

Sviluppo di un DSS integrato per il monitoraggio dell'ambiente costiero

Michele Greco^{1,2}, Giovanni Martino¹, Annibale Guariglia³,
Lucia Trivigno², Angela Losurdo³, Vito Sansanelli³

¹Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria, Via dell'Ateneo Lucano 10, Potenza, Italia,
e-mail michele.greco@unibas.it

²Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo, Via F. Baracca 175, Potenza, Italia,
e-mail info@cgiam.org

³Geocart Srl, Viale del Basento 120, Potenza, Italia,
e-mail a.guariglia@geocart.net

Sommario

Nel presente lavoro si descrivono i primi risultati funzionali del progetto operativo regionale denominato "Implementazione di un sistema di previsione e prevenzione del rischio idraulico" che è parte integrante del più ampio progetto "MATER" - finalizzato allo sviluppo di una *Metodologia di Analisi ambientali e TERritoriali* connessa allo sfruttamento di risorse naturali.

L'obiettivo principale del progetto "MATER", durante la fase di start-up, è stato quello di definire un sistema di monitoraggio per la previsione e la prevenzione del rischio idraulico-costiero attraverso la strutturazione e l'implementazione di un Decision Support System (DSS) basato sull'elaborazione di dati radar con particolare riferimento alle nuove missioni satellitari, quali Sentinel-1 e COSMOSkyMed che permettono di produrre informazioni territoriali, quali ad esempio la linea di costa, i movimenti delle coste alte e rocciose, la variazione della vegetazione retrodunale, la localizzazione di sversamenti inquinanti sotto costa, di fondamentale importanza per la tutela dell'ambiente costiero e per la salvaguardia delle attività socio-economiche presenti in tale area.

Il DSS, realizzato in ambiente GIS open-source, è espandibile, è basato su cataloghi open-data ed è in grado di gestire e visualizzare sia le informazioni di base, ivi compresi i relativi metadati, sia i risultati di elaborazione e processamento con codici open-source di change-detection, di segmentazione e di modellazione idraulica e morfologica.

La definizione del DSS ha previsto nel contempo lo sviluppo di metodologie integrative al monitoraggio sistematico e continuo della costa, lo stesso è stato interfacciato in ambiente WebGIS compatibile con il geoportale della Regione Basilicata (RSDI), attraverso l'integrazione dei dati al suolo e in remoto con tecnologie informatiche Open Source per l'analisi di base e la pubblicazione web di dati geografici, orientando l'applicazione ad una consultazione per l'utente finale semplice ed intuitiva.

Parole chiave: DSS, SAR, change-detection, rischio costiero

Summary

The earliest and functional results of the regional operative project (OP) named "Implementation of hydraulic risk forecast and prevention system" are showed in the present paper. The OP is one of the fundamental components of the project named MATER. The Mater project is aimed to develop a methodology for environmental and territorial analysis related to the exploitation of natural resources. The main target of MATER, during the start-up step of the project, consists of the definition of a monitoring system finalized to coastal-hydraulic risk forecast and prevention by Decision Support System (DSS) implementation. The DSS is based on new satellite radar data Sentinel-1 and

COSMOSkyMed which allow to re-produce territorial information such as coastline, rocky shore displacement, retrodunal vegetation variations, oil spill nearshore detection. The aforementioned information are fundamental to protect coastal environment and to safeguard socio-economic activities existing in the coastal region. The DSS is developed by free and open-source geospatial software, it is extensible, based on open-data catalogues and it is able to manage and to visualize both basic information (and the related metadata) and results come from open-source code change-detection processing and morpho-hydraulic modelling. The DSS is interconnected with a friendly and intuitive WebGIS compatible with the Basilicata Region web geo-portal environment.

Keywords: DSS, SAR, change-detection, coastal risk

Introduzione

La crescente densità di popolazione concentrata lungo i litorali e la progressiva espansione di attività connesse all'utilizzo delle risorse marine e costiere, rappresentano alcune delle problematiche che minacciano i delicati equilibri naturali del mare e della costa nonché l'insorgere di oggettive problematiche connesse con la gestione dei rischi costieri di erosione ed inondazione.

Per la Basilicata, che sviluppa circa 75 Km di litorale dalla morfologia varia (roccioso a falesie, sabbioso e ciottoloso), il sistema costiero rappresenta una risorsa di grande valenza naturalistica e paesaggistica nonché una preziosa realtà da tutelare e valorizzare attraverso uno sviluppo economico e sociale rispettoso degli ecosistemi naturali.

I problemi di erosione costiera generati negli anni, in misura prevalente dall'alterazione del regime degli apporti solidi fluviali e dall'incremento della pressione antropica per insediamenti turistici e produttivi, combinati con il conseguente e concorrente rischio di inondazione, hanno contribuito a porre all'attenzione pubblica i temi del monitoraggio e della difesa dei litorali, facendo emergere una coscienza comune sempre più sensibile all'opportunità di destinare risorse ed interventi mirati alla prevenzione dei rischi piuttosto che agli interventi di emergenza. Questa nuova cultura non può che basarsi su una capillare e sistematica analisi delle aree vulnerabili costiere, al fine di individuare le misure necessarie a contrastare ed arginare le ulteriori forme di aggressione e compromissione del sistema costiero lucano (cfr. Piano Regionale per la Gestione delle Coste della Regione Basilicata).

In tale contesto, particolarmente sensibile e vulnerabile, sono state indirizzate risorse idonee a sviluppare ed implementare sistemi di monitoraggio, convenzionali ed avanzati, idonei a supportare con continuità le fasi di pianificazione e gestione delle aree costiere. Il presente lavoro riporta in sintesi i primi risultati funzionali del Progetto Operativo regionale MATER - finalizzato allo sviluppo di una *Metodologia di analisi Ambientali e TERritoriali* connessa allo sfruttamento di risorse naturali - tra i cui obiettivi finali è prevista la definizione e realizzazione di un sistema di monitoraggio per la previsione e la prevenzione del rischio idraulico-costiero basato sull'integrazione e sull'utilizzo di dati al suolo e dati radar, con specifico riferimento alle nuove missioni satellitari, quali Sentinel-1 e COSMOSkyMed che "osservano" la Terra di giorno e di notte, indipendentemente dalla copertura nuvolosa.

La rilevanza delle tecniche di remote sensing da satellite nell'ambito applicativo specifico del Monitoraggio dell'ambiente "Costa" è stata dimostrata da importanti progetti di ricerca finanziati a livello nazionale ed europeo. Tra questi è possibile citare il progetto LITTORISK (anno 2007 INTERREG IIIC sud - NOE' Programme) e il progetto BEACHMED (anno 2008 INTERREG III C Programme).

Il Progetto LITTORISK aveva come obiettivo generale la produzione di mappe geografiche informative del territorio dall'applicazione di tecniche di processamento di immagini satellitari ottiche di media risoluzione, le immagini ASTER, di alcune immagini ad alta risoluzione, le immagini IKONOS, della carta del suolo CORINE e di campagne a terra. I layer informativi sono stati prodotti a copertura dell'area di studio definita sulla costa molisana. Il progetto BEACHMED sviluppato nell'ambito del Programma INTERREG IIIC ha riguardato lo sviluppo di 9 sottoprogetti con la partecipazione di 36 partner tra cui Università, Istituti di Ricerca ed Associazioni locali.

