide (c'est-à-dire les effondrements, le basculement et le glissement des rochers) et à la dynamique géomorphologique naturelle de la falaise. Cette évolution est particulièrement accentuée lors de phénomènes météorologiques ou d'événements pluvieux intenses et prolongés, notamment le long des portions de côtes enchâssées dans des falaises. La tendance évolutive à long terme concerne principalement les pentes côtières très raides couvertes par des couvertures fluviales, dans la plupart des cas disposées sur des terrasses agricoles soutenues par des murs de pierres sèches, et les grandes masses de glissements de terrain dormants et les vestiges présents le long de nombreux tronçons de la zone pilote.

En ce qui concerne l'étude des risques côtiers, le risque à long et à court terme a été pris en compte, le premier étant basé sur l'impact du changement climatique entraînant une augmentation substantielle de l'élévation du niveau de la mer à 1.15 mètres prévus pour 2100, entraînant une perte substantielle de plage pour toutes les plages du site; la seconde, en revanche, a été calculée en évaluant l'impact des événements météorologiques marins extrêmes le long de la côte, en utilisant des simulations numériques capables de traiter les bandes d'inondation pour les

différentes unités physiographiques en fonction des éléments à risque présents dans la zone; par conséquent, le risque lié aux courants de riposte présents dans certaines parties de la côte a été évalué en utilisant la même méthodologie.

1.2 Résumé des rapports d'experts Région Toscane

Le site pilote du Parc régional de la Maremme est situé sur la côte de la Toscane méridionale, dans la province de Grosseto. Il s'agit notamment du littoral entre Marina di Grosseto (sortie de l'émissaire S. Leopoldo, Fiumara) et Cala Rossa sur une longueur d'environ 16,3 km. La bande côtière est constituée de dépôts marins, lagunaires et continentaux, avec une prédominance de graviers dans la partie intérieure, d'argilo-calcaire et de graviers dans la partie centrale, et d'argilo-calcaire et de sable dans la partie extérieure, ces derniers occupant les niveaux les plus élevés et représentant les dépôts récents et actuels des plages et des dunes. Le tronçon de côte occupé par le delta du fleuve Ombrone a un cours cuspidal avec un sommet à l'embouchure et orienté du nord-ouest au sud-est, étant ainsi principalement exposé aux mers depuis Libeccio. Toute la zone d'étude est protégée par le promontoire de Punta Rocchette au nord-ouest, en effet il n'y a pas d'événements appréciables à partir d'angles supérieurs à 300°, ce qui correspond précisément à l'orientation de la route Rocchette-Bocca d'Ombrone. Sur le côté opposé, au sud, c'est le Monte Argentario qui annule les événements météorologiques qui ont une composante orientale minimale : le secteur d'origine des houles du large est donc d'environ 120°. Le pourcentage de calme est d'environ 68%. La zone fait partie de deux sites d'importance communautaire et régionale (SIC/SIR) qui, selon la classification du réseau Natura 2000, sont identifiés comme suit : SCI IT51A0039, SIR 113 et A113, (SPA) Palude della Trappola e Bocca d'Ombrone, et SCI IT51A0015, SIR 115 Dunes côtières du parc de l'Uccellina.

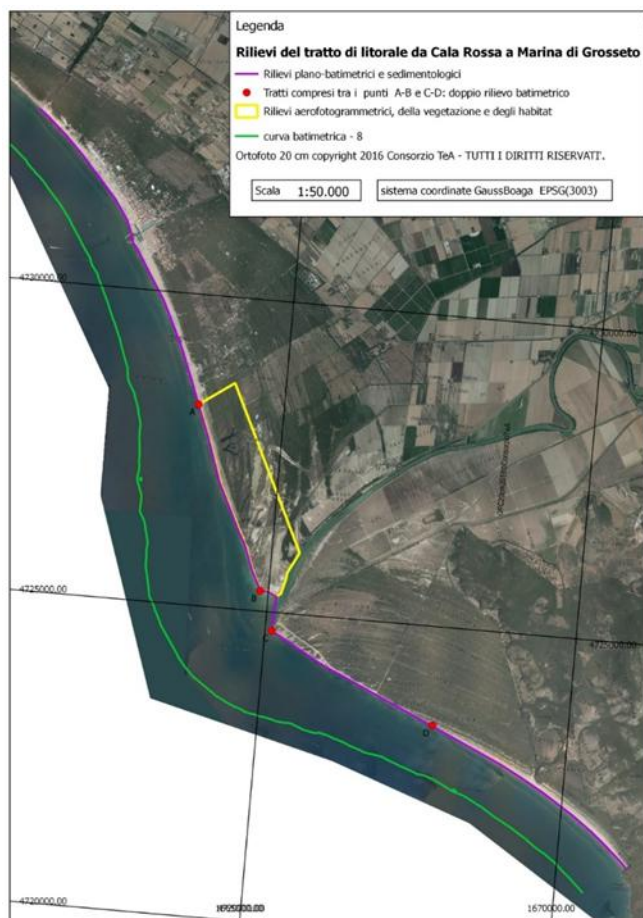


Figure 2 Site Pilote; delta du Fiume Ombrone

Le bilan sédimentaire de la plage émergée et submergée du site pilote est globalement négatif pour 45.894 m³/an, déterminé par un déficit de 86 564m³/an des plages adjacentes à l'embouchure et un excédent de 40.173 m³/an des plages latérales ; il faut toutefois considérer que, si au sud le système est fermé par le promontoire des Monti dell'Uccellina, au nord les sédiments ont pu venir à bout de Marina di Grosseto, en particulier avant la construction du port.

Pour l'ensemble du tronçon qui constitue la zone d'échantillonnage, il n'est possible de faire une comparaison qu'entre les reliefs de 1998 et 2019 : La situation est décidément préoccupante, avec une érosion du lobe nord du delta qui, dans trois secteurs, dépasse 280 m (environ 13 m/an), tandis que sur le secteur sud, elle atteint presque 100 m (plus de 3,5 m/an). Au total, 374 000 m² de plage ont été perdus entre le port de Marina di Grosseto et Cala Rossa.

On peut supposer que ces tendances vont dans la même direction d'ici à un avenir proche, étant donné que des taux d'érosion de cette ampleur sont observés depuis

plusieurs décennies et qu'il n'y a pas de symptômes de renversement de tendance, sauf dans les tronçons où des interventions de restauration et de défense du littoral ont été effectuées. Jusqu'à présent, l'érosion massive a provoqué le découpage des *crêtes de plage* qui convergeaient autrefois à l'embouchure, permettant à l'eau salée d'atteindre les étangs interdunaires et compromettant la végétation hygrophile des forêts de pins d'eau douce et côtières. Il est donc nécessaire d'évaluer l'utilité de l'intervention dans cette zone, principalement naturelle, qui jusqu'à présent au moins dans le lobe nord du delta a été laissée libre de se retirer (si l'on exclut une intervention récente avec des ouvrages rigides d'extension réduite au Chiari del Porciatti).

Dans la zone pilote de Toscane, afin d'analyser l'évolution à long terme d'une des zones de la région présentant les taux d'érosion les plus élevés, un modèle morphodynamique côtier développé par l'USGS (COSMOS-COAST) a été mis en œuvre; les essais réalisés, en considérant un scénario d'augmentation de 80 cm du niveau moyen de la mer, montrent une possible évolution du littoral, en fonction des taux de recul actuels, qui prévoit un recul maximal pour 2100 près de l'embouchure de plus de 700 m par rapport à la position actuelle.

Pour les risques à court terme, la question du risque de tempête a été abordée. D'autres problèmes de risques à court terme, tels que les courants de retour, n'ont pas été abordés. Une analyse plus complète des risques à court terme (y compris le risque de courants de retour et le risque d'inondation) a été effectuée dans la zone d'essai de Foce del Magra-Marina di Massa, qui a été spécifiquement choisie pour tester la méthodologie commune d'évaluation du risque de houles. Des webcams pour la surveillance vidéo des côtes ont également été installées dans la zone d'essai. L'analyse des événements extrêmes a ensuite été effectuée à l'aide de trois modèles statistiques différents, la distribution de Gumbel, la distribution de Weibull et la distribution de Pareto généralisé (GPD). Les résultats de cette analyse ont montré un niveau d'inondation allant jusqu'à 1,67 m avec un temps de retour de 200 ans.

L'état de conservation écologique de la zone pilote est satisfaisant, comme le montre également la présence, dans de nombreuses stations, de communautés de *Seiophora villosa*. Les éléments de dégradation sont représentés par les ouvertures dans la continuité du maquis pour faciliter le passage vers la mer, comme le rapporte également le projet "HASCITu - HABitat dans le site d'importance communautaire en

Toscane", en plus de la présence d'espèces exotiques, de pins artificiels et de l'érosion côtière.

