



L'Osservazione della Terra per la Gestione delle Coste



Introduzione

L'erosione costiera rappresenta un problema di gestione sempre più pressante, con implicazioni sociali ed economiche ormai insostenibili. Il fenomeno dell'erosione deriva da un processo continuo e costante, ma varia naturalmente rispetto alle condizioni meteomarine stagionali ed agli effetti della presenza di strutture antropiche sulla costa.

Molti fattori influenzano l'entità dei fenomeni erosivi, tuttavia è evidente che i cambiamenti climatici porteranno ad una maggiore frequenza e intensità delle mareggiate, aumentando gli impatti sull'assetto costiero. La mappatura e il monitoraggio dei cambiamenti della linea di costa, attraverso le osservazioni satellitari, consentono una nuova prospettiva a livello nazionale per osservare l'effetto di questi cambiamenti su più scale temporali e per sostenere la capacità di prevederne i cambiamenti futuri. Le informazioni satellitari forniscono inoltre un supporto per l'attuazione di strategie che possono essere adottate per mitigare tali cambiamenti.

La mole dei dati satellitari è vasta e di complessa gestione: pertanto gli utenti dei prodotti derivati dall'elaborazione delle immagini satellitari (di seguito "prodotti"), ingegneri e decisori, avranno bisogno di comprendere come, relativamente alle coste, vengono ricavati sia i prodotti storici, sia quelli attuali. In questo modo potranno correttamente eseguire le analisi di cui necessitano. Questi prodotti, infatti, utilizzati all'interno dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) forniscono dati accurati utili a migliorare le decisioni e ridurre i costi. Questo documento è stato concepito per aiutare gli utenti a comprendere le potenzialità dell'utilizzo dei prodotti di Osservazione della Terra (EO), considerando:

- come i dati satellitari possono migliorare la pianificazione della gestione costiera;
- come si misura l'evoluzione dell'assetto costiero dallo spazio;
- come i prodotti di osservazione della Terra possono essere utilizzati nella gestione integrata delle coste;
- come accedere ai prodotti sull'erosione costiera derivati dai dati satellitari.



Erosione Costiera a Withernsea, East Yorkshire (BBC News).



In che modo i dati satellitari possono migliorare la Pianificazione della Gestione Costiera?

I satelliti orbitano intorno alla Terra in modo continuo e prevedibile, raccogliendo un'enorme quantità di immagini della stessa località a intervalli di tempo regolari. Questa grande mole di dati permette di identificare i cambiamenti nel tempo delle condizioni al suolo. I sensori montati sui satelliti consentono, inoltre, di raccogliere immagini ad alta risoluzione spaziale¹ e su bande spettrali specifiche, comprese in una vasta gamma dello spettro elettromagnetico. Ciò favorisce l'analisi di molteplici aspetti e aumenta le potenzialità delle conoscenze da esse derivate.

I prodotti satellitari sono in grado di fornire ai soggetti gestori dei territori costieri dati attuali e storici con idonei intervalli temporali e sufficiente dettaglio spaziale, utili ad identificarne i cambiamenti. L'acquisizione ripetitiva di immagini, infatti, consente di seguire regolarmente i cambiamenti per stabilire modelli su vaste aree, che non sono facilmente raggiungibili con i rilevamenti sul campo.

¹ Sentinel-2 e LANDSAT sono due satelliti i cui dati, di uso molto diffuso, sono a pubblico accesso. Essi offrono una risoluzione spaziale, rispettivamente, di 10m e 30m. I dati dei relativi sensori sono raccolti in bande dello spettro elettromagnetico comprese fra 200 e 2400nm per Sentinel 2 e fra 433 e 2300nm per Landsat. Per maggiori informazioni: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>

Esistono archivi di immagini satellitari acquisite anche su scala temporale decennale ed è quindi possibile condurre un'analisi storica a lungo termine. Ciò rende le immagini satellitari uno strumento indispensabile, efficiente ed economico per aiutare il processo decisionale.

Quando si vuole utilizzare l'osservazione della terra dallo spazio, è spesso necessario trovare un compromesso tra i costi, la risoluzione spaziale, la risoluzione temporale, il rapporto segnale/rumore e l'accuratezza spaziale dei sensori. Pertanto, bisogna capire quale di questi parametri sia il più appropriato ai casi oggetto di studio. Può esistere, ad esempio, una tendenza a preferire i sensori con maggior risoluzione spaziale, tuttavia non sempre questi sono i più appropriati per gli studi di confronto e hanno inoltre un costo molto elevato. È necessario, quindi, trovare un equilibrio in base ai criteri richiesti per gli specifici processi decisionali e valutare, ad esempio, quali tra i seguenti parametri è da considerarsi prioritario: l'accuratezza della posizione dei dati, necessaria per identificare i cambiamenti reali (i tassi di erosione sono spesso osservati in metri piuttosto che in decine di metri, quindi l'accuratezza della posizione dei dati prodotti dalle elaborazioni delle immagini satellitari, deve soddisfare questa esigenza), la ripetibilità dell'acquisizione delle immagini (al fine di circoscrivere eventi come le mareggiate o gli effetti della costruzione di difese marine) e la qualità della riflettanza spettrale (per distinguere i diversi oggetti sul terreno in base alle differenze rilevate nei pixel).