Il sottoprogetto OPTIMAL aveva come obiettivo l'ottimizzazione di Tecniche Integrate di Monitoraggio applicate ai litorali. Di rilievo alcune considerazioni conclusive riscontrate a fine Progetto per ottimizzare il servizio di monitoraggio del fenomeno di evoluzione dell'ambiente costa:

1. *sono necessarie informazioni territoriali di adeguata risoluzione spaziale, temporale e di alta frequenza di acquisizione;*
2. *le procedure applicate devono essere adeguatamente documentate al fine di poter ripetere più volte l'applicazione delle tecniche;*
3. *al fine di rendere i servizi ampiamente diffusi è necessario abbassare i costi che soprattutto nel passato erano fortemente vincolati dal costo dei dati satellitari;*
4. *i dati, per essere ampiamente utilizzati a livello europeo, devono rispettare gli standard vigenti.*

Dal 2014, con il lancio del primo satellite del Programma europeo Copernicus, denominato Sentinel-1, è iniziato un periodo di svolta per i dati satellitari di tipo radar ed ottico. Essi infatti risultano molto più performanti in termini di risoluzione spettrale, di risoluzione geometrica e in termini di tempi di rivisitazione, rispetto alle missioni satellitari già operative, tutto ciò risulta di maggiore rilevanza grazie alla nuova politica di accesso ai dati, per la quale, tutti i dati acquisiti in ambito di Copernicus sono accessibili a tutti gratuitamente.

Il progetto MATER, tra i prodotti operativi, prevede la strutturazione e l'implementazione di un DSS espandibile e basato su cataloghi open-data, in grado di gestire e visualizzare sia le informazioni di base, ivi compresi i relativi metadati, sia i risultati di elaborazione e processamento con codici open-source di change-detection, di segmentazione e di modellazione idraulica e morfologica. Il DSS prevede lo sviluppo di metodologie integrative al monitoraggio sistematico e continuo della costa, interfacciato in ambiente webGIS compatibile con il geoportale regionale (RSDI), attraverso l'integrazione dei dati al suolo e in remoto con tecnologie informatiche Open Source per l'analisi di base e la pubblicazione web di dati geografici, orientando l'applicazione ad una consultazione per l'utente finale semplice ed intuitiva.

I dati geografici sono prodotti dall'applicazione di algoritmi sviluppati dal gruppo di lavoro e basati sulle tecniche di processamento per i dati radar quali, ad esempio, PSInSAR, Segmentazione dell'immagine e Change Detection. Nello specifico l'algoritmo basato sulla tecnica PSInSAR (Permanent Scatterers SAR Interferometry) è finalizzato alla rilevazione dei movimenti della costa rocciosa, l'algoritmo basato sulle tecniche di segmentazione dell'immagine permette l'estrazione automatica della linea di costa e l'algoritmo di change-detection è in grado di rilevare nuove strutture, quali ad esempio edifici, stabilimenti balneari sversamenti di rifiuti etc., nell'area costiera. Tutti i dati geografici sono caricati nel sistema GIS/WEBGIS e rispettano gli standard di interoperabilità WMS (Web Map Service) definiti dall'OGC (Open Geospatial Consortium).

L'attività di validazione ha previsto il confronto delle informazioni prodotte con i processi di elaborazione e le "verità a terra". Queste ultime sono state acquisite principalmente per mezzo di campagne aeree effettuate con un set di sensori quali camera metrica, camera termica, sistemi iperspettrali e Laser. Le informazioni così validate, come p. es. la linea di costa, costituiscono i dati di input dei modelli di morfo-idrodinamica utilizzati nell'ambito del Progetto (DELFT3D-Deltares) e sono volti a prevedere, attraverso la modellazione di scenari, l'evoluzione dell'ambiente costiero.

Il risultato finale è l'integrazione tra le informazioni geografiche prodotte dall'applicazione delle tecniche di elaborazione (determinazione della linea di costa, del confine di vegetazione retrodunale, dei movimenti della costa rocciosa, delle aree di nuova costruzione) e le analisi di tipo numerico riguardanti le dinamiche morfo-evolutive del litorale. Tali informazioni, potranno essere ulteriormente utilizzate per definire prodotti complementari come le mappe di vulnerabilità della costa.

Nel prosieguo sono illustrati la strutturazione e le principali funzionalità del DSS e del WebGIS.

Implementazione del Sistema GIS-DSS

L'analisi dei requisiti funzionali ed architetture del sistema, coadiuvata dalla ricerca e l'individuazione delle soluzioni di riferimento nell'ambito dell'ingegneria del software, hanno portato alla progettazione di un'architettura scalabile e modulare.

Il diagramma UML riportato nella successiva Figura 1 rappresenta la modellazione dell'architettura del sistema MATER, evidenziandone la modularità. In esso, infatti, si possono individuare, sia i componenti software sia le interfacce interne ed esterne del sistema.

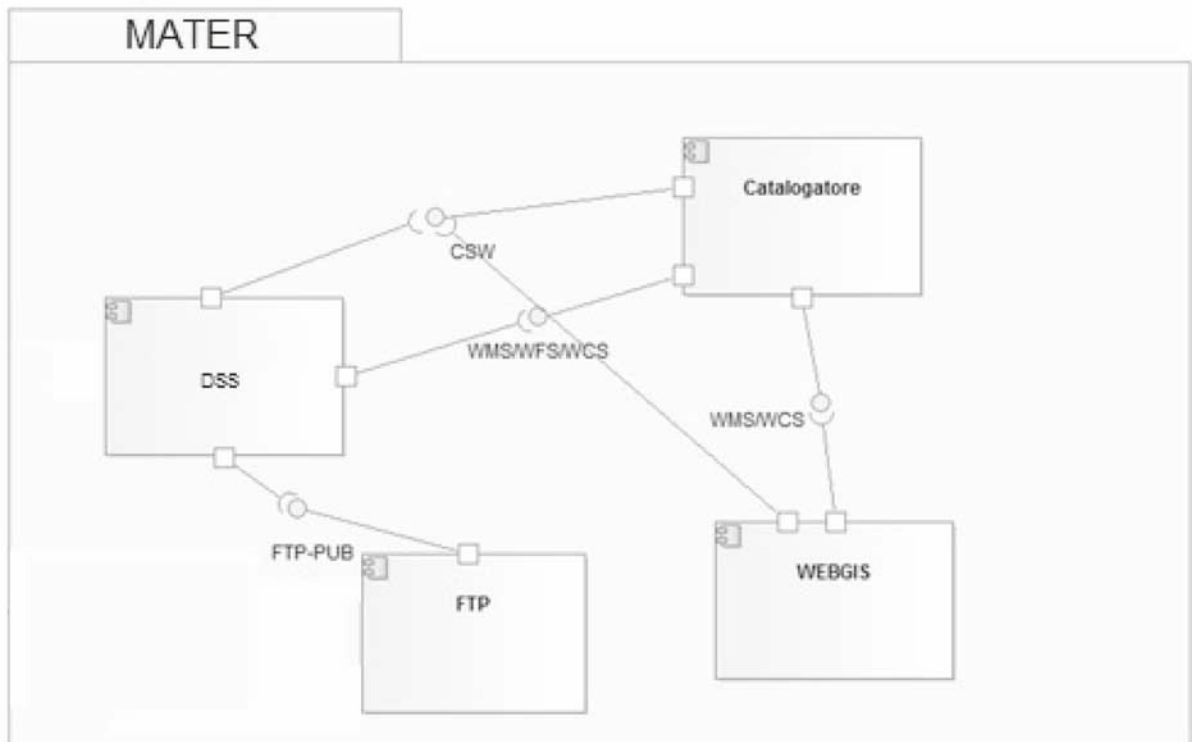


Figura 1. Architettura software.

Le componenti del sistema sono:

- SERVER FTP che consente il deposito dei file.
 - CATALOGATORE che consente agli utenti di pubblicare un catalogo delle descrizioni dei set di dati (metadati) per il web tali da poter essere interrogati e aggiornati dai client del catalogo.
 - WEBGIS che è un sistema informativo geografico (GIS) pubblicato in Internet, ovvero un servizio cartografico che rende disponibile dati sul web.
 - DSS (Decision support system) che rappresenta un sistema software di supporto alle decisioni che, sulla base di algoritmi, consente di estrarre dai dati disponibili informazioni utili ai processi decisionali
- Nello specifico, un DSS è un sistema software che mette a disposizione dell'utente, il decisore, una serie di funzionalità di analisi dei dati e di modelli in maniera interattiva e, possibilmente semplice e speditiva, allo scopo di aumentare l'efficienza e l'efficacia del processo decisionale mediante la simulazione di scenari alternativi nel dominio spazio-temporale.