1.3 Résumé des rapports d'experts Région Sardaigne

Le rapport d'expert illustre et décrit l'état et la tendance évolutive de la zone pilote identifiée dans l'unité de gestion côtière (UGC) de Torre delle Stelle - Solanas et, pour les besoins du projet, représentative du territoire régional sarde. La zone pilote est située dans le sud-est de la Sardaigne, dans les municipalités de Maracalagonis et de Sinnai et s'inscrit dans une large bande côtière, caractérisée par la présence de promontoires et de falaises à la composition granitique prédominante, alternant avec des plages de sable et de galets "en poche", comme par exemple :

- Cann'e Sisa (Riu Gavoi) ;
- Genn'e Mari (Canal Genn'e Mari);
- Porto Perdosu (Canal de Portu Perdosu);
- Solanas (Riu Solanas)

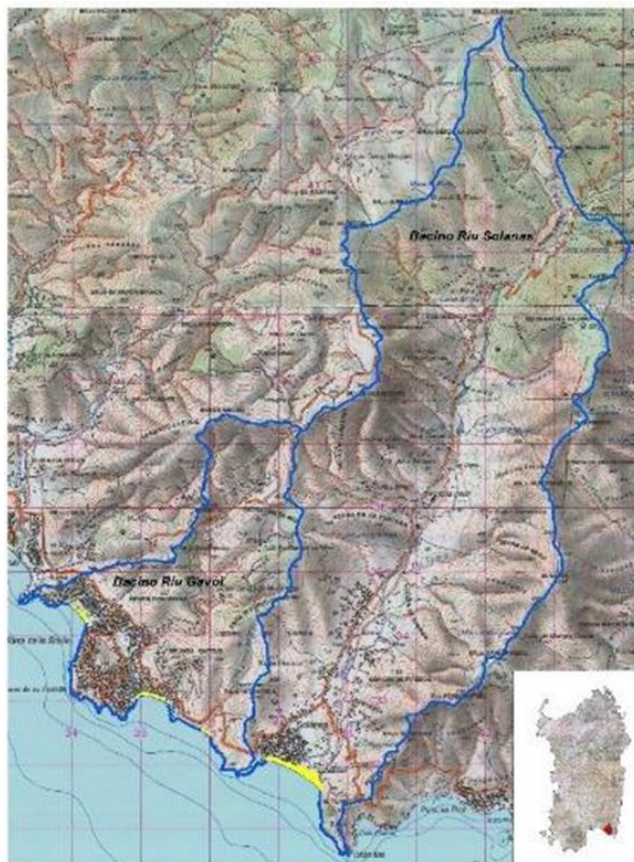


Figure 3 Site Pilote: Sud-est de la Sardaigne

Les hautes côtes du secteur émergé de la zone étudiée sont affectées par la présence d'anciennes surfaces de nivellement, d'où émergent des morphologies d'*inselberg* et de *tor* ; la plus ancienne consiste en une succession de crêtes et de plateaux à des altitudes comprises entre +400 et +500 mètres, attribuée à la phase continentale permo-triasique ; tandis que la partie submergée est caractérisée par la présence de plateformes d'abrasion, de glissements de terrain submergés et de plages de sable submergées .

En Ce Qui concerne les habitats, *Posidonia oceanica* est présente sur toute l'étendue de la côte submergée examinée, tandis que la basse côte émergée est constituée de plantes pérennes psammophiles qui donnent naissance aux premières dunes embryonnaires et que la haute côte est couverte d'une végétation d'espèces halorupicoles. La prairie de *Posidonia oceanica* dans la zone examinée est en bon état de conservation, à l'exception de la prairie devant la plage de Solanas. Dans cette prairie, de larges sillons ont été découverts, probablement en raison de l'action mécanique des filets de chalut divergents. Les passages évidents des navires de pêche montrent que ce type de pêche est encore pratiqué à faible profondeur. Les actions de ce type, perpétuées de manière constante dans ce type de prairie, déclenchent des mécanismes d'érosion intermittente qui entraînent l'épuisement de l'habitat.

Pour la zone pilote de Torre delle Stelle - Solanas, le climat des houles offshore a été défini en référence aux séries historiques détectées par la bouée RON de Cagliari de type *waverider directionnel*. La bouée est située près du Cap Carbonara à l'UTM-WGS84 à 39,115° N ; 9,405° E (depuis 2002) et 39,110° N ; 9,454° E (depuis 2009). La série historique se compose de :

- Hauteur spectrale significative des houles (Hm0) ;
- Période moyenne des houles (Tm) ;
- Période de pointe des houles (Tp) ;
- Direction moyenne de l'origine du mouvement de l'onde (Dir) ;
- Hauteur mensuelle maximale significative des houles ("indicateur") ;
- Direction associée à la hauteur de vague significative mensuelle maximale ("indicateur").

La période de mesure pour laquelle les données sont librement téléchargeables est :

- 07/02/2007 – 02/03/2008 ;
- 15/12/2009 – 31/12/2014.

Les *mers régnautes*, plus fréquentes, viennent principalement du S-E (150°) et ensuite aussi du S-O (230°).

Les activités du projet liées à l'étude du bilan sédimentaire ont été orientées vers la caractérisation morphologique et sédimentologique des trois plages incluses dans les sous-unités de gestion par le biais d'enquêtes et de mesures effectuées en plusieurs phases et en deux périodes saisonnières différentes afin de représenter également le "profil estival" et le "profil hivernal" des plages et les différentes dynamiques du transport sédimentaire côtier. De même que l'approche adoptée pour l'évaluation du "transport solide côtier" en "plage" (émergé et submergé), traitée dans le chapitre spécifique, une méthodologie comprenant des indicateurs et des paramètres analytiques mesurables a été appliquée pour caractériser l'environnement fluvial, en évaluant les tendances évolutives du cours d'eau, la dynamique du transport et la quantification en termes volumétriques des sédiments en tant qu'apport sédimentaire aux plages. L'analyse a porté sur les deux principaux affluents appartenant au secteur côtier, le Rio Gavoi et le Rio Solanas, selon un schéma méthodologique de base qui rappelle la méthodologie IDRAIM, un protocole déjà adopté en Italie pour l'évaluation hydromorphologique des cours d'eau et intégré par l'adoption du Système de détection et de classification des unités morphologiques des cours d'eau, appelé SUM. Concernant l'évaluation de la stabilité et de l'évolution des hautes côtes, le promontoire de Torre delle Stelle a été choisi ; grâce à l'utilisation d'un faisceau unique de la photogrammétrie numérique, il a été possible de déterminer les principales caractéristiques de la côte rocheuse à l'aide de scanners laser, d'un relevé géomécanique et d'une analyse cinématique basée sur le test de Markland. Pour la quantification du risque en référence aux glissements de terrain d'effondrement et pour la conception correcte des interventions, la distribution granulométrique des blocs a été évaluée par le biais de relevés directs, effectués sur le terrain, et de relevés indirects, à partir de l'analyse des ortho photos avec une résolution de 4 cm/pixel obtenues grâce aux relevés aériens par drones photogrammétriques dans la région de Cala Delfino. Les volumes ont été calculés en assimilant les blocs à une "*ball form*" donc une forme sphérique (Fityus et al., 2013). Afin d'obtenir un nombre représentatif de blocs constituant les dépôts au pied de la falaise, 4670 blocs ont été comptés, tant dans

les dépôts de glissement de terrain au pied de la falaise (2768 blocs) que dans les dépôts de plage constitués de blocs remodelés par le mouvement des houles (1549 blocs). Les tendances évolutives du système côtier ont été étudiées en analysant le système hydrographique et la morphologie côtière ; la méthodologie IDRAIM adoptée a permis de déterminer et de mesurer qualitativement les indices morphologiques qui caractérisent le lit fluvial actif analysé ; à partir de ces données et en les renvoyant aux changements passés, il a été possible de fixer le suivi morphologique du lit fluvial en se référant particulièrement aux zones d'embouchures comme principales interfaces du fleuve avec le secteur côtier et comme sites des principaux phénomènes de dépôt et d'alimentation des plages. De même que pour la zone fluviale, pour chaque plage, une analyse diachronique du littoral et de la plage émergée a été réalisée à l'aide des méthodologies mentionnées ci-dessus, en tenant compte d'un intervalle de temps d'environ 150 ans. Par conséquent, les données analysées sont de type cartographique avec des cartes historiques d'extraction et de détail différents, tandis que de 1945 à nos jours, des photos aériennes et des images satellites à différentes résolutions ont pu être utilisées ; dans toutes les plages de la zone pilote, on observe une forte tendance à l'érosion avec une régression des systèmes dunaires. L'évolution à court terme pour les hautes côtes a mis en évidence, dans la plupart des cas, des situations plus critiques au sommet des falaises parfois non loin des bâtiments et des infrastructures, et en correspondance des compluvium où la plupart des dépôts d'effondrement et ceux provenant de l'altération ont tendance à s'accumuler. Les principales criticités le long du tronçon côtier examiné sont liées aux falaises qui sont touchées par des phénomènes localisés, mais répétés : effondrements, renversements et glissements de blocs de taille variable (de 0,3 à 2 mc) et coulées de débris concentrés surtout en correspondance du compluvium. Les processus de glissement de terrain sont principalement localisés dans les secteurs supérieurs par rapport à la bande démontée *des houles* ; en particulier, on les trouve dans une plus grande mesure dans les secteurs supérieurs et supérieurs des pentes analysées. Dans ces secteurs, les agents morphogénétiques (lixiviation, altération chimico-physique de la roche, etc.), éliminent les produits d'altération et isolent et exposent les blocs à des processus gravitaires ultérieurs d'effondrement, d'effondrement / basculement et de glissement.

La dernière section est consacrée à l'évaluation des risques côtiers à long terme ; des modélisations et des études de terrain ont été réalisées sur la dynamique sédimentaire

de trois plages, ce qui a entraîné une dispersion générale des sédiments au large, mais en quantités limitées. La dynamique morpho-sédimentaire des trois plages (sous-unités de gestion) semble similaire pour les flux circulants *littoraux* et *littoraux/officiels*, avec de légères différences dans la *zone de surf*, où les courants transversaux et l'accrétion de barres longitudinales jouent un rôle plus important dans celle de Solanas, par rapport à Genn'e Mari et Cann'e Sisa, bien que les vitesses de courant soient toujours modérément faibles. La dynamique globale, en tout cas, donne aux trois zones étudiées un équilibre sédimentaire important, dans lequel les échanges de débris entre la plage submergée, la haute mer et les zones adjacentes, sont faibles et vraisemblablement limités aux fractions granulométriques les plus fines. L'évaluation du risque associé aux événements météorologiques "extrêmes" est basée et a été obtenue en mettant en relation les "éléments à risque" avec les bandes de plage "dynamiques" considérées comme significatives (définies pour les "attaques de houles à 180°" et correspondant à celles avec Tr 50) ; ces bandes, classées avec un degré de "danger modéré" correspondent aux lignes de montée maximale et à la hauteur du *run-up* telles qu'exprimées dans le tableau précédent et dans les figures représentant la montée des houles. En outre, les résultats de la modélisation développée sous la côte par la présente étude, ainsi que le caractère dissipatif de chacune des plages, bien qu'il n'y ait pas de structures artificielles telles que des barrières parallèles qui puissent être plus favorables à leur développement, suggèrent la possibilité qu'elles abritent, dans certaines conditions de rupture, des *courants de déchirement* alimentés en tout cas par le courant *littoral*.

