

Estrazione della linea di riva istantanea da immagini satellitari ad alta risoluzione ottiche e radar

Valerio Baiocchi (*), Maria Vittoria Milone (*), Martina Mormile (*), Francesco Palazzo (**)

(*) DICEA, Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "la Sapienza", Roma
valerio.baiocchi@uniroma1.it, mariavittoria.milone@uniroma1.it, martina.mormile@uniroma1.it
(**) SERCO SPA, Roma, francesco.palazzo@esa.int

Riassunto

Il progetto COSMOCOast si è occupato di esplorare le potenzialità dei dati radar (COSMOSkyMed) ed ottici (IKONOS-2, WORLDVIEW-2, KOMPSAT-2, QUICKBIRD) ad altissima risoluzione ai fini dell'impiego in studi costieri. L'utilizzo congiunto di dati acquisiti da diverse piattaforme satellitari permette infatti di estendere temporalmente il periodo di riferimento e di ampliare il numero di acquisizioni possibili sullo stesso tratto di costa. L'estrazione della linea di costa viene effettuata con tecniche automatiche su prodotti orto rettificati (per incrementare le condizioni di comparabilità tra sensori ed angoli di acquisizione estremamente differenti). Per ogni prodotto è fornita una stima dell'accuratezza della geolocalizzazione ed il paragone tra linee di costa relative a differenti date tiene conto delle differenti condizioni meteomarine al momento delle acquisizioni. Indicatori di variazione costiera in ambiente GIS sono allo studio.

Abstract

The project COSMOCOast has been involved in exploring the potentials of radar data (COSMOSkyMed) and optical data (IKONOS-2, WORLDVIEW-2, KOMPSAT-2, QUICKBIRD) high resolution for the purpose of use in coastal studies. The contemporary use of data acquired by different satellite platforms makes possible to temporally extend the reference period and increased the number of possible acquisitions on the same stretch of coast. The extraction of the coastline was made with automatic techniques of orthorectified products (improvement of the conditions of comparability between sensors and capture very different angles). For each product was estimated the accuracy of geolocation and the comparison between coastlines on different dates to take into account the different weather conditions at the time of acquisition. Indicators of change in the coastal environment are being investigated GIS.

Il problema

L'erosione costiera affligge circa il 50% delle coste abruzzesi ed è presumibilmente associabile da una parte a cause morfologiche ed all'aumento del livello medio marino, dall'altra al ridotto trasporto solido fluviale, in conseguenza di lavori compiuti nei bacini fluviali di pertinenza per ridurre gli effetti delle piogge estreme ed i conseguenti allagamenti. Opere di difesa costiera sono state create localmente negli anni passati nel tentativo di limitare l'erosione costiera, ma è attualmente opinione diffusa che tali interventi, sia pur risolvendo localmente il problema, l'abbiano accentuato in altre aree. Inoltre un'analisi della cartografia disponibile sull'area ed utilizzabile per analizzare e paragonare nel tempo lo stato dell'erosione pare rivelare che i dati attualmente disponibili (prodotti da e per conto della Comunità Europea, CNR, Ministero della Pubblica Istruzione, Ministero dell'Ambiente, ENEA, Regione Abruzzo ed istituti di ricerca) siano:

- in una scala che non consente una quantificazione dei *trends* erosivi (si ricordi che a scala 1:100,000 una linea spessa 0.2 mm indicante il confine tra mare e terra corrisponde a 20 m,

rendendo il confronto tra produzione cartografica di diverse epoche estremamente inaffidabile)

- elaborati da differenti fonti (esistono infatti prodotti in scala più adatta, tavolette IGM a scala 1:25,000, cartografia regionale 1:5,000, foto aeree...) con differenti metodologie di estrazione (spesso non descritte) e con differenti errori di posizionamento, che rendono il paragone tra i vari dati ugualmente inaffidabile.

Infine, ciascun prodotto cartografico potrebbe rappresentare una “linea di costa” corrispondente ad una differente definizione (geomorfologica, geodetica...).