In tal senso, un'evoluzione dei DSS è costituita dagli Spatial Decision Support Systems (SDSS) che presentano il valore aggiunto dell'esplicita considerazione della dimensione spaziale dei problemi decisionali, caratteristica intrinseca alle questioni relative alla trasformazione ed alla gestione del sistema territoriale. Il sistema GIS-DSS della piattaforma MATER si configura come un SDSS. Tale sistema è stato volutamente implementato basandosi su soluzioni Open-Source ed estendendone le funzionalità. Pertanto, preliminarmente si è proceduto allo studio ed all'analisi dello stato dell'arte delle soluzioni Open-Source in ambito GIS disponibili ed a valle di una attenta analisi si è scelto di utilizzare QuantumGIS (QGIS).

QGIS è un sistema Open Source rilasciato sotto GNU General Public License ed è un progetto ufficiale della Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Il software è disponibile per piattaforma Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e supporta numerosi formati di dati spaziali; inoltre consente di effettuare elaborazioni su database spaziali offrendo strumenti di analisi vettoriale, geoprocessing e gestione database. Infine, è possibile adattare QGIS ad esigenze specifiche grazie all'architettura estendibile dei plug-ins che possono essere creati con apposite librerie. Il modulo DSS è stato implementato in Python (ver. 2.7) e si configura come plug-in di QGIS (ver. 2.10 Pisa) su OS Windows 7 pro 64 bit.

Strati informativi implementati – tools & plug-in

Nell'ambito del Progetto Operativo (PO) è stato implementato un progetto QGIS contenente diversi strati informativi di archivio ovvero di nuova acquisizione e quindi aggiornabili dall'utente. Gli strati informativi attualmente implementati sono costituiti dai dati multisorgente riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Strati informativi attualmente implementati.

<i>Strato informativo</i>	<i>Contenuti</i>
Quadro di unione	Tutti gli strati informativi di tipo raster, ad eccezione dei dati satellitari uniformati nel taglio e nella denominazione dei files secondo i tagli ufficiali della cartografia rilasciata dall'Istituto Geografico Militare.
Batimetria	Dati di archivio relativi alle campagne batimetriche per gli anni 2012 e 2015.
Cartografia	Dato storico in formato raster della cartografia ufficiale IGM al 25.000 edizione 1949
DTM	Modelli digitali del terreno in formato raster derivati da scansioni lidar aeree di archivio e di nuova acquisizione nel corso dei rilievi dedicati alla implementazione del progetto. In particolare sono stati pre-caricati i modelli relativi ai rilievi per gli anni 2006, 2008, 2011, 2012, 2013, 2015
Linea di costa	Linee di costa, in formato vettoriale prodotte da dati multisorgente, sia di archivio che di nuova acquisizione. In particolare sono state estratte secondo la disponibilità dei dati nel seguente ordine preferenziale: <ol style="list-style-type: none"> 1. dai dati laser 2. da ortofoto digitali 3. da cartografia storica Sono stati estratti i dati relativi agli anni: 1947, 1949, 1988, 2001, 2005, 2006, 2008, 2011, 2012, 2013, 2015
Ortofoto	Strati informativi relativi a ortofoto storiche e di archivio, in B/N e a colori, ottenute con tecnologie analogiche e ortofoto di recente produzione ottenute con camere digitali ad alta risoluzione. Gli strati pre-caricati sono relativi agli anni 1947, 1998, 2001, 2006, 2008, 2011, 2012, 2013, 2015.
Termografia	Rilievo aereo su tutta la fascia costiera eseguito con camera termica digitale nel 2012.
Immagini satellitari	Catalogo di esempio contenente alcune immagini satellitari e relative linee di costa estratte dai dati stessi. Sono stati inseriti dati Radar Sentinel 1 e Ottici Sentinel 2. Sui dati satellitari non è stata eseguita alcuna operazione di ritaglio ma sono stati inseriti nella piena copertura dell'immagine acquisita.
Rilievo Topografico	Rilievo a terra 2015 disponibile sotto forma di punti acquisiti e di linea di costa derivata dai punti acquisiti. È stato inoltre fornito e pre-caricato un analogo dataset di archivio, corrispondente ad una campagna di rilievi GPS del 2006.
Dati Lidar	Dati laser di archivio e delle nuove campagne sono stati resi disponibili, previo un accurato lavoro di ritaglio e omogenizzazione geografica.

QGIS gestisce nativamente una serie innumerevole di formati di dati raster e vettoriali ma non i dati Lidar grezzi, per tale necessità specifica, durante l'iter del progetto è stato sviluppato un plug-in ad hoc. Il plug-in, denominato *LAStoDEMCompare*, gestisce il work-flow che dal dato in formato lidar porta alla creazione del DEM in formato Raster e quindi alla gestione ed alla interrogazione del dato estratto.

Principali Tools e Plug-in. Gestione dei datum geografici

Poiché tra le facoltà dei sistemi GIS vi è quella di gestire strati informativi in differenti sistemi di coordinate, nell'ambito del progetto è stata approfondita la modalità di gestione e trasformazione delle coordinate in ambiente QGIS, in modo da garantire la massima precisione possibile nel caricamento e nella gestione dei dati multisource disponibili ovvero futuri.

La gestione dei datum geografici in ambiente QGIS è affidata ad un algoritmo di ri-proiezione al volo (OTF) che gestisce automaticamente le trasformazioni di datum e le proiezioni geografiche tra strati informativi in differenti sistemi di coordinate mediante alcune librerie specifiche prodotte e distribuite da OSGeo.

Tali librerie contengono, per la quasi totalità dei sistemi di riferimento, globali e locali, i parametri geodetici quali proiezione, ellissoide, false origini e fattori di scala, utili alla ri-proiezione automatica del dato geografico associato. In tal modo si garantisce all'utente la fruizione di informazioni geografiche prodotte in diversi sistemi di riferimento. Tuttavia, la precisione con cui i dati vengono riproiettati, e quindi sovrapposti, varia in base al datum di origine, passando da trasformazioni rigorose per i sistemi globali a trasformazioni approssimate per alcuni sistemi locali.

Infatti, dato che, come ampiamente noto, i sistemi maggiormente diffusi in Italia sono la proiezione Gauss-Boaga e le proiezioni ETRF89/ETRF2000, i software GIS, tra cui QGIS, utilizzano degli algoritmi semplificati, basati sulle trasformazioni di Helmert a 7 parametri, a validità generale per tutto il territorio nazionale, fornendo quindi dei valori di trasformazione approssimati e soggetti a diversi metri di errore, variabili in base all'altimetria, nelle zone di interesse.

Si è pertanto proceduto alla definizione di una nuova libreria mediante il ricalcolo dei suddetti parametri al fine di migliorare la precisione delle trasformazioni in ambito regionale. L'applicazione dei parametri ricalcolati su un campione di punti trasformati ha portato a scarti di posizione medi di circa 30 cm sui punti trasformati con metodi rigorosi che utilizzano i grigliati dell'Istituto Geografico Militare.

Estrazione della linea di costa

Le risultanze dei processamento, il mapping della linea di costa, il mapping della vegetazione retrodunale, la rilevazione dei movimenti delle coste rocciose, nonché, di edifici di nuova costruzione e di sversamenti, sono state prodotte dall'applicazione di algoritmi appositamente ideati e basati sulle innovative tecniche di processing delle immagini satellitari radar come per esempio le tecniche di segmentazione delle immagini, di change-detection e di PSInSAR. Tutti i prodotti di processamento di dati satellitari Sentinel hanno l'importante vantaggio di poter essere ciclicamente aggiornati, con una frequenza che è pari alla frequenza di acquisizione del dato satellitare. Nel caso di specie, la frequenza di rivisitazione nel caso della coppia dei satelliti Sentinel-1 è pari a 6 giorni.