En outre, pour obtenir une carte de susceptibilité aux glissements de terrain, la méthodologie appelée facteur de certitude a été utilisée ; le modèle de données utilisé pour cette méthode est le modèle de données matricielles pour lequel la valeur de CF est calculée pour chaque pixel de chaque *couche* de données. La valeur CF exprime la variation en termes de probabilité de vérification d'une certaine hypothèse (zone susceptible de glissements de terrain) concernant la présence ou l'absence de preuves connues dans une plage de variation comprise entre -1 et +1.

1.4 Rapport de synthèse spécialiste Office de l'Environnement de la Corse

Le site pilote constitué de la plage de Moriani, située dans la plaine orientale de la Corse, qui s'étend sur 100 km entre Bastia et Solenzara; Haute Corse ou Corse alpine au nord-est de l'île, dans le prolongement méridional des Alpes, est caractérisée par des roches sédimentaires, des formations métamorphiques de schistes luisants et leur cortège d'ophiolites ou de roches vertes. Ces formations rocheuses donnent à la Corse alpine un relief moins vigoureux que celui de la Corse hercynienne à l'ouest. La plaine orientale s'étend sans interruption sur une centaine de kilomètres entre Bastia et Solenzara sur le territoire de 27 communes côtières. Il représente 10% du littoral corse, les 90% restants étant constitués de côtes rocheuses et de plages de poche situées au fond de baies bordées de promontoires rocheux.



Figure 4 Site Pilote: Moriani plage

D'un point de vue météoromaritime, cette portion de côte est caractérisée par un secteur principal venant de l'Ouest-Sud-Ouest avec des houles de moins de 2 mètres. Les houles les plus fortes (> 4 m) viennent de l'ouest, généralement lors des tempêtes hivernales. La prairie de posidonies (*Posidonia oceanica*) sur la côte Est est un écosystème unique en Méditerranée en raison de sa taille et de son état de conservation. En fait, les différents rôles intrinsèques de cet écosystème (par exemple stabilisation et oxygénation des sédiments, zones de reproduction et de nurserie, atténuation hydrodynamique et protection des zones côtières, stabilisation des fonds marins, puits de carbone atmosphérique), combinés à la taille considérable de cette prairie, qui couvre une superficie de plus de 22 600 hectares, révèlent l'importance de ce site pour l'ensemble du littoral de la plaine orientale et de la mer Tyrrhénienne. Depuis plusieurs décennies, l'herbier de Posidonie est soumis à de nombreuses sources de perturbation, naturelles et anthropiques, et on constate un déclin considérable. Le problème le plus important de ce site est le chalutage dans la prairie de posidonies, qui est un habitat protégé et une priorité du réseau Natura 2000 en mer. Cette activité a causé des dommages physiques importants au lido de la Maranaper pendant plusieurs décennies.

Le long de la plage de Moriani, l'acquisition de données est le résultat de mesures topo-bathymétriques à une fréquence quasi annuelle (depuis 2001) et de l'utilisation d'images vidéo à haute fréquence temporelle (depuis 2018).

Principe des mesures topo-bathymétriques

Le principe des mesures est basé sur l'acquisition en commun :

- De données topo-bathymétriques sur les profils transversaux ;
- De données topographiques de la ligne de côte longitudinale à certains endroits.

Le choix des méthodes de mesure utilisées et les indicateurs géomorphologiques sélectionnés répondent aux problèmes spécifiques des plages des îles microtidales.

Dans le cadre du projet MAREGOT, trois systèmes de surveillance vidéo ont également été installés sur les sites pilotes de Bastia (plage d'Arinella, Calvi et Moriani). Les images de la caméra visent à fournir des informations à haute fréquence temporelle sur l'évolution morphologique de la plage et à améliorer la connaissance de la dynamique hydro-sédimentaire et en particulier le rôle des tempêtes et des actions humaines.

Par concertation, l'évolution du littoral a été étudiée à une échelle historique (1948-2007) à l'aide de photographies aériennes à différentes dates. Sur Moriani, il a été confirmé que la régression du littoral se poursuit avec un recul maximal d'environ 20 m en 60 ans, soit une valeur moyenne de recul de 0,33 m/an. L'impact de la construction du port de Taverna dans les années 1970 a eu des conséquences en termes de diminution de l'apport de sédiments sur cette partie de la côte, qui était à l'origine d'une partie de cette érosion.

Moriani fait l'objet d'une surveillance de son littoral dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral Corse (www.littoral-corse.fr). Il est intégré dans le site de Campololoro Nord ; les opérations entreprises pour la protection contre l'érosion (reprofilage et rechargement de la plage) compliquent l'interprétation des changements (au sud de Moriani, par exemple). Les brosses géotextiles ont un effet protecteur précis au campement de Merendella mais contribuent à modifier le transit sédimentaire et à amplifier le problème de l'érosion dans la zone sous-vent.

La plage entière est logiquement sujette à une inondation potentielle par submersion marine. La diffusion de la plongée est contrôlée par la topographie des surfaces du sol. Par exemple, les zones avec une barrière dunaire développée sont relativement protégées, tandis que les zones à l'embouchure des petites rivières côtières sont des zones où l'eau de mer pénètre pendant les tempêtes.

Une évaluation de la vulnérabilité de la côte de Moriani face au phénomène de submersion marine a été réalisée le long de la plaine orientale. Cette approche était fondée sur :

- Utilisation Des houles depuis une centaine d'années à partir d'une base de données sur les houles développée par le BRGM dans la périphérie de la Corse ;
- sur la base du calcul de l'accélération de la production réalisée grâce à la formulation Stockdon 2006 ;
- comparaison de ces niveaux d'inondation avec les données topographiques Lidar acquises par le BRGM et l'OEC en 2010, sur toute la plaine orientale de la Corse.

En dehors de l'exposition du littoral à l'érosion côtière et à la plongée d'orage, il n'existe actuellement aucune réglementation étatique spécifique en termes de prévention des risques côtiers dans la plaine orientale. Il n'y a pas de Plan de

prévention des risques côtiers (érosion côtière et/ou submersion marine) prescrit sur ce territoire ; ce n'est que récemment qu'un Plan De prévention des risques d'inondation (PPRI) a été approuvé décret préfectoral n° 01/506 du 3 mai 2001. Il s'agit des petits bassins versants du fleuve Moriani dans les municipalités de Cervione, Poggio Mezzana, San Nicolao, Santa Lucia di Moriani, Santa Maria Poggio, Taglio Isolaccio, Talasani et Valle di Campoloro.

1.5 Résumé des rapports d'experts Conservatoire du littoral

Le site des Vieux-Salins sur la commune d'Hyères, dans le département du VAR, déjà géré par le Conservatoire du littoral depuis 2001, est l'une des plus grandes zones humides de la côte sud de la France et couvre quelque 350 hectares.



Figure 5 Site Pilote: Vieux-Salins

Les marais salants d'Hyères appartenaient à l'origine à la cellule hydro-sédimentaire de la Rade d'Hyères, délimitée à l'est par la pointe de l'Argentière, premier promontoire de la côte rocheuse vers le Cap Bénat, et à l'ouest par le Cap de l'Esterel, qui marque l'extrémité orientale de la presqu'île de Giens. Le site est classé dans le plan local d'urbanisme (PLU) comme zone naturelle exceptionnelle au titre de la loi sur le littoral et inclus dans le réseau Natura 2000 (RAMSES). Elle ne peut donc faire l'objet d'aménagements artificiels (enrochements, barrages, etc.) que s'il y a une proximité immédiate avec des entreprises ou des habitations qui pourraient être menacées par la submersion marine.

Les données statistiques relatives au mouvement des houles ont été établies à partir de séries temporelles de 1979 à 2009, dérivées du modèle de propagation spectrale des houles développé par le BRGM (BRGM, 2014b). Au large, il existe deux secteurs dominants très distincts : le secteur Ouest-Sud-Ouest (environ 60% des houles de tempête) et le secteur Est, qui est très étroit (environ 35 %). La hauteur spectrale des houles (Hm0) peut atteindre 4 m dans chacun de ces secteurs. La caractérisation des habitats marins se concentre principalement sur les prairies de posidonies qui couvrent la plupart des fonds marins de la plage du récif des Vieux Salins et s'étendent sur une superficie d'environ 10 000 hectares, à quelques mètres du rivage avec une limite inférieure de plus de 8 km de la côte. La conservation de cet habitat est de première importance tant pour sa richesse écologique que pour son rôle protecteur vis-à-vis du mouvement des houles. Dans les zones centre-est, une récif barrière de posidonies s'étend sur environ 700 mètres linéaires avec un lagon de 25 000 à 30 000 m², qui abrite de nombreux points et prairies de *Cymodocea nodosa*. Ce récif barrière de posidonies s'étend à l'est, mais de façon plus discontinue, avec un littoral en retrait connexe. La zone située plus à l'est est une récif barrière fossile, où la tendance à la croissance de l'herbier vers la surface est ralentie par l'hydrodynamique locale.

Les Vieux Salins abritent une mosaïque d'habitats côtiers, de plages et d'arrière-pays. Le littoral sablonneux se compose d'une plage et d'une mince barrière dunaire sous-développée. Une végétation adaptée à l'environnement salé pousse sur ce cordon, connue sous le nom de végétation halophile. Cette végétation piège les sédiments et a un rôle fondamental dans la préservation de l'état des dunes et des plages. Le système dunaire des Vieux Salins présente de nombreux problèmes critiques dus à divers facteurs (piétinement, recul du littoral, sécheresse, salinisation du sol) qui nuisent au peuplement et aussi au maintien de la végétation. Ce stress est facilement détectable car le système dunaire est caractérisé par un mélange de communautés végétales qui sont généralement successives et compartimentées le long de la côte méditerranéenne.

