

Monitoraggio della linea di riva attraverso dati satellitari e modelli

Massimo Perna^(a), Giovanni Vitale^(a), Carlo Brandini^(a), Enzo Pranzini^(b)

^(a) CNR – Ibimet via Giovanni Caproni 8 - I-50145 Firenze. Tel. +39 055 3033711/Consorzio LaMMA Via Madonna del Piano, 10 - 50019 Sesto Fiorentino (Fi) tel. 055 44 8301

^(b) Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Scienze della Terra Via G. La Pira, 4 - 50121 Firenze. Tel. 055 2756547

Riassunto

La disponibilità di dati satellitari a risoluzione molto più elevata che in passato (inferiore a 1 m), e a costi sostenibili agevola notevolmente le attività di monitoraggio della linea di riva su scala regionale. Nell'ambito di una più ampia iniziativa che riguarda il monitoraggio della costa a scala regionale, Regione Toscana e Consorzio LaMMA hanno avviato un'attività di monitoraggio costiero tramite dati satellitari, integrando anche dati derivanti dai rilievi tradizionali e dati di idrodinamica costiera (moto ondoso e livello del mare). Tale attività affronta le criticità connesse con il monitoraggio della linea di riva da remoto (definizione del *proxy*, valutazione dell'errore, ecc.) nell'ottica di minimizzare lo scarto con il dato rilevato a terra, così da rendere confrontabili tra loro i dati rilevati con queste due tecniche. Viene presentata una validazione quantitativa di questo metodo, e le modalità con cui si intendono integrare i diversi dati (in-situ, satelliti, modelli) a disposizione.

Abstract

The availability of much higher resolution satellite data than in the past (less than 1 m) and at sustainable cost greatly facilitates the regional shoreline monitoring activities. As part of a wider initiative concerning the monitoring of the regional shoreline, the Tuscany Region and the LaMMA Consortium have started a coastal monitoring activity through satellite data, also integrating data from traditional surveys. This activity addresses the criticalities associated with the monitoring of the shoreline (*proxy* definition, error evaluation, etc.) with the aim of minimizing the scatter between the ground observations and the EO data. A quantitative validation of this method is presented, and the ways in which the different data (in-situ, satellites, models) can be integrated.

Premessa

Il monitoraggio della linea di riva da satellite è un'attività da tempo ampiamente utilizzata (P. Prabhakara Rao et al, 1985; Fletcher et al., 2003; El Banna and Hereher, 2009; Kumar, Narayana, and Jayappa, 2010).

Tuttavia negli ultimi anni i dati satellitari ad alta e altissima risoluzione (<1 m), disponibili a costi sempre più sostenibili, consentono di sperimentare questa tecnica in alternativa ai rilievi tradizionali. La precisione di questi dati è ovviamente inferiore a quella dei rilievi a terra ed è comunque necessaria una corretta validazione del dato telerilevato con le verità a terra.

Recentemente le Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici proposte dal Tavolo Nazionale sull'Erosione Costiera (TNEC, 2017), individuano nel rilievo da remoto una metodologia conveniente solo per aree estese, con una precisione al massimo delle potenzialità valutata in 1 m. In realtà si ritiene che questa precisione abbia ancora ampi margini di miglioramento.

Obiettivi

L'obiettivo principale è stato quello di estrarre la linea di riva della Regione Toscana attraverso procedure semi-automatiche e/o manuali da immagini satellitari ad altissima risoluzione (< 1 m), e di confrontare i risultati con i rilievi *dGPS* coevi, laddove presenti, per alcune aree di interesse.

A tal fine si sono acquisiti dati satellitari multispettrali ad altissima risoluzione in due diversi periodi (Dicembre 2016 e Agosto 2017) su una parte del litorale della Costa degli Etruschi (tra Marina di Cecina e Bibbona- LI, vedi fig.1) e si sono confrontate le linee di riva estratte dal dato satellitare con quelle ottenute da rilievi *dGPS* (in modalità *RTK*) pressoché coevi (rilievo eseguito il giorno successivo rispetto al passaggio del satellite).



Fig.1 – Immagini satellitari utilizzate

Materiali e Metodi

Tra l'ampia gamma di dati satellitari multispettrali ad altissima risoluzione si sono testati per questa attività il Pléiades 1A e il WorldView2.