Nel caso specifico del mapping della linea di costa, il DSS di Progetto ha al suo interno un tool applicativo auto-consistente, con una indipendente interfaccia grafica, che implementa un algoritmo sviluppato dal gruppo di lavoro, basato sulle tecniche di segmentazione dell'immagine, che permette di scorrere l'immagine da nord a sud e di determinare i punti di separazione costa-mare. L'algoritmo su cui è basato il tool permette di determinare la linea di costa da immagini satellitari Sentinel-1 e CosmoSkyMed. La linea di costa così determinata costituisce un layer disponibile nel dataset del DSS.

L'algoritmo implementato si basa sulla tecnica di segmentazione di regioni contraddistinte dall'avere al loro interno pixel con caratteristiche comuni: il mare, nel caso di immagini Sentinel-1, ha valori ben distinti dalle aree di terra.

Per implementare, testare e validare l'algoritmo step by step, sono stati utilizzati gli strumenti software IDL-ENVI. IDL è un linguaggio di programmazione utile all'implementazione degli algoritmi, ENVI permette di visualizzare-elaborare le immagini prodotte dall'applicazione del codice IDL e di effettuare i test di buon funzionamento dell'algoritmo.

Le fasi principali implementate nell'algoritmo di Estrazione della Linea di Costa sono le seguenti quattro:

1. Determinazione delle caratteristiche dei pixel di mare;
2. Selezione dei pixel con le caratteristiche determinate;
3. Per ogni riga dell'immagine, estrazione del vertice di costa con l'annullamento dei pixel estratti sull'area di terra (con l'applicazione di un filtro che analizza le distanze dei pixel selezionati) e il riempimento dei pixel di mare non rilevati;
4. Filtraggio dei vertici della linea di costa, esso è finalizzato a rendere la linea di costa più pulita da possibili spike. La funzione implementata analizza un set di vertici alla volta e calcolando la distanza verifica che tra di essi non vi siano vertici che vanno fuori dall'andamento atteso, i vertici così selezionati sono eliminati dall'insieme dei vertici.

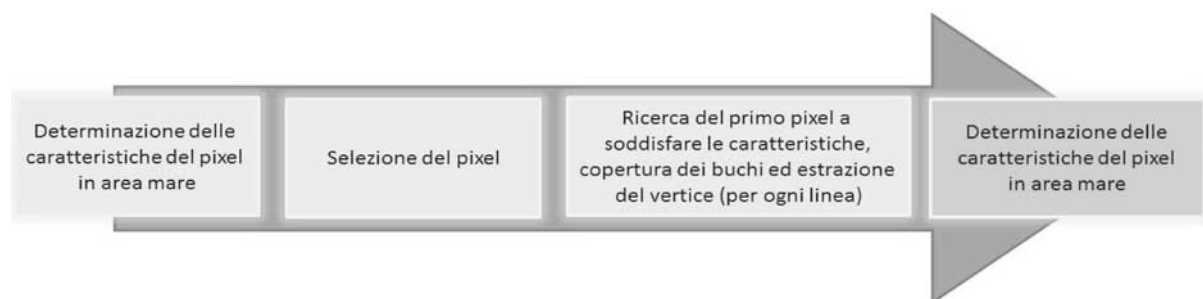


Figura 2. Flow-chart del nuovo algoritmo di estrazione della linea di costa.

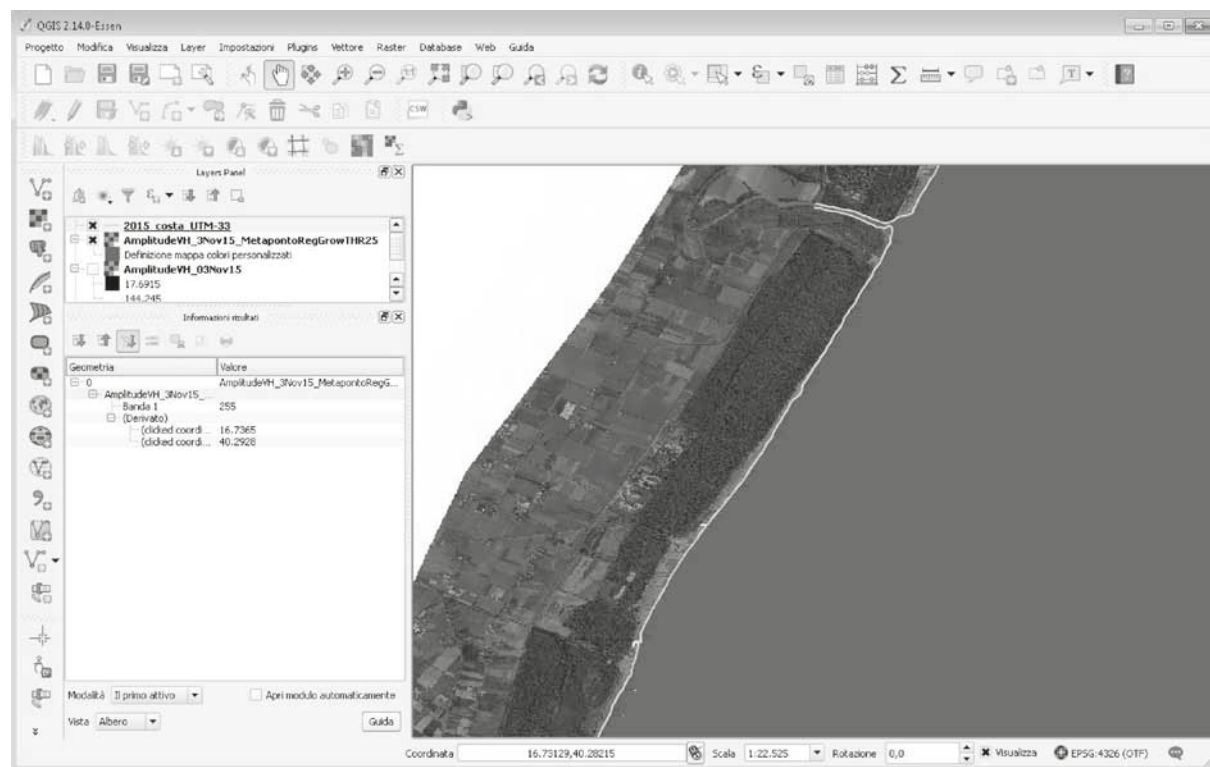


Figura 3. Sovrapposizione su QGIS di ortofoto del 2015, area mare estratta e linea costa di riferimento.

Il flow-chart sviluppato (Fig. 2) è stato automatizzato e costituisce un applicativo auto-consistente con una interfaccia grafica propria, che guida nell'esecuzione delle operazioni da svolgere, e una finestra di Processing che informa a riguardo dell'avanzamento del processo.

Per l'effettivo utilizzo nel DSS della informazione di linea di costa, è stato sviluppato un tool di misurazione delle variazioni di superficie. Esso analizza una coppia di linee di costa sulla stessa zona e restituisce graficamente e numericamente le aree eventualmente erose o in avanzamento (Fig. 3). Inoltre, il tool è in grado di elaborare linee di costa prodotte da dati e processamenti di natura differente rispetto a quello satellitare. In Figura 4 ed in Figura 5, in particolare, sono riportate le linee di costa multi-sorgente prodotte dalla elaborazione di immagini di tipo ortofoto acquisite rispettivamente negli anni 1947-1949-1998-2001-2005-2006-2008-2011-2012-2013 e 2015.