Una visione sinottica ed aggiornata delle variazioni della linea di costa su aree estese decine di Km a differenti date e ad una risoluzione maggiore di quella fornita dalla cartografia esistente sull’area può rivelarsi essenziale per comprendere i *trends* erosivi e per verificare gli effetti delle opere di difesa già esistenti. Nel caso del progetto COSMOCOAST (e di dati tele rilevati) come “linea di costa” si intende la linea divisoria istantanea tra mare e terra e si è cercato di relazionarla alla definizione geomorfologica (la linea intermedia tra alta e bassa marea) utilizzando l’informazione mareografica disponibile al momento dell’acquisizione.

I dati

Nel tentativo di rappresentare differenti tipologie costali (costa alta e costa bassa) ed esaminare vantaggi e svantaggi di ogni tipologia di dato utilizzato ai fini dell’estrusione della linea di costa, due aree test sono state identificate per i dati ad altissima risoluzione, rappresentative rispettivamente di costa alta (Ortona e Vasto) e costa bassa (Pescara). Inoltre per uno studio a più larga scala è stata presa in considerazione anche tutta la costa dell’Abruzzo. Dati ottici (di archivio e nuovi) sono stati acquisiti dalle piattaforme IKONOS, KOMPSAT-2, ALOS, FORMOSAT-2 e QUICKBIRD; dati radar in differenti bande (di archivio e nuovi) sono stati acquisiti dalle piattaforme ALOS, ERS, ENVISAT e COSMO-SkyMed. Dati mareografici, rilievi quotati, alcuni rilievi GPS e GNSS cinematici e statici ed una campagna Lidar a terra effettuata contemporaneamente all’acquisizione di un prodotto COSMO-SkyMed completano il quadro dei dati acquisiti. In figura 1 si può osservare la cronologia delle acquisizioni a terra e da satellite durante l’intervallo temporale 6-21 luglio: due acquisizioni giornaliere (ogni 12 ore) sono state ottenute da COSMO-SkyMed, successivamente la serie temporale iniziata con i dati radar è stata completata con dati Kompasat-2 e Formosat-2. La figura indica anche la durata della campagna di acquisizione dati a terra, congiuntamente con le variazioni del livello di marea riportate dalla stazione di Ortona (Rete Mareografica Nazionale).

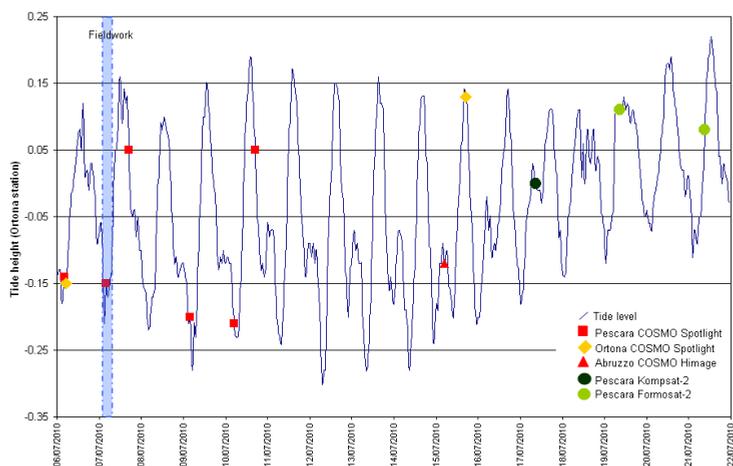


Figura 1. Serie temporale di nuove acquisizioni satellitari nel 2010 sulle aree test.

Due differenti tipologie di dato COSMO-SkyMed sono state impiegate:

- dati SPOTLIGHT, immagini SAR di estensione di circa 10 Km per 10 Km e risoluzione spaziale pari and 1m per 1m. In funzione delle modalità di acquisizione, l'angolo di incidenza variava tra ~20° e ~60°, la polarizzazione era HH o VV;

- dati STRIPMAP (HIMAGE), immagini SAR di maggior estensione ma minor risoluzione in grado di rilevare un'area $\geq 40\text{Km}$ per 40Km con una risoluzione spaziale di 3m per 3m.

In virtù dell'orientamento dell'orbita dei satelliti rispetto alla costa abruzzese, due acquisizioni consecutive STRIPMAP opportunamente pianificate in modalità ascendente permettono di ottenere una visione simultanea di più di 2/3 della costa dell'Abruzzo.

La disponibilità della completa costellazione COSMO-SkyMed (4 satelliti) ha inoltre permesso di incrementare le acquisizioni potenziali, permettendo la pianificazione di acquisizioni concomitanti con minimi o massimi di marea.