Un certain nombre d'études topo-bathymétriques ont été réalisées par la municipalité pour suivre l'évolution de ce littoral et ont été évaluées et analysées:

- Des relevés bathymétriques par faisceau de sigle ont été effectués sur la zone d'étude en 2007, 2008, 2009 et 2010 tous les 50 mètres selon les directives. Ces relevés couvrent la partie submergée de la zone d'étude jusqu'à des profondeurs d'environ 6-7 mètres, jusqu'aux épis à droite du Camping le Pansard.

En 2015, dans le cadre du programme de surveillance côtière DREAL, une étude topographique (aéroportée) par LIDAR a également été réalisée, couvrant toute la zone d'étude avec une résolution de 1 mètre. Eurofins a mené une campagne d'échantillonnage des sédiments constituant les fonds marins à faible profondeur le 20/07/2017. Une analyse laser de la taille des particules des échantillons collectés a été effectuée.

La position du littoral, identifiée à l'aide de la frontière terre-mer, a été déterminée en analysant les images prises dans les années suivantes : 1920, 1924, 1971, 1998, 2006, 2008, 2011, 2014 et 2017 par photo-interprétation (L. Velay, 2016, IGN, 2017). Les résultats ont montré une régression dans le secteur est et une accumulation dans le secteur ouest, près de Port Porthau ; tandis que le secteur central est resté inchangé jusqu'en 1971, puis a régressé d'environ 0,3 m par an jusqu'en 2017. Enfin, une analyse à plus court terme a montré qu'entre 2011 et 2017, la régression du littoral a atteint 1,2 m par an.

Les apports solides de la rivière Maravenne sont estimés à environ 6500 tonnes, et sont principalement du limon et environ 1500 tonnes de sable/gravier et de galets. La zone à droite de la Maravenne a tendance à s'envaser depuis 2009, principalement en raison de l'afflux de la plage de Tamaris, située immédiatement à l'est du lit de la rivière. Les apports solides du Gapeau sont les plus importants (ils représentent environ 80 % des apports totaux de sédiments dans la zone d'étude) et une partie de ces sédiments est ensuite déposée à l'embouchure.

L'analyse historique a souligné le rôle important de l'anthropisation du site avec la construction du port militaire de Pothuau et de son barrage bloquant le transit côtier orienté est-ouest qui en résulte (processus longitudinal). Le processus d'anthropisation a également impliqué le secteur oriental avec la construction du port de Miramar et les épis de la plage adjacente ; ces travaux ont bloqué l'entrée de tous les sédiments empêchant le transit côtier naturel.

À l'avenir, une accélération de l'élévation du niveau de la mer entraînera un effet final plus prononcé que l'effet du réchauffement climatique.

En prévision d'une élévation du niveau de la mer, l'impact sur l'évolution du littoral a été estimé à l'aide de la règle de Brüun (1962) et du modèle SBEACH. Dans le premier cas, le résultat obtenu montre une adaptation de la plage et de l'arrière-plage par rapport à l'élévation moyenne du niveau de la mer, tandis qu'avec l'approche de modélisation utilisant SBEACH, la capacité d'approvisionnement de la dune est insuffisante pour compenser l'érosion du littoral.

Pour confirmer ces résultats, le modèle a été appliqué à l'évaluation du niveau d'inondation de la zone pilote dans différents scénarios de soulèvement par les tempêtes avec des temps de retour allant jusqu'à 100 ans ;

Une fois le modèle calibré sur chacun des profils, l'évolution de la ceinture dunaire pour les années 2025, 2050 et 2100 est obtenue en simulant les tempêtes extrêmes associées à chacune de ces périodes. C'est-à-dire une tempête avec une période retour de 10, 50 et 100 d'ici 2025, 2050 et 2100 respectivement ; des tempêtes avec une probabilité de se produire entre 50% et 60% des échéances respectives. L'analyse des tempêtes extrêmes montre que la différence d'intensité entre elles est faible : par exemple, la différence en termes de Hm0 est de 0,5 m entre une tempête avec une période de retour de 5 ans et une tempête avec une période de retour de 100 ans. Les résultats de cette étude montrent qu'en 2025 déjà, le site sera totalement submergé lors des marées de tempête les plus intenses et on a donc supposé que la ville des Salins située à l'ouest sera inondée

1.6 Résumé du rapport du spécialiste du Département du VAR

Vieux Moulin

La plage du virage du Vieux Moulin est située dans le golfe de Saint-Tropez (commune de Grimaud, département du Var) et, d'un point de vue morphologique, elle peut être classée comme une plage de poche ; cette plage est d'environ 185 m de large et fait partie d'un tronçon de côte plus large d'environ 5 km de long, dont près de 3 km de rivage sablonneux. La morphologie de la partie sous-marine de la plage est complexe : la cartographie fonds marins indique une alternance de sable et de roche, le profil bathymétrique révèle la présence probable d'une forte contrainte morphologique

imposée par le substrat rocheux sous les fonds sableux. L'est probable qu'elle ne soit que superficiellement recouverte de sédiments mobiles.

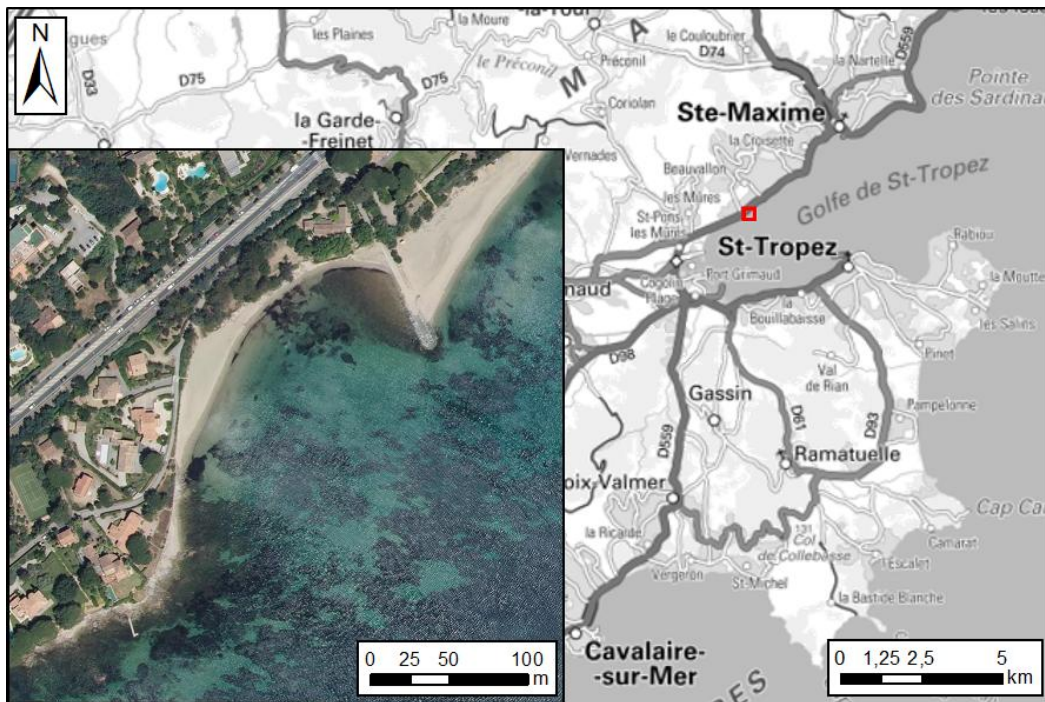


Figure 6 Site Pilote: Vieux Moulin

Le climat ondulé est fortement régulé par les mers venant de l'Est, étant donné que le secteur transversal du golfe de Saint-Tropez expose la côte à des états de mer extrêmes avec des hauteurs de houles de 4,4 mètres avec un temps de retour de cinquante ans. La circulation induite par les courants suit la direction privilégiée de la dérive côtière, mise en évidence par l'étude de faisabilité SOGREA (2008). La circulation est orientée d'est en ouest. Grâce à l'utilisation de l'interférométrie et du recensement visuel, il a été possible d'identifier les principales biocénoses présentes dans le site pilote ; le relevé a révélé la présence de posidonies *oceanica* et de mattes mortes à de faibles profondeurs ; le recensement visuel a mis en évidence un très mauvais état des posidonies. Le biote peut être considéré comme fragile, étant donné les nombreuses zones de « matte » morte observées in situ. Les variations de la côte sont analysées grâce à l'étude de photographies aériennes de différentes dates. Les côtes de chaque année ont été numérisées et comparées à une analyse diachronique quantitative réalisée à l'aide du logiciel MobiTC de Cerema (2018). Cette analyse met en évidence une dynamique érosive modérée mais néanmoins constante à l'échelle séculaire. Cependant, au cours des 20 dernières années (1998-2014), des progrès ont été réalisés dans la partie centrale de la plage et l'érosion persiste au pied des épis ainsi

qu'à l'extrémité sud-ouest. En termes d'impact sur les habitats côtiers, le virage du Vieux Moulin semble sensible à un certain nombre de pressions énumérées ci-dessous par ordre décroissant d'importance :

- L'urbanisation ;
- Développement du littoral ;
- Le tourisme de plage ;
- Pollution des cours d'eau ;
- Pêche professionnelle ;
- L'érosion.

En ce qui concerne le risque d'inondation, une cartographie régionale des zones potentiellement affectées par un risque d'inondation marine a été réalisée dans le cadre d'une étude produite par le BRGM et commandée par la DREAL PACA, en collaboration avec les trois DDTM côtiers. Cet atlas présente différentes situations de référence :

- une situation centenaire, avec une élévation de + 0,20 m du niveau de la mer, dite "situation actuelle" ;
- une situation centenaire, avec une élévation du niveau de la mer de + 0,60 m, dite "situation 2100", conformément aux recommandations de l'ONERC.