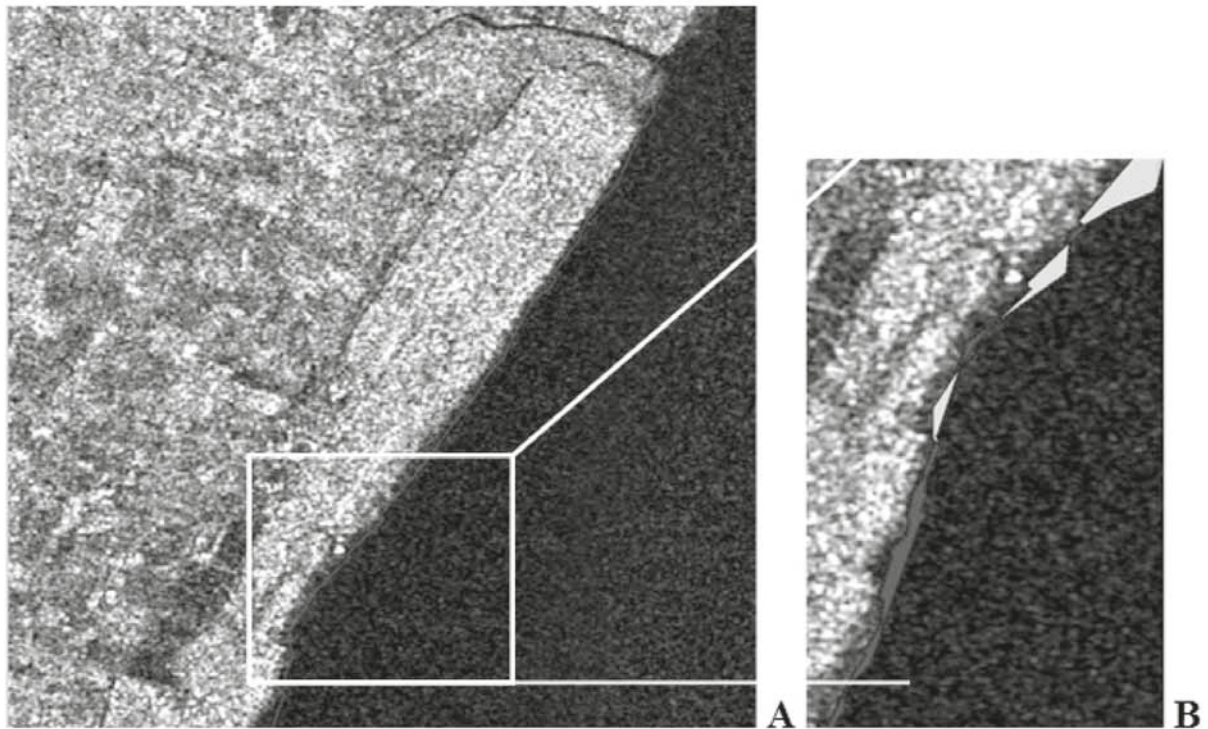


Figura 4. Estrazione della linea di costa da un dato Sentinel-1.(A). Determinazione delle aree costiere in erosione e in sedimentazione. (B).

Modellazione morfo-idrodinamica

Al fine di riprodurre possibili scenari alternativi, ossia di simulare la risposta del sistema costiero a differenti forzanti di origine naturale, ovvero antropica, e quindi al fine di fornire un valido supporto quali-quantitativo al processo decisionale, sono stati implementati alcuni tools in grado di rendere il DSS interoperativo con un software di modellazione morfo-idrodinamica. All'uopo, nella fase di start-up, è stato selezionato Delft3D (Deltares- NL).

Il software Delft3D (<http://oss.deltares.nl/web/opendelft3d/home>), prodotto e distribuito dall'istituto di ricerca Deltares (NL), è disponibile sia in modalità pre-compilata che open source ed è basato su consolidati algoritmi di calcolo rivenienti principalmente dalle attività condotte presso l'Environmental Fluid Mechanics Section della Faculty of Civil Engineering and Geosciences della Delft University of Technology (TUDelft-NL). Il sistema si compone essenzialmente di tre moduli che raggruppano modelli di simulazione

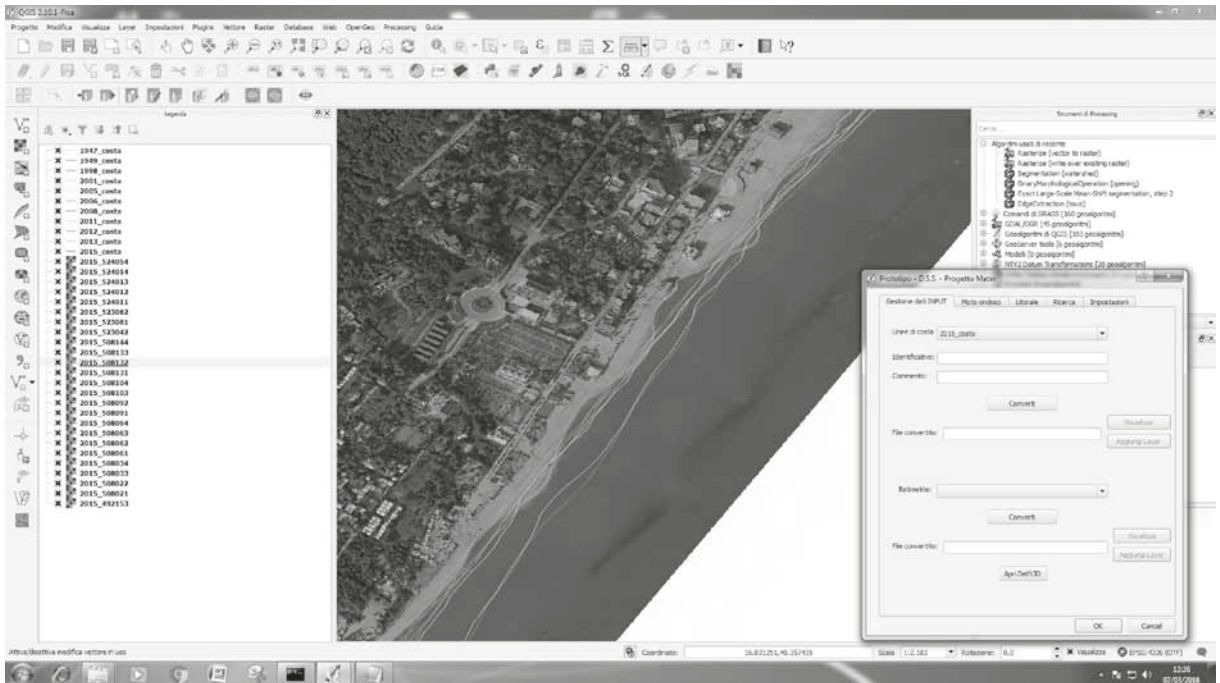


Figura 5. Confronto grafico tra linee di costa multi-sorgente su base ortofoto

idrodinamica, morfologica e moto ondoso oltre che di strumenti di pre e post-processing. Il modulo relativo al moto ondoso, Delft3d-WAVE, sfrutta come core processing SWAN (Simulating WAVes Nearshore – TU-Delft, Booij et al. 1999), che rappresenta lo stato dell’arte dei cosiddetti modelli phase-averaged di terza generazione in quanto è in grado di simulare, in condizioni stazionarie o non stazionarie, la propagazione spazio-temporale del moto ondoso, shoaling e rifrazione per variazione batimetrica e dovuta a correnti, la generazione delle onde di mare vivo e /o di mare morto, portando in conto anche gli effetti fortemente non lineari dovuti alla sovrapposizione di onde di diversa altezza e periodo, la dissipazione energetica dovuta all’interazione del moto ondoso con il fondale, al frangimento ed alla vegetazione, il set-up, oltre che i fenomeni di diffrazione e riflessione.

L’algoritmo, inoltre, all’occorrenza, è in grado di elaborare mediante operazioni di “nesting”, ovvero può utilizzare in un’unica elaborazione diverse griglie di calcolo, nidificate l’una nell’altra con un livello di definizione crescente, particolarmente utili allorquando si debbano modellare ad una scala di dettaglio particolarmente spinta fenomeni localizzati che necessitano un elevato dispendio computazionale.