La selezione di appropriati parametri satellitari, metodi di elaborazione e di analisi è fondamentale per comprendere l'assetto territoriale e stabilire come questi possano essere di supporto alla soluzione di problematiche connesse alla gestione delle aree costiere. Inoltre, i dati e i prodotti derivati dal satellite possono spesso essere confrontati con misurazioni e osservazioni "a terra" per fornire una validazione dell'approccio adottato. I set di dati validati sono affidabili e possono ridurre i costi, snellire i processi e fornire nuove possibilità di analisi.

Come si misura il cambiamento costiero dallo spazio?

Le aree costiere possono essere ambienti dinamici e costantemente soggetti a cambiamenti: il monitoraggio di questi cambiamenti è fondamentale per le comunità che vivono lungo le coste, soprattutto con l'innalzamento del livello del mare e l'aumento dell'intensità delle tempeste dovuto ai cambiamenti climatici. Tradizionalmente, l'erosione costiera veniva misurata con ampie campagne di rilevamento in situ ma queste possono rivelarsi proibitive in termini di costi e di tempo, soprattutto se si volessero praticare su scala regionale o nazionale. Ciò può essere dimostrato considerando la lunghezza della costa della Gran Bretagna continentale, definita dall'Ordnance Survey in circa 15.400 km, che equivalgono a 34 singole immagini satellitari Sentinel-2, cioè oltre 4 TB di dati che dovranno essere elaborati e analizzati.

L'arretramento costiero può naturalmente variare in modo significativo nel corso di una singola stagione, così come da un anno all'altro. Pertanto, l'analisi multitemporale, su idonea scala spaziale, è l'unica opzione per una comprensione completa di questi processi. Una cadenza regolare di valutazioni può stabilire se una linea di costa subisce un'erosione a lungo termine, oppure se si evolve secondo schemi più complessi di accrescimento e arretramento stagionale. L'identificazione e la differenziazione tra variazioni a breve e a lungo termine consentirà di raggiungere una visione rappresentativa dei cambiamenti e di sostenere un'efficace allocazione delle risorse per la gestione dei territori costieri.

Ciò è particolarmente vero se la soluzione desiderata comporta la costruzione di opere di difesa o l'acquisizione di terreni per consentire un riallineamento controllato, basato su processi naturali. Se le decisioni vengono prese sulla base di dati scarsi, c'è un notevole rischio di errore. Ciò accade quando l'analisi dei cambiamenti costieri non è condotta con una frequenza adeguata a fornire un quadro realistico delle condizioni che si verificano. Una serie temporale che dimostri i processi storici è l'approccio ottimale per comprendere appieno il sistema sedimentario e per definire i piani operativi, ma uno studio basato su ripetute indagini in situ presenta spesso costi proibitivi.

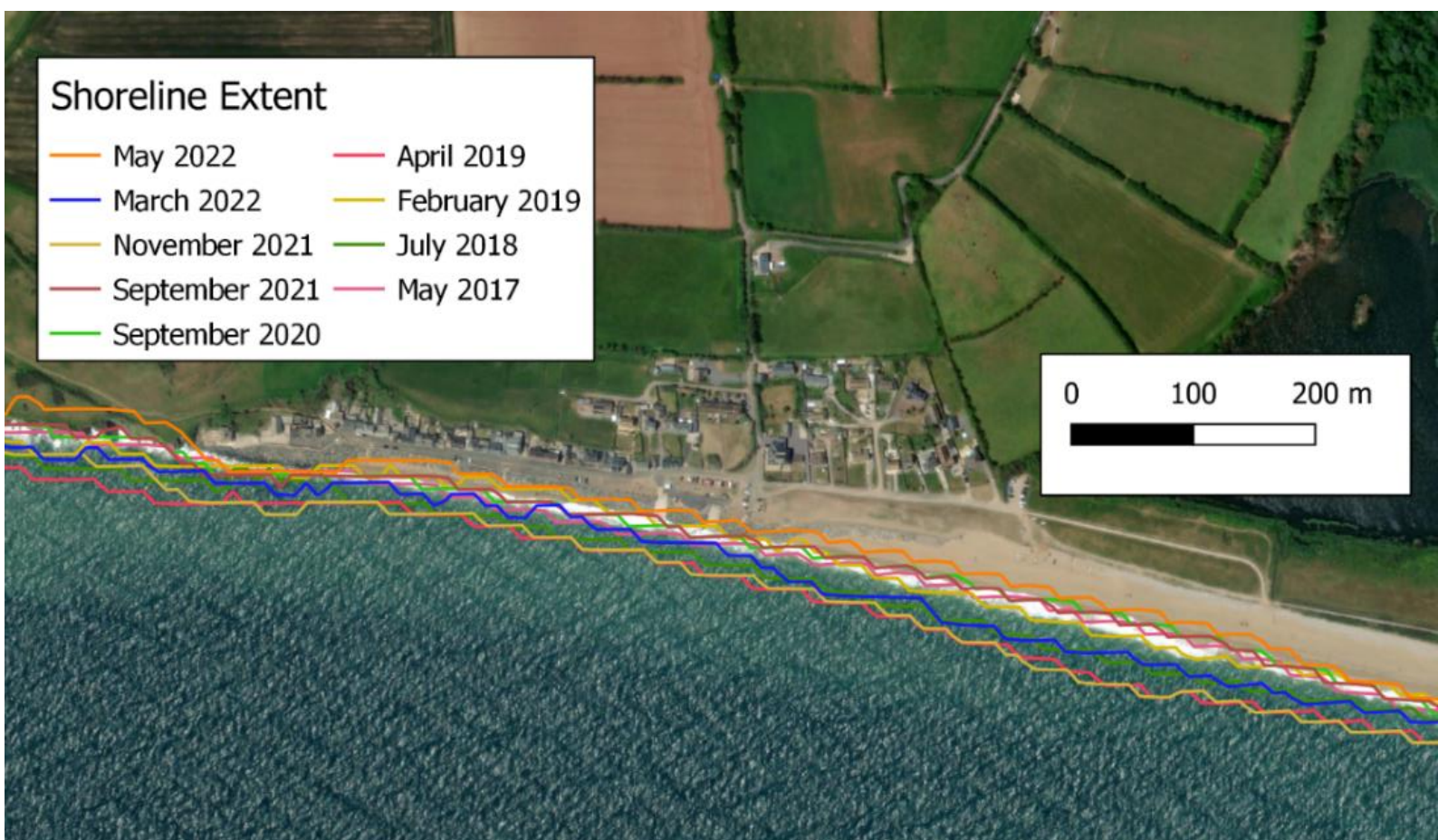
Per definire lo stato di erosione costiera vengono monitorati diversi processi e parametri, tra cui: l'estensione e la variazione della linea di riva, la mobilità dei sedimenti e la batimetria. Alla base delle operazioni di monitoraggio c'è necessariamente l'identificazione specifica della linea che segna il confine terra-mare. La frequenza di misurazione dei processi e dei parametri suddetti può essere adattata alle specifiche esigenze dell'utente finale, in modo da fornire ai decisori informazioni fondamentali utili per eseguire una pianificazione territoriale finalizzata alla mitigazione dei rischi.

