

Confronto di diversi metodi di estrazione della linea di riva da immagini satellitari

¹Riccardo Angelini

¹Università di Firenze, riccardo.angelini@unifi.it

Introduzione

Le aree costiere sono cruciali per la biodiversità che le accompagna e per le diverse attività umane che ospitano, sia a scopo ricreativo che economico. Il monitoraggio dell'ambiente costiero coinvolge diversi indicatori, tra i quali la posizione della linea di riva costituisce il più significativo e universalmente riconosciuto. Diversi autori si sono soffermati sulle possibili definizioni della linea di separazione tra mare e terraferma (Boak e Turner, 2005); in questo studio ci riferiremo alla linea di riva "istantanea", ovvero automaticamente identificabile da immagini satellitari, o digitalizzata manualmente da un operatore attraverso ortomosaici ad alta risoluzione usate come verità a terra. La raccolta tradizionale di dati sul campo, mediante tradizionali tecniche topografiche, può risultare onerosa in termini di tempo e costi per ampie aree costiere (Spinosa et al., 2021). Le immagini satellitari provenienti da sensori sia attivi (radar) che passivi (multispettrali/iperspettrali) possono ovviare ad alcuni di questi problemi grazie alla capacità di fornire dati su larga scala e a cadenza regolare. I metodi automatici di estrazione della linea di riva possono essere suddivisi in "thresholding" ovvero la definizione di una semplice soglia per separare acqua e suolo; metodi basati sulla classificazione delle immagini e metodi di "edge detection" che mirano a determinare i bordi tra le regioni di interesse nell'immagine (Toure et al., 2019). La maggior parte degli approcci è stata implementata per sensori passivi. Pochi sono stati adattati ai sensori attivi e ancor meno alla integrazione delle due fonti. Alla luce di questo, lo studio si è proposto di confrontare diverse tecniche di estrazione della linea di costa da immagini sia ottiche che radar.

Area di studio e metodi

Le aree di studio considerate sono state due: la spiaggia sabbiosa della Feniglia, tombolo di 6km che chiude a sud la laguna di Orbetello, formatosi dal combinato disposto di innalzamento del mare olocenico e diffrazione delle onde sulla paleo-isola del Monte Argentario (Barnes, 1980) e la spiaggia di Castelldefels, 20km a sud di Barcellona, aperta e con un doppio sistema di barre, generata dai depositi del fiume Llobregat. I dati utilizzati per le analisi comprendono 7 linee di riva di riferimento provenienti da 5 rilievi GNSS e 2 ortomosaici ad alta risoluzione (20cm), e le corrispondenti immagini Sentinel-2 e Sentinel-1 più vicine a tali date (± 3 giorni). Sono state inoltre verificate le condizioni meteo-marine e mareali per le corrispondenti date. Le elaborazioni sono state condotte a partire da una prima fase di preprocessing, per le analisi radar svolta con il software Open Source SNAP, per le analisi multispettrali svolta in ambiente python come tutte le successive analisi. In generale la fase di preprocessing per entrambe le fonti di date ha mirato a garantire dati ricampionati con la stessa risoluzione spaziale e ortorettificati, nonché ha visto il calcolo di diversi indici spettrali o polarizzazioni radar noti in letteratura (Ozturk and Sesli, 2015) (Tian et al., 2017), volti ad aumentare le capacità di distinzione del confine acqua-suolo nelle immagini. Lo step successivo ha visto l'applicazione di 3 diversi metodi di "thresholding": una soglia fissa, il metodo Otsu (Otsu, 1979) e un metodo a soglie locali denominato Niblack