Il modulo idrodinamico, Delft3D-FLOW, è un programma multi dimensionale che si basa sulle equazioni di Navier-Stokes per un fluido incomprimibile, sotto le assunzioni di Boussinesq per le acque basse e calcola flussi stazionari o non stazionari e fenomeni di trasporto, risultanti da forzanti di marea e/o meteorologiche, su di una griglia rettilinea e uniforme o curvilinea.

Il modulo idrodinamico è in grado di simulare, con una procedura altamente accurata definita incondizionatamente stabile, sia in modalità 2DH sia completamente 3D, anche i fenomeni di diffusione e trasporto, portando in conto la variazione nel tempo delle caratteristiche fisiche del fluido. Inoltre, esso è accoppiato al modulo di trasporto che consente di individuare, mediante numerose formulazioni, il trasporto solido indotto dalle correnti litoranee, nel dominio del tempo e dello spazio.

Nella presente versione dello SDSS sono state utilizzate soprattutto le capacità del software di modellare i flussi idrodinamici dovuti al moto ondoso e di calcolare e simulare il trasporto dei sedimenti. L’architettura del sistema implementato consente allo SDSS di colloquiare con Delft3D sia in relazione alla costruzione in maniera com-

pletamente automatica di parte dell'input necessario alla definizione del modello numerico, sia in relazione alla possibilità di acquisire l'output dello stesso e di renderlo gestibile in ambiente Qgis. Ad esempio è possibile creare in maniera del tutto automatica la linea di costa e renderla immediatamente utilizzabile con gli strumenti di pre e post-processamento dati disponibili nel pacchetto Delft3D. Il software Delft3D, inoltre, possiede un formato di output strutturato e complesso che, nativamente, non può essere gestito da Qgis. Il tool creato consente l'estrazione, la visualizzazione ed in generale la gestione multitemporale dei dati restituiti in output da Delft3D.

Nel presente step di sviluppo dello SDSS, in particolare, tale tool consente di gestire alcuni dati relativi al moto ondoso, quali altezza d'onda significativa, periodo significativo, direzione media del moto ondoso e velocità al fondo, ed alcuni dati relativi ai processi litoranei, quali il trasporto solido di fondo, il trasporto in sospensione, la velocità mediata sulla verticale, la tensione tangenziale al fondo e la variazione della batimetria nel dominio del tempo. Tali parametri sono stati selezionati in quanto essi rappresentano gli elementi quali-quantitativi di base per qualunque analisi, anche di tipo speditivo, sugli effetti indotti sull'ambiente costiero dalle forzanti meteorologiche e pertanto consentono valutazioni sull'evoluzione spazio-temporale dei processi litoranei indotti. Ad esempio, con riferimento ad un particolare evento meteomarinario di simulazione del 23 gennaio 2015, in Figura 6 è riportata l'evoluzione batimetrica in corrispondenza della foce del fiume Basento alle ore 12:48, mentre in Figura 7 ed in Figura 8 sono rappresentati, rispettivamente, la direzione media di propagazione del moto ondoso e la velocità media al fondo alle ore 06:00.



Figura 6. Rappresentazione temporale della batimetria.

WEB-GIS e Geoportale

La direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007, direttiva INSPIRE, acronimo di INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe, recepita in Italia dal D.Lgs. 27 gennaio 2010 n. 32, è finalizzata ad armonizzare l'organizzazione, l'accessibilità e le metodologie di condivisione delle informazioni territoriali ambientali tra gli stati membri dell'Unione Europea affinché le stesse siano di supporto alle politiche ambientali ovvero per ogni attività che possa comportare ripercussioni sull'ambiente. In particolare, congruentemente con la suddetta direttiva, le infrastrutture per l'informazione debbono consentire e garantire che dati territoriali provenienti da fonti diverse siano archiviati, resi disponibili e condivisi tra utenti ed applicazioni. In tale contesto, il geoportale costituisce il punto di accesso ai servizi di raccolta, gestione e distribuzione dei dati georeferenziati di un territorio o di interesse per un

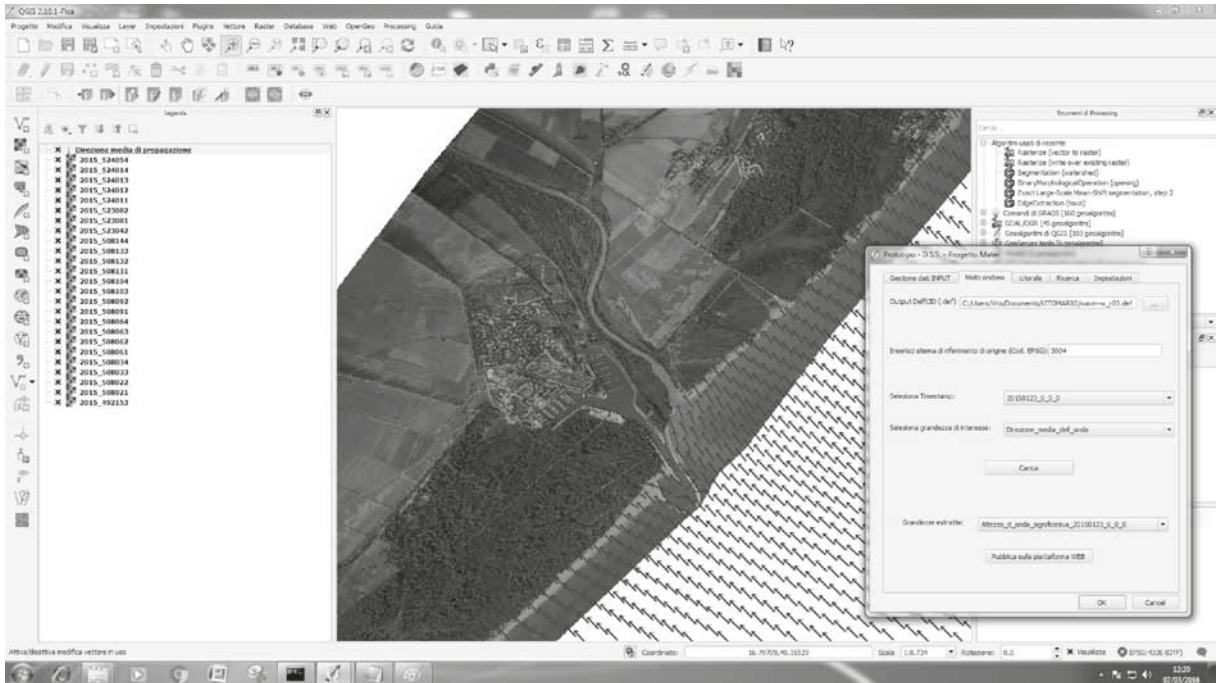


Figura 7. Rappresentazione temporale della direzione media di propagazione del moto ondoso.