Saint-Raphaël

La plage de Veillat est située au fond de la baie de Saint-Raphaël, au bord du golfe de Fréjus. Il s'agit d'une petite plage urbaine de 400 m de long, située au centre de la commune de Saint-Raphaël et bordée latéralement par deux épis.

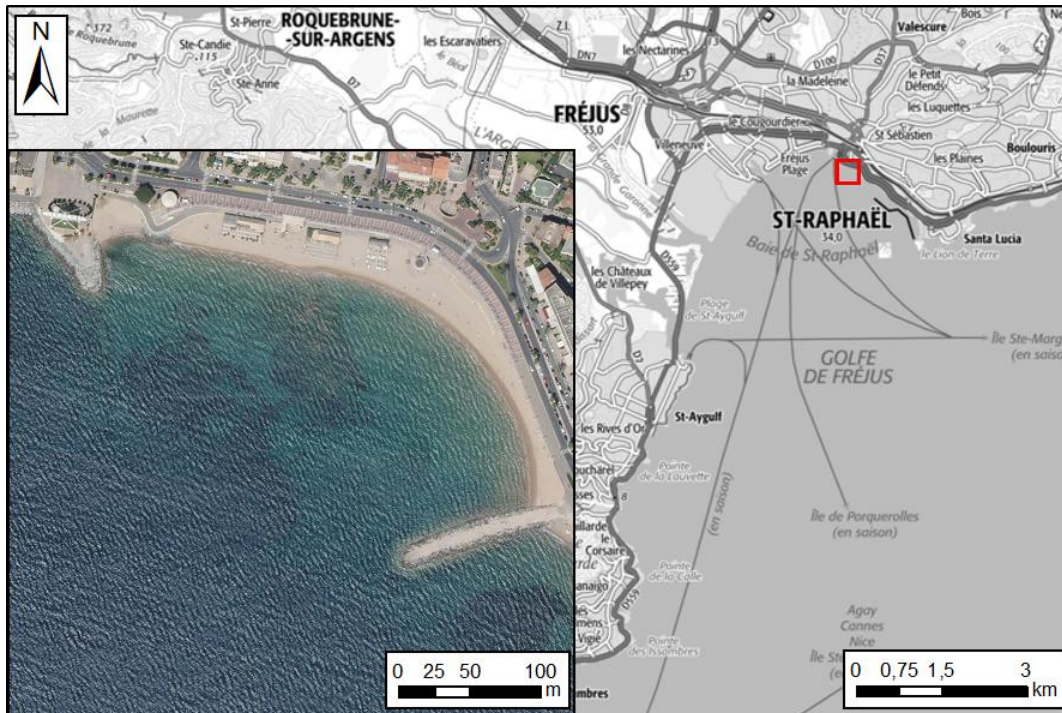


Figure 7 Site Pilote: Veillat plage - Saint-Raphaël

A l'occasion de l'Etude diagnostique pour la protection contre l'érosion de la plage de Veillat" menée par Ecoplage en 2009, plusieurs profils topographiques ont été relevés sur la partie subaérienne de la plage les 3, 4 et 8 décembre 2009 à l'aide d'une station totale. Comme les profils ne comportent pas un grand nombre de mesures, il n'est pas possible d'évaluer avec précision la topographie de la plage pour distinguer les formes sédimentaires. L'épaisseur de la plage diminue aussi fortement d'ouest en est. Les relevés LiDAR aériens réalisés dans le cadre du programme Litto3D® PACA 2015 permettent d'identifier les affleurements rocheux dans la partie centrale de la plage sous-marine, tandis que les profils topo-bathymétriques révèlent une pente dans la partie sous-marine de l'ordre de 4,5%. L'écosystème côtier a été étudié par interférométrie à l'aide d'une vidéo HS sous-marine et a révélé une mauvaise répartition de *Posidonia oceanica* et la présence de matte morte. D'un commun accord, un recensement visuel a été effectué sur deux points précis, qui a révélé un état de vitalité moyen avec une densité et un taux de couverture moyens.

Les données du réseau SURFSTAT (Andromède Océanologie, Agence de l'Eau RMC) montrent une nette régression des fonds marins herbacés dans la partie sous-marine de la plage. 48,7% de cette dynamique peut être liée à l'anthropisation du littoral (impacts

directs et indirects). Bien qu'il soit difficile de lier avec certitude la régression du fond herbeux à la construction de épis (qui modifient l'hydrodynamique) et/ou à l'érosion.

La partie émergée de la plage de Veillat a fait l'objet de plusieurs relevés topo-bathymétriques depuis 2009 :

- 3, 4 et 8 décembre 2009 : station totale (théodolite) - Remarques : tempête de mer les 3 et 4 décembre 2009, sable soulevé sur la plage le 8 décembre 2009 (voir illustration ci-dessous);
- 16 juin 2012 : avion LiDAR (programme Litto3D® PACA 2015) ;
- 17 octobre 2017 : D-GPS RTK - Remarques : sables soulevés.

Les variations de la côte sont analysées à travers l'étude de photographies aériennes relatives à différentes dates. Les côtes de chaque année ont été numérisées et comparées à une analyse diachronique quantitative réalisée à l'aide du logiciel MobiTC de Cerema (Pons & Trmal, 2018).

Le recul est considéré comme fort si les vitesses sont supérieures à 0,5 m/an et modéré pour les vitesses comprises entre 0,1 et 0,5 m/an. La plage est considérée comme stable pour des vitesses avant ou arrière de l'ordre de 0,1 m/an. L'avance est modérée pour les vitesses comprises entre 0,1 et 0,5 m/an, et forte pour les vitesses supérieures à 0,5 m/an.

En ce qui concerne l'impact sur les habitats côtiers, la plage de Veillat semble être sensible à un certain nombre de pressions, énumérées ci-dessous par ordre décroissant d'importance :

- L'urbanisation ;
- Le tourisme de plage ;
- Développement du littoral ;
- Pêche professionnelle ;
- Drainage urbain ;
- L'agriculture.

Dans le cadre des études du site pilote MAREGOT menées par le groupe CORINTHE - DHI (2019), le modèle MIKE 3 Wave FM (M3WFM) est utilisé pour simuler la

submersion de la plage et des ouvrages. Les zones submergées observées lors de la simulation et les ordres de grandeur des dépassements sont conformes à l'observation visuelle faite lors de la tempête du 4 mai 2010. Par extension, ce travail met également en évidence la grande vulnérabilité des travaux à l'ouest de la plage ainsi que des installations situées dans la zone derrière la plage (locaux commerciaux).

Une cartographie régionale des zones potentiellement affectées par un risque de submersion marine a été réalisée dans le cadre d'une étude produite par le BRGM et commandée par la DREAL PACA, en collaboration avec les trois DDTM côtiers. Cet atlas présente différentes situations de référence :

- une situation centenaire, avec une élévation de + 0,20 m du niveau de la mer, dite "situation actuelle" ;
- une situation centennale, avec une élévation du niveau de la mer de + 0,60 m, dite "situation 2100", conformément aux recommandations de l'ONERC.

2. Plans d'action par zone pilote avec mesures spécifiques et priorités d'action (T.3.2.2)

Élaboration de plans d'action pour lutter contre les problèmes d'érosion à court et à long terme.

2.1 Plan d'intervention Région Ligurie

Étape 1 : Diagnostic

La zone est située à l'extrême Est de la Ligurie et englobe le côté ligure-tyrrhénien, y compris la dernière partie de la province de Gênes et toute la province de La Spezia. La section à l'étude, presque entièrement constituée de côtes rocheuses, atteint une extension d'environ 110 km. La zone pilote est délimitée à l'ouest par le promontoire de Punta Baffe, tandis qu'à l'est, elle s'étend jusqu'à la frontière avec la région de Toscane.

Les principaux problèmes du site pilote sont dus aux phénomènes d'érosion des plages et aux perturbations concernant la côte rocheuse. En fait, comme le souligne le rapport pour les activités T 3.1.1. la zone présente de nombreux problèmes critiques et des conditions de risque généralisées, qui rendent le territoire côtier fragile et déséquilibré. La réduction des apports sédimentaires a eu pour conséquence

l'augmentation du déficit sédimentaire ; de plus, le mauvais entretien ou la mauvaise réalisation des infrastructures de protection ont tendance à accélérer les processus d'érosion en cours. Le système de travaux d'atténuation présent dans la zone étudiée est souvent le résultat d'une planification fragmentée et sectorielle, souvent basée sur des travaux réalisés pour amortir les situations d'urgence.

Parmi les éléments qui affectent le plus les environnements côtiers, on trouve l'accélération de l'élévation du niveau de la mer (SLR) qui, dans le cas le plus défavorable, pourrait atteindre +1,15 m en 2100. Les résultats obtenus dans l'activité 3.1.1 mettent en évidence la perte de milliers de mètres cubes de plage, la submersion partielle ou totale des infrastructures de protection, la perte de nombreux espaces dédiés à la navigation de plaisance. Dans ce contexte, l'évaluation des risques côtiers nécessite une nouvelle approche des mesures stratégiques à prendre. Elle nécessite notamment une analyse à long terme plus approfondie, compte tenu de ces éléments :

1. Fort recul du littoral.
2. Risque accru d'inondation du tissu urbain.
3. Perte d'installations touristiques.
4. Modification de l'embouchure des rivières.
5. Perte d'efficacité des ouvrages de défense actuels.

Etape 2 : Mesures de réduction des risques proposés

La planification des interventions concerne l'aménagement hydraulique, environnemental et géomorphologique de la bande côtière à l'intérieur de l'unité physiographique à laquelle elle appartient et dont la planification organique doit prévoir la mise en œuvre de travaux ou de mesures de sauvegarde nécessaires à l'élimination ou à l'atténuation des points critiques identifiés.

