Interreg
Cofinanziato dall'Unione europea
Cofinancé par l'Union européenne
Marittimo–IT FR–Maritime

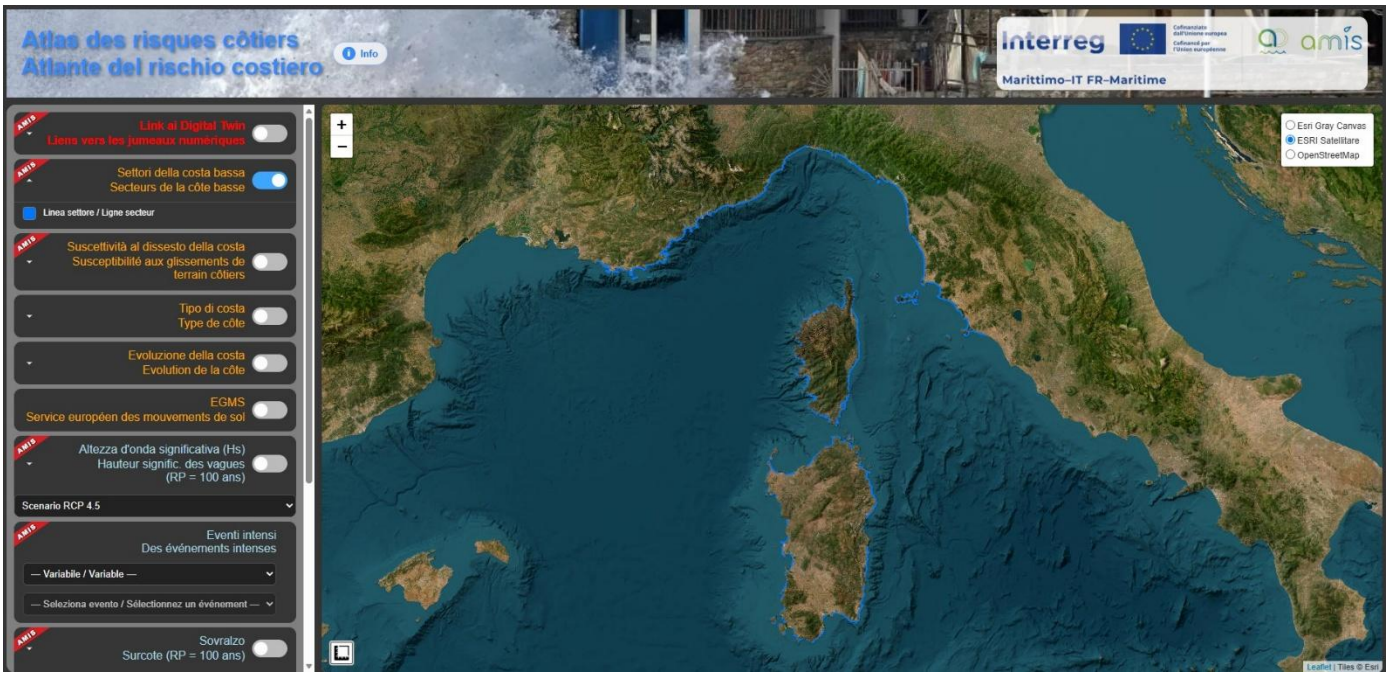
amis

CONSORZIO LaMMA

amis

Atlante del rischio della fascia costiera

Guida alla consultazione



Sommario

Introduzione 3
1 Atlante del Rischio Costiero 5
2 I layers 7
3 Funzionalità dei layers 12
Settori della costa bassa 12
Suscettività al dissesto della costa alta 13
Tipo di costa 14
Evoluzione della costa 15
EGMS – European Ground Motion Service 15
Altezza significativa d'onda Hs 17
Eventi intensi 19
Runup 20
Wave Power 20
Uso del suolo 22
Densità di urbanizzazione costiera 22
Funzionalità trasversali del frontend 24
Link di accesso al prodotto 26
4 Osservazioni finali e prospettive future 26

Indice delle figure

Figura 1- Grafico relativo alla superficie di spiaggia interrogabile per ogni singolo settore della costa bassa.....16
Figura 2 - Estratto del layer "Suscettività al dissesto della costa alta".....17
Figura 3 - Estratto del layer "Tipo di costa".....17
Figura 4 - Estratto del layer "Evoluzione della costa".....18
Figura 5 - Estratto del layer "European Ground Motion Service".....19
Figura 6 - Estratto del layer "Altezza d'onda significativa".....21
Figura 7 - Estratto del layer "Eventi intensi".....22
Figura 8 - Estratto del layer "Run-up.....23
Figura 9 - Estratto del layer "Wave power".....24
Figura 10 - Estratto del layer "Uso del suolo.....25
Figura 11 - Estratto del layer "Densità di urbanizzazione costiera".....26

Introduzione

L'Atlante del Rischio Costiero (ARC) consiste in una piattaforma webGIS bilingue, in italiano e francese, sviluppata per organizzare, rappresentare e rendere interrogabili le principali informazioni relative al rischio costiero nell'area transfrontaliera del Programma Italia-Francia Marittimo.

L'ARC nasce dall'esigenza di mettere a sistema dati territoriali, geomorfologici, meteomarini e climatici oggi spesso distribuiti tra fonti, scale e contesti amministrativi differenti. Il prodotto consente una consultazione integrata dei principali tematismi utili alla valutazione del rischio costiero, con particolare riferimento alle componenti di pericolosità, esposizione e vulnerabilità.

Attraverso un'interfaccia cartografica interattiva, l'utente può visualizzare e interrogare layer relativi alla tipologia ed evoluzione della costa, alla suscettività al dissesto, ai movimenti verticali del terreno, al trasporto solido netto lungo riva, all'uso del suolo, alla densità di urbanizzazione costiera e ai principali indicatori meteomarini, quali altezza significativa d'onda, sovralzo, runup, eventi intensi e wave power, ai quali si affianca una previsione operativa a tre giorni delle stesse grandezze.

L'Atlante costituisce quindi uno strumento conoscitivo di macroscala, pensato per supportare la lettura integrata del rischio costiero e per fornire una base comune alle successive analisi di dettaglio nei siti pilota e nei gemelli digitali costieri.

1 Atlante del Rischio Costiero

L'Atlante del Rischio Costiero è un output del progetto Interreg Marittimo Italia-Francia AMIS sviluppato come piattaforma webGIS bilingue, in italiano e francese, per la consultazione integrata di dati territoriali, costieri e meteo-marini a supporto dell'analisi del rischio lungo le aree costiere dell'area di cooperazione.

Il frontend è strutturato come una dashboard cartografica interattiva basata su Leaflet, con una mappa centrale e un pannello laterale tematico che consente l'attivazione selettiva dei diversi livelli informativi. L'interfaccia permette di esplorare in modo dinamico tematismi relativi alla costa, al mare e all'esposizione antropica, integrando dati di progetto AMIS con dataset esterni provenienti da servizi europei quali EMODnet, Copernicus Land Monitoring Service ed EGMS – European Ground Motion Service.

Tra le principali funzionalità del frontend rientrano la visualizzazione dei settori di costa bassa, della suscettività al dissesto costiero, della tipologia e dell'evoluzione della costa, dell'uso del suolo, della densità di urbanizzazione costiera dei dati relativi ai movimenti verticali del terreno e del trasporto solido netto lungo riva, oltre al collegamento diretto ai gemelli digitali costieri dei siti pilota.

Per la componente meteo-marina, l'atlante consente di consultare indicatori quali altezza significativa d'onda, sovralzo, runup e wave power, con selezione di scenari climatici RCP 4.5 e RCP 8.5 e rappresentazione dei valori associati a tempi di ritorno significativi, oltre alla stima del trasporto solido netto lungo riva per il periodo storico e per i periodi climatici futuri, nonché una previsione operativa a tre giorni delle stesse grandezze, derivata dai meteogrammi del modello d'onda WaveWatch III (WW3) e aggiornata automaticamente a ogni nuova corsa.

Alla realizzazione dei contenuti del portale hanno contribuito i seguenti partner di progetto: Consorzio LaMMA, ABDAS (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale), BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), Regione Liguria - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile, Regione Sardegna - Direzione Generale della Protezione Civile, Università degli Studi di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV).

2 I layers

Layer	Descrizione
Link ai Digital Twin	Layer puntuale che localizza i siti pilota del progetto dotati di gemello digitale costiero (Marina di Massa, Camogli, Les Bonnettes) e rimanda, tramite popup, al relativo servizio Digital Twin.
Settori della costa bassa	Rappresenta la suddivisione della costa bassa in settori omogenei di analisi. Il layer costituisce l'unità spaziale di riferimento per la consultazione degli indicatori costieri e per l'interrogazione delle informazioni associate ai singoli tratti di litorale. Attraverso popup interattivi è possibile visualizzare dati descrittivi e, dove disponibili, grafici relativi all'evoluzione della linea di riva e dell'area di spiaggia.
Suscettività al dissesto della costa alta	Layer raster che rappresenta il grado di suscettività al dissesto costiero, classificato in cinque livelli: molto bassa, bassa, media, alta e molto alta. La rappresentazione cromatica consente di individuare rapidamente i tratti di costa potenzialmente più esposti a fenomeni di instabilità.
Tipo di costa	Layer WMS derivato da dati EMODnet Geology che descrive la morfologia e la tipologia dei tratti costieri. Include categorie quali coste rocciose, spiagge sabbiose, spiagge ghiaiose, pocket beaches, estuari, aree portuali, spiagge artificiali e litorali artificiali. Il layer è interrogabile tramite click sulla mappa, con popup bilingue che restituisce la descrizione completa della classe morfologica.
Evoluzione della costa	Layer WMS EMODnet che descrive la tendenza evolutiva del litorale, distinguendo tratti in accrezione, erosione, stabilità o artificializzazione. È utile per una lettura sintetica dei processi di avanzamento o arretramento della linea di costa e per individuare aree soggette a dinamiche erosive.

EGMS – European Ground Motion Service	Layer puntuale basato sui dati Copernicus EGMS, relativo ai movimenti verticali del suolo. L'utente può disegnare un poligono sulla mappa per selezionare i punti EGMS presenti nell'area di interesse. Cliccando sui punti selezionati è possibile visualizzare una serie temporale degli spostamenti verticali, utile per analizzare fenomeni di subsidenza, stabilità o sollevamento del terreno.
Trasporto solido netto	Layer puntuale che rappresenta, con frecce lungo riva, verso e intensità del trasporto solido litoraneo netto stimato con la formula CERC a partire dal clima d'onda, per il periodo storico 1979-2009 e per i periodi futuri 2010-2040, 2040-2070 e 2069-2099 negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. La rappresentazione è generalizzata in funzione del livello di zoom.
Altezza d'onda Hs	Layer puntuale relativo alla *significant wave height* associata a tempi di ritorno, con visualizzazione predefinita per RP = 100 anni. Il layer supporta la selezione degli scenari climatici RCP 4.5 e RCP 8.5. Ogni punto può essere interrogato per visualizzare curve e valori di altezza d'onda per diversi tempi di ritorno.
Eventi intensi	Layer dinamico dedicato alla visualizzazione di eventi meteo-marini intensi storici o simulati. L'utente può selezionare un evento da un menù a tendina; i punti vengono rappresentati con classi cromatiche basate sul tempo di ritorno stimato dell'evento e, a scale di zoom più elevate, possono mostrare anche l'indicazione della direzione dell'onda. I popup riportano valori sintetici come Hs, Tp e direzione.
Sovralzo	Layer puntuale relativo al sovralzo del livello del mare, espresso in metri, associato a tempi di ritorno. Il layer permette la selezione degli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5 e la visualizzazione grafica dei valori per i diversi tempi di ritorno.
Runup	Layer puntuale che rappresenta il runup, cioè la risalita dell'onda sulla spiaggia o sulla costa, espresso in metri e associato a tempi di ritorno. La visualizzazione principale è riferita a RP = 100 anni, con possibilità di selezionare scenari RCP 4.5 e RCP

	8.5. Cliccando sui punti si visualizza un grafico dei valori di runup per diversi tempi di ritorno.
Wave Power	Layer puntuale che rappresenta la potenza del moto ondoso, espressa in kW/m, associata a tempi di ritorno. Il layer permette la selezione degli scenari climatici RCP 4.5 e RCP 8.5 e mostra una legenda dinamica con valori minimi e massimi. I popup consentono di visualizzare grafici della *wave power* per differenti tempi di ritorno.
Previsione operativa	Layer dinamico che rappresenta la previsione a tre giorni (oggi, domani, dopodomani) di altezza d'onda Hs e periodo di picco sui punti a largo, e di wave power e runup sui punti costieri, derivata dai meteogrammi del modello d'onda WW3 e classificata secondo le soglie dei tempi di ritorno.
Uso del suolo	Layer poligonale derivato dai dati Copernicus Coastal Zones, che classifica le coperture del suolo nelle aree costiere. Le classi rappresentate includono urbano, agricolo, praterie, boschi e foreste, macchia mediterranea, aree con vegetazione scarsa o assente, zone umide e corpi idrici. Il layer supporta la valutazione dell'esposizione territoriale e della pressione antropica lungo la costa.
Densità di urbanizzazione costiera	Layer poligonale che rappresenta la percentuale di urbanizzazione nei settori costieri, classificata in cinque livelli: molto bassa, bassa, media, alta e molto alta. Il popup restituisce il valore percentuale della densità di urbanizzazione per il settore selezionato. Il layer è utile per valutare l'esposizione antropica e la pressione insediativa lungo la fascia costiera.

Origine dei dati. La tabella seguente riporta, per ciascun layer, la provenienza dei dati, come documentata nel deliverable D3.2.1 di AMIS "Atlante del rischio della fascia costiera organizzato per tematismi" (cap. 2, basi informative regionali, e par. 3.3, mappatura degli elementi del rischio); per i prodotti meteo-marini D3.2.1 rimanda al deliverable D3.3.1 "Prodotti di valutazione e comunicazione del rischio da mareggiata a scala transfrontaliera". La stessa informazione è ripetuta nella scheda di ogni layer alla voce "Fonte dei dati".