Analisi

Un'analisi delle variazioni del livello di marea condotto sui dati relativi agli ultimi tre anni rivela che la massima escursione di marea tra date non consecutive è stata inferiore ai 3m e che le normali oscillazioni di marea tendono ad essere tra 20 e 90 cm. In presenza di fondali profondi e costa alta tali oscillazioni di marea verosimilmente non hanno ripercussioni planimetriche, ma in caso di costa bassa la variazione planimetrica della stessa linea di costa istantanea estratta in condizioni di alta e di bassa marea può facilmente superare i 20m. La figura 2 esplicita tale concetto.

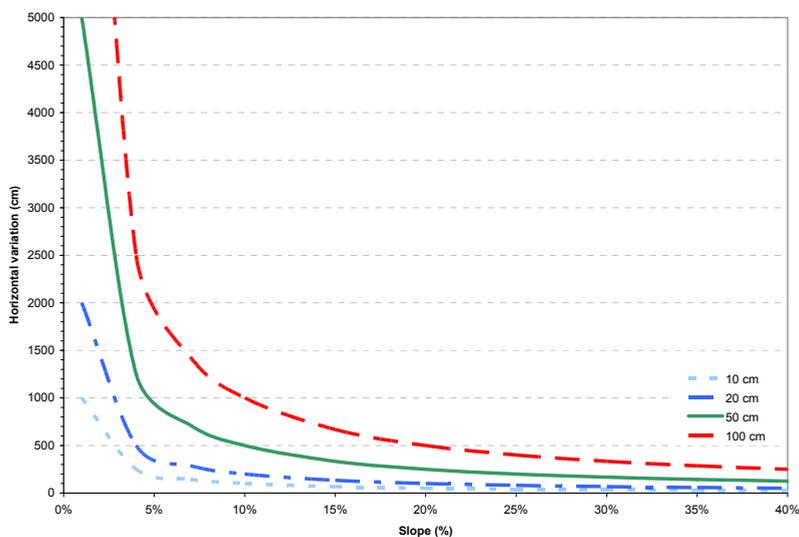


Figura 2. Variazione planimetrica di una stessa linea di costa per diverse escursioni di marea (10-20-50 e 100 cm) e classi di pendenza.

Per analizzare nel dettaglio gli effetti di tale fenomeno su una zona di costa bassa, la morfologia di un tratto di costa in corrispondenza di Pescara dell'estensione di circa 40 Km è stata studiata. La Figura 3 indica le classi di pendenza derivate da un DEM ad alta risoluzione generato sull'area, suddivise in classi di distanza dalla linea di costa (0-4m, 4-8 m...) e dimostra che c'è un chiaro predominio di classi a bassa acclività indipendentemente dalla distanza dalla costa. Sulla base di tali informazioni è evidente la necessità di considerare sempre le condizioni meteo marine concomitanti con la data di acquisizione nel caso di confronti tra linee di costa istantanee derivate da telerilevamento satellitare (o aereo).

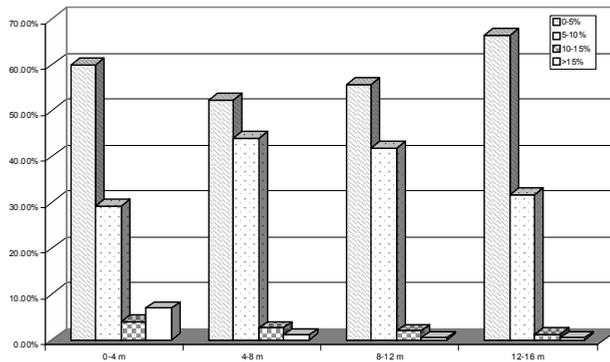


Figura 3. Classi di pendenza in fasce di distanza progressive rispetto alla costa.