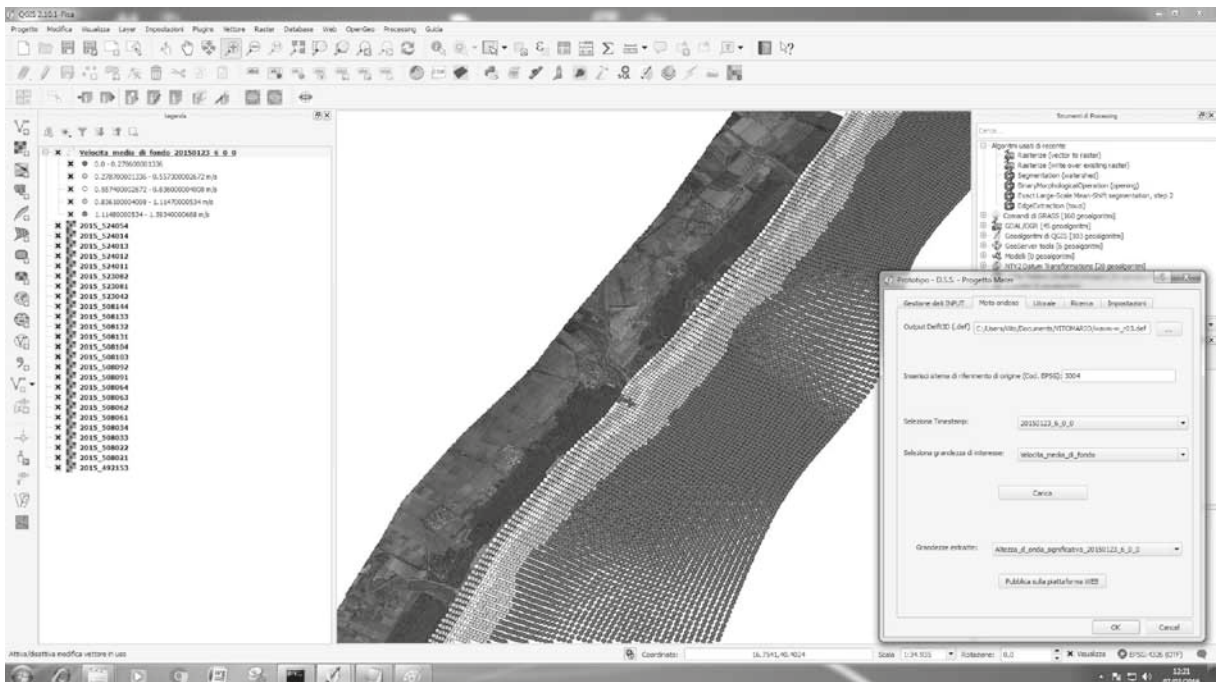


Figura 8 . Rappresentazione temporale della velocità media sul fondo.

dominio applicativo. Esso, in generale, è composto da un “Catalogo dati”, da cui è possibile eseguire il download in locale delle informazioni, da un WebGis con sezioni dedicate alla pubblicazione, alla navigazione ed all’interrogazione dei dati.

Un servizio di WebGis costituisce un sistema informativo geografico pubblicato in internet, ovvero un servizio cartografico che rende disponibile dati sul web. In tal senso, esso è quindi l'estensione alla rete degli applicativi nati e sviluppati per gestire la cartografia numerica.

In generale, un progetto WebGIS si distingue da un progetto GIS per le specifiche finalità di comunicazione e di condivisione delle informazioni con altri utenti. Rispetto ad una classica piattaforma GIS, un WebGIS consente innegabili vantaggi consistenti nella gestione centralizzata dei dati che possono essere distribuiti immediatamente garantendo una elevata diffusione. Il WebGIS permette inoltre la possibilità di interazione in tempo reale e la gestione del profilo di accesso alle informazioni anche a livelli differenti (sviluppatore, utente semplice etc). Infine, l'accesso e la consultazione da parte dell'utente è garantita anche con profili di basso livello senza particolari upgrade tecnologici.

La piattaforma WebGIS-MATER è un Geoportale che consente la pubblicazione, la catalogazione, la visualizzazione e l'interrogazione degli strati informativi prodotti dagli algoritmi sviluppati nell'ambito del progetto MATER. Il Geoportale, oltre che come strumento di disseminazione, anche nel rispetto della direttiva INSPIRE, sarà utilizzato come data-showing e SDSS. Il webGIS-MATER consente, infatti, il caricamento di dati spaziali che vengono quindi resi disponibili visualmente su mappe interattive ed attraverso i servizi OGC erogati grazie alle tecnologie integrate (GeoServer per i WMS/WFS/WFS-T/WCS, pycsw e CSW).

Nel sistema è possibile caricare anche informazioni non spaziali quali documenti, report ed immagini che, grazie alla possibilità di relazionarli ad altri dati, assumono una connotazione spaziale in qualità di informazioni accessorie al dato spaziale. La release attuale offre un sistema di permessi che consente una gestione del tipo di accesso al dato differenziato per visualizzazione, download, editing e gestione. I dati spaziali caricati possono essere utilizzati per comporre mappe interattive che, a loro volta, sono soggette ad un sistema di permessi e rese accessibili anche tramite download nei formati supportati come mostrato nella successiva Figura 9 in cui è riportata la sovrapposizione tra il DTM del 2015 dell'area di foce del fiume Cavone e le linee di costa multi-sorgente relative alle acquisizioni 1998-2005-2006-2008-2011-2012.

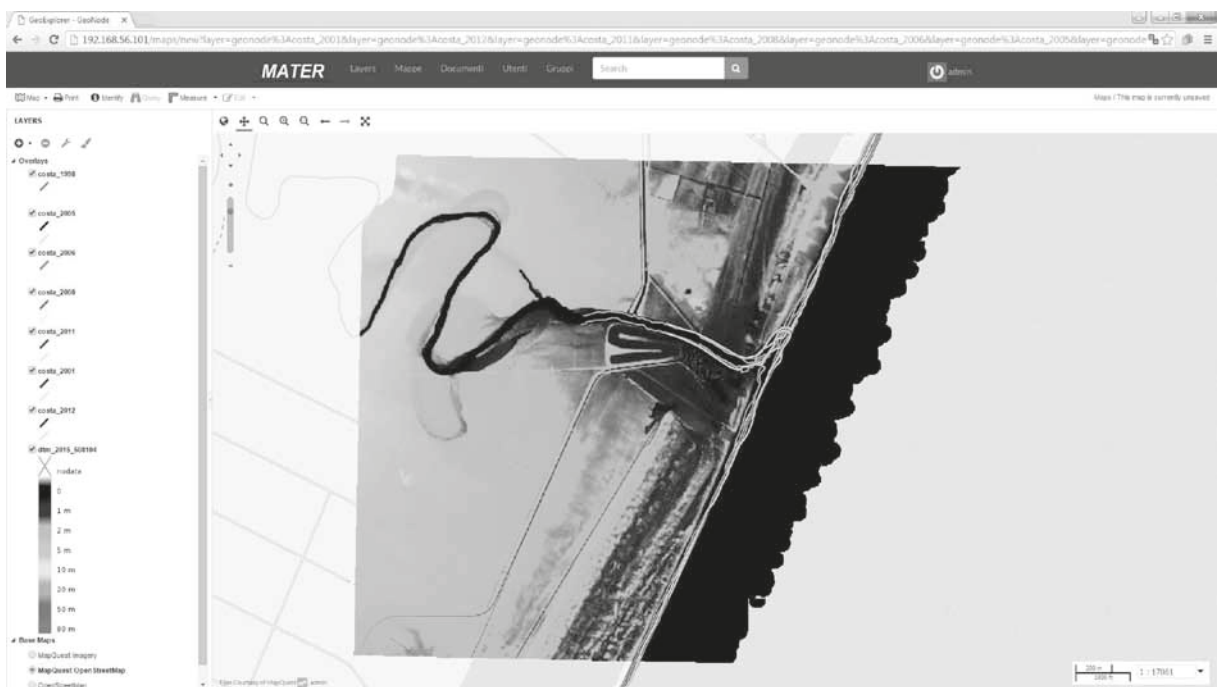


Figura 9. DTM e linee di costa multi-sorgente in corrispondenza della foce del fiume Cavone.

Grazie alla elevata frequenza di acquisizione delle immagini Sentinel-1, inoltre, è possibile effettuare analisi comparative estremamente interessanti tra dati multi-sorgente relativi al rilievo della linea di costa come mostrato nella successiva Figura 10 in cui è rappresentata la sovrapposizione tra l'immagine Sentinel-1 acquisita in data 13 febbraio 2016 e le linee di costa dei giorni 29.08.2015, 04.10.2015, 03.11.2015, 09.11.2015, 15.12.2015, 20.01.2016, 01.02.2016, 13.02.2016, 19.02.2016.