Layer	**Origine dei dati**

Link ai Digital Twin	Dato interno al progetto AMIS: posizioni dei tre siti pilota dell'Attività 3.3 (gemelli digitali costieri) e indirizzi dei relativi servizi.
Settori della costa bassa	Settorizzazione realizzata in AMIS sulle basi informative regionali (D3.2.1, cap. 2): Toscana, monitoraggio dell'erosione LaMMA–Regione Toscana (Pleiades e ortofoto, confronti 2005–2023); PACA (Var), Cerema 2022 per la DREAL PACA (linee di riva 1920–2017); Corsica, BRGM, Mugica et al. 2022 (ortofoto 1951–2019); Sardegna, Programma Azione Coste 2013, PGRA e PAI; Liguria, geoportale regionale (linea di riva dal 1944).
Suscettività al dissesto della costa alta	Elaborazione AMIS (D3.2.1, par. 3.3) con il metodo statistico e AHP di Paliaga et al. 2025 e Roccati et al. 2019: nove fattori predisponenti e inventario delle frane; raster a 5 m nella fascia di 100 m dalla riva, in cinque classi.
Tipo di costa	EMODnet Geology, prodotto sulla resilienza e vulnerabilità costiera (EMODnet Map Viewer), servito in WMS dal portale europeo.
Evoluzione della costa	EMODnet Geology, stesso prodotto del Tipo di costa (resilienza e vulnerabilità costiera), servito in WMS.
EGMS – European Ground Motion Service	Copernicus European Ground Motion Service: spostamenti da interferometria InSAR su immagini radar Sentinel-1, estratti per l'area di cooperazione e serviti dal backend dell'Atlante.
Trasporto solido netto	Elaborazione LaMMA nell'Attività 3.3 (D3.3.1): formula CERC applicata al clima d'onda modellato, hindcast 1979–2009 e scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.
Altezza d'onda Hs	Climatologia delle mareggiate LaMMA (Attività 3.3, D3.3.1): livelli di ritorno da analisi degli estremi del clima d'onda modellato sui nodi al largo, periodo storico e scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.
Eventi intensi	Eventi storici 2000–2012 dalla climatologia D3.3.1 (massimi giornalieri modellati confrontati con le soglie dei tempi di ritorno); tempesta Harry 2026 dalle catene modellistiche del LaMMA.
Sovralzo	Climatologia delle mareggiate LaMMA (Attività 3.3, D3.3.1): livelli di ritorno del sovralzo sui punti costieri, scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Runup	Climatologia D3.3.1: runup con la formula di Atkinson dall'altezza d'onda proiettata sulla normale alla costa e dalla pendenza della spiaggia dei settori di costa bassa.
Wave Power	Climatologia D3.3.1: potenza del moto ondoso sui punti costieri da altezza d'onda, periodo energetico e direzione rispetto alla costa, scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.
Previsione operativa	Catena operativa del modello d'onda WaveWatch III del Consorzio LaMMA: meteogrammi per punto aggiornati a ogni corsa; runup e wave power con le stesse formule dei layer statistici.
Uso del suolo	Copernicus Land Monitoring Service, prodotto Coastal Zones (nomenclatura Corine Land Cover), secondo livello, fascia di 2 km dalla costa.
Densità di urbanizzazione costiera	Elaborazione dell'Atlante (D3.2.1, par. 3.3): percentuale di superficie urbanizzata per settore nella fascia fra la riva e 500 m, dalle classi urbane dell'uso del suolo Copernicus Coastal Zones.

Inoltre, come Basemap sono disponibili i livelli Esri Gray Canvas, ESRI Satellitare, OpenStreetMap, layer cartografici di base selezionabili dall'utente. Offrono diversi sfondi di riferimento: una base grigia semplificata per la lettura tematica, una base satellitare per l'interpretazione visiva del territorio e la cartografia OpenStreetMap per il contesto geografico generale.

3 Funzionalità dei layers

Link ai Digital Twin

Il layer Link ai Digital Twin segnala sulla mappa i siti pilota del progetto per i quali è disponibile un gemello digitale costiero: Marina di Massa, Camogli e Les Bonnettes.

Dati forniti: posizione dei siti pilota e collegamento al relativo servizio Digital Twin.

Fonte dei dati: dato interno al progetto. Il layer contiene le posizioni dei tre siti pilota dell'Attività 3.3 di AMIS, per i quali sono stati sviluppati i gemelli digitali costieri, e gli indirizzi dei relativi servizi web gestiti dal Consorzio LaMMA. Non deriva da banche dati esterne.

Funzionalità: attivando il layer compaiono sulla mappa i marker dei siti pilota. Cliccando su un marker si apre un popup bilingue con il nome del sito e il collegamento che apre il gemello digitale in una nuova scheda del browser, consentendo di passare dalla visione d'insieme dell'Atlante agli approfondimenti locali.

Settori della costa bassa

Il layer Settori della costa bassa rappresenta la base geometrica principale dell'ARC. Suddivide il litorale in tratti o settori costieri utilizzati come unità spaziali di riferimento per l'analisi del rischio.

Dati forniti: identificativo del settore, informazioni descrittive del tratto costiero e, dove disponibili, indicatori collegati all'evoluzione morfologica della costa.

Fonte dei dati: la suddivisione in settori e gli attributi di ciascun tratto (ampiezza media, granulometria, dune, opere di difesa, infrastrutture, pendenza, evoluzione della linea di riva, orientamento) sono stati prodotti nell'ambito di AMIS a partire dalle basi informative di ciascuna regione, descritte nel deliverable D3.2.1 (cap. 2 e par. 3.3). Toscana: monitoraggio dell'erosione svolto dal Consorzio LaMMA per la Regione Toscana, con linee di riva estratte da immagini satellitari Pleiades a 50 cm e da ortofoto regionali (pixel 20–50 cm) e confronti con il 2022 e con il 2005, assunto come anno zero; ultima edizione 2023. Ampiezza, granulometria, dune, opere e infrastrutture derivano dalla fotointerpretazione delle stesse immagini. Regione PACA (settori del dipartimento del Var): tassi di evoluzione della linea di riva dello studio Cerema (2022) per la DREAL PACA, basato su circa dieci linee storiche per dipartimento fra il 1920 e il 2017, calcolati per transetti su cinque periodi e pubblicati sulla piattaforma monlittoral.fr. Corsica: diagnosi geomorfologica della costa mobile del BRGM (Mugica et al., 2022), con tipologia delle spiagge in undici classi e tassi di evoluzione da ortofoto storiche, in genere 1951–2019 o 1983–2019. Sardegna: Programma Azione Coste (PAC, 2013), che suddivide la costa in 20 unità fisiografiche e 5 morfotipi, confluito nel Piano di gestione del rischio alluvioni (PGRA) e nel Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). Liguria: dati ad accesso libero del geoportale regionale, con tipologia di costa (alta, bassa, antropizzata) ed evoluzione della linea di riva dal 1944, in parte prodotti nei progetti BEACHMED, BEACHMED-E, ResMar e MAREGOT.

Funzionalità: il layer è attivo di default e può essere interrogato tramite click sulla mappa. I popup restituiscono informazioni associate al settore selezionato. In alcuni casi il popup include schede tematiche e grafici dinamici relativi agli spostamenti della linea di riva e alla superficie di spiaggia, permettendo di leggere variazioni temporali e tendenze evolutive.

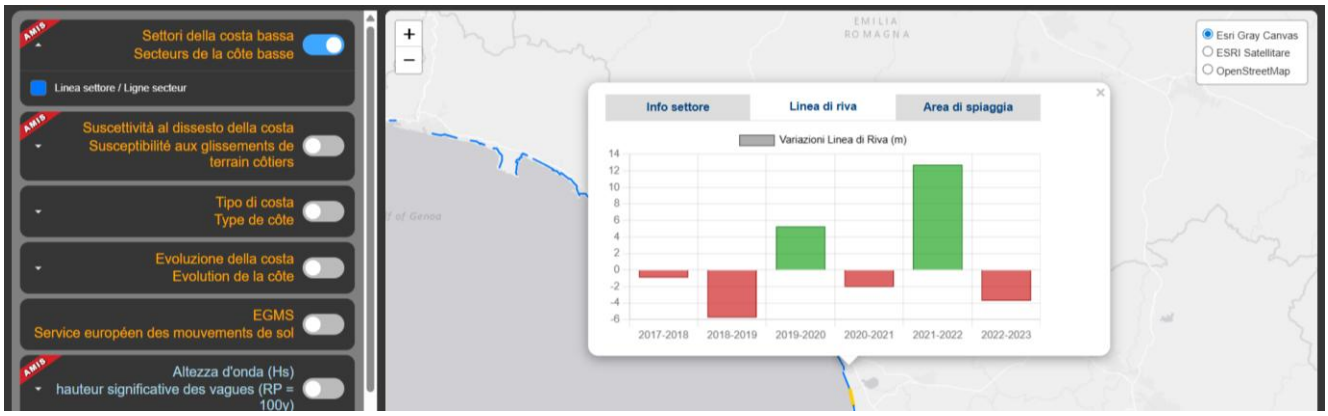


Figura 1- Grafico relativo alla superficie di spiaggia interrogabile per ogni singolo settore della costa bassa

Suscettività al dissesto della costa alta

Il layer di suscettività al dissesto costiero rappresenta la propensione dei tratti costieri a fenomeni di instabilità, erosione o dissesto.

Dati forniti: valori raster classificati in cinque livelli di suscettività: molto bassa, bassa, media, alta e molto alta.

Fonte dei dati: carta prodotta nell'ambito di AMIS secondo la metodologia descritta nel deliverable D3.2.1 (par. 3.3), che riprende l'approccio di Roccati et al. (2019) e Paliaga et al. (2025) per la suscettività da frane superficiali. In ambiente GIS si combinano un'analisi statistica, che mette in relazione nove fattori predisponenti (litologia, esposizione, acclività, uso del suolo, distanza dalle infrastrutture, dalle aree impermeabilizzate e dalle zone di concentrazione del deflusso superficiale, curvatura di profilo e curvatura tangenziale) con un database di fenomeni passati ripartito all'80% per l'addestramento e al 20% per la validazione, e una valutazione esperta dei pesi con il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process). Per la Sardegna, priva di un database dei fenomeni franosi, i pesi sono stati attribuiti con il solo AHP. L'indicatore, normalizzato fra 0 e 1, è filtrato con un passa-basso e restituito come raster a 5 m entro 100 m dalla riva, riclassificato in cinque classi.

Funzionalità: l'utente può attivare o disattivare il layer dal pannello laterale. La visualizzazione avviene tramite scala cromatica dal verde al rosso, consentendo una lettura immediata delle aree più critiche. Il layer supporta l'individuazione spaziale dei settori costieri maggiormente esposti a fenomeni di instabilità.

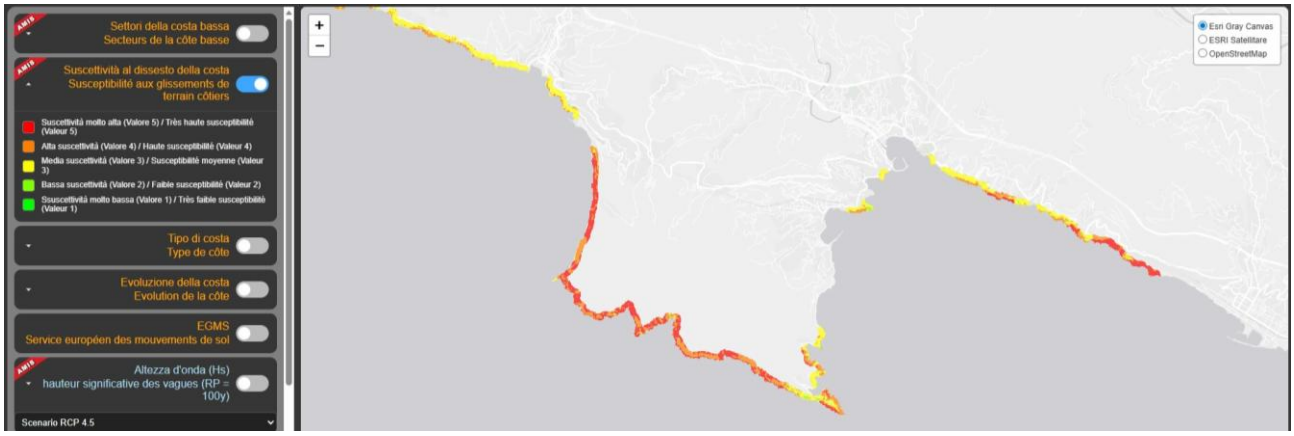


Figura 2 - Estratto del layer “Suscettività al dissesto della costa alta”

Tipo di costa

Il layer Tipo di costa descrive la morfologia del litorale e deriva da dati EMODnet Geology.

Dati forniti: classificazione morfologica dei tratti costieri, con categorie quali coste rocciose, scogliere, pocket beaches, spiagge sabbiose, spiagge ghiaiose, coste fangose, estuari, aree portuali, spiagge artificiali e litorali artificiali.

Fonte dei dati: portale EMODnet Geology, prodotto sulla resilienza e vulnerabilità costiera consultabile nell’EMODnet Map Viewer, che sintetizza a scala pan-europea oltre 900 studi sui rischi costieri (D3.2.1, par. 3.3). Il layer è servito in WMS direttamente dal portale europeo e non è copiato sul server dell’Atlante.

Funzionalità: il layer è servito tramite WMS e può essere interrogato con click sulla costa. Il sistema esegue una richiesta GetFeatureInfo e restituisce un popup bilingue italiano/francese con la descrizione completa della classe costiera rilevata. La funzione è utile per contestualizzare la vulnerabilità del litorale rispetto alla sua natura morfologica.

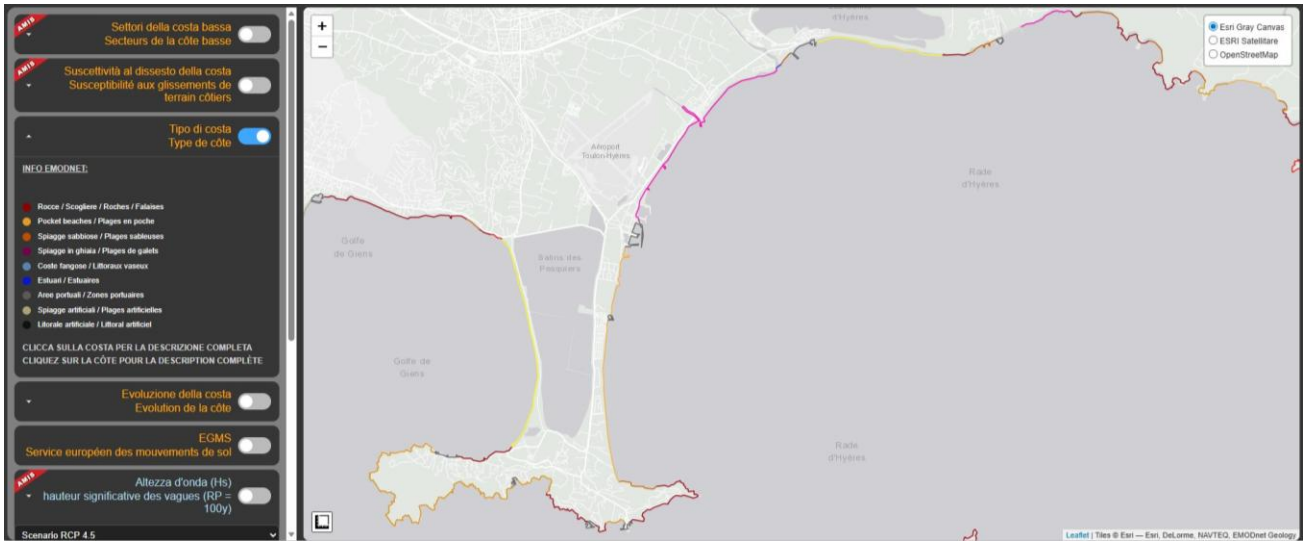


Figura 3 - Estratto del layer "Tipo di costa"

Evoluzione della costa

Il layer Evoluzione della costa fornisce una sintesi delle dinamiche recenti o prevalenti della linea costiera, anch'esso basato su dati EMODnet Geology.