Tecniche fotogrammetricamente rigorose sono state applicate per l'ortorettifica dei dati ottici (utilizzando un modello fotogrammetrico rigoroso propriamente detto quando metadati orbitali e punti di controllo a terra con la corretta accuratezza erano disponibili, come anche specificato in Baiocchi et al, 2004). I dati radar sono stati ortorettificati utilizzando la metodologia Range-Doppler implementata nel software NEST. Tecniche object-oriented per l'estrazione automatica della linea di costa da dati ottici sono state poi applicate sui prodotti ortorettificati. La creazione di una metodologia di processamento automatico per le immagini VHR é un'operazione complessa in quanto l'eterogeneità spaziale di queste immagini può risultare nell'identificazione di molti oggetti irrilevanti, privi di interesse per l'attività in atto –estrazione della linea istantanea di costa. Una procedura di segmentazione ben definita, alla base della classificazione object-oriented, dovrebbe garantire la generazione di oggetti significativi, le cui dimensioni sono adeguate alla scala di lavoro. Questa considerazione porta al problema della differente risoluzione spaziale delle immagini. Nelle immagini pancromatiche, che generalmente presentano il vantaggio di una maggiore risoluzione, l'assenza di informazione spettrale può tuttavia risultare nella mancanza di informazione utile per una corretta estrazione della linea di costa. Per evitare sotto o sopra-segmentazione i parametri devono quindi necessariamente differire in conseguenza della risoluzione spaziale dell'immagine. Una volta definiti tali parametri (scala, colore e fattori di forma). Per ciascuna tipologia di immagine, la procedura per l'estrazione della linea di costa passa attraverso una classificazione dell'immagine object-oriented.

Nel caso di dati radar, (Kim et al 2005) la frequenza radar utilizzata pare influenzare la posizione a cui si può generare interferenza di Bragg e quindi può risultare in una differente localizzazione della linea di costa acquisita a differenti lunghezze d'onda. Inoltre, anche in assenza di particolari condizioni meteomarine nel caso di aree costiere con ridotta profondità delle acque, le onde superficiali risentono del fondale generando frangenti, che rendono più difficile la discriminazione tra terra e acqua. Infine la presenza di rumore nelle immagini rappresenta un ulteriore elemento da considerare durante la procedura di estrazione automatica della linea di costa. La Figura 4 illustra la catena di processamento utilizzata dal progetto per l'estrazione della linea di costa da dati radar.

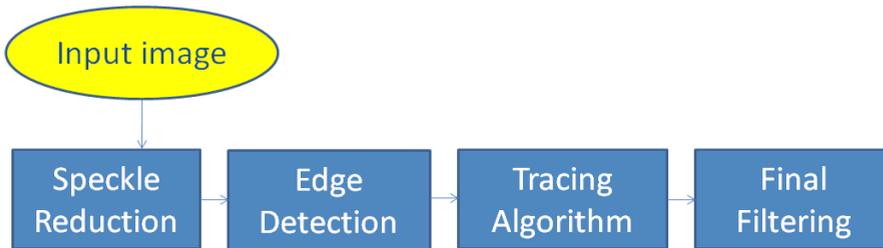


Figura 4. Catena di processamento SAR.

Nonostante l'estrazione della linea di costa dal dato SAR possa anche essere tentata tramite la fotointerpretazione, l'impiego di tecniche automatiche è di maggior interesse, specialmente in scenari operativi che richiedono la fornitura di informazione in real time o near-real time o in quei casi in cui è necessario il processamento di grandi volumi di dati. Nelle tecniche tradizionali la conoscenza specifica circa il limite da identificare è impiegata per creare le regole che conducono al raggruppamento dei pixels nelle classi. Inoltre, il tracciamento del limite locale nel rilevamento della linea di costa deve essere guidato da informazione relativa a tutta l'immagine. Queste caratteristiche ci hanno incoraggiato a paragonare un approccio standard per il rilevamento della linea di costa (Lee and Jurkevich 1990) con un approccio innovativo basato sui Pulse Coupled Neural Networks (PCNN). Questa è una tecnica relativamente nuova basata sui meccanismi che si svolgono nella corteccia visiva di piccoli mammiferi (Eckhorn et al., 1990).

Risultati preliminari

La tecnica PCNN è stata applicata con successo a tutti i dati radar acquisiti. Un'immagine di 1Gb viene processata in pochi minuti, a differenza della tecnica tradizionale che richiede tempi più lunghi per ottenere un risultato comparabile al prodotto del PCNN attraverso *edge detection*, filtraggio, analisi dell'istogramma, applicazione di un valore di soglia ed ulteriore *edge detection*. In figura 5 sono presentati due frammenti (linea di costa estratta automaticamente e sovrainposta all'immagine di partenza) relativi al dato processato in banda X e a quello processato in banda L.