PRODOTTI DERIVATI DALLE IMMAGINI SATELLITARI

Linea di costa “istantanea”

La linea di confine tra terra e mare è ottenuta attraverso la derivazione delle *waterline* dalle immagini satellitari. Esse forniscono una delimitazione istantanea terra/mare al momento in cui è stata scattata l'immagine. L'esatta posizione della *waterline* si basa sull'altezza della marea al momento della misurazione e sull'eventuale influenza delle condizioni meteorologiche (come bassa pressione e onde di forti mareggiate). Inoltre, la conformazione della spiaggia può cambiare e contribuire alla posizione e alla forma della linea terra/mare.

Per identificare con precisione il confine tra terra e mare, viene eseguita un'analisi delle caratteristiche spettrali lungo la costa, esaminandone piccoli segmenti per ricavare una soglia specifica asciutto/bagnato. Attraverso questa soglia, adattata localmente, viene estratta una *waterline* più accurata, tenendo conto delle informazioni dei pixel vicini. Un processo interno di controllo di qualità, attraverso l'attribuzione di un punteggio, valuta la linea ottenuta, in base a requisiti quali la lunghezza della linea, la sua rugosità e altre caratteristiche geometriche. Questo punteggio di controllo di qualità fornisce il grado di confidenza dei risultati. Tutte le *waterline* disponibili (cioè, quelle non oscurate dalle nuvole) vengono estratte in modo da poter effettuare una valutazione annuale e/o stagionale che può supportare strumenti di monitoraggio regolari, migliorare la risposta a breve termine ai disastri naturali e valutare la spesa programmata.



Le *waterline* rappresentano un dato fondamentale da cui ricavare le linee di costa, per stabilire la variazione del confine costiero e i suoi cambiamenti nel tempo. Esse variano naturalmente anche in base alle condizioni di marea e quindi non possono rappresentare un riferimento per monitorare i cambiamenti costieri nel tempo in modo indipendente. Pertanto, devono essere trasformate in linee basate sul datum locale, tenendo conto della pendenza della spiaggia e dell'altezza dell'acqua, utilizzando soprattutto dati ausiliari.

Linea di costa

Una *waterline* viene convertita in *shoreline* attraverso una correzione orizzontale che dipende dal valore istantaneo della marea, alle fluttuazioni delle condizioni delle onde e alla pendenza della spiaggia. Pertanto, una *shoreline* rappresenta l'intersezione tra la terraferma e il mare, dove il livello del mare corrisponde a un'altezza definita al di sopra di un punto di riferimento fisso. Esempi di questi punti di riferimento possono essere: il livello medio delle maree (MTL), il livello medio delle alte maree sizigiali (MHWS) o quello della più bassa marea astronomica (LAT). Tuttavia, è necessario che questi riferimenti siano stabiliti a priori.

I litorali continui possono essere mappati per decenni utilizzando dati satellitari e poi possono essere analizzati con software GIS. È quindi possibile determinare i cambiamenti costieri associati alle variazioni stagionali, agli eventi di tempesta, agli interventi umani (come le opere di difesa a mare e le costruzioni lungo la costa), nonché le tendenze a lungo termine. Valutazioni regolari possono stabilire modelli complessi di evoluzione costiera per guadagno o perdita di sedimento stagionale, da cui si può calcolare una stima dei tassi di cambiamento. Questa conoscenza potrà guidare una gestione costiera efficace.