Entrambi i *dataset* sono costituiti da 4 bande multispettrali (blu-verde-rosso-infrarosso vicino) con risoluzione spaziale di 2 metri e 1 banda pancromatica con risoluzione spaziale di 0.5 m. La risoluzione radiometrica è sempre di 12 bit. In tabella 2 sono riportati i valori di risoluzione spettrale delle bande dei 2 *datasets* utilizzati.

Pleiadés1		Worldview2	
<i>Spectral bands</i>	<i>Spectral resolut.</i>	<i>Spectral bands</i>	<i>Spectral resolut.</i>
Panchromatic	0.47 to 0.83 μm	Panchromatic	0.45 to 0.81 μm
Blue	0.43 to 0.55 μm	Blue	0.44 to 0.52 μm
Green	0.50 to 0.62 μm	Green	0.51 to 0.59 μm
Red	0.59 to 0.71 μm	Red	0.62 to 0.69 μm
Near infrared	0.74 to 0.94 μm	Near infrared	0.76 to 0.90 μm

Tab.1 - Risoluzione spettrale dei dataset utilizzati

Area di studio

L'area di studio (denominata, nel suo insieme, con il toponimo del fosso "Cecinella") è formata dai sedimenti portati al mare dal fiume Cecina e, per la parte meridionale, da alcuni fossi drenanti le Colline Metallifere.

La costa settentrionale della spiaggia fra la foce del Cecina e il fosso Cecinella, è stata soggetta a importanti fenomeni erosivi la cui causa è stata riconosciuta nell'intensa attività di escavazione di inerti nell'alveo del fiume Cecina (basso corso). Per far fronte all'erosione della spiaggia, negli anni '70-'80 furono costruiti dei pennelli perpendicolari alla costa a cui seguì, negli anni '90, un ripascimento ed il prolungamento dei pennelli tradizionali con dei setti sommersi.

Anche il segmento meridionale, esteso fra il Cecinella e Marina di Bibbona, è stato protetto tra il 1999 ed il 2000, da un intervento di difesa nella sua parte settentrionale più gravemente colpita dall'erosione. Inoltre tra il 2012 ed il 2014 sono state effettuate modifiche alle opere esistenti e diversi ripascimenti nel tratto fra le Gorette (a nord di Cecina) e i pennelli posti nella parte più meridionale dell'area.

Pre-processing delle immagini satellitari

Le immagini satellitari sono state acquisite in formato *primary* ovvero bande corrette al sensore, ma non ancora ortorettificate.

Inizialmente le immagini sono state sottoposte al processo di *pan-sharpening*, un'operazione di fusione che consente di combinare il ricco contenuto informativo del dato multispettrale con la dettagliata informazione spaziale del dato pancromatico, restituendo un dato multibanda (B, G, R, NIR) ad alta risoluzione.

Successivamente si è eseguita l'ortorettifica utilizzando il modello digitale del terreno di elevata accuratezza disponibile presso la Regione Toscana (passo 10 m). Questa operazione è stata eseguita attraverso modello d'orientamento *RPC* (*Rational Polynomial Coefficients*) utilizzando i coefficienti associati alle immagini; tale modello consente, attraverso pochi punti di controllo, di eseguire il processo di ortorettifica raggiungendo elevate accuratezze.

Scelta del proxy di riferimento

La linea di riva è uno degli elementi morfologici più instabili del paesaggio terrestre: il limite acqua/terra si sposta continuamente perché il livello del mare è legato a diversi fattori quali maree, moto ondoso, mareggiate, azione locale del vento, morfologia e litologia della spiaggia e pendenza della battigia. Appare quindi evidente che tracciare una singola linea a partire da un'immagine istantanea abbia dei notevoli limiti quantitativi.

Per questo motivo, da vari anni in Toscana, viene utilizzato come linea di riva di riferimento per il monitoraggio costiero, l'isoipsa 0, normalmente ottenuta attraverso rilievo *dGPS* (in modalità *RTK*).

Questa linea non è rilevabile direttamente da satellite ottico, quindi, prima di procedere al tracciamento mediante digitalizzazione o estrazione semi-automatica dalle immagini della linea di riva dalle immagini satellitari, è necessario individuare un *proxy* di riferimento.