Dati forniti: classificazione dei tratti costieri in accrezione, erosione, stabilità o artificializzazione.

Fonte dei dati: portale EMODnet Geology, stesso prodotto sulla resilienza e vulnerabilità costiera da cui deriva il Tipo di costa (D3.2.1, par. 3.3). Anche questo layer è servito in WMS dal portale europeo.

Funzionalità: il layer può essere attivato dal pannello tematico e sovrapposto agli altri livelli cartografici. La legenda consente una lettura rapida delle tendenze evolutive del litorale. È particolarmente utile per individuare i settori interessati da arretramento della costa o da processi di avanzamento sedimentario.



Figura 4 - Estratto del layer "Evoluzione della costa"

EGMS – European Ground Motion Service

Il layer EGMS integra informazioni sui movimenti verticali del terreno provenienti dal servizio europeo European Ground Motion Service di Copernicus.

Dati forniti: punti di misura EGMS con valori di velocità media di movimento verticale e serie temporali di spostamento, espresse in millimetri.

Fonte dei dati: European Ground Motion Service (EGMS) di Copernicus, che fornisce dati armonizzati e ad alta precisione sul territorio europeo derivati dall'analisi interferometrica (InSAR) delle immagini radar Sentinel-1, sensibili a movimenti naturali (frane, subsidenza, attività vulcanica, tettonica) e antropici (estrazione idrica, miniere, carichi infrastrutturali) (D3.2.1, par. 3.3). I punti dell'area di cooperazione sono

stati scaricati e preparati in formato Parquet nell'ambiente di pre-elaborazione dell'Atlante e vengono interrogati dal server a ogni selezione.

Funzionalità: quando il layer viene attivato, l'interfaccia abilita gli strumenti di disegno su mappa. L'utente può tracciare un poligono o un rettangolo per selezionare i punti EGMS all'interno dell'area di interesse. I punti selezionati vengono visualizzati con una scala cromatica riferita alla velocità di movimento. Cliccando su un punto, si apre un pannello grafico con la serie temporale degli spostamenti e una linea di tendenza. Questa funzione consente di analizzare fenomeni di subsidenza, sollevamento o stabilità del suolo in ambito costiero.

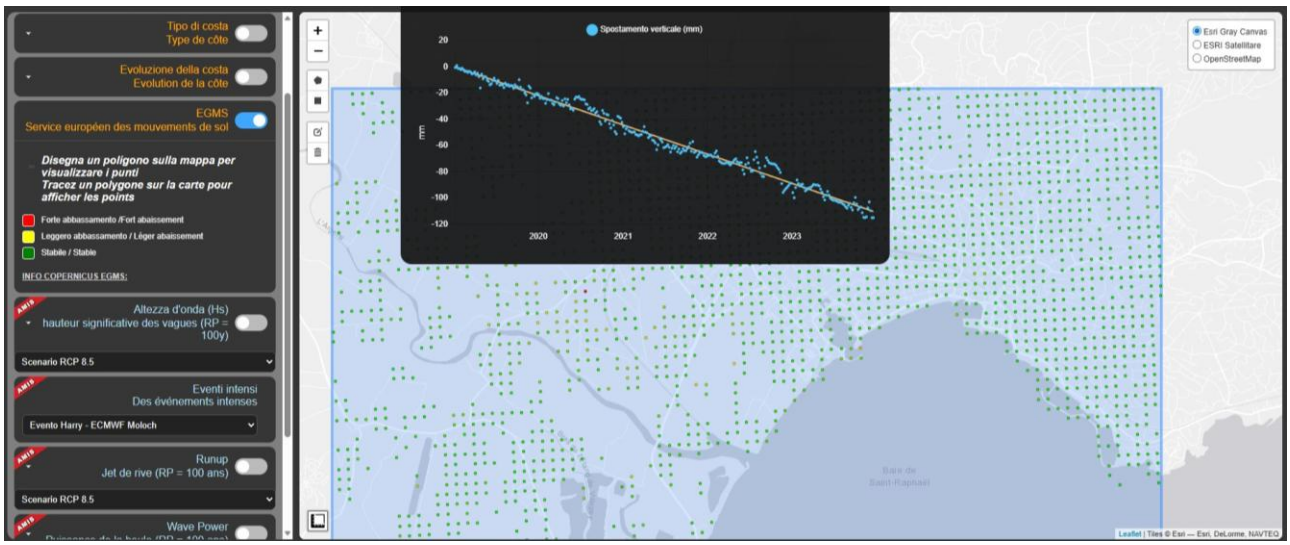


Figura 5 - Estratto del layer "European Ground Motion Service"

Trasporto solido netto

Il layer Trasporto solido netto rappresenta il verso e l'intensità del trasporto solido litoraneo netto lungo la costa, stimato con la formula CERC a partire dal clima d'onda ricostruito per il periodo storico e proiettato per i periodi climatici futuri. Il trasporto netto è la differenza fra i volumi di sedimento che transitano nei due versi lungo riva nel corso dell'anno ed esprime quindi la tendenza prevalente della deriva litoranea.

Dati forniti: punti costieri con il trasporto solido netto annuo Qnet, espresso in metri cubi all'anno, il verso prevalente lungo riva e il regime del trasporto, per il periodo storico 1979-2009 e per i periodi 2010-2040, 2040-2070 e 2069-2099 negli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. I valori sono suddivisi in cinque classi di intensità, definite dai quintili del trasporto netto in valore assoluto di ciascun periodo. Fra le isole è rappresentata la sola Isola d'Elba.

Fonte dei dati: elaborazione del Consorzio LaMMA nell'ambito dell'Attività 3.3 di AMIS. La formula CERC è applicata al clima d'onda modellato della climatologia delle mareggiate descritta nel deliverable D3.3.1, al quale D3.2.1 rimanda per la componente meteo-marina, per l'hindcast 1979–2009 e per le proiezioni RCP 4.5 e RCP 8.5, sui punti costieri associati ai nodi del modello d'onda; il verso lungo riva è riferito alla linea di riva EMODnet.

Funzionalità: l'utente seleziona il periodo e lo scenario da un menu. Ogni punto è rappresentato da una freccia orientata lungo la riva nel verso del trasporto netto, in tonalità di marrone crescenti con la classe di intensità; le frecce attenuate indicano un regime bidirezionale, in cui il trasporto netto è inferiore al 30% del trasporto lordo, mentre un punto grigio indica trasporto nullo o indefinito. Il layer è visibile a partire da un livello di zoom intermedio: a scale minori un avviso al centro della mappa invita a ingrandire. La rappresentazione è generalizzata in funzione dello zoom: a scale piccole vengono mostrate meno frecce, più grandi e orientate secondo l'andamento generale della linea di riva, mentre aumentando lo zoom compaiono progressivamente tutti i punti con la direzione locale della costa. Cliccando su una freccia si apre un popup con il trasporto netto del periodo, il verso e il regime, e un grafico a barre che confronta il trasporto netto del punto nei diversi periodi e scenari.

Altezza significativa d'onda Hs

Il layer Altezza d'onda Hs rappresenta la distribuzione spaziale dei valori di altezza significativa d'onda associati a tempi di ritorno.

Dati forniti: punti meteo-marini con valori di Hs per diversi tempi di ritorno, tra cui 1, 2, 5, 10, 50, 100 e 200 anni. La visualizzazione principale è riferita al tempo di ritorno di 100 anni.

Fonte dei dati: climatologia delle mareggiate elaborata dal Consorzio LaMMA nell'Attività 3.3 e documentata nel deliverable D3.3.1, al quale D3.2.1 rimanda per la descrizione della metodologia. I valori per tempo di ritorno derivano da un'analisi statistica degli estremi del clima d'onda modellato sui nodi al largo della griglia del modello d'onda, per il periodo storico e per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Funzionalità: l'utente può selezionare lo scenario climatico RCP 4.5 o RCP 8.5. I punti sono rappresentati con colori proporzionali ai valori di Hs. Cliccando su un punto si apre un grafico che mostra la curva dei valori di altezza d'onda in funzione dei diversi tempi di ritorno. Con il layer attivo compare inoltre, in basso a destra sulla mappa, il pulsante AI che apre l'assistente per le mareggiate.

Assistente mareggiate: è un modulo di interrogazione in linguaggio naturale, in italiano o in francese, basato su intelligenza artificiale. L'utente scrive una richiesta nella casella di testo indicando una località e un tempo di ritorno oppure un'altezza d'onda, ad esempio "TR 100 Camogli" o "Hs 5 m a Livorno nello scenario RCP 8.5". Un modello linguistico interpreta la frase ed estrae località, tempo di ritorno, altezza d'onda e scenario; se il modello non è raggiungibile interviene un interprete a regole. La località viene georiferita e associata al punto meteo-marino più vicino, per il quale l'assistente risponde con l'altezza d'onda attesa per il tempo di ritorno richiesto o, viceversa, con il tempo di ritorno stimato per l'altezza d'onda indicata, segnalando i casi oltre i 500 anni. La mappa si centra automaticamente sul punto e apre un popup con la curva dei tempi di ritorno, evidenziando il valore richiesto. Le risposte riportano lo scenario utilizzato e il punto di riferimento; i tasti freccia della tastiera consentono di richiamare le domande precedenti. Come indicato nell'avviso del modulo, i dati hanno carattere climatologico e finalità di pianificazione e non vanno utilizzati per scopi operativi o di emergenza.



Figura 6 - Estratto del layer "Altezza d'onda significativa"

Eventi intensi

Il layer Eventi intensi permette la visualizzazione di specifici eventi di mareggiata storici o simulati selezionabili da un menu, per una variabile a scelta tra altezza d'onda e periodo di picco (Hs/Tp), wave power e runup.

Dati forniti: per ogni evento sono rappresentati punti meteo-marini con i valori massimi giornalieri di altezza d'onda, periodo di picco e direzione dell'onda sui punti a largo, e di wave power e runup sui punti costieri. I valori sono confrontati con soglie associate a tempi di ritorno per stimare la severità dell'evento. Oltre agli eventi storici dal 2000 al 2012, sono disponibili le simulazioni della tempesta Harry del gennaio 2026 ottenute con diverse catene modellistiche (ECMWF-Moloch, ECMWF-WRF e GFS-Moloch).

Fonte dei dati: gli eventi storici dal 2000 al 2012 provengono dalla stessa climatologia delle mareggiate del deliverable D3.3.1: massimi giornalieri modellati sui nodi al largo e sui punti costieri, confrontati con le soglie dei tempi di ritorno. Le simulazioni della tempesta Harry del gennaio 2026 sono prodotte dalle catene modellistiche del Consorzio LaMMA (ECMWF-Moloch, ECMWF-WRF e GFS-Moloch).

Funzionalità: l'utente seleziona prima la variabile e poi l'evento dai menu a tendina. Il layer visualizza i punti classificati secondo classi di tempo di ritorno: inferiore a 1 anno, 1–2 anni, 2–5 anni, 5–10 anni, 10–50 anni, 50–100 anni e superiore a 100 anni. I popup mostrano i valori principali dell'evento, come Hs, Tp e Dirp, oppure il valore di wave power o di runup con la relativa classe di tempo di ritorno. A scale di zoom più elevate è prevista la visualizzazione della direzione dell'onda tramite simboli orientati.

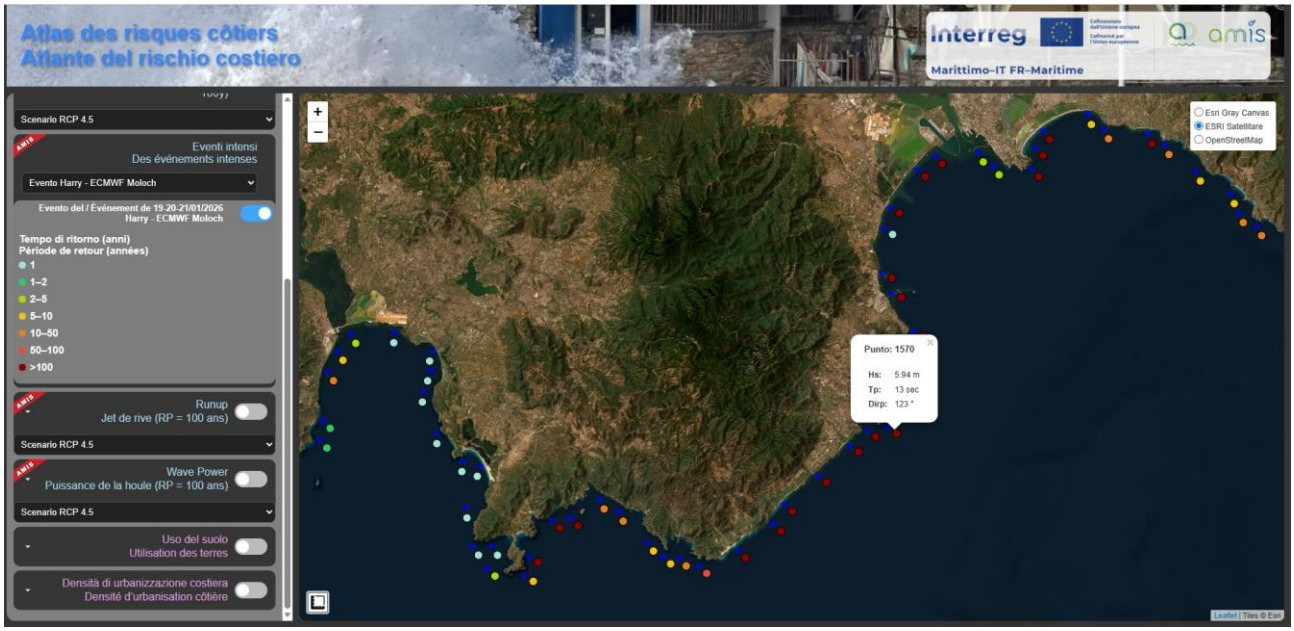


Figura 7 - Estratto del layer "Eventi intensi"

Sovralzo

Il layer Sovralzo rappresenta l'innalzamento del livello del mare lungo la costa in condizioni di mareggiata, associato a tempi di ritorno.