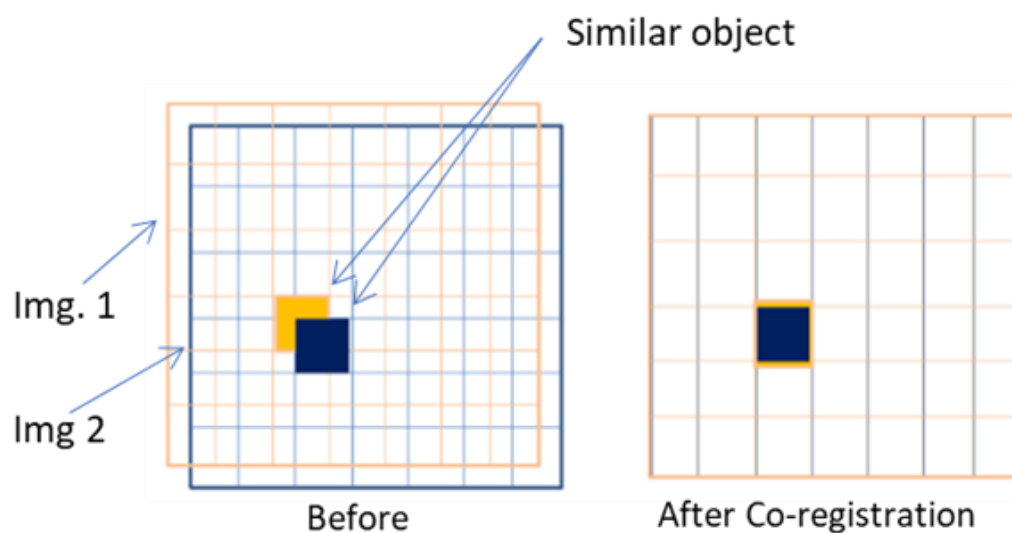


Variazione annuale media della linea di costa (shoreline) derivata dalle differenze fra le singole shoreline.

Garantire l'accuratezza dei prodotti

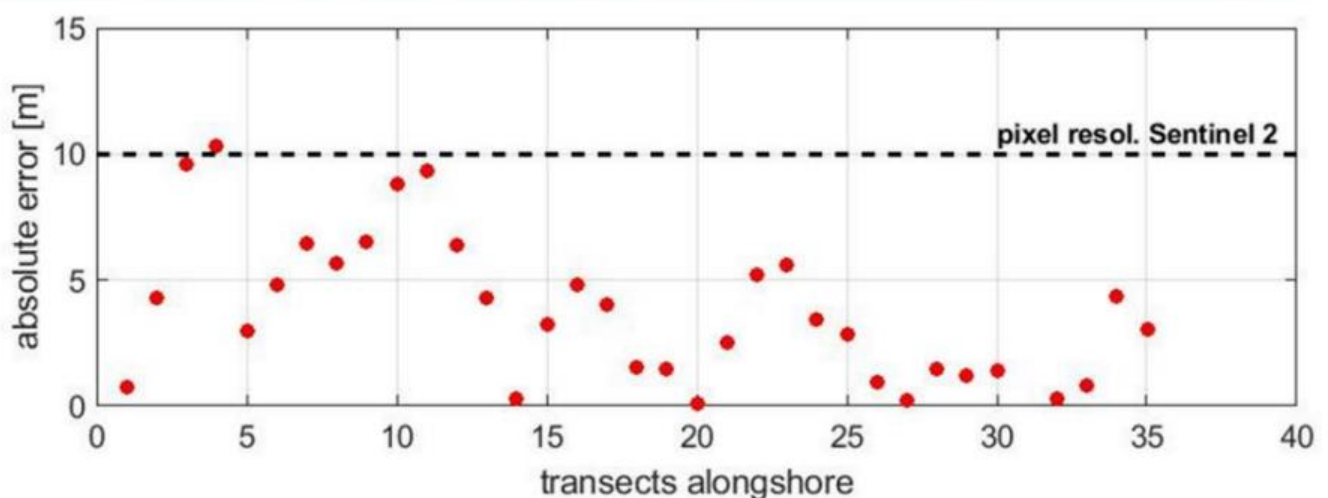
L'elevata accuratezza della posizione geografica dei prodotti è garantita dalla coregistrazione dei pixel rispetto a immagini commerciali (satellitari o aeree) di maggiore accuratezza spaziale. Quando le immagini vengono scattate in tempi diversi o da sensori diversi, possono presentare lievi differenze di posizione geografica, di orientamento e di risoluzione, che possono influire sull'accuratezza spaziale del prodotto finale per il confronto e l'interpretazione. La coregistrazione è il processo di allineamento di due o più immagini scattate da sensori diversi o in tempi diversi. In questo modo si garantisce la perfetta sovrapposizione delle diverse rappresentazioni per consentire il confronto degli oggetti ripresi in queste immagini in un dato periodo di tempo.