Le immagini satellitari ad altissima risoluzione (*VHRI* – dimensione pixel al suolo minore/uguale 1 m) consentono di individuare la linea di riva istantanea con elevata accuratezza nel caso di mare calmo, a meno di errori legati alla trasparenza dell'acqua sulla battigia.

Nel caso di presenza di onde è invece necessario prendere in considerazione la zona dei frangenti (*surf zone*) dove si genera un flusso di acqua a cui corrisponde un equivalente riflusso, che crea un sovrizzo a ridosso della riva (*wave setup*) di cui occorre tener conto quando si traccia la linea di riva Regione Lazio, Istituto Geografico della Marina Militare Italiana (2016).

Nelle immagini analizzate, l'isoipsa 0 ricade all'interno della zona tra il margine verso terra del *run-up* (limite sabbia asciutta-bagnata) e l'ultimo frangente, o il limite dello step qualora visibile (Fig.2). Naturalmente maggiore è l'altezza d'onda che incide al momento dell'acquisizione dell'immagine, maggiore è l'ampiezza di questa fascia, e di conseguenza lo è l'errore che si può commettere nell'individuare la linea di riva rispetto a quella di riferimento (isoipsa 0).

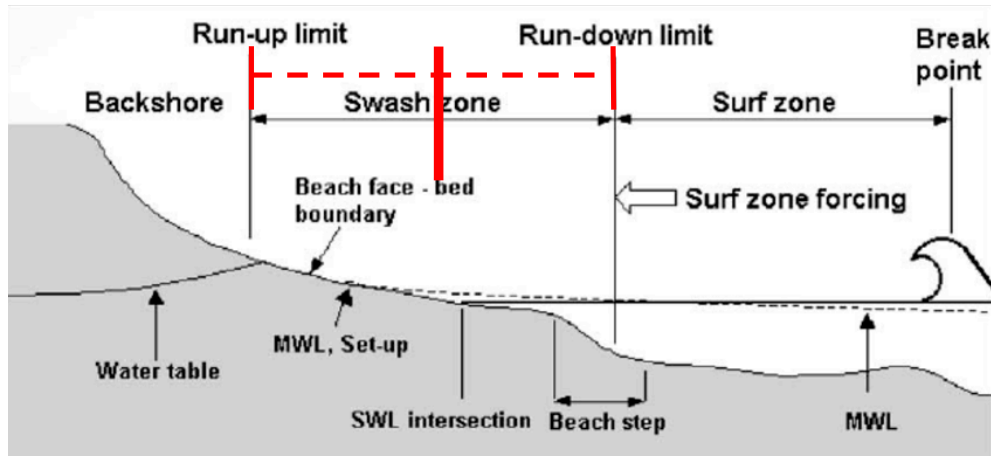


Figura 2 – Definizione del proxy di linea di riva utilizzato per la presente attività, ovvero la mediana della fascia compresa tra run-up e run-down (da Elfrink B. & Baldock T., 2002)

Individuazione manuale e semi-automatica del proxy.

Inizialmente si è eseguita una prima quantificazione dell’ampiezza del proxy al momento di acquisizione dell’immagine attraverso l’utilizzo di formule empiriche che mettono in relazione l’altezza significativa dell’onda (H_0) alla lunghezza d’onda (L_0) attraverso il surf similarity parameter (ξ) noto in letteratura come parametro di Iribarren (Battjes, 1974), che tiene conto della pendenza del foreshore (β) consentendo di calcolare l’ampiezza del run-up (R_2) alla data di acquisizione dell’immagine (Holman, 1986; Stockdon et al., 2006):

$$\xi = \frac{\beta}{H/L_0^{1/2}} \qquad \frac{R_2}{H_s} = 0.83 \xi_0 + 0.2 \quad [1]$$

Questa determinazione può essere molto utile, ad esempio, per ridurre le incertezze nella determinazione della linea di run-up dal momento che talvolta nella stessa porzione di spiaggia si osservano più limiti sub-paralleli tra spiaggia asciutta/bagnata dovuti alle variazioni temporali del livello del mare (Fig.3).