Dati forniti: punti con valori di sovralzo espressi in metri, calcolati per diversi tempi di ritorno: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 e 500 anni. La rappresentazione cartografica principale utilizza il valore associato al tempo di ritorno di 100 anni.

Fonte dei dati: climatologia delle mareggiate del deliverable D3.3.1 (Attività 3.3, Consorzio LaMMA), da cui derivano i livelli di ritorno del sovralzo sui punti costieri per gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Funzionalità: il layer consente la selezione degli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. I punti sono rappresentati con scala cromatica graduata e la legenda riporta dinamicamente i valori minimo e massimo. Cliccando su un punto, l'utente visualizza un grafico che mostra l'andamento del sovralzo in funzione dei tempi di ritorno.

Runup

Il layer Runup rappresenta la risalita dell'onda sulla costa, cioè il livello massimo raggiunto dal moto ondoso sul profilo costiero.

Dati forniti: punti con valori di runup espressi in metri, calcolati per diversi tempi di ritorno, tra cui 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 e 500 anni. La rappresentazione cartografica principale utilizza il valore associato al tempo di ritorno di 100 anni.

Fonte dei dati: climatologia delle mareggiate del deliverable D3.3.1 (Attività 3.3, Consorzio LaMMA). Il runup è calcolato con la formula di Atkinson a partire dall'altezza d'onda proiettata sulla normale alla costa e dalla pendenza della spiaggia dei settori di costa bassa, per i tempi di ritorno e gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Funzionalità: il layer consente la selezione degli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. I punti sono rappresentati con scala cromatica graduata e la legenda riporta dinamicamente i valori minimo e massimo. Cliccando su un punto, l'utente visualizza un grafico che mostra l'andamento del *runup* in funzione dei tempi di ritorno.



Figura 8 - Estratto del layer "Run-up"

Wave Power

Il layer Wave Power rappresenta la potenza del moto ondoso incidente lungo la costa.

Dati forniti: punti con valori di wave power espressi in kW/m, calcolati per diversi tempi di ritorno: 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 e 500 anni. La rappresentazione principale è riferita al tempo di ritorno di 100 anni.

Fonte dei dati: climatologia delle mareggiate del deliverable D3.3.1 (Attività 3.3, Consorzio LaMMA). La potenza del moto ondoso è calcolata sui punti costieri a partire da altezza d'onda, periodo energetico e direzione dell'onda rispetto alla costa, per i tempi di ritorno e gli scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.

Funzionalità: come per il runup, l'utente può scegliere tra scenari RCP 4.5 e RCP 8.5. Il layer mostra i punti con scala cromatica proporzionale ai valori di potenza ondosa e una legenda dinamica con minimo e massimo. Il click sui punti apre un grafico interattivo che rappresenta la wave power per i diversi tempi di ritorno, facilitando il confronto tra condizioni ordinarie ed estreme.

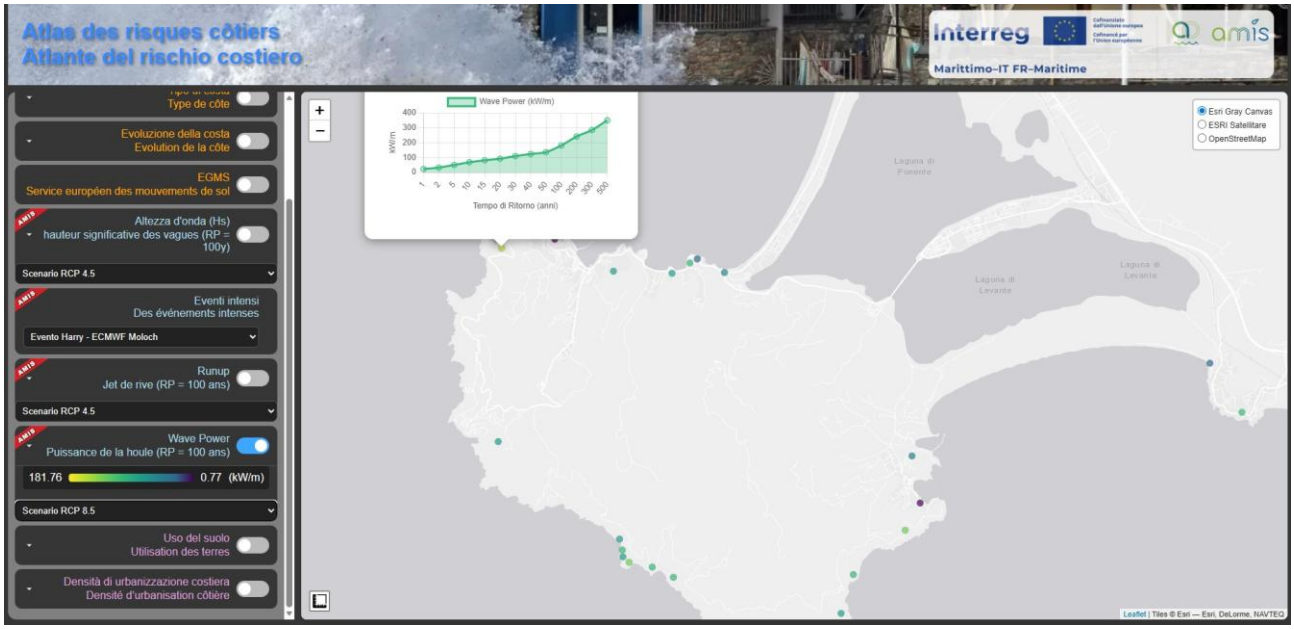


Figura 9 - Estratto del layer "Wave power"

Previsione operativa

Il layer Previsione operativa affianca ai valori statistici una previsione a tre giorni delle condizioni meteo-marine lungo la costa, derivata dai meteogrammi del modello d'onda WaveWatch III (WW3) della catena operativa del Consorzio LaMMA e aggiornata automaticamente a ogni nuova corsa del modello.

Dati forniti: per ciascuno dei tre giorni di previsione (oggi, domani, dopodomani) sono disponibili tre variabili. L'altezza significativa d'onda Hs, con periodo di picco Tp e direzione dell'onda al momento del massimo giornaliero, è riferita ai punti a largo della griglia WW3, gli stessi del layer Altezza d'onda Hs. Il wave power e il runup sono calcolati nei punti costieri, gli stessi dei rispettivi layer statistici, con le medesime formule adottate per i tempi di ritorno: la potenza del moto ondoso a partire da altezza d'onda, periodo energetico e direzione dell'onda rispetto alla costa; il runup con la formula di Atkinson a partire dall'altezza d'onda proiettata sulla normale alla costa e dalla pendenza della spiaggia, per i soli settori di costa bassa.

Fonte dei dati: catena operativa del modello d'onda WaveWatch III (WW3) del Consorzio LaMMA, che a ogni corsa produce i meteogrammi dei punti al largo; runup e wave power sono calcolati dall'Atlante sui punti

costieri con le stesse formule dei layer statistici. Il layer non deriva da banche dati esterne e non è descritto in D3.2.1.

Funzionalità: il layer si attiva tramite switch dal pannello laterale, dove un menu a tendina consente di scegliere la variabile da visualizzare. All'attivazione compare nella parte alta della mappa una barra temporale con un cursore che permette di spostarsi tra oggi, domani e dopodomani, anche tramite le frecce ai lati della barra o i tasti freccia della tastiera; a ogni spostamento il layer si aggiorna mantenendo l'inquadratura corrente della mappa. I punti sono classificati nelle stesse classi di tempo di ritorno del layer Eventi intensi, confrontando il valore previsto con le soglie statistiche del punto. Il pannello laterale riporta la data e la corsa del modello e il numero di punti rappresentati; i popup mostrano il valore previsto, la classe di tempo di ritorno, l'ora del massimo e il nodo WW3 di riferimento.

Uso del suolo

Il layer Uso del suolo descrive la copertura e l'utilizzo del territorio nella fascia costiera, utilizzando dati Copernicus Coastal Zones.

Dati forniti: poligoni classificati in categorie di uso/copertura del suolo, tra cui urbano, agricolo, praterie, boschi e foreste, boscaglia e macchia mediterranea, aree aperte con vegetazione scarsa o assente, zone umide e corpi idrici.

Fonte dei dati: Copernicus Land Monitoring Service, prodotto Coastal Zones, con la nomenclatura del Corine Land Cover al secondo livello di dettaglio, ritagliato in una fascia di 2 km dalla costa (D3.2.1, par. 3.3).

Funzionalità: La rappresentazione per classi cromatiche consente di leggere la distribuzione delle coperture del suolo lungo la fascia costiera e di valutare la presenza di elementi antropici o naturali esposti ai fenomeni di rischio costiero.



Figura 10 - Estratto del layer "Uso del suolo

Densità di urbanizzazione costiera

Il layer Densità di urbanizzazione costiera rappresenta il grado di urbanizzazione dei settori costieri.

Dati forniti: valore percentuale di urbanizzazione per settore, classificato in cinque classi: molto bassa, bassa, media, alta e molto alta.

Fonte dei dati: dato derivato, calcolato dall'Atlante per ciascun settore della costa come percentuale di superficie urbanizzata nell'area compresa fra la riva e 500 m di distanza, a partire dalle classi urbane dell'uso del suolo Copernicus Coastal Zones (D3.2.1, par. 3.3).

Funzionalità: il layer viene caricato su richiesta e visualizzato come poligoni colorati in base alla percentuale di urbanizzazione. Il popup restituisce il valore numerico della densità di urbanizzazione costiera per il settore selezionato. Questo livello è utile per valutare l'esposizione antropica, individuando i tratti costieri in cui infrastrutture, insediamenti o superfici artificiali sono maggiormente presenti.

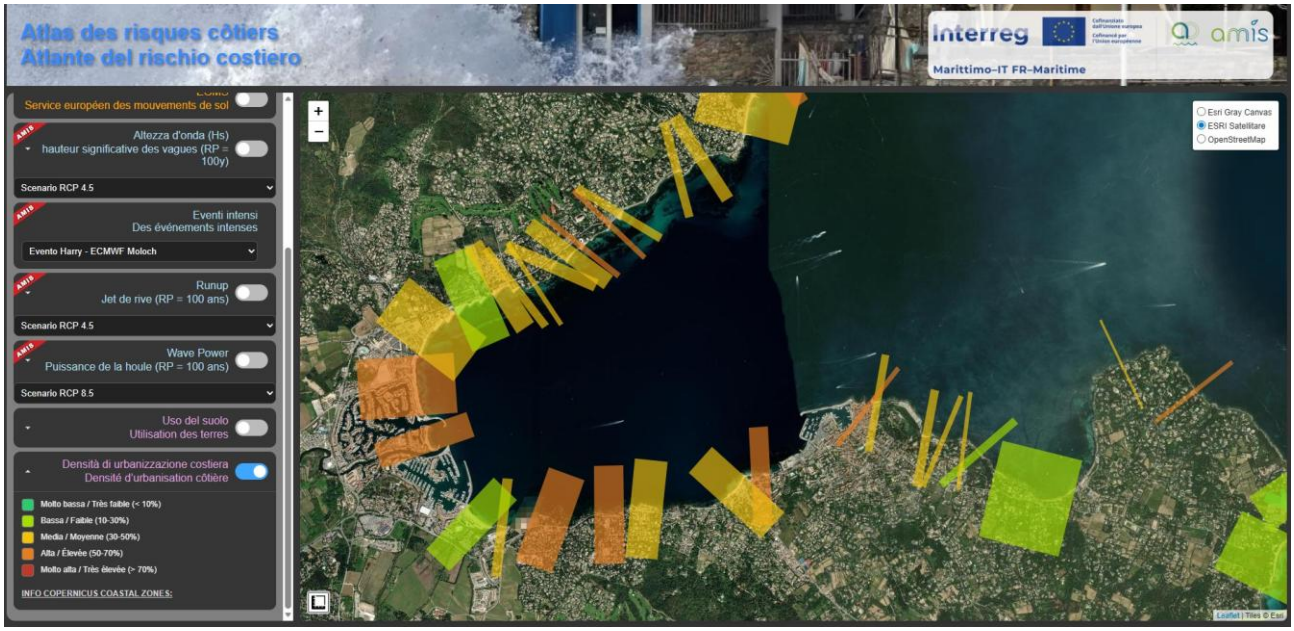


Figura 11 - Estratto del layer "Densità di urbanizzazione costiera"

Funzionalità trasversali del frontend

Oltre alle funzioni specifiche dei singoli layer, il frontend dell'ARC mette a disposizione alcune funzionalità comuni:

Funzionalità	Descrizione
Attivazione/disattivazione layer	Ogni layer può essere acceso o spento tramite switch nel pannello laterale.
Accordion tematici	Le legende sono organizzate in pannelli espandibili, facilitando la consultazione dei diversi tematismi.
Popup informativi	Molti layer sono interrogabili tramite click, con restituzione di attributi, descrizioni bilingui o valori numerici.
Grafici dinamici	I dati temporali o associati a tempi di ritorno sono visualizzati tramite grafici generati con Chart.js.
Selezione scenari climatici	I layer meteo-marini consentono il confronto tra scenari RCP 4.5 e RCP 8.5.
Selezione eventi intensi	L'utente può scegliere la variabile (Hs/Tp, wave power, runup) e specifiche mareggiate storiche o simulate e visualizzarne la severità rispetto ai tempi di ritorno.
Barra temporale di previsione	Per il layer Previsione operativa, un cursore nella parte alta della mappa consente di scorrere i tre giorni di previsione (oggi, domani, dopodomani) mantenendo l'inquadratura corrente.
Strumenti di misura	La mappa include strumenti per misurare distanze e superfici.
Disegno su mappa	Per il layer EGMS è possibile disegnare aree di selezione e interrogare i punti ricadenti al loro interno.
Collegamento ai Digital Twin	Marker dedicati ai siti pilota rimandano ai gemelli digitali costieri, aperti in una nuova scheda del browser.
Interfaccia bilingue	Titoli, legende e diversi popup sono disponibili in italiano e francese.
Assistente mareggiate	Un modulo chat basato su intelligenza artificiale, attivo con il layer Altezza d'onda Hs, consente interrogazioni testuali in italiano o francese sui dati di mareggiata (località con tempo di ritorno o

	altezza d'onda) e localizza automaticamente il punto sulla mappa con la curva dei tempi di ritorno.