Les indications d'intervention sont divisées en :

Les interventions sur la basse côte

S1 alimentation structurelle

S2 dragage et/ou extraction de la barre d'embouchure

S3 suppression et/ou remaniement d'infrastructures existantes

S4 révision/réalisation de travaux de soutien associés à l'alimentation structurelle

S5 achèvement des travaux déjà approuvés

Les interventions sur la haute côte

Consolidation C1

Les interventions visant à améliorer l'environnement :

Réglementation nautique A1 dans la zone ZDR

A2 dissuasion chalutage illégal

Actions A3 pour la restauration et le réaménagement de la végétation des plages dans la zone ASR

A4 retrait des engins de pêche abandonnés sur les fonds marins et campagne de sensibilisation

A5 atténuation de l'impact des rejets.

Étape 3 : Proposition d'activités pour évaluer les mesures prises

Le programme de surveillance post-intervention se réfère à la norme régionale D.G.R 1793/2005 qui prévoit un plan de surveillance morpho-sédimentologique et environnementale pour chaque intervention structurelle à réaliser par le proposant.

La Région Ligurie, en vertu de l'art. 2, c.5 de la loi régionale n° 13/99, est appelée à exercer l'activité d'orientation et de coordination dans le domaine de la protection et de l'observation du littoral et du rechargement des plages. Pour l'exercice efficace et positif de ces fonctions, l'administration régionale a pris une série de mesures, dont notamment les "Critères généraux pour la conception et l'exécution des travaux de protection de la côte et des établissements côtiers et de rechargement des plages".

En référence à la norme actuelle, le programme d'entretien des interventions structurelles est laissé aux concessionnaires, c'est-à-dire aux municipalités. Les exceptions sont les interventions environnementales qui peuvent être configurées comme la gestion des SIC-ZPS, qui sont sous responsabilité du même opérateur ou de la Région.

2.2 Plan d'intervention Région Toscane

Étape 1 : Diagnostic

Le suivi a confirmé le déficit sédimentaire dont souffre la zone pilote, en particulier dans la section correspondant au delta du fleuve Ombrone, déficit résultant de la réduction de l'apport solide du fleuve, qui est manifeste depuis la fin du XIXe siècle. La criticité environnementale de la zone de l'échantillon reste élevée et ne semble pas pouvoir se réduire ; un aspect qui implique la plage, non seulement comme élément d'attraction touristique et pour ses fonctions éco-systémiques naturelles, mais aussi comme système de défense du territoire intérieur.

Étape 2 : Mesures de réduction des risques proposées

Dans le projet MAREGOT, deux types de risques ont été distingués : le "court terme", lié aux ondes de tempête affectant la côte et aux phénomènes connexes (inondations), et le "long terme", qui concerne les risques à long terme, principalement dus à l'érosion côtière. Dans la zone du parc naturel de la Maremma, Foce Ombrone est surtout le risque le plus concret, notamment parce que, ces dernières décennies, le littoral, en particulier près de l'embouchure, s'est considérablement dégradé, avec des conséquences sur une longue étendue au nord de l'embouchure. Les questions critiques soulevées par les activités menées dans le cadre de l'action T3.1.1. ont rendu nécessaire la proposition d'une approche intégrée sur toute l'étendue du littoral à l'étude dans le but de contrecarrer des phénomènes tels que : la salinisation des aquifères, le rééquilibrage du littoral et la restauration des zones humides. La planification des interventions concerne l'aménagement hydraulique, environnemental et géomorphologique de la bande côtière de l'aile nord du delta du F. Ombrone, dont la planification organique doit inclure la réalisation d'ouvrages ou de mesures de sauvegarde nécessaires à l'élimination ou à l'atténuation des points critiques identifiés au paragraphe précédent est en cours.

En vue de préserver l'environnement côtier actuel, la priorité doit être donnée à ceux qui empêchent ou ralentissent le recul du littoral au niveau des étangs côtiers (Chiari et Padule La Trappola).

Comme il s'agit de tronçons limités, la reconstruction du système dunaire est également envisageable, avec une protection immergée devant, garantissant une liaison avec les tronçons adjacents sur lesquels toutes les retombées négatives ne

doivent pas être évacuées. Une autre hypothèse d'intervention pourrait être la reconstruction d'une série de hauts-fonds artificiels faits de roches ou de sédiments alluviaux grossiers du F. Ombrone qui, à l'avenir, pourraient devenir disponibles pour briser les houles sur la largeur nécessaire, de manière à créer une grande zone de dissipation de l'énergie des houles pouvant s'étendre de l'embouchure du F. Ombrone vers le nord. Un travail tout à fait suffisant, à réaliser également par sections, afin d'évaluer son efficacité par un suivi attentif.

Étape 3 : Proposition d'activités pour évaluer les mesures prises

Selon les dispositions de l'article 17 de la loi régionale n° 80/2015, la Région est responsable des fonctions de surveillance et d'entretien, à l'exception des travaux visés à l'article 18, paragraphe 2, lettre b), c'est-à-dire les travaux "concernant le territoire d'une seule commune directement liés et fonctionnels à la gestion de la propriété maritime", qui relèvent de la responsabilité des communes. Le même article 18 paragraphe 2 bis définit les travaux de maintenance "*directement liés et fonctionnels à la gestion du domaine maritime*" comme :

a) la conception et la mise en œuvre d'opérations de reprofilage saisonnier des plages, consistant à déverser sur la plage des sédiments marins ou des matériaux géologiques inorganiques visant à remodeler la plage de façon saisonnière et avec des quantités inférieures à vingt mètres cubes par mètre linéaire de plage ;

(b) la conception et la mise en œuvre d'autres travaux d'entretien liés et fonctionnels à la gestion du domaine maritime afin de maintenir les conditions correctes d'utilisation du domaine, couvrant une partie de celui-ci sur le territoire d'une seule municipalité.

En ce qui concerne le suivi de l'état de conservation des espèces et des habitats d'intérêt communautaire présents dans les sites du réseau Natura 2000, la législation de référence est la directive 92/43/CEE, le décret présidentiel 357/97 et la loi régionale n° 30/2015 "Règles pour la conservation et la valorisation du patrimoine régional naturaliste-environnemental" (modifications de la loi régionale n° 24/1994, de la loi régionale n° 65/1997, de la loi régionale n° 24/2000 et de la loi régionale n° 10/2010).

2.3 Plan d'intervention de la région Sardaigne

Étape 1 : Diagnostic

La zone pilote est située dans le sud-est de la Sardaigne, dans les municipalités de Maracalagonis et de Sinnai et s'inscrit dans une large bande côtière à la composition granitique dominante, caractérisée par la présence de falaises et de promontoires qui accueillent des plages "en poche", généralement de sable et de galets, lorsqu'elles se trouvent sous des bassins hydrographiques limités, de galets ou de gros blocs, au pied des falaises. L'application de la stratégie transfrontalière adoptée par MAREGOT dans la zone pilote Torre delle Stelle - Solanas a mis en évidence un certain nombre de problèmes critiques affectant ce secteur et qui devront être pris en compte dans les différents scénarios de gestion.

Au cours des 50 dernières années, les plages étudiées ont présenté un degré élevé d'érosion et d'instabilité, principalement dû à la forte réduction de l'apport fluvial solide et à l'augmentation massive des activités anthropiques sur l'ensemble du littoral ; des signes évidents sont signalés le long des systèmes dunaires qui montrent une grande fragilité, tant pour la morphologie que pour le couvert végétal. En ce qui concerne les principaux points critiques affectant la partie côtière rocheuse du promontoire de Torre delle Stelle, ceux-ci sont liés aux processus d'instabilité géomorphologique tels que les effondrements et les coulées de débris. Ces dynamiques sont actives le long des pentes jusqu'à la mer et concernent également de petites criques, surtout fréquentées pendant la période estivale. Le réseau hydrographique du site pilote présente des criticités hydromorphologiques étendues qui impliquent : risque d'inondation, érosion généralisée, interférence avec la dynamique des eaux de ruissellement canalisées, fonctionnalité hydraulique réduite, débordement et qualité hydromorphologique modérée-suffisante.

Etape 2 : Mesures de réduction des risques proposées

En partant des principes généraux introduits dans l'activité T2, la question de l'érosion côtière a été abordée en adoptant des alternatives de gestion stratégique du littoral et en définissant, à court et moyen terme, l'évolution de la côte en tenant compte des phénomènes d'érosion d'origine côtière maritime et de ceux liés à l'immersion en mer.

Pour ce faire, tous les choix d'actions, de mesures et d'interventions qui pourraient être mis en œuvre dans la zone pilote ont été signalés, sur la base des différentes stratégies généralement utilisées pour ces approches.

En même temps, et dans la phase préparatoire de la *gouvernance du projet*, un travail de recherche, de collecte et de reconnaissance des actes de planification et de conception passés et actuels, impliquant la zone pilote, a été pris en compte afin d'avoir l'image la plus complète possible des connaissances.

Ces actes ont été pris en compte et sont pertinents par rapport aux objectifs du projet :

1) Projet exécutif pour la construction des "travaux de réorganisation hydraulique du Rio Solanas" (2009), dans le but de reconfigurer une section du lit du Rio Solanas pour améliorer les conditions d'écoulement et réduire le risque hydraulique. Les interventions, qui visent à préserver la stabilité des berges et à maintenir la section du projet, sont essentiellement réparties selon les types suivants :

- Re-profilage du lit de la rivière (élargissement de la section et approfondissement des niveaux actuels) ;
- Des défenses d'épaules faites de matelas en métal comme Reno ;
- Défenses de la berge avec des gabions cylindriques au pied de la celle-ci et revêtement étendu avec du bio-mat et du grillage métallique à double torsion ;
- Des interventions d'ingénierie naturalistes consistant principalement en des ensemencements hydrauliques et en la plantation de boutures et d'arbustes, visant à contenir l'érosion du sol et les défenses des berges mises en place ;
- Démolition et restauration du gué de passage à Piscina Bertula ;
- Nettoyage des mauvaises herbes et de la végétation obstructive et taille des arbustes et des arbres qui ne constituent pas des obstacles majeurs à l'écoulement des eaux.