Si tratta di un passo importante in molte applicazioni di telerilevamento, (come l'analisi dei cambiamenti), in cui è necessario confrontare immagini della stessa località scattate in tempi diversi. L'allineamento di più immagini attraverso la coregistrazione prima dell'inizio della catena di elaborazione delle immagini, ne garantisce una maggiore precisione e i dati risultanti possono essere utilizzati per rivelare i cambiamenti reali del paesaggio nel tempo, come l'erosione costiera.



Validazione indipendente del prodotto

Durante lo sviluppo di questo servizio, i Servizi Geologici e/o i Servizi preposti alla Ricerca e alla Protezione Ambientale nazionale di: Regno Unito, Spagna, Italia, della Repubblica d'Irlanda e della provincia del Quebec hanno effettuato una convalida dei prodotti ottenuti. Ciò ha garantito che la qualità dei dati di osservazione della terra fosse affidabile, accurata e precisa. L'accuratezza del prodotto è espressa in termini di errore quadratico medio (RMSE) e rappresenta una stima della distanza dalla posizione reale entro la quale ci si aspetta di trovare i punti rilevati. L'analisi dell'accuratezza ha indicato che i valori dell'Errore Assoluto Medio (MAE) e dell'RMSE sono sempre inferiori alla dimensione dei pixel delle immagini satellitari da cui sono stati ottenuti i prodotti (le immagini Landsat e Sentinel presentano, rispettivamente, una risoluzione di 30m e 10m).

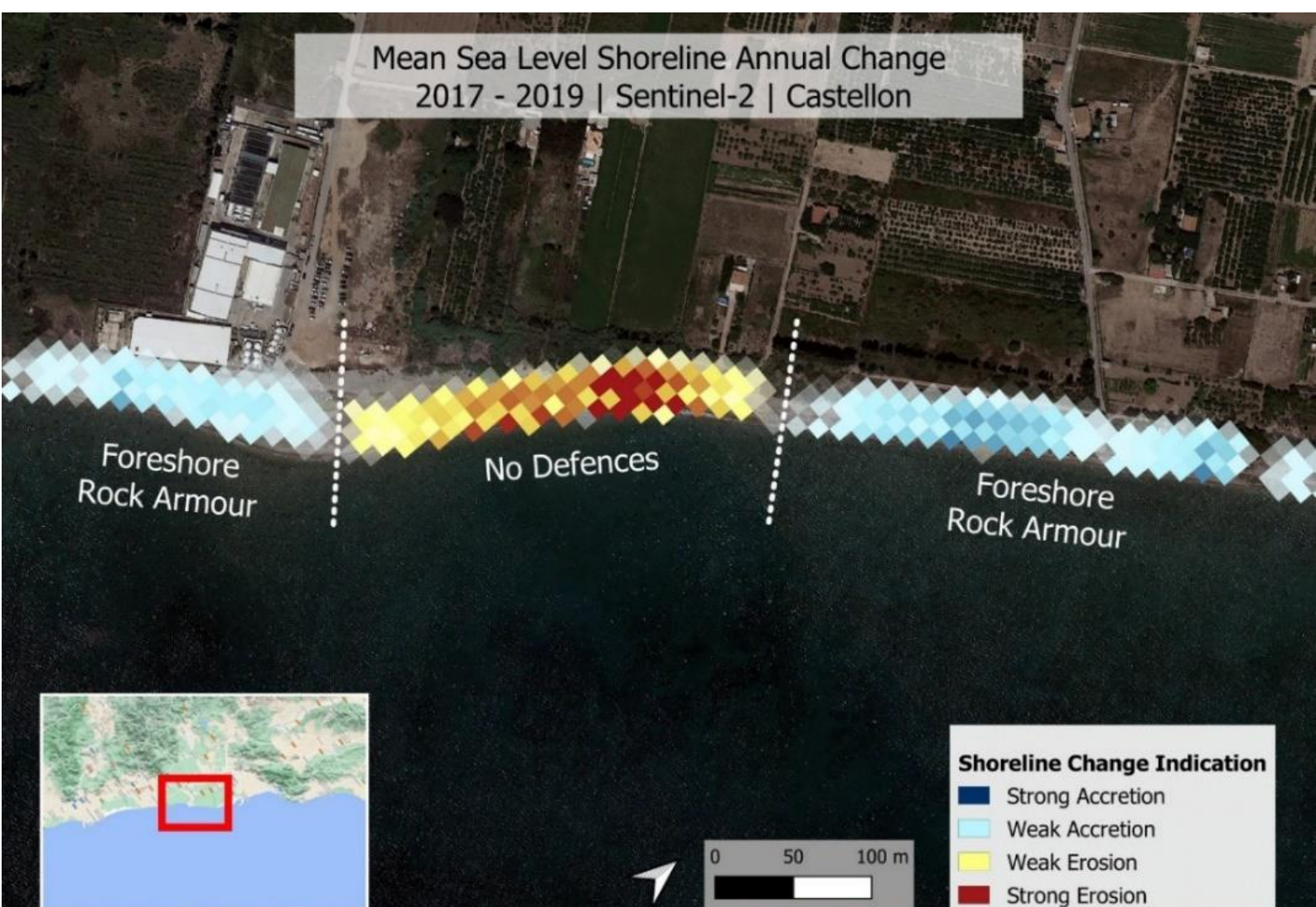


Accuratezza della posizione geografica delle waterline a Tordera, Barcellona.