Link di accesso al prodotto

L'Atlante del Rischio Costiero è consultabile all'indirizzo:

https://geoportale.lamma.toscana.it/atlante

4 Osservazioni finali e prospettive future

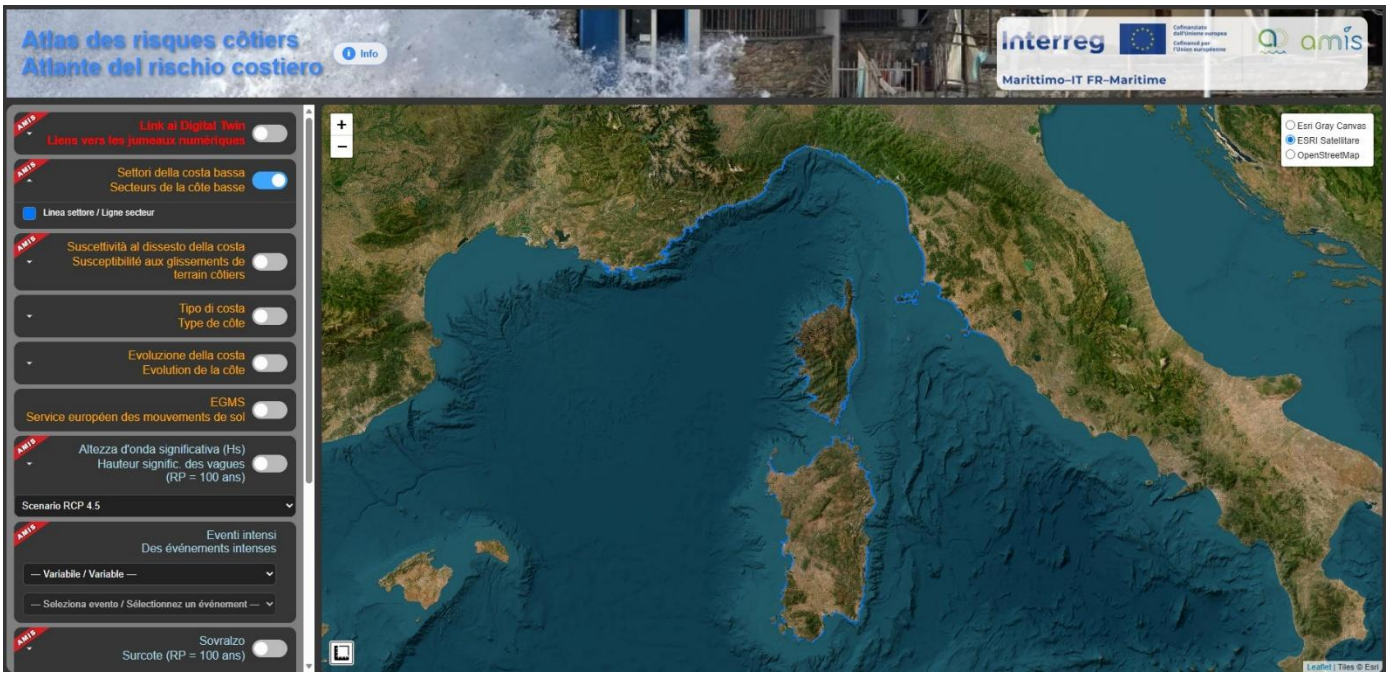
L'Atlante del Rischio Costiero rappresenta uno dei principali risultati operativi del progetto AMIS, poiché rende disponibili in un unico ambiente webGIS informazioni eterogenee relative alla fascia costiera dell'area transfrontaliera. Il prodotto consente di superare la frammentazione delle basi informative e offre una lettura integrata, interrogabile e confrontabile dei principali fattori che concorrono alla definizione del rischio costiero.

L'ARC è stato concepito come livello conoscitivo di macroscala, aggiornabile e progressivamente estendibile. Esso non sostituisce le analisi locali di dettaglio, ma fornisce una base comune per orientare la pianificazione, la prevenzione e la comunicazione del rischio. In questa prospettiva, il suo ruolo è complementare a quello dei Digital Twin costieri sviluppati nel progetto: mentre l'ARC offre una visione d'insieme dell'area di cooperazione, i gemelli digitali permettono approfondimenti dinamici e locali nei siti pilota.

Nelle successive fasi progettuali, l'Atlante potrà essere ulteriormente consolidato attraverso l'aggiornamento dei layer, il miglioramento delle funzionalità di interrogazione, l'integrazione con nuovi dati di monitoraggio e l'estensione dei prodotti dinamici di valutazione e comunicazione del rischio, di cui la previsione operativa a tre giorni, il trasporto solido netto per i periodi climatici e il collegamento ai gemelli digitali costituiscono un primo elemento.

Atlas du risque de la zone côtière

Guide de consultation



ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ACRONYME/ABRÉVIATION	Signification
ARC	Atlas du Risque Côtier
LaMMA	Laboratorio di Monitoraggio e Modellistica Ambientale per il Monitoraggio Sostenibile
ABDAS	Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
EGMS	European Ground Motion Service
RCP	Representative Concentration Pathway
WMS	Web Map Service
EMODnet	European Marine Observation and Data Network
Hs	Significant wave height
Ts	Peak Spectral Period

Introduction

L'Atlas du Risque Côtier (ARC) consiste en une plateforme webSIG bilingue, en italien et en français, développée pour organiser, représenter et rendre interrogeables les principales informations relatives au risque côtier dans la zone transfrontalière du Programme Italie-France Maritime.

L'ARC naît de la nécessité de mettre en système des données territoriales, géomorphologiques, météo-marines et climatiques, aujourd'hui souvent réparties entre des sources, des échelles et des contextes administratifs différents. Le produit permet une consultation intégrée des principaux thèmes utiles à l'évaluation du risque côtier, avec une référence particulière aux composantes d'aléa, d'exposition et de vulnérabilité.

Grâce à une interface cartographique interactive, l'utilisateur peut visualiser et interroger des couches relatives au type et à l'évolution du trait de côte, à la susceptibilité aux instabilités, aux mouvements verticaux du sol, au transport sédimentaire net le long du rivage, à l'occupation du sol, à la densité d'urbanisation côtière et aux principaux indicateurs météo-marins, tels que la hauteur significative des vagues, la surcote, le run-up, les événements intenses et la puissance de la houle (wave power), auxquels s'ajoute une prévision opérationnelle à trois jours de ces mêmes grandeurs.

L'Atlas constitue donc un outil de connaissance à macro-échelle, conçu pour soutenir la lecture intégrée du risque côtier et pour fournir une base commune aux analyses de détail ultérieures dans les sites pilotes et dans les jumeaux numériques côtiers.

5 Atlas du Risque Côtier

L'Atlas du Risque Côtier est un produit du projet Interreg Maritime Italie-France AMIS, développé comme plateforme webSIG bilingue, en italien et en français, pour la consultation intégrée de données territoriales, côtières et météo-marines en appui à l'analyse du risque le long des zones côtières de l'espace de coopération.

Le frontend est structuré comme un tableau de bord cartographique interactif basé sur Leaflet, avec une carte centrale et un panneau latéral thématique qui permet l'activation sélective des différents niveaux d'information. L'interface permet d'explorer de manière dynamique des thèmes relatifs à la côte, à la mer et à l'exposition anthropique, en intégrant les données du projet AMIS avec des jeux de données externes provenant de services européens tels qu'EMODnet, Copernicus Land Monitoring Service et EGMS – European Ground Motion Service.

Parmi les principales fonctionnalités du frontend figurent la visualisation des secteurs de côte basse, de la susceptibilité aux instabilités côtières, du type et de l'évolution du trait de côte, de l'occupation du sol, de la densité d'urbanisation côtière, des données relatives aux mouvements verticaux du sol et du transport sédimentaire net le long du rivage, ainsi que le lien direct vers les jumeaux numériques côtiers des sites pilotes.

Pour la composante météo-marine, l'atlas permet de consulter des indicateurs tels que la hauteur significative des vagues, la surcote, le run-up et la puissance de la houle (wave power), avec la sélection des scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 et la représentation des valeurs associées à des périodes de retour significatives, ainsi que l'estimation du transport sédimentaire net le long du rivage pour la période historique et pour les périodes climatiques futures, de même qu'une prévision opérationnelle à trois jours de ces mêmes grandeurs, dérivée des météogrammes du modèle de vagues WaveWatch III (WW3) et mise à jour automatiquement à chaque nouvelle exécution.

Les partenaires de projet suivants ont contribué à la réalisation des contenus du portail : Consorzio LaMMA, ABDAS (Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale), BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), Regione Liguria - Dipartimento Ambiente e Protezione Civile,

Regione Sardegna - Direzione Generale della Protezione Civile, Università degli Studi di Genova - Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV).

6 Les couches

Couche	Description
Liens vers les Digital Twin	Couche ponctuelle qui localise les sites pilotes du projet dotés d'un jumeau numérique côtier (Marina di Massa, Camogli, Les Bonnettes) et renvoie, via une fenêtre contextuelle (popup), au service Digital Twin correspondant.
Secteurs de la côte basse	Représente la subdivision de la côte basse en secteurs homogènes d'analyse. La couche constitue l'unité spatiale de référence pour la consultation des indicateurs côtiers et pour l'interrogation des informations associées à chaque tronçon de littoral. Grâce à des fenêtres contextuelles (popups) interactives, il est possible de visualiser des données descriptives et, lorsqu'ils sont disponibles, des graphiques relatifs à l'évolution du trait de côte et de la surface de plage.
Susceptibilité aux instabilités de la côte haute	Couche raster qui représente le degré de susceptibilité aux instabilités côtières, classé en cinq niveaux : très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée. La représentation chromatique permet d'identifier rapidement les tronçons de côte potentiellement les plus exposés aux phénomènes d'instabilité.
Type de côte	Couche WMS dérivée des données EMODnet Geology, qui décrit la morphologie et le type des tronçons côtiers. Elle comprend des catégories telles que côtes rocheuses, plages de sable, plages de galets, pocket beaches, estuaires, zones portuaires, plages artificielles et littoraux artificiels. La couche est interrogeable par un clic sur la carte, avec une fenêtre contextuelle (popup) bilingue qui restitue la description complète de la classe morphologique.
Évolution du trait de côte	Couche WMS EMODnet qui décrit la tendance évolutive du littoral, en distinguant les tronçons en accrétion, érosion, stabilité ou artificialisation. Elle

	est utile pour une lecture synthétique des processus d'avancée ou de recul du trait de côte et pour identifier les zones soumises à des dynamiques érosives.
EGMS – European Ground Motion Service	Couche ponctuelle basée sur les données Copernicus EGMS, relative aux mouvements verticaux du sol. L'utilisateur peut dessiner un polygone sur la carte pour sélectionner les points EGMS présents dans la zone d'intérêt. En cliquant sur les points sélectionnés, il est possible de visualiser une série temporelle des déplacements verticaux, utile pour analyser les phénomènes de subsidence, de stabilité ou de soulèvement du terrain.
Transport sédimentaire net	Couche ponctuelle qui représente, par des flèches le long du rivage, le sens et l'intensité du transport sédimentaire littoral net estimé avec la formule CERC à partir du climat de houle, pour la période historique 1979-2009 et pour les périodes futures 2010-2040, 2040-2070 et 2069-2099 dans les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. La représentation est généralisée en fonction du niveau de zoom.
Hauteur des vagues Hs	Couche ponctuelle relative à la hauteur significative des vagues (significant wave height) associée à des périodes de retour, avec visualisation par défaut pour RP = 100 ans. La couche prend en charge la sélection des scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5. Chaque point peut être interrogé pour visualiser les courbes et les valeurs de hauteur des vagues pour différentes périodes de retour.
Événements intenses	Couche dynamique dédiée à la visualisation d'événements météo-marins intenses, historiques ou simulés. L'utilisateur peut sélectionner un événement dans un menu déroulant ; les points sont représentés avec des classes chromatiques basées sur la période de retour estimée de l'événement et, aux niveaux de zoom plus élevés, peuvent également montrer l'indication de la direction des vagues. Les fenêtres contextuelles (popups) indiquent des valeurs synthétiques telles que Hs, Tp et direction.

Surcote	Couche ponctuelle relative à la surcote du niveau de la mer, exprimée en mètres, associée à des périodes de retour. La couche permet la sélection des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 et la visualisation graphique des valeurs pour les différentes périodes de retour.
Run-up	Couche ponctuelle qui représente le run-up, c'est-à-dire la remontée de la vague sur la plage ou sur la côte, exprimé en mètres et associé à des périodes de retour. La visualisation principale se rapporte à RP = 100 ans, avec la possibilité de sélectionner les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. En cliquant sur les points, un graphique des valeurs de run-up pour différentes périodes de retour s'affiche.
Puissance de la houle (Wave Power)	Couche ponctuelle qui représente la puissance de la houle, exprimée en kW/m, associée à des périodes de retour. La couche permet la sélection des scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 et montre une légende dynamique avec les valeurs minimales et maximales. Les fenêtres contextuelles (popups) permettent de visualiser des graphiques de la puissance de la houle (wave power) pour différentes périodes de retour.
Prévision opérationnelle	Couche dynamique qui représente la prévision à trois jours (aujourd'hui, demain, après-demain) de la hauteur des vagues Hs et de la période de pic sur les points au large, et de la puissance de la houle (wave power) et du run-up sur les points côtiers, dérivée des météogrammes du modèle de vagues WW3 et classée selon les seuils des périodes de retour.
Occupation du sol	Couche polygonale dérivée des données Copernicus Coastal Zones, qui classe les couvertures du sol dans les zones côtières. Les classes représentées comprennent urbain, agricole, prairies, bois et forêts, maquis méditerranéen, espaces à végétation rare ou absente, zones humides et plans d'eau. La couche facilite l'évaluation de l'exposition territoriale et de la pression anthropique le long de la côte.

Densité d'urbanisation côtière	Couche polygonale qui représente le pourcentage d'urbanisation dans les secteurs côtiers, classé en cinq niveaux : très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée. La fenêtre contextuelle (popup) restitue la valeur en pourcentage de la densité d'urbanisation pour le secteur sélectionné. La couche est utile pour évaluer l'exposition anthropique et la pression de l'urbanisation le long de la zone côtière.

Origine des données. Le tableau suivant indique, pour chaque couche, la provenance des données, telle que documentée dans le livrable D3.2.1 d'AMIS « Atlas du risque de la zone côtière organisé par thématiques » (chap. 2, bases d'information régionales, et par. 3.3, cartographie des éléments du risque) ; pour les produits météo-marins, D3.2.1 renvoie au livrable D3.3.1 « Produits d'évaluation et de communication du risque de tempête à l'échelle transfrontalière ». La même information est reprise dans la fiche de chaque couche à la rubrique « Source des données ».