2) "Travaux ordinaires d'entretien et de nettoyage des cours d'eau situés sur le territoire municipal du Sinnai", y compris le Rio Solanas, qui consistent à nettoyer la tige de la rivière en amont du pont sur le S.P.17, sur une longueur d'environ 500 mètres.

3) Conception et mise en œuvre de la réhabilitation des réseaux de drainage dans les zones urbaines - Canal de garde pour la défense de la ville de Solanas (2019) ;

(4) Mesures de sécurité sur le côté arrière de la plage dans le secteur est de la plage de Solanas.

Étape 3 : Proposition d'activités pour évaluer les mesures prises

Dans un contexte extrêmement dynamique comme celui du littoral, la gestion des interventions, qui doit être préparée en fonction de l'intervention et adaptée à la suite de l'activité de surveillance mentionnée au paragraphe précédent, est extrêmement importante. Par conséquent, le programme d'aménagement doit également être un instrument dynamique, car les effets réels d'une intervention côtière ne peuvent pas toujours être évalués à court terme.

2.4 Plan d'intervention Office de l'Environnement de la Corse

Aucune contribution n'a été faite à la date de soumission de ce document.

2.5 Plan d'intervention Conservatoire du littoral

Étape 1 : Diagnostic

Le littoral du Vieux Salins est soumis à une érosion de plus de 1 m/an due au développement des ports et des épis à l'est, qui bloquent la dérive sédimentaire. Face à cet état d'érosion, cette portion de littoral a déjà fait l'objet d'interventions de défense dans les années 1980, menées par la "Compagnie des Salins du Midi" et visant à protéger l'activité de production de sel.

Étape 2 : Mesures de réduction des risques proposées

L'impact de l'élévation du niveau de la mer sur l'évolution du littoral a été estimé à l'aide de la règle de Brünn (1962), en supposant que lorsque le niveau de la mer monte lentement, la plage et le système de récifs lagunaires s'adapteront à l'élévation du niveau de la mer. Les projections jusqu'en 2100, en tenant compte du changement climatique, montrent une forte érosion de la plage et du récif à droite de l'Étang de l'Anglais et du canal d'approvisionnement des Vieux Salins : en 2050 déjà, lors d'événements extrêmes, ce phénomène pourrait probablement se produire.

Sur la base d'une analyse multicritères, les mesures à court et moyen terme les plus efficaces ont été sélectionnées, en consultation avec le TPM et le Conservatoire du Littoral, afin de formuler une proposition de schéma de gestion pour la zone d'étude.

Parmi ces mesures, les opérations de renaturation du littoral actuellement protégé par des épis sont les plus conformes à l'orientation choisie par le Comité directeur, qui souhaite un retour à un type d'opération naturaliste. Cette opération de renaturation

est également la moins impactante pour l'environnement et le paysage et la plus facile à réaliser d'un point de vue juridique et administratif.

Ces opérations de renaturalisation du littoral, actuellement protégé par des épis dans la zone de l'Etang de l'Anglais et la pinède du Vieux Salins, permettront de redistribuer sur un littoral plus large l'érosion actuellement concentrée dans la zone d'Ournèdes et du Quenet Sud.

Étape 3 : Proposition d'activités pour évaluer les mesures prises

Compte tenu de la morphologie de la cellule hydro-sédimentaire dans laquelle se trouve le site des Vieux Salins et des installations existantes (le site est entouré de pinceaux et de ports), la suppression des falaises du site n'aura pas d'effets négatifs sur les zones côtières voisines. Au contraire, cette opération permettra une redistribution des sédiments le long de la côte du Vieux Salins.

En tout état de cause, afin d'analyser l'effet de cette requalification sur les milieux côtiers, le suivi des prairies de posidonies et le suivi topographique régulier sont prévus jusqu'à mi 2021 dans le cadre du programme Life ADAPTO géré par le Conservatoire du littoral.

2.6 Plan d'intervention du département du VAR

Étape 1 : Diagnostic

L'application de la stratégie transfrontalière MAREGOT sur les sites pilotes de la crique du Vieux Moulin et de la plage du Veillat a mis en évidence les problèmes critiques qui affectent ces portions de littoral ; le principal problème est donc celui de l'érosion du littoral pour les deux sites ; le rapport T3.1.1 sur ces sites a montré une dynamique d'érosion modérée mais constante à l'échelle séculaire.

Étape 2 : Mesures de réduction des risques proposés

La municipalité de Grimaud a confié au bureau technique de l'ACRI-IN la tâche d'élaborer des mesures de réduction des risques dans l'anse du **Vieux Moulin**. La pertinence des scénarios a été évaluée à l'aide d'une approche de modélisation pour les cas suivants : 1) Ouverture partielle de la broussaille à l'est ; 2) Incorporation d'un nouvel ouvrage submergé parallèle à la côte à une profondeur de 1,5 mètre ; 3) Création d'une nouvelle broussaille dans la zone ouest de la plage. Les scénarios d'aménagement du littoral de l'entrée du Vieux Moulin doivent donc contribuer à

réduire le risque d'érosion ; les plus grands problèmes sont observés pour les conditions de houles provenant du secteur 75°N :

-La zone côtière est sujette à l'érosion par les conditions annuelles avec des houles du secteur 75°N et 95°N. Pour les houles provenant du secteur 115°N, la zone est stable, car les retraits sont compensés par des contributions extérieures.

-L'ouverture du brise-lames ne compromet pas l'équilibre de la plage en cas de tempête annuelle.

-La création d'un brise-lames à l'ouest de la prise d'eau entraîne un déséquilibre qui conduit à une augmentation significative du processus d'érosion en cas de tempête annuelle.

-La création d'un ouvrage sous-marin n'a aucun effet sur l'équilibre de la plage en cas de tempête annuelle.

Enfin, il est proposé d'installer des géotubes submergés et des récifs artificiels pour réduire l'érosion et protéger l'environnement côtier.

La Ville de Saint-Raphaël a confié au groupement Corinthe Ingénierie et DHI France le soin d'élaborer des mesures de réduction des risques pour la plage de Veillat. La pertinence des scénarios est évaluée à l'aide d'un modèle mathématique. Dans cette étude, la modélisation et le paramétrage hydrodynamique et morphodynamique des plages paraboliques ont été appliqués ; ceci a conduit à la formulation de plusieurs hypothèses pour la reconception et l'extension des épis déjà présentes sur le site, couplées à un rechargement artificiel des plages. Par la suite, l'hypothèse de l'installation d'ouvrages immergés a été envisagée dans le but de réduire l'impact visuel.

Ces hypothèses de conception, en plus de réduire potentiellement les phénomènes d'érosion, ont pour fonction de protéger la côte contre les inondations marines ; la nécessité de réduire la vulnérabilité a conduit à l'hypothèse d'utiliser à la fois des structures émergées et submergées puisque les hypothèses précédentes n'assurent pas une protection adéquate de la côte. En particulier, les blocs utilisés pour la partie immergée seront spécialement conçus pour former des habitats plus complexes et hétérogènes que ceux formés par les blocs 2/5 T. Il y aura des cavités profondes et d'autres plus petites à la surface, au niveau des parois du module, aussi parce que la

conservation des espèces de haute valeur écologique, posidonies, madrépores et cimodoceae, présentes dans le site ont un rôle fondamental pour cette zone.

Pour toutes ces raisons, une approche innovante de la dissipation des houles a été proposée dans ce projet. Il s'agit d'une installation légère avec des structures flexibles qui permettent de rétablir artificiellement le rôle d'atténuateur de mouvement des ondes des prairies de posidonies et de cimodoceas.

Étape 3 : Proposition d'activités pour évaluer les mesures prises

Sur la base de la législation actuelle, un programme de surveillance sera établi pour les deux sites, comprenant des études topo-bathymétriques, des études benthologiques, des analyses sédimentologiques et une évaluation des temps de maintenance. Les activités seront mises à disposition du public au moyen d'affiches d'information.

3. Plateforme transfrontalière de modélisation, de simulation, de planification et de formation

SIS2B a proposé et décidé de développer une plateforme de modélisation et de simulation multirisque dans le cadre du programme Interreg PC Italie France Maritime 2014-2020.

Les projets Proterina 3Evo et Maregot ont donc co-financé cet outil innovant au SIS2B, qui permet une meilleure acculturation des administrateurs locaux et du personnel administratif et technique qui sont particulièrement impliqués dans la gestion de crise en cas d'inondation ou de submersion.

Cette plateforme est constituée d'un ensemble d'ordinateurs en réseau fermé, reliés entre eux par un système wifi privé. Il se compose d'un ensemble "fixe" d'ordinateurs de bureau, d'écrans panoramiques et de stations de gestion des exercices intégrant le cockpit des hydro-bombardiers et des hélicoptères de commandement et de contrôle. Ce système fixe est hébergé à Corte sur la plate-forme technique de l'école de pompiers SIS2B dans un bâtiment modulaire acquis grâce au système. Ce système est complété par un ensemble mobile d'ordinateurs portables qui assurent les mêmes fonctions que l'ensemble fixe.

Le but ultime du développement de cette plateforme de modélisation et de simulation est de mettre à jour le personnel sur la gestion des risques liés aux inondations fluviales ou marines. Cette gestion de crise passe nécessairement par quatre phases principales qui sont : la phase de prévention, la phase de préparation et d'alerte, la phase opérationnelle et enfin la phase de retour à la normale.