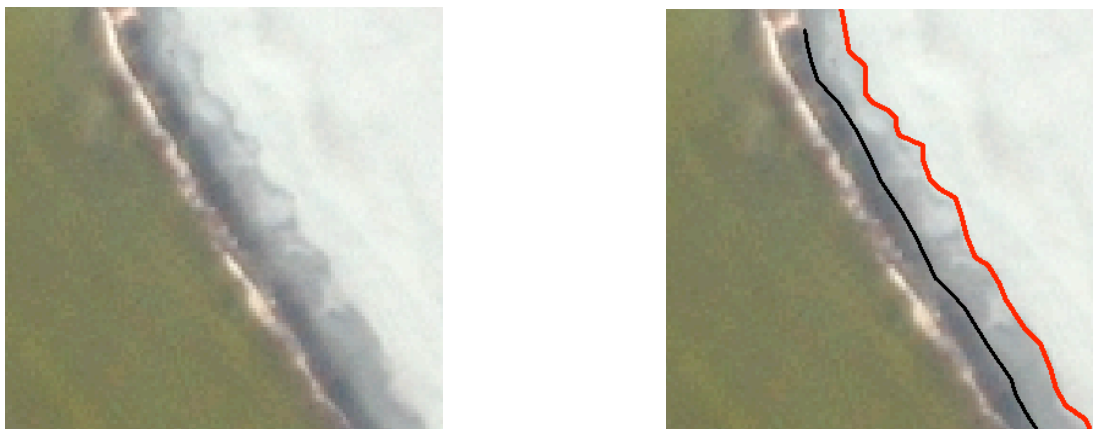


Figura 3 – Esempio di più limiti di run-up visibili nell’immagine (in nero il limite relativo all’onda presente nell’immagine e in rosso un limite antecedente).

Per l'individuazione del *proxy* della linea di riva sono state seguite e confrontate 2 diverse procedure: da un lato sono state digitalizzate manualmente le linee di *run-up* e di *run-down*, e poi per interpolazione si è ottenuta la linea mediana di tale fascia. Dall'altro si sono eseguite delle elaborazioni attraverso l'utilizzo di algoritmi di *edge detection* per l'individuazione delle linee principali presenti nella fascia individuata come *proxy*.

Per tali procedure si è utilizzata la banda dell'infrarosso vicino, che mostra una miglior separazione radiometrica ad esempio tra pixel-acqua e pixel-spiaggia emersa o tra pixel-spiaggia asciutta e bagnata. Attraverso un'interpolazione (*spline*) delle linee si è infine ottenuta la linea di riva in modo pressoché automatico.

Risultati

Il confronto eseguito tra le linee di riva ottenute attraverso digitalizzazione dalle immagini satellitari e i relativi rilievi *dGPS* è stato valutato su settori areali di 250 m di ampiezza, delineati a partire da una *baseline* utilizzata in altri lavori simili dalla Regione Toscana. I risultati sono descritti nella seguente tabella 2.

Satellite	Distanza media isoipsa 0 (<i>dGPS</i>)/Digitalizzazione manuale	Distanza media dell'isoipsa 0 (<i>dGPS</i>)/Estrazione semi-automatica
WorldView 2 Dicembre 2016	0,42 m	0,68 m
Pléiades 1A Agosto 2017	0,43 m	0,57 m

Tabella 2 – Esempio di più limiti di run-up visibili nell'immagine (in nero il limite relativo all'onda presente nell'immagine e in rosso un limite antecedente).

Il metodo di digitalizzazione manuale si fa preferire per i migliori risultati di allineamento con il dato *dGPS*, sebbene risulti più laborioso (e più lungo da eseguire) rispetto al dato ottenuto attraverso estrazione semi-automatica. D'altra parte i metodi semi-automatici hanno il vantaggio di non dipendere dall'esperienza dell'operatore. Dai test eseguiti si può comunque affermare che oggi è possibile ottenere da dati satellitari dei risultati che mediamente hanno una distanza rispetto al dato misurato a terra sensibilmente inferiore al metro.

Analisi dell'incertezza delle misure eseguite

Tendenze e tassi di variazione litorale sono affidabili al pari dell'errore di misura che determina la precisione di ciascuna costa posizione (Hapke et al., 2006). Esistono diverse fonti di incertezza che possono influenzare la mappatura storica del litorale (Fletcher et al., 2003).