Couche	**Origine des données**
Liens vers les Digital Twin	Donnée interne au projet AMIS : positions des trois sites pilotes de l'Activité 3.3 (jumeaux numériques côtiers) et adresses des services correspondants.
Secteurs de la côte basse	Sectorisation réalisée dans AMIS sur les bases d'information régionales (D3.2.1, chap. 2) : Toscane, suivi de l'érosion LaMMA–Région Toscane (Pléiades et orthophotos, comparaisons 2005–2023) ; PACA (Var), Cerema 2022 pour la DREAL PACA (traits de côte 1920–2017) ; Corse, BRGM, Mugica et al. 2022 (orthophotos 1951–2019) ; Sardaigne, Programma Azione Coste 2013, PGRA et PAI ; Ligurie, géoportail régional (trait de côte depuis 1944).
Susceptibilité aux instabilités de la côte haute	Élaboration AMIS (D3.2.1, par. 3.3) selon la méthode statistique et AHP de Paliaga et al. 2025 et Roccati et al. 2019 : neuf facteurs prédisposants et inventaire des glissements ; raster à 5 m dans la bande de 100 m depuis le rivage, en cinq classes.
Type de côte	EMODnet Geology, produit sur la résilience et la vulnérabilité côtières (EMODnet Map Viewer), servi en WMS par le portail européen.
Évolution du trait de côte	EMODnet Geology, même produit que le Type de côte (résilience et vulnérabilité côtières), servi en WMS.

EGMS – European Ground Motion Service	Copernicus European Ground Motion Service : déplacements issus de l'interférométrie InSAR sur images radar Sentinel-1, extraits pour la zone de coopération et servis par le backend de l'Atlas.
Transport sédimentaire net	Élaboration LaMMA dans l'Activité 3.3 (D3.3.1) : formule CERC appliquée au climat de houle modélisé, hindcast 1979–2009 et scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.
Hauteur des vagues Hs	Climatologie des tempêtes LaMMA (Activité 3.3, D3.3.1) : niveaux de retour issus d'une analyse des extrêmes du climat de houle modélisé aux nœuds au large, période historique et scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.
Événements intenses	Événements historiques 2000–2012 issus de la climatologie D3.3.1 (maxima journaliers modélisés comparés aux seuils des périodes de retour) ; tempête Harry 2026 issue des chaînes de modélisation du LaMMA.
Surcote	Climatologie des tempêtes LaMMA (Activité 3.3, D3.3.1) : niveaux de retour de la surcote aux points côtiers, scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.
Run-up	Climatologie D3.3.1 : run-up par la formule d'Atkinson à partir de la hauteur des vagues projetée sur la normale à la côte et de la pente de plage des secteurs de côte basse.
Puissance de la houle (Wave Power)	Climatologie D3.3.1 : puissance de la houle aux points côtiers à partir de la hauteur des vagues, de la période énergétique et de la direction par rapport à la côte, scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.
Prévision opérationnelle	Chaîne opérationnelle du modèle de vagues WaveWatch III du Consorzio LaMMA : météogrammes par point mis à jour à chaque run ; run-up et puissance de la houle avec les mêmes formules que les couches statistiques.
Occupation du sol	Copernicus Land Monitoring Service, produit Coastal Zones (nomenclature Corine Land Cover), deuxième niveau, bande de 2 km depuis la côte.
Densité d'urbanisation côtière	Élaboration de l'Atlas (D3.2.1, par. 3.3) : pourcentage de surface urbanisée par secteur dans la bande entre le rivage et 500 m, à partir des classes

	urbaines de l'occupation du sol Copernicus Coastal Zones.

En outre, les niveaux Esri Gray Canvas, ESRI Satellite et OpenStreetMap sont disponibles comme fonds de carte, couches cartographiques de base sélectionnables par l'utilisateur. Ils offrent différents fonds de référence : une base grise simplifiée pour la lecture thématique, une base satellitaire pour l'interprétation visuelle du territoire et la cartographie OpenStreetMap pour le contexte géographique général.

7 Fonctionnalités des couches

Liens vers les Digital Twin

La couche Liens vers les Digital Twin signale sur la carte les sites pilotes du projet pour lesquels un jumeau numérique côtier est disponible : Marina di Massa, Camogli et Les Bonnettes.

Données fournies : position des sites pilotes et lien vers le service Digital Twin correspondant.

Source des données : donnée interne au projet. La couche contient les positions des trois sites pilotes de l'Activité 3.3 d'AMIS, pour lesquels les jumeaux numériques côtiers ont été développés, et les adresses des services web correspondants gérés par le Consorzio LaMMA. Elle ne dérive d'aucune base de données externe.

Fonctionnalités : en activant la couche, les marqueurs des sites pilotes apparaissent sur la carte. En cliquant sur un marqueur, une fenêtre contextuelle (popup) bilingue s'ouvre avec le nom du site et le lien qui ouvre le jumeau numérique dans un nouvel onglet du navigateur, ce qui permet de passer de la vue d'ensemble de l'Atlas aux approfondissements locaux.

Secteurs de la côte basse

La couche Secteurs de la côte basse constitue la base géométrique principale de l'ARC. Elle subdivise le littoral en tronçons ou secteurs côtiers utilisés comme unités spatiales de référence pour l'analyse du risque.

Données fournies : identifiant du secteur, informations descriptives du tronçon côtier et, lorsqu'ils sont disponibles, indicateurs liés à l'évolution morphologique de la côte.

Source des données : le découpage en secteurs et les attributs de chaque tronçon (largeur moyenne, granulométrie, dunes, ouvrages de défense, infrastructures, pente, évolution du trait de côte, orientation) ont été produits dans le cadre d'AMIS à partir des bases d'information de chaque région, décrites dans le livrable D3.2.1 (chap. 2 et par. 3.3). Toscane : suivi de l'érosion réalisé par le Consorzio LaMMA pour la Région Toscane, avec des traits de côte extraits d'images satellitaires Pléiades à 50 cm et d'orthophotos régionales (pixel de 20 à 50 cm) et des comparaisons avec 2022 et avec 2005, pris comme année zéro ; dernière édition 2023. Largeur, granulométrie, dunes, ouvrages et infrastructures proviennent de la photo-interprétation des mêmes images. Région PACA (secteurs du département du Var) : taux d'évolution du trait de côte de l'étude Cerema (2022) pour la DREAL PACA, fondée sur une dizaine de traits de côte historiques par département entre 1920 et 2017, calculés par transects sur cinq périodes et publiés sur la plateforme monlittoral.fr. Corse : diagnostic géomorphologique de la côte meuble du BRGM (Mugica et al., 2022), avec une typologie des plages en onze classes et des taux d'évolution issus d'orthophotos historiques, en général 1951–2019 ou 1983–2019. Sardaigne : Programma Azione Coste (PAC, 2013), qui divise la côte en 20 unités physiographiques et 5 morphotypes, repris dans le Plan de gestion du risque d'inondation (PGRA) et dans le Plan d'aménagement hydrogéologique (PAI). Ligurie : données en accès libre du géoportail régional, avec la typologie de côte (haute, basse, anthropisée) et l'évolution du trait de côte depuis 1944, en partie produites dans les projets BEACHMED, BEACHMED-E, ResMar et MAREGOT.

Fonctionnalités : la couche est active par défaut et peut être interrogée par un clic sur la carte. Les fenêtres contextuelles (popups) restituent les informations associées au secteur sélectionné. Dans certains cas, la

fenêtre contextuelle comprend des fiches thématiques et des graphiques dynamiques relatifs aux déplacements du trait de côte et à la surface de plage, ce qui permet de lire les variations temporelles et les tendances évolutives.

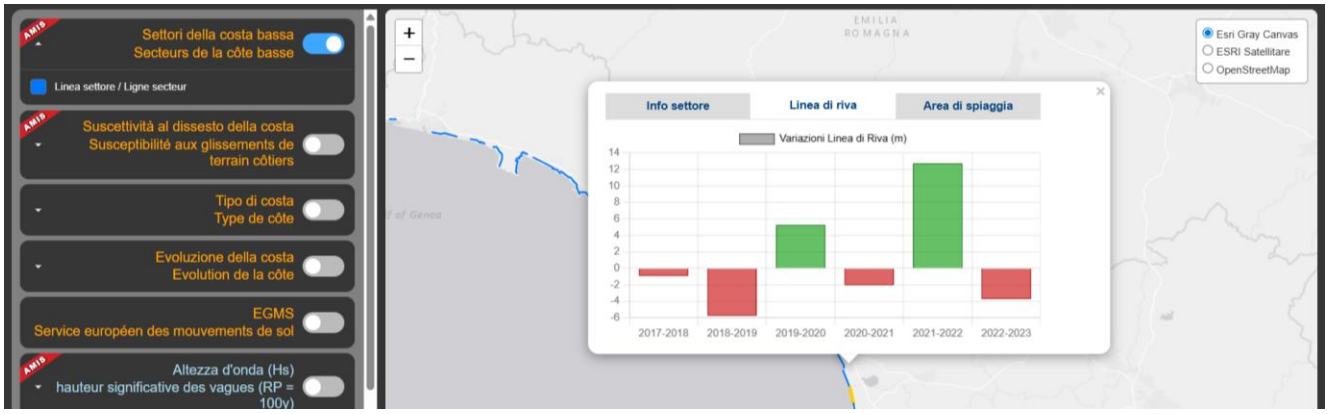


Figure 12- Graphique relatif à la surface de plage, interrogeable pour chaque secteur de la côte basse

Susceptibilité aux instabilités de la côte haute

La couche de susceptibilité aux instabilités côtières représente la propension des tronçons côtiers aux phénomènes d'instabilité, d'érosion ou de mouvement de terrain.

Données fournies : valeurs raster classées en cinq niveaux de susceptibilité : très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée.

Source des données : carte produite dans le cadre d'AMIS selon la méthodologie décrite dans le livrable D3.2.1 (par. 3.3), qui reprend l'approche de Roccati et al. (2019) et Paliaga et al. (2025) pour la susceptibilité aux glissements superficiels. En environnement SIG sont combinées une analyse statistique, qui met en relation neuf facteurs prédisposants (lithologie, exposition, pente, occupation du sol, distance aux infrastructures, aux surfaces imperméabilisées et aux zones de concentration du ruissellement, courbure de profil et courbure tangentielle) avec une base de phénomènes passés répartie à 80 % pour l'apprentissage et à 20 % pour la validation, et une évaluation experte des poids par la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process). Pour la Sardaigne, dépourvue de base de données des glissements, les poids ont été attribués par la seule méthode AHP. L'indicateur, normalisé entre 0 et 1, est filtré par un passe-bas et restitué sous forme de raster à 5 m dans une bande de 100 m depuis le rivage, reclassé en cinq classes.

Fonctionnalités : l'utilisateur peut activer ou désactiver la couche depuis le panneau latéral. La visualisation s'effectue au moyen d'une échelle chromatique allant du vert au rouge, ce qui permet une lecture immédiate des zones les plus critiques. La couche facilite l'identification spatiale des secteurs côtiers les plus exposés aux phénomènes d'instabilité.

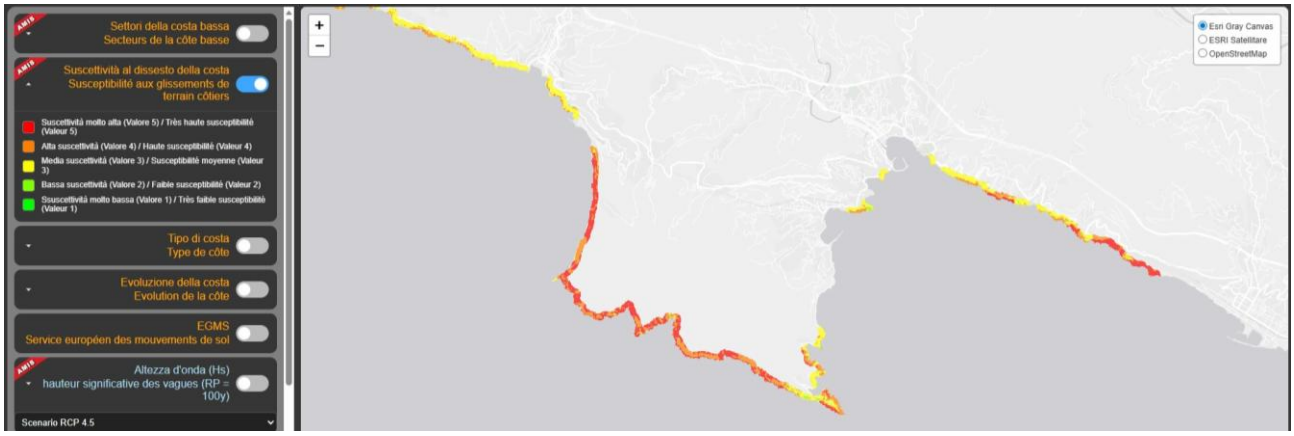


Figure 13 - Extrait de la couche « Susceptibilité aux instabilités de la côte haute »

Type de côte

La couche Type de côte décrit la morphologie du littoral et dérive des données EMODnet Geology.

Données fournies : classification morphologique des tronçons côtiers, avec des catégories telles que côtes rocheuses, falaises, pocket beaches, plages de sable, plages de galets, côtes vaseuses, estuaires, zones portuaires, plages artificielles et littoraux artificiels.

Source des données : portail EMODnet Geology, produit sur la résilience et la vulnérabilité côtières consultable dans l'EMODnet Map Viewer, qui synthétise à l'échelle paneuropéenne plus de 900 études sur les risques côtiers (D3.2.1, par. 3.3). La couche est servie en WMS directement par le portail européen et n'est pas copiée sur le serveur de l'Atlas.

Fonctionnalités : la couche est servie via WMS et peut être interrogée par un clic sur la côte. Le système exécute une requête GetFeatureInfo et restitue une fenêtre contextuelle (popup) bilingue italien/français avec la description complète de la classe côtière relevée. Cette fonction est utile pour contextualiser la vulnérabilité du littoral par rapport à sa nature morphologique.



Figure 14 - Extrait de la couche « Type de côte »

Évolution du trait de côte

La couche Évolution du trait de côte fournit une synthèse des dynamiques récentes ou prédominantes du trait de côte, elle aussi basée sur les données EMODnet Geology.

Données fournies : classification des tronçons côtiers en accrétion, érosion, stabilité ou artificialisation.

Source des données : portail EMODnet Geology, même produit sur la résilience et la vulnérabilité côtières dont dérive le Type de côte (D3.2.1, par. 3.3). Cette couche est elle aussi servie en WMS par le portail européen.

Fonctionnalités : la couche peut être activée depuis le panneau thématique et superposée aux autres niveaux cartographiques. La légende permet une lecture rapide des tendances évolutives du littoral. Elle est particulièrement utile pour identifier les secteurs concernés par un recul du trait de côte ou par des processus d'avancée sédimentaire.



Figure 15 - Extrait de la couche « Évolution du trait de côte »

EGMS – European Ground Motion Service

La couche EGMS intègre des informations sur les mouvements verticaux du sol provenant du service européen European Ground Motion Service de Copernicus.