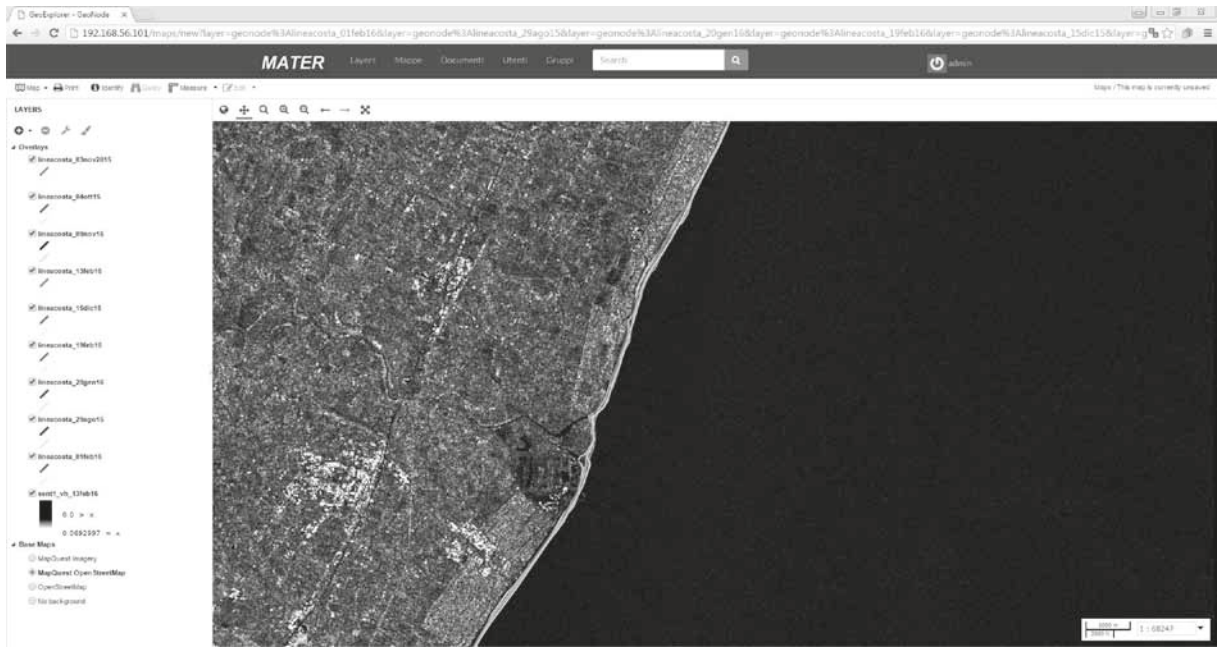


Figura 10. Dato Sentinel-1 e linee di costa multi-sorgente in corrispondenza della foce del fiume Agri.

Il sistema, infine, permette anche di visualizzare mappe prodotte da altre organizzazioni, nei rispettivi server, via WMS (Web Map Service). In tal modo l'applicativo è pienamente interoperabile, garantendo sia la pubblicazione dei propri strati informativi, attraverso gli standard dell'OGC, sia l'integrazione e la fruizione di strati informativi provenienti da altre sorgenti che rispettino gli stessi standard di pubblicazione definiti dall'OGC. Il catalogo dei dati attualmente disponibili e pre-caricati, è composto dagli strati informativi del sistema GIS-DSS riportati in Tabella ad eccezione del dato Lidar.

Conclusioni

Il presente lavoro ha lo scopo di illustrare i primi risultati funzionali del progetto operativo regionale denominato "Implementazione di un sistema di previsione e prevenzione del rischio idraulico" che è parte integrante del più ampio progetto "MATER" - finalizzato allo sviluppo di una Metodologia di Analisi ambientali e TERritoriali connessa allo sfruttamento di risorse naturali. In tal senso, la memoria riporta la strutturazione e le principali funzionalità del DSS basato sull'integrazione e sull'utilizzo di dati al suolo e dati radar e del WebGIS all'uopo predisposti durante tale progetto operativo.

In particolare, con riferimento ai dati satellitari, nell'ambito del progetto sono stati sviluppati alcuni algoritmi che si basano su tecniche di processamento PSInSAR, Segmentazione dell'immagine e Change Detection finalizzati, rispettivamente, alla rilevazione dei movimenti della costa rocciosa, all'estrazione automatica della linea di costa e al rilevamento di nuove strutture nell'area costiera, quali ad esempio edifici, stabilimenti balneari e/o sversamenti di rifiuti etc.. Tutti i dati geografici sono caricati nel sistema GIS/WEBGIS e rispettano gli standard di interoperabilità WMS (Web Map Service) definiti dall'OGC (Open Geospatial Consortium).

L'attività di validazione si è concretizzata nel confronto tra le informazioni prodotte con i processi di elaborazione ed i dati acquisiti principalmente per mezzo di campagne aeree.

Le informazioni validate costituiscono i dati di input dei modelli di morfo-idrodinamica utilizzati nell'ambito del Progetto e sono volti a prevedere, attraverso la modellazione di scenari, l'evoluzione dell'ambiente costiero. La frequenza di acquisizione dei dati satellitari utilizzati, pari a 6 giorni, garantisce un'elevata frequenza di aggiornamento delle informazioni, ciò consente di associare un determinato grado di affidabilità alle informazioni, grazie agli algoritmi e ai tool semi-automatici implementati, oltre che di effettuare un controllo continuo ed una calibrazione delle previsioni modellistiche al fine di rendere le stesse sempre più consistenti. È auspicabile che tali informazioni, possano essere ulteriormente implementate per contribuire alla definizione di prodotti complementari come, ad esempio, le mappe di vulnerabilità della costa.

Bibliografia

- Booij N., Ris R. C., Holthuijsen L. H., 1999. *A third-generation wave model for coastal regions*. Part I, Model description and validation, J. Geophys. Res. C4. 104: 7649-7666.
- Candigliota E., Immordino F., 2013. *Il Telerilevamento per il Monitoraggio e la gestione del Territorio*. 7° Workshop tematico 13-14 Giugno, Pubblicazione a cura di ENEA - UTSISM di Bologna http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/events/telerilevamentogiu13/Telerilevamento_2013_pg.pdf
- Cardinali S., Valpreda E., Screpanti A., Immordino F., Bovio L., Caiaffa E., Serafini S., Spadoni B., 2006. *Image Processing applicato ai rischi naturali in area costiera*, ENEA Progetto Littorisk, Presentazione a Termoli. <http://noe.cartodata.free.fr/IMG/pdf/06.Bovio.pdf>
- Delft University of Technology, 2009, *SWAN Cycle III Version 40.72ABCDE*. User Manual, Delft, The Netherlands.
- Deltares, 2013, *Delft3D, User Manuals*. Deltares 2
- European Spatial Agency, 2013, *Sentinel-1 User Handbook*. Sentinel-1 Team GMES-S10P-EOPG-TN-13-0001
- Hajdich G., Bourbigot M., Johnsen H., Piantanida R., Poullaouec J., 2015. *Sentinel-1 Product Specification*. S1-RS-MDA-52-7441.
- Greco M., Martino G., Guariglia A., Trivigno L., Sansanelli V., Losurdo A., 2017. *Development of an integrated SDSS for coastal risks monitoring and assessment*. In: River Basin Management 2017 - 9th Conference on River Basin Management Including all aspects of Hydrology, Ecology, Environmental Management, Flood Plains and Wetlands. Prague.
- Losurdo A., Marzo C., Guariglia A., 2015. *New change detection technique applied to Cosmo-SkyMed stripmap Himage data*. Proceeding of "Fringe 2015 Workshop", ESA SP-731, Frascati, Italia.
- Regione Basilicata, 2013, *Piano Regionale per la gestione delle coste*. (in fase di approvazione).

Ricevuto il 03/10/2016; accettato 29/03/2017