Per questa attività sono stati tenuti in considerazione 4 fonti di incertezza:

- Errore di Pixel (EP), relativo alla risoluzione dell'immagine (Viridis et al., 2012).
- Errore Geometrico (EG), relativo alla georeferenziazione dell'immagine.
- Errore di Digitalizzazione (ED), relativo all'incertezza nella digitalizzazione del proxy (Viridis, idem).
- Correzione con la stima dell'MSL in prossimità della costa (EM), non ancora stimata in questa fase del lavoro.

Ciò consente di eseguire dapprima una stima del massimo scostamento della linea di riva estratta dall'isoipsa 0 (ES), al netto degli errori di cui sopra. Infine è possibile stimare il massimo scostamento della linea di riva estratta dall'isoipsa 0 (ETM):

$$ETM = \sqrt{EP^2 + EG^2 + ED^2 + ES^2} \quad [2]$$

Di seguito vengono riportati i valori di errore calcolati per le immagini esaminate:

	2017	2016
Errore di pixel (EP)	± 0,5 m	± 0.5 m
Errore Geometrico (EG)	± 0,36 m	±0.4 m
Errore di Digitalizzazione (ED)	± 1,0 m	±1.0 m
Errore massimo di individuazione della soglia (ES)	±2.6 m	±1.4 m
Stima della massima distanza dall'isoipsa 0 (ETM)	± 2,8 m	± 1.8 m

Tabella 2 – Componenti della stima della massima distanza dall'isoipsa 0 della linea di riva per le due immagini considerate. A questi errori va aggiunto quello legato alla stima del livello medio del mare (EM) in prossimità della costa, non ancora valutata in questa fase.

Riferimenti bibliografici

Battjes J.A. (1974), Surf Similarity, Proceedings of the 14th Conference of Coastal Engineering. ASCE, pp. 466–480.

El Banna, M. and Hereher, M. (2009), Detecting temporal shoreline changes and erosion/accretion rates, using remote sensing, and their associated sediment characteristics along the coast of North Sinai, Egypt. Environmental Geology, 58(7), 1419–1427.

Elfrink B. & Baldock T. (2002), Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: A review and perspectives Coastal Engineering 45(3-4):149-167.

- Fletcher C., Roone, J., Barbee M., Lim S.C. & Richmond, B. (2003), Mapping shoreline change using digital ortho-photogrammetry on Maui, Hawaii, *Journal of Coastal Research Special Issue N° 38*, 106–124.
- Hapke C.J., Reid D., Richmond B.M., Ruggiero P. and List J. (2006), National Assessment of Shoreline Change part 3— Historical shoreline change and associated coastal land loss along sandy shorelines of the California coast. U.S. Geological Survey Open-File Report 2006-1219.
<http://pubs.usgs.gov/of/2006/1219>.
- Holman R.A., (1986), Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. *Coastal Engineering* 9, 527–544.
- Kumar, A.; Narayana, A.C., and Jayappa, K.S., (2010), Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: a remote sensing and statistics-based approach. *Geomorphology*, 120(3–4), 133–152.
- P. Prabhakara Rao, M. M. Nair & D. V. Raju (1985), Assessment of the role of remote sensing techniques in monitoring shoreline changes: a case study of the Kerala coast *International Journal of Remote Sensing* Vol. 6 , Iss. 3-4,1985
- Regione Lazio, Istituto Geografico della Marina Militare Italiana (2016), Rapporto Tecnico sul tracciamento della Linea di Costa da ortofoto AGEA 2014 - Progetto INTERCOAST (POR Lazio 2007-2013).
- Stockdon H.F.; Holman R.A.; Howd P.A. & Sallenger A.H., Jr. (2006), Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering*, 53(7), 573–588.
- Tavolo Nazionale sull’Erosione Costiera (2017) Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici. http://www.erosionecostiera.isprambiente.it/files/linee-guida-nazionali/LG_doc_ALLEGATO3.pdf
- Viridis S.G.P., Oggiano G. & Disperati, L., (2012), A Geomatics Approach to Multitemporal Shoreline Analysis in Western Mediterranean: The Case of Platamona-Maritza Beach (Northwest Sardinia, Italy) *Journal of Coastal Research*, 28(3), 624 – 640.