Données fournies : points de mesure EGMS avec les valeurs de vitesse moyenne de mouvement vertical et les séries temporelles de déplacement, exprimées en millimètres.

Source des données : European Ground Motion Service (EGMS) de Copernicus, qui fournit des données harmonisées et de haute précision sur le territoire européen, dérivées de l'analyse interférométrique (InSAR) des images radar Sentinel-1, sensibles aux mouvements naturels (glissements, subsidence, activité volcanique, tectonique) et anthropiques (prélèvements d'eau, mines, charges d'infrastructures) (D3.2.1, par. 3.3). Les points de la zone de coopération ont été téléchargés et préparés au format Parquet dans l'environnement de prétraitement de l'Atlas et sont interrogés par le serveur à chaque sélection.

Fonctionnalités : lorsque la couche est activée, l'interface active les outils de dessin sur la carte. L'utilisateur peut tracer un polygone ou un rectangle pour sélectionner les points EGMS situés dans la zone d'intérêt. Les points sélectionnés sont affichés avec une échelle chromatique rapportée à la vitesse de mouvement. En cliquant sur un point, un panneau graphique s'ouvre avec la série temporelle des déplacements et une ligne de tendance. Cette fonction permet d'analyser les phénomènes de subsidence, de soulèvement ou de stabilité du sol en milieu côtier.

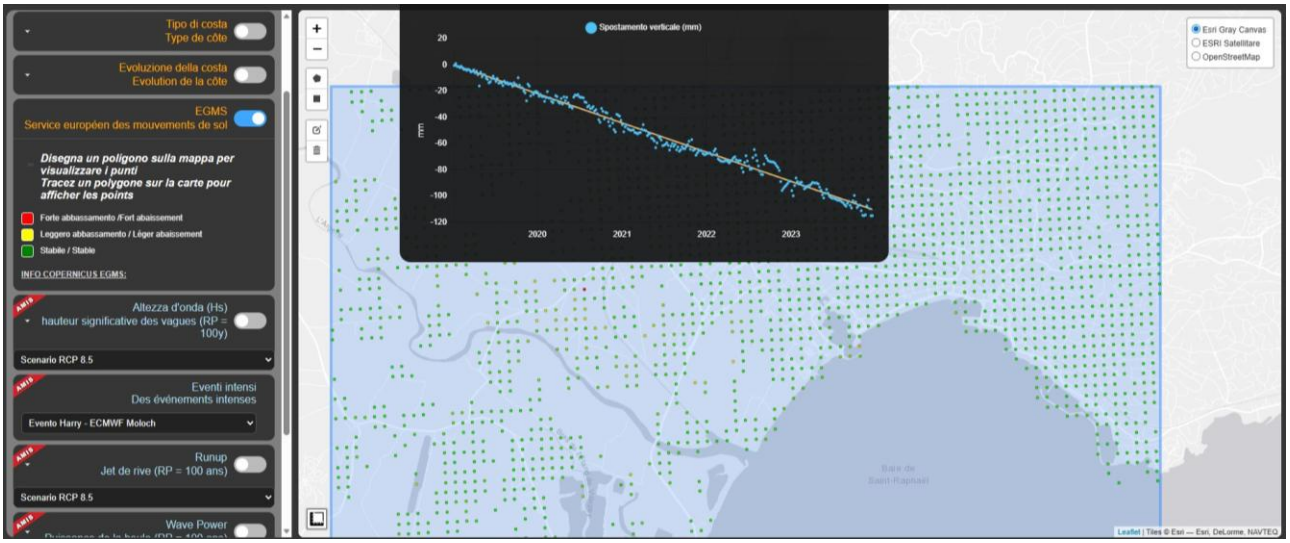


Figure 16 - Extrait de la couche « European Ground Motion Service »

Transport sédimentaire net

La couche Transport sédimentaire net représente le sens et l'intensité du transport sédimentaire littoral net le long de la côte, estimé avec la formule CERC à partir du climat de houle reconstitué pour la période historique et projeté pour les périodes climatiques futures. Le transport net est la différence entre les volumes de sédiments qui transitent dans les deux sens le long du rivage au cours de l'année et exprime donc la tendance prédominante de la dérive littorale.

Données fournies : points côtiers avec le transport sédimentaire net annuel Qnet, exprimé en mètres cubes par an, le sens prédominant le long du rivage et le régime du transport, pour la période historique 1979-2009 et pour les périodes 2010-2040, 2040-2070 et 2069-2099 dans les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les valeurs sont réparties en cinq classes d'intensité, définies par les quintiles du transport net en valeur absolue de chaque période. Parmi les îles, seule l'île d'Elbe est représentée.

Source des données : élaboration du Consorzio LaMMA dans le cadre de l'Activité 3.3 d'AMIS. La formule CERC est appliquée au climat de houle modélisé de la climatologie des tempêtes décrite dans le livrable D3.3.1, auquel D3.2.1 renvoie pour la composante météo-marine, pour le hindcast 1979–2009 et pour les projections RCP 4.5 et RCP 8.5, sur les points côtiers associés aux nœuds du modèle de vagues ; le sens le long du rivage est rapporté au trait de côte EMODnet.

Fonctionnalités : l'utilisateur sélectionne la période et le scénario dans un menu. Chaque point est représenté par une flèche orientée le long du rivage dans le sens du transport net, dans des tons de brun croissants avec la classe d'intensité ; les flèches atténuées indiquent un régime bidirectionnel, dans lequel le transport net est inférieur à 30 % du transport brut, tandis qu'un point gris indique un transport nul ou indéfini. La couche est visible à partir d'un niveau de zoom intermédiaire : aux échelles plus petites, un avertissement au centre de la carte invite à agrandir. La représentation est généralisée en fonction du zoom : aux petites échelles, moins de flèches sont affichées, plus grandes et orientées selon l'orientation générale du trait de côte, tandis qu'en augmentant le zoom apparaissent progressivement tous les points avec la direction locale de la côte. En cliquant sur une flèche, une fenêtre contextuelle (popup) s'ouvre avec le transport net de la période, le

sens et le régime, ainsi qu'un graphique à barres qui compare le transport net du point dans les différentes périodes et les différents scénarios.

Hauteur significative des vagues Hs

La couche Hauteur des vagues Hs représente la distribution spatiale des valeurs de hauteur significative des vagues associées à des périodes de retour.

Données fournies : points météo-marins avec les valeurs de Hs pour différentes périodes de retour, dont 1, 2, 5, 10, 50, 100 et 200 ans. La visualisation principale se rapporte à la période de retour de 100 ans.

Source des données : climatologie des tempêtes élaborée par le Consorzio LaMMA dans l'Activité 3.3 et documentée dans le livrable D3.3.1, auquel D3.2.1 renvoie pour la description de la méthodologie. Les valeurs par période de retour dérivent d'une analyse statistique des extrêmes du climat de houle modélisé aux nœuds au large de la grille du modèle de vagues, pour la période historique et pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Fonctionnalités : l'utilisateur peut sélectionner le scénario climatique RCP 4.5 ou RCP 8.5. Les points sont représentés avec des couleurs proportionnelles aux valeurs de Hs. En cliquant sur un point, un graphique s'ouvre et montre la courbe des valeurs de hauteur des vagues en fonction des différentes périodes de retour. Lorsque la couche est active, le bouton AI apparaît en outre en bas à droite de la carte et ouvre l'assistant tempêtes.

Assistant tempêtes : il s'agit d'un module d'interrogation en langage naturel, en italien ou en français, basé sur l'intelligence artificielle. L'utilisateur écrit une requête dans la zone de texte en indiquant une localité et une période de retour ou bien une hauteur de vagues, par exemple « TR 100 Camogli » ou « Hs 5 m à Livorno dans le scénario RCP 8.5 ». Un modèle de langage interprète la phrase et en extrait la localité, la période de retour, la hauteur des vagues et le scénario ; si le modèle n'est pas joignable, un interpréteur à base de règles prend le relais. La localité est géoréférencée et associée au point météo-marin le plus proche, pour lequel l'assistant répond avec la hauteur de vagues attendue pour la période de retour demandée ou, inversement, avec la période de retour estimée pour la hauteur de vagues indiquée, en signalant les cas au-delà de 500 ans. La carte se centre automatiquement sur le point et ouvre une fenêtre contextuelle (popup) avec la courbe des périodes de retour, en mettant en évidence la valeur demandée. Les réponses indiquent le scénario utilisé et le point de référence ; les touches fléchées du clavier permettent de rappeler les questions précédentes. Comme indiqué dans l'avertissement du module, les données ont un caractère climatologique et une finalité de planification, et ne doivent pas être utilisées à des fins opérationnelles ou d'urgence.



Figure 17 - Extrait de la couche « Hauteur significative des vagues »

Événements intenses

La couche Événements intenses permet la visualisation d'événements de tempête de mer spécifiques, historiques ou simulés, sélectionnables dans un menu, pour une variable au choix parmi la hauteur des vagues et la période de pic (Hs/Tp), la puissance de la houle (wave power) et le run-up.

Données fournies : pour chaque événement sont représentés des points météo-marins avec les valeurs maximales journalières de hauteur des vagues, de période de pic et de direction des vagues sur les points au large, et de puissance de la houle (wave power) et de run-up sur les points côtiers. Les valeurs sont comparées à des seuils associés à des périodes de retour afin d'estimer la sévérité de l'événement. Outre les événements historiques de 2000 à 2012, les simulations de la tempête Harry de janvier 2026, obtenues avec différentes chaînes de modélisation (ECMWF-Moloch, ECMWF-WRF et GFS-Moloch), sont disponibles.

Source des données : les événements historiques de 2000 à 2012 proviennent de la même climatologie des tempêtes du livrable D3.3.1 : maxima journaliers modélisés aux nœuds au large et aux points côtiers, comparés aux seuils des périodes de retour. Les simulations de la tempête Harry de janvier 2026 sont produites par les chaînes de modélisation du Consorzio LaMMA (ECMWF-Moloch, ECMWF-WRF et GFS-Moloch).

Fonctionnalités : l'utilisateur sélectionne d'abord la variable, puis l'événement dans les menus déroulants. La couche affiche les points classés selon des classes de période de retour : inférieure à 1 an, 1–2 ans, 2–5 ans, 5–10 ans, 10–50 ans, 50–100 ans et supérieure à 100 ans. Les fenêtres contextuelles (popups) montrent les valeurs principales de l'événement, telles que Hs, Tp et Dirp, ou bien la valeur de puissance de la houle (wave power) ou de run-up avec la classe de période de retour correspondante. Aux niveaux de zoom plus élevés, la visualisation de la direction des vagues au moyen de symboles orientés est prévue.

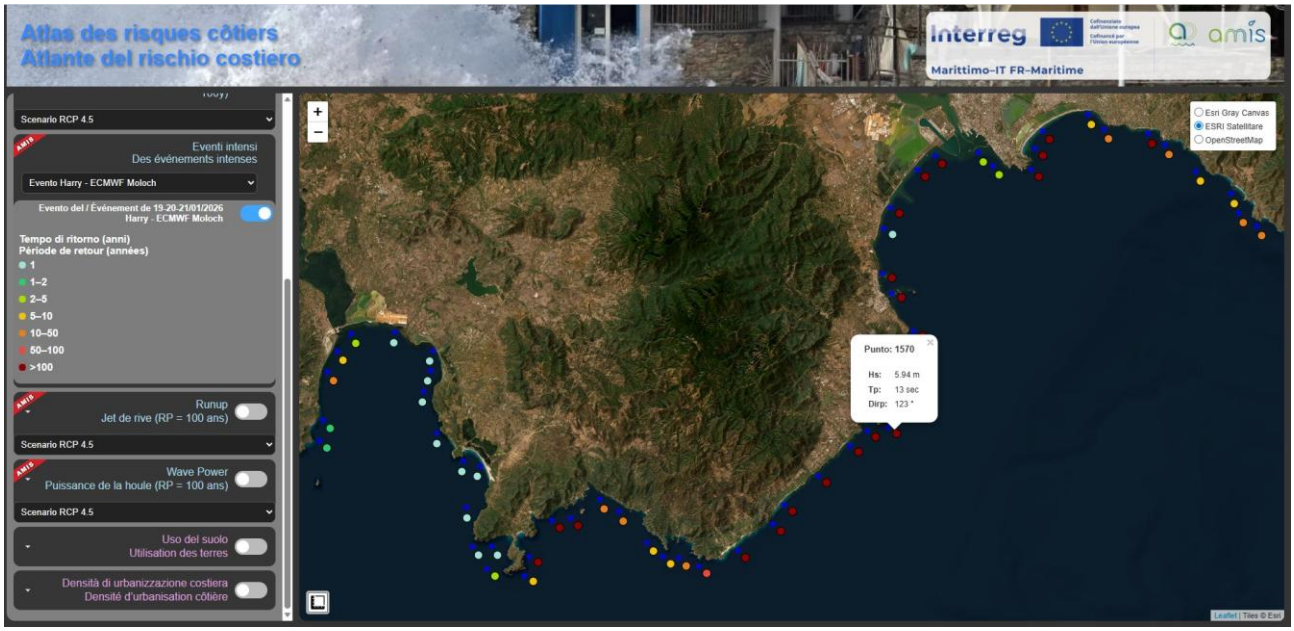


Figure 18 - Extrait de la couche « Événements intenses »

Surcote

La couche Surcote représente l'élévation du niveau de la mer le long de la côte en conditions de tempête de mer, associée à des périodes de retour.

Données fournies : points avec les valeurs de surcote exprimées en mètres, calculées pour différentes périodes de retour : 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 et 500 ans. La représentation cartographique principale utilise la valeur associée à la période de retour de 100 ans.

Source des données : climatologie des tempêtes du livrable D3.3.1 (Activité 3.3, Consorzio LaMMA), dont dérivent les niveaux de retour de la surcote aux points côtiers pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Fonctionnalités : la couche permet la sélection des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les points sont représentés avec une échelle chromatique graduée et la légende indique dynamiquement les valeurs minimale et maximale. En cliquant sur un point, l'utilisateur visualise un graphique qui montre l'évolution de la surcote en fonction des périodes de retour.

Run-up

La couche Run-up représente la remontée de la vague sur la côte, c'est-à-dire le niveau maximal atteint par la houle sur le profil côtier.

Données fournies : points avec les valeurs de run-up exprimées en mètres, calculées pour différentes périodes de retour, dont 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 et 500 ans. La représentation cartographique principale utilise la valeur associée à la période de retour de 100 ans.

Source des données : climatologie des tempêtes du livrable D3.3.1 (Activité 3.3, Consorzio LaMMA). Le run-up est calculé par la formule d'Atkinson à partir de la hauteur des vagues projetée sur la normale à la côte et

de la pente de plage des secteurs de côte basse, pour les périodes de retour et les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Fonctionnalités : la couche permet la sélection des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les points sont représentés avec une échelle chromatique graduée et la légende indique dynamiquement les valeurs minimale et maximale. En cliquant sur un point, l'utilisateur visualise un graphique qui montre l'évolution du run-up en fonction des périodes de retour.