Come possono essere utilizzati i prodotti di osservazione della Terra nella gestione integrata delle coste?

Questi prodotti consentiranno di condurre nuove analisi della zona costiera e forniranno nuove conoscenze utili ad ottenere informazioni specifiche a nuove scale spaziali e temporali. Ciò aiuterà ad aumentare l'efficienza delle strategie di monitoraggio e a migliorare, quindi, le decisioni per la gestione dei territori costieri.

I dati satellitari relativi alle shoreline, come già detto, possono essere utilizzati per monitorare i cambiamenti della linea di costa nel tempo e valutare processi come erosione e l'accrescimento. I modelli di erosione stagionale possono essere confrontati con l'arretramento a lungo termine, per consentire un posizionamento intelligente delle difese e garantire un'efficiente definizione delle priorità degli investimenti nei piani di gestione a lungo termine.



Applicare i processi di definizione della shoreline a grandi serie storiche di immagini permette di identificare le caratteristiche fisiche dei vari paraggi di un'area costiera, fornendo informazioni utili a misurare gli effetti dei Piani di Gestione delle Coste. Questi piani dovrebbero definire le politiche di gestione sostenibile a lungo termine tenendo conto delle relazioni con altre difese, sviluppi e processi, evitando, per quanto possibile, di impegnare le generazioni future nella costruzione di opere di difesa rigide e costose (Defra, 2006). I dati da telerilevamento quantificano questi processi alle relative scale ed evitano di operare in modo ricorrente indagini in situ. Un esempio della loro applicazione è la mappatura dei modelli di trasporto dei sedimenti lungo la costa, che può supportare le decisioni in merito alle operazioni di ripascimento delle spiagge e/o su altre misure di controllo dell'erosione.

I dati satellitari possono essere utilizzati per identificare e mappare i diversi ecosistemi costieri. I cambiamenti osservati nella linea di costa possono evidenziare l'aumento o la perdita di aree-tampone che forniscono una protezione naturale all'erosione costiera. È possibile identificare l'estensione e il cambiamento di questi ecosistemi prioritari, tra cui mangrovie, paludi salmastre e barriere coralline. Queste informazioni possono aiutare i gestori dei territori costieri a fare valutazioni ambientali strategiche e, quindi, a stabilire le priorità nelle attività di conservazione, identificando le aree vulnerabili per perdita o degrado e supportare la pianificazione territoriale, gestendo il recupero e offrendo soluzioni basate su processi naturali. Le aree identificate come particolarmente in pericolo e che maggiormente necessitano di interventi, come le zone umide degradate o le coste in erosione, aiuteranno a dare priorità agli sforzi di ripristino in base al loro potenziale impatto sulla riduzione dell'erosione costiera in generale.

In generale, i dati satellitari possono fornire informazioni preziose per supportare le decisioni di gestione delle coste in relazione all'erosione, e a loro volta possono contribuire a proteggere le comunità e gli ecosistemi costieri dagli impatti dell'erosione e dell'innalzamento del livello del mare.