4 Interventions expérimentales pour la renaturalisation du littoral et la restauration de la dynamique naturelle

4.1 Conservatoire du Littoral : Re-naturalisation du site des salines du Vieux Hyères (infrastructure verte)

Le littoral sablonneux situé devant le site des Vieux Salins d'Hyères est soumis à une érosion due à de multiples phénomènes (élévation du niveau de la mer, modification de la cellule hydro-sédimentaire, artificialisation du littoral, surpopulation publique, etc.) Pendant les tempêtes, il y a des inondations impliquant la pénétration de la mer dans les canaux d'approvisionnement des anciennes salines situées en dessous du niveau moyen de la mer. La situation actuelle affecte le fonctionnement hydraulique du site et est en contradiction avec les objectifs de gestion et de développement définis par le Conservatoire du littoral.

Une première opération d'élimination des falaises a été réalisée en 2011 par le Conservatoire du Littoral pour enlever les blocs de gravats et de ciment que l'ancien propriétaire (la Compagnie des Salins du Midi) avait déposés comme ouvrage de défense.

L'application de la stratégie transfrontalière de la Maregot combinée à une étude réalisée par la Métropole Toulon Provence Méditerranée (Artelia, 2017-2018) a conduit à la définition du plan d'intervention suivant : pour limiter le risque de submersion et d'érosion, il est proposé de supprimer une partie des ouvrages de défense afin d'éliminer la cellule d'érosion produite par la broussaille et d'améliorer la qualité du paysage côtier.

Par conséquent, les projets proposés dans le plan d'intervention sont divisés en actions suivantes :

1. Protéger le site contre les inondations marines en reconstituant une dune et en créant des défenses dans la zone située derrière les dunes.
2. Réorganiser la cellule d'érosion générée par les blocs rocheux à l'est du site
3. Assurer la sécurité et la praticabilité des parcours pédestres sur le site

Le projet de renaturation comprenait également un programme de surveillance dense du littoral et du milieu aquatique sous-jacent ; en résumé, le BRGM surveille chaque trimestre la topographie de la plage le long de 8 transects et la position du littoral, et, deux fois par an, il surveille également la topographie sur la base d'images aériennes traitées par photogrammétrie pour créer un modèle numérique de terrain (MNT) de l'ensemble de la plage.

D'un commun accord, dans le cadre du projet LIFE Adapto et conformément à ses engagements vis-à-vis des autorités environnementales, le Conservatoire du littoral a lancé en 2019 une étude de suivi des herbiers marins et en particulier de la prairie de posidonies dans la région des Vieux Salins. Cette étude consiste en 4 campagnes de mesure de la limite supérieure de la prairie de posidonie et des surfaces couvertes par les prairies des prairies du Cimodocea.

4.2 Département du VAR : Travaux expérimentaux de prévision des risques d'érosion côtière (infrastructure verte)

Vieux Mulin

Parmi les mesures proposées pour réduire le risque d'érosion sur ce site pilote du projet MAREGOT (rapport T3.2.2), l'installation d'un ouvrage immergé est identifiée comme le type d'intervention le plus approprié, selon les simulations mathématiques réalisées sur les différents scénarios de développement.

Les travaux (barrages submergés en géotextile, espacés), achevés en décembre 2019, ont permis de créer une zone de dissipation et de modifier la zone du brise-lames en faveur de la plage submergée.

D'autre part, la municipalité de Grimaud a suggéré le placement de récifs artificiels pour compenser l'impact des travaux sur la biocénose. La conception des blocs a permis de définir une forme telle qu'elle conserve sa stabilité par rapport au mouvement des houles avec une période de retour de cinquante ans.

Lors des opérations de positionnement des géotubes, un filet a été utilisé pour empêcher les matériaux en suspension d'atteindre la zone occupée par la pose des tuyaux, en excluant toute conséquence éventuelle sur l'environnement aquatique. Afin de positionner les travaux sur une surface plane et horizontale, un nivellement de la zone identifiée a été effectué et 340 m³ de sable ont dû être enlevés pour obtenir une profondeur uniforme de -2,40 m. Une fois la double ligne de géotubes terminée, ce tas de sable a été repositionné sur le site initial, recouvrant ainsi partiellement les éléments géotextiles (tapis et tuyaux).

Il convient de noter que l'opération ne relevait pas du champ d'application de la législation sur le dragage, ces sables étant considérés comme "propres", en l'absence de toute source possible de pollution dans le voisinage immédiat. La municipalité de Grimaud a acheté 1500 m³ de sable de carrière nécessaire pour remplir les géotubes ; le principal critère de choix du matériau était la compatibilité avec le sable déjà présent sur le site. En effet, si les travaux ont un impact négatif à la fois sur la biocénose et sur le littoral, la municipalité de Grimaud est obligée de les supprimer. Dans le cas des géotubes, seule l'enveloppe géotextile sera enlevée, le sable de remplissage sera laissé sur place ; pour cette raison, il ne doit pas avoir de caractéristiques granulométriques trop différentes du sable naturellement présent. Enfin, les relevés effectués en février 2020 ont montré que le littoral a été clairement planifié depuis le dernier relevé effectué en octobre 2018.

Saint Raphaël

Une étude de modélisation couplée à des enquêtes de terrain a été utilisée pour le projet de restauration du littoral de Veillant (Saint-Raphaël) afin de déterminer la dynamique hydrologique et morphologique impliquant la forte tendance à l'érosion et le risque élevé d'inondation qui caractérisent cette partie de la côte. En collaboration avec la municipalité, une société d'ingénierie hydraulique et DHI, le département du VAR a défini les principales activités à mener :

1. Ravitaillement de la plage (22 000 m³) qui permet une extension importante sur tout le littoral, fournissant une zone tampon pour atténuer les attaques des houles. Cette extension permet d'augmenter sensiblement la surface potentiellement exploitable par les concessions de baignade, ainsi que la surface des plages publiques.
2. Élargissement de la broussaille Bonaparte (travail sous-marin affleurant, légèrement émergé à la jonction avec l'existant), qui empêcherait le déversement du matériau déversé sur le côté ouest de la plage.
3. Élargissement de la broussaille Diana (travaux d'affleurement sous-marin) qui constitue un brise-lames submergé destiné à limiter l'impact du mouvement des houles sur la partie centrale et orientale de la plage ; ces travaux visent également à obstruer les courants d'arrachement le long de la brosse existante afin de limiter l'écoulement des matériaux vers la mer.

L'analyse des résultats montre que ce projet, par rapport à la situation actuelle, conduirait à

- Réduire significativement la hauteur des houles à l'intérieur de la plage de Veillant ;
- Accélération des courants avec une circulation dans le sens des aiguilles d'une montre au sein des cellules sédimentaires de la plage (actuellement, deux circulations opposées sont observées de part et d'autre du récif central) ;

-Un renversement du transport de sédiments pour la partie ouest de la plage, principalement dû à :

- Re-profilage de la plage, qui modifie l'orientation du rivage par rapport à l'incidence des houles ;
- Extension sud-est de la brosse de Bonaparte, qui induit localement une forte accélération des courants ;

En outre, dans la partie orientale de la plage, l'extension de la brosse Diana renforcerait le transport du sable du centre vers l'extrémité orientale.

5. Conclusions

Les activités menées par les partenaires pour le volet T3 ont mis en lumière les principaux points critiques des zones pilotes respectives et ont fourni des solutions pour l'atténuation des risques et la protection de l'environnement côtier. Grâce à l'utilisation d'une méthodologie commune, élaborée dans le cadre de la composante T2, il a été possible d'identifier les agents et les causes de la perturbation côtière dans les sites pilotes.

Les zones pilotes identifiées par les partenaires ont des caractéristiques morphologiques, écologiques, hydrologiques et urbaines très différentes, mais les résultats de ce projet ont montré un fil conducteur dans la détermination et la résolution de l'état critique dans lequel se trouvent les plages et les hautes côtes des régions impliquées dans le projet MAREGOT. Il est certain que l'impact anthropique joue un rôle fondamental dans la tendance négative que les partenaires ont décrite dans leurs activités respectives ; la construction massive le long des côtes et la mauvaise protection des biens environnementaux ont entraîné une perte soudaine du littoral et un appauvrissement avéré des systèmes écologiques connexes ; il est également apparu que la construction d'ouvrages qui auraient dû atténuer et protéger le littoral, dans certains cas, a accéléré les processus d'érosion et compromis les habitats côtiers. Les politiques mises en œuvre dans ce projet visent à concevoir de nouvelles stratégies communes pour assurer, au moins en partie, la perspective de résilience et de restauration des territoires ; l'approche intégrée reste certainement la voie à suivre, en définissant des stratégies communes au-delà des frontières administratives et des outils mis en place par les autorités responsables.

Un élément qui unit les activités menées par les partenaires est l'utilisation de technologies de plus en plus avancées dans l'étude des côtes ; dans ce contexte, en accord avec le projet *Proterina 3EVO*, une plateforme a été développée pour gérer toutes les phases lors d'événements extrêmes tels que les inondations et les crues marines ; cet outil propose des activités de formation et de tutorat pour les autorités locales.

Ce volet a également révélé la nécessité d'évaluer l'impact du changement climatique qui pourrait affecter les stratégies adoptées dans un avenir proche. L'augmentation du niveau moyen de la mer, la tropicalisation de la Méditerranée, l'intensification des événements extrêmes et l'augmentation des activités humaines le long du littoral sont des éléments qui doivent être pris en compte dans la conception et la gestion du littoral.

Les études réalisées par les partenaires ont montré clairement que l'interaction entre les organismes compétents, la communauté scientifique et les citoyens joue un rôle décisif

dans la lutte contre l'instabilité hydrogéologique, car la connexion de ces trois éléments fournit un cadre d'information utile pour la mise en œuvre de stratégies communes, pour la valorisation des côtes et la protection des habitats terrestres et marins.

La mise en œuvre des activités de la composante T3 a mis en évidence la qualité des stratégies communes adoptées par les partenaires pour les zones pilotes respectives en réponse aux problèmes critiques qui sont apparus ; à partir de ce document, il est possible d'identifier les bonnes pratiques pour la gestion du territoire côtier transfrontalier, sur la base de trois indications simples : Observer les dynamiques en jeu, connaître l'évolution du littoral et prévenir les problèmes critiques en temps utile.