Figure 19 - Extrait de la couche « Run-up »

Puissance de la houle (Wave Power)

La couche Puissance de la houle (Wave Power) représente la puissance de la houle incidente le long de la côte.

Données fournies : points avec les valeurs de puissance de la houle (wave power) exprimées en kW/m, calculées pour différentes périodes de retour : 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 100, 200, 300 et 500 ans. La représentation principale se rapporte à la période de retour de 100 ans.

Source des données : climatologie des tempêtes du livrable D3.3.1 (Activité 3.3, Consorzio LaMMA). La puissance de la houle est calculée aux points côtiers à partir de la hauteur des vagues, de la période énergétique et de la direction des vagues par rapport à la côte, pour les périodes de retour et les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Fonctionnalités : comme pour le run-up, l'utilisateur peut choisir entre les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. La couche montre les points avec une échelle chromatique proportionnelle aux valeurs de puissance de la houle et une légende dynamique avec le minimum et le maximum. Le clic sur les points ouvre un graphique interactif qui représente la puissance de la houle (wave power) pour les différentes périodes de retour, ce qui facilite la comparaison entre conditions ordinaires et conditions extrêmes.

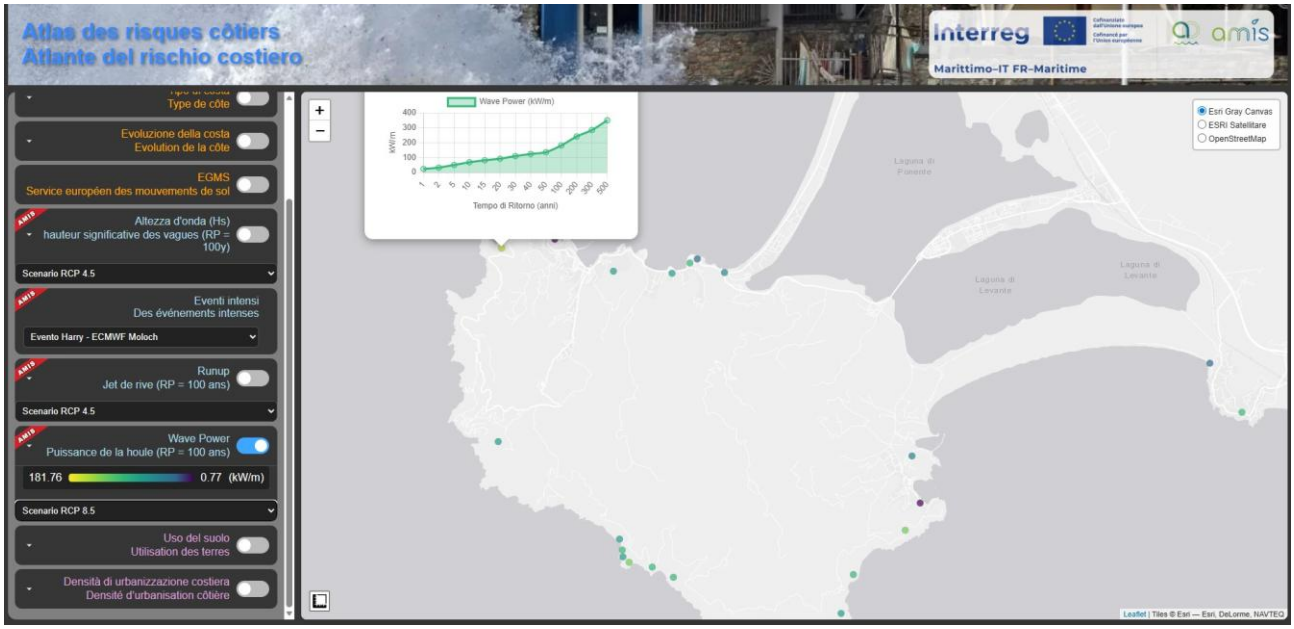


Figure 20 - Extrait de la couche « Puissance de la houle (Wave power) »

Prévision opérationnelle

La couche Prévision opérationnelle associe aux valeurs statistiques une prévision à trois jours des conditions météo-marines le long de la côte, dérivée des météogrammes du modèle de vagues WaveWatch III (WW3) de la chaîne opérationnelle du Consorzio LaMMA et mise à jour automatiquement à chaque nouvelle exécution du modèle.

Données fournies : pour chacun des trois jours de prévision (aujourd'hui, demain, après-demain), trois variables sont disponibles. La hauteur significative des vagues Hs, avec la période de pic Tp et la direction des vagues au moment du maximum journalier, se rapporte aux points au large de la grille WW3, les mêmes que ceux de la couche Hauteur des vagues Hs. La puissance de la houle (wave power) et le run-up sont calculés aux points côtiers, les mêmes que ceux des couches statistiques respectives, avec les mêmes formules que celles adoptées pour les périodes de retour : la puissance de la houle à partir de la hauteur des vagues, de la période énergétique et de la direction des vagues par rapport à la côte ; le run-up avec la formule d'Atkinson à partir de la hauteur des vagues projetée sur la normale à la côte et de la pente de la plage, pour les seuls secteurs de côte basse.

Source des données : chaîne opérationnelle du modèle de vagues WaveWatch III (WW3) du Consorzio LaMMA, qui produit à chaque run les météogrammes des points au large ; le run-up et la puissance de la houle sont calculés par l'Atlas aux points côtiers avec les mêmes formules que les couches statistiques. La couche ne dérive d'aucune base de données externe et n'est pas décrite dans D3.2.1.

Fonctionnalités : la couche s'active au moyen d'un interrupteur dans le panneau latéral, où un menu déroulant permet de choisir la variable à afficher. À l'activation, une barre temporelle apparaît dans la partie haute de la carte, avec un curseur qui permet de se déplacer entre aujourd'hui, demain et après-demain, également au moyen des flèches situées de part et d'autre de la barre ou des touches fléchées du clavier ; à chaque déplacement, la couche se met à jour en conservant le cadrage courant de la carte. Les points sont classés dans les mêmes classes de période de retour que la couche Événements intenses, en comparant la

valeur prévue aux seuils statistiques du point. Le panneau latéral indique la date et l'exécution du modèle ainsi que le nombre de points représentés ; les fenêtres contextuelles (popups) montrent la valeur prévue, la classe de période de retour, l'heure du maximum et le nœud WW3 de référence.

Occupation du sol

La couche Occupation du sol décrit la couverture et l'utilisation du territoire dans la zone côtière, en utilisant les données Copernicus Coastal Zones.

Données fournies : polygones classés en catégories d'occupation/couverture du sol, dont urbain, agricole, prairies, bois et forêts, broussailles et maquis méditerranéen, espaces ouverts à végétation rare ou absente, zones humides et plans d'eau.

Source des données : Copernicus Land Monitoring Service, produit Coastal Zones, avec la nomenclature du Corine Land Cover au deuxième niveau de détail, découpé dans une bande de 2 km depuis la côte (D3.2.1, par. 3.3).

Fonctionnalités : la couche peut être activée et superposée aux données côtières et météo-marines. La représentation par classes chromatiques permet de lire la distribution des couvertures du sol le long de la zone côtière et d'évaluer la présence d'éléments anthropiques ou naturels exposés aux phénomènes de risque côtier.



Figure 21 - Extrait de la couche « Occupation du sol »

Densité d'urbanisation côtière

La couche Densité d'urbanisation côtière représente le degré d'urbanisation des secteurs côtiers.

Données fournies : valeur en pourcentage d'urbanisation par secteur, classée en cinq classes : très faible, faible, moyenne, élevée et très élevée.

Source des données : donnée dérivée, calculée par l'Atlas pour chaque secteur de côte comme pourcentage de surface urbanisée dans la zone comprise entre le rivage et 500 m de distance, à partir des classes urbaines de l'occupation du sol Copernicus Coastal Zones (D3.2.1, par. 3.3).

Fonctionnalités : la couche est chargée à la demande et affichée sous forme de polygones colorés selon le pourcentage d'urbanisation. La fenêtre contextuelle (popup) restitue la valeur numérique de la densité d'urbanisation côtière pour le secteur sélectionné. Ce niveau est utile pour évaluer l'exposition anthropique, en identifiant les tronçons côtiers où les infrastructures, les implantations ou les surfaces artificielles sont les plus présentes.

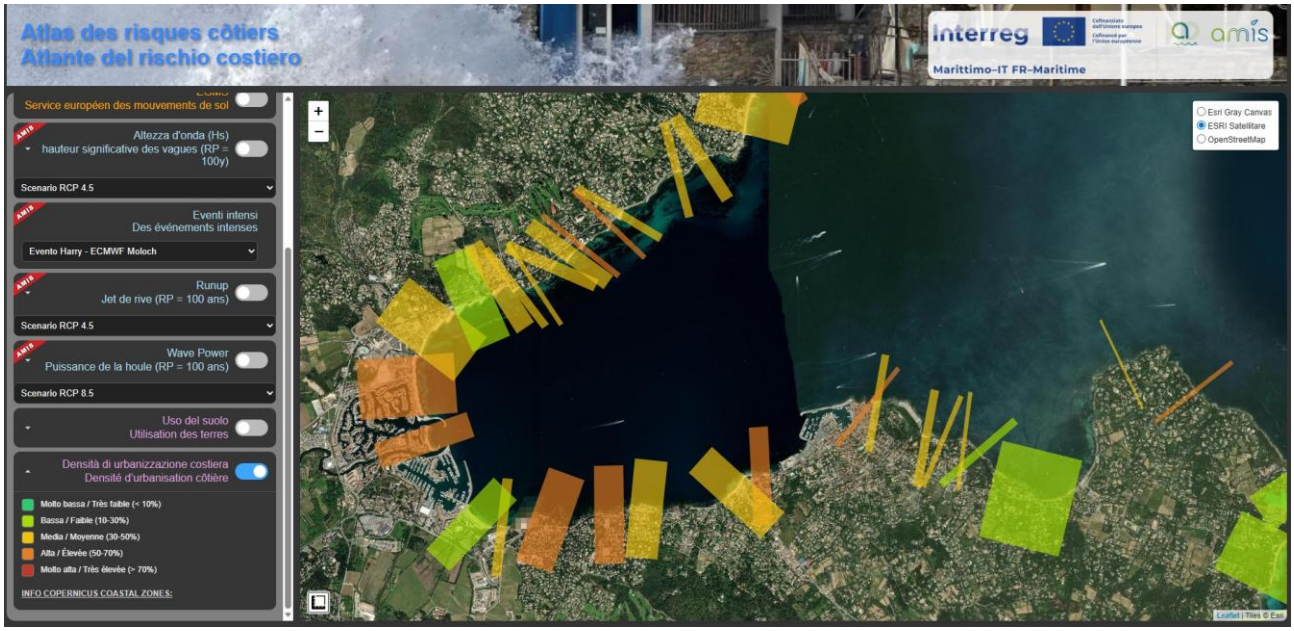


Figure 22 - Extrait de la couche « Densité d'urbanisation côtière »

Fonctionnalités transversales du frontend

Outre les fonctions spécifiques de chaque couche, le frontend de l'ARC met à disposition quelques fonctionnalités communes :

Fonctionnalités	Description
Activation/désactivation des couches	Chaque couche peut être activée ou désactivée au moyen d'un interrupteur dans le panneau latéral.
Accordéons thématiques	Les légendes sont organisées en panneaux dépliables, ce qui facilite la consultation des différents thèmes.
Fenêtres contextuelles (popups) d'information	De nombreuses couches sont interrogeables par un clic, avec restitution d'attributs, de descriptions bilingues ou de valeurs numériques.
Graphiques dynamiques	Les données temporelles ou associées à des périodes de retour sont visualisées au moyen de graphiques générés avec Chart.js.
Sélection des scénarios climatiques	Les couches météo-marines permettent la comparaison entre les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.
Sélection des événements intenses	L'utilisateur peut choisir la variable (Hs/Tp, puissance de la houle, run-up) et des tempêtes de mer spécifiques, historiques ou simulées, et en visualiser la sévérité par rapport aux périodes de retour.
Barre temporelle de prévision	Pour la couche Prévision opérationnelle, un curseur dans la partie haute de la carte permet de parcourir les trois jours de prévision (aujourd'hui, demain, après-demain) en conservant le cadrage courant.
Outils de mesure	La carte comprend des outils permettant de mesurer des distances et des surfaces.
Dessin sur la carte	Pour la couche EGMS, il est possible de dessiner des zones de sélection et d'interroger les points qui s'y trouvent.
Lien vers les Digital Twin	Des marqueurs dédiés aux sites pilotes renvoient aux jumeaux numériques côtiers, ouverts dans un nouvel onglet du navigateur.

Interface bilingue	Les titres, les légendes et plusieurs fenêtres contextuelles (popups) sont disponibles en italien et en français.
Assistant tempêtes	Un module de chat basé sur l'intelligence artificielle, actif avec la couche Hauteur des vagues Hs, permet des interrogations textuelles en italien ou en français sur les données de tempête de mer (localité avec période de retour ou hauteur des vagues) et localise automatiquement le point sur la carte avec la courbe des périodes de retour.

Lien d'accès au produit

L'Atlas du Risque Côtier est consultable à l'adresse :

https://geoportale.lamma.toscana.it/atlante

8 Observations finales et perspectives

L'Atlas du Risque Côtier représente l'un des principaux résultats opérationnels du projet AMIS, puisqu'il rend disponibles, dans un environnement webSIG unique, des informations hétérogènes relatives à la zone côtière de l'espace transfrontalier. Le produit permet de dépasser la fragmentation des bases d'information et offre une lecture intégrée, interrogeable et comparable des principaux facteurs qui concourent à la définition du risque côtier.

L'ARC a été conçu comme un niveau de connaissance à macro-échelle, actualisable et progressivement extensible. Il ne remplace pas les analyses locales de détail, mais fournit une base commune pour orienter la planification, la prévention et la communication du risque. Dans cette perspective, son rôle est complémentaire de celui des Digital Twin côtiers développés dans le projet : tandis que l'ARC offre une vue d'ensemble de l'espace de coopération, les jumeaux numériques permettent des approfondissements dynamiques et locaux dans les sites pilotes.

Dans les phases suivantes du projet, l'Atlas pourra être encore consolidé par la mise à jour des couches, l'amélioration des fonctionnalités d'interrogation, l'intégration de nouvelles données de surveillance et l'extension des produits dynamiques d'évaluation et de communication du risque, dont la prévision opérationnelle à trois jours, le transport sédimentaire net pour les périodes climatiques et le lien vers les jumeaux numériques constituent un premier élément.