Figura 5. Frammento di linea di costa sovrainposta all'immagine SAR di partenza (sinistra: COSMO-SkyMed, destra: ALOS-PALSAR).

Nel caso dei dati banda X sono state processate acquisizioni con differente geometria di acquisizione (Ascendente/Discendente, Destra/Sinistra), angoli di incidenza e polarizzazione in area di costa bassa e costa alta. Il confronto tra risultati dell'estrazione automatica con i risultati dell'estrazione manuale, considerata come "verità a terra" ha permesso di verificare che l'elemento

predominante sull'accuratezza della linea di costa estratta –in simili condizioni meteomarine- non è la polarizzazione ma la geometria di acquisizione. In un confronto tra metodologia tradizionale applicata alla banda C descritta in (Lee and Jurkevich) e trasposta alla banda X con la metodologia basata sulle reti neurali, si è riscontrata una maggiore affidabilità della metodologia PCNN, come desumibile dalla tabella (numero reale di punti sulla costa = 11365). Il confronto presentato in tabella è relativo al processamento della stessa immagine con le due tecniche differenti, analizzate quantitativamente rispetto alla linea di costa estratta manualmente. Una validazione del risultato su una piccola area sulla quale è stata condotta una campagna GPS cinematico simultaneamente all'acquisizione è presentata in (Latini et al. 2012).

Tipo di estrazione	Numero di punti	Media (m)	σ (m)
Tradizionale	14963	9.6	17.4
PCNN	11952	2.5	3.9

Tabella 6. Confronto relativo al processamento della stessa immagine con le due tecniche differenti, analizzate quantitativamente rispetto alla linea di costa estratta manualmente.

La linea di costa è stata anche estratta da immagini ottiche ed un primo tentativo di comparazione tra immagini ottiche acquisite in diversa stagione nel 2006 e nel 2007 mostra differenze planimetriche tra le 2 linee di costa nell'ordine dei 14 m, differenze che si riducono drasticamente qualora si prenda in considerazione la bassissima acclività dell'area correlata alle altezze di marea riportate per le due acquisizioni (differenza di livello tidale di 22 cm).



Figura 7. Frammenti di linee di costa estratte dalle immagini ottiche relative al 2007 (blu) e 2006 (rosso), sovrapposti all'immagine pancromatica del 2007.

Conclusioni

L'estrazione della linea di riva istantanea è stata eseguita con varie metodologie e questo ha consentito di evidenziare vantaggi e limiti di ciascuna di esse oltre che di effettuare un confronto tra le varie tecniche adottate nel corso della sperimentazione. Sicuramente un utilizzo contemporaneo di immagini di vario tipo (ottiche e radar) nonché di differenti tecniche di estrazione (manuale ed automatica) consentono di ottenere risultati più accurati. Possibili sviluppi futuri possono riguardare

sperimentazioni da eseguire su porzioni di territorio ancora più ampie di quelle fino ad ora considerate oltre che il perfezionamento delle tecniche ad oggi note per lo studio dell'evoluzione della linea di costa.

Riferimenti bibliografici

Latini D., Palazzo F., del Frate F., Minchella A, "Coastline extraction from SAR COSMO-SkyMed data using a new neural network algorithm", *IEEE Proceedings of IGARSS 2012*

Duk-jin Kim, Sang-Eun Park, Wooil M. Moon and Hyo-Sung Lee, "Effect of radar frequency on waterline mapping from airborne SAR image in the intertidal zone", In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, (2005), IGARSS '05. Proceedings.*

Baiocchi V., Crespi M, De Vendictis L, Giannone F (2004), "Utilizzo di immagini satellitari ad alta risoluzione per scopi metrici". In: *Atti VIII Conferenza ASITA, Roma, 1, pp XVII- XLVIII*

Lee, J-S and Jurkevich I., (1990), "Coastline Detection and Tracing in SAR Images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28 (4), 662-668*

R. Eckhorn, H. J. Reitboeck, M. Arndt, and P. Dicke, (1990), "Feature linking via synchronization among distributed assemblies: Simulations of results from cat visual cortex", *Neural Comput., 2 (3), 293-307*