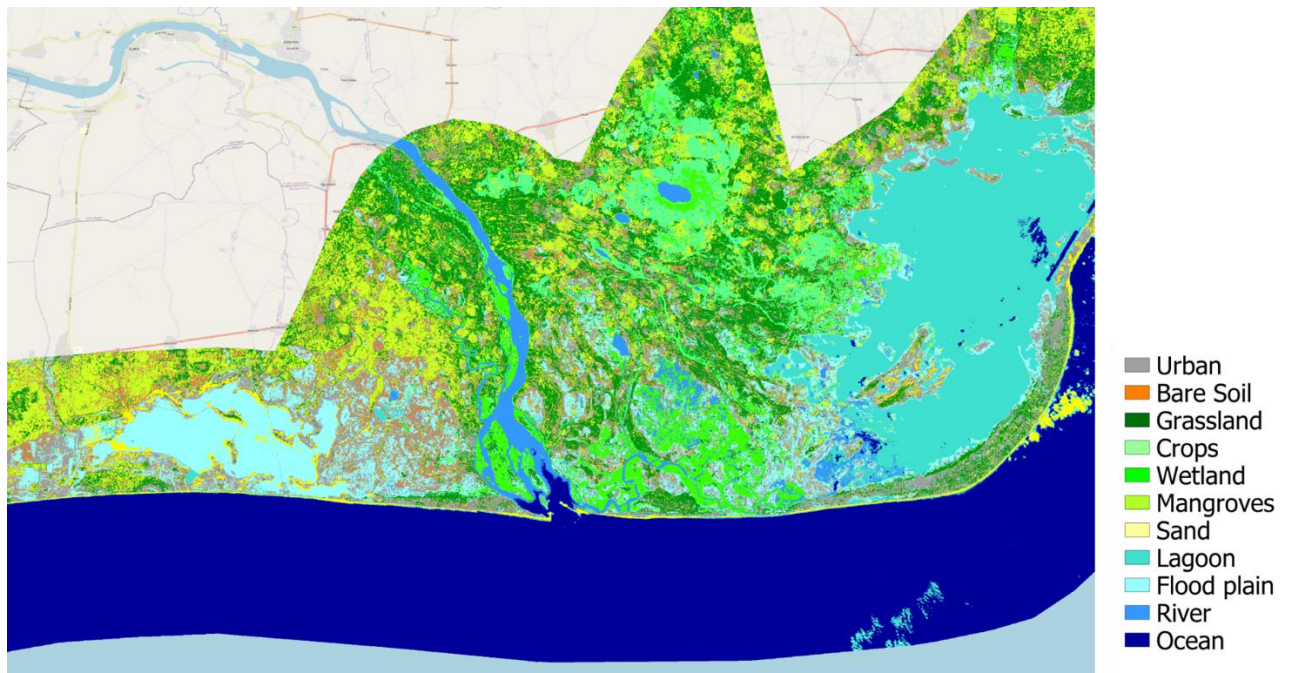


IMMAGINE DI CLASSIFICAZIONE DEGLI ECOSISTEMI COSTIERI

Il servizio dati Coastal Change from Space

Il servizio di dati globali Coastal Change from Space è stato sviluppato da ARGANS per fornire e semplificare il rilevamento dei mutamenti costieri annuali e stagionali. Questi dati monitorano le condizioni delle coste e possono essere prodotti per coprire qualsiasi parte del mondo con una risoluzione di 10 m e una precisione spaziale di 1-2 m a partire dal 2015. I dati storici possono risalire fino al 1984 con una risoluzione di 30 metri, mentre le nuove acquisizioni di immagini a partire dal 2017 possono essere fornite con un periodo di ripetizione di 5 giorni utilizzando dati di missioni satellitare a libero accesso. Ciò consente un'elevata varietà e livello di analisi per determinare se i cambiamenti osservati sono conseguenza di interventi antropici, fluttuazioni stagionali naturali o ancora se sono indicativi di un declino strutturale a lungo termine nel passato, nel presente e in proiezione futura. Sono state applicate tecniche semiautomatiche di rilevamento della linea di costa per elaborare rapidamente un vasto catalogo di immagini satellitari. Queste possono essere integrate rapidamente nei modelli di cambiamento costiero e sono predisposte in un formato che può essere utilizzato in qualsiasi sistema informativo geografico per specifiche applicazioni di gestione territoriale.

Il servizio può fornire indicazioni significative per determinare dove dovrebbero concentrarsi gli investimenti delle autorità e come le azioni correttive possono essere meglio indirizzate nel quadro della strategia di adattamento al clima. Esso è composto dalle seguenti componenti:

1. Accesso ai dati open-source delle immagini Copernicus Sentinel-2 e LANDSAT fornite dall'ESA e dal Servizio geologico degli Stati Uniti (USGS).
2. Questi prodotti sono derivati da set di dati con risoluzione di 10 m con un tempo di rivisitazione di cinque giorni (a seconda delle condizioni meteorologiche).
3. Coregistrazione delle immagini per correggere le distorsioni e migliorare l'accuratezza spaziale.
4. Processori dei dati di osservazione della terra personalizzati per produrre una caratterizzazione delle aree *nearshore*:
 - a. Delimitazione della *waterline* con alta accuratezza spaziale (± 2 m), con controllo di qualità e relativo punteggio di valutazione.
 - b. Posizionamento della *shoreline* con riferimento al datum derivato. Questa correzione richiede conoscenze aggiuntive o dati ausiliari relativi alla pendenza della spiaggia e alle maree.
 - c. Classificazione della copertura del suolo dell'area di retrospiaggia per migliorare la valutazione del rischio.

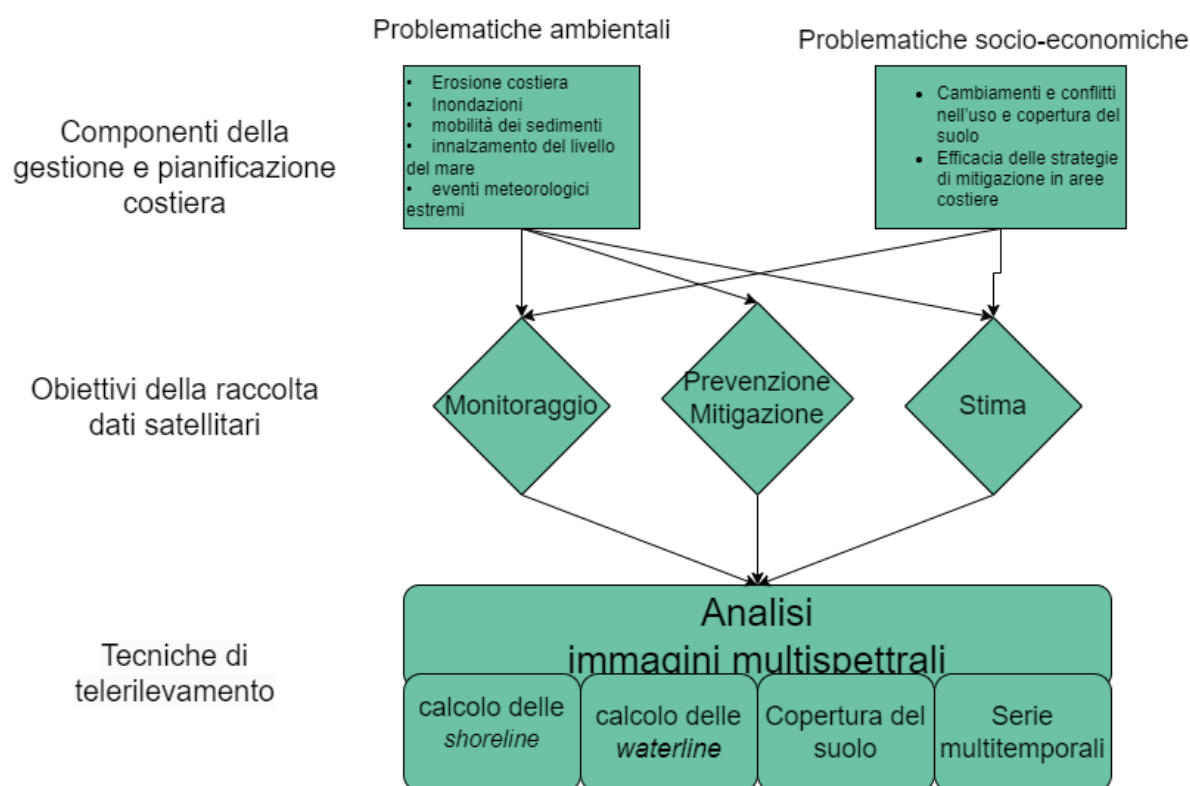
5. I prodotti derivati sono stati validati da professionisti dei Paesi partner, tra cui il Servizio Geologico Britannico (BGS), l'Istituto Idraulico della Cantabria (IHC), il Servizio Geologico d'Irlanda (GSI), l'Istituto Nazionale per la Protezione e la Ricerca Ambientale italiano (ISPRA) e ARCTUS in collaborazione con l'Università del Quebec a Rimouski.

L'esperienza acquisita nel corso dei vari progetti sull'erosione costiera condotti da ARGANS Ltd e dai suoi partner ha coperto più di 5.000 km di coste, osservate in 21 i siti con diverse condizioni geomorfologiche, per dimostrare che le tecniche innovative sviluppate sono realmente scalabili in tutto il mondo. Le nazioni supportate includono il Regno Unito (copertura completa della Gran Bretagna), l'Italia, la Spagna, l'Irlanda, la provincia del Quebec e il Ghana.

Accesso ai dati

I prodotti relativi ai cambiamenti costieri per qualsiasi regione del mondo possono essere ordinati tramite il servizio dati ARGANS. Per ulteriori informazioni, consultare il nostro sito web: <https://coastalerosion.argans.co.uk/> o contattarci all'indirizzo coastalerosion@argans.co.uk.

Il ruolo del telerilevamento nella pianificazione della gestione costiera



Ringraziamenti:

Il progetto "Coastal Erosion from Space", 4000126603/19/I-LG, è stato commissionato nell'ambito della sezione "Scienza per la società" del Quinto programma di osservazione della Terra (EOEP-5) dell'Agenzia Spaziale Europea.



In Evidenza: Il consorzio ha sviluppato un metodo per ottimizzare il numero di *waterline*, co-registrate e pronte per l'uso, e di *shoreline* riferite al datum stagionale, che coprono 25 anni e che sono state validate dai principali tecnici esperti di geomorfologia e di ingegneria idraulica delle cinque nazioni partner. Sono stati mappati oltre 4.000 km di costa. Questi prodotti offrono accuratezza inter-pixel, utilizzano un metodo a soglia adattabile localmente per determinare con precisione la posizione del confine terra/mare e possono essere scalati per coprire tutte le nazioni del mondo. Infatti, ogni nazione partner intende continuare questo lavoro per fornire una copertura nazionale. Abbiamo sviluppato una mappa di classificazione del territorio che descrive la fascia costiera, comprese le caratteristiche costiere e i loro cambiamenti interannuali che consentono di determinare la larghezza delle spiagge. Sono stati superati i limiti precedenti utilizzando, grazie alla lunga storia di questa tecnologia, tecniche di batimetria satellitare per osservare le caratteristiche di interesse anche nelle acque cariche di sedimenti.

Questo progetto è stato guidato da ARGANS Ltd che ha formato una partnership composta da un gruppo di esperti in telerilevamento e fornitori di dati e servizi informativi basati sull'Osservazione della Terra, composto da ARGANS Ltd (Regno Unito/Francia), isardSAT (Spagna) e adwäisEO (Lussemburgo). Tali esperti hanno fornito dati ad un autorevole gruppo di utenti rappresentanti di entità pubbliche nazionali: British Geological Survey per il Governo Britannico; IHCantabria per conto del Governo Spagnolo (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico – MITECO); Geological Survey of Ireland per il Dipartimento Irlandese per l'Ambiente, il Clima e le Comunicazioni; Arctus in rappresentanza del mondo accademico canadese e delle comunità locali del Québec. Nella fase del CCN, si è aggiunto al consorzio un ulteriore gruppo italiano di esperti, dell'Istituto Nazionale per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, istituto vigilato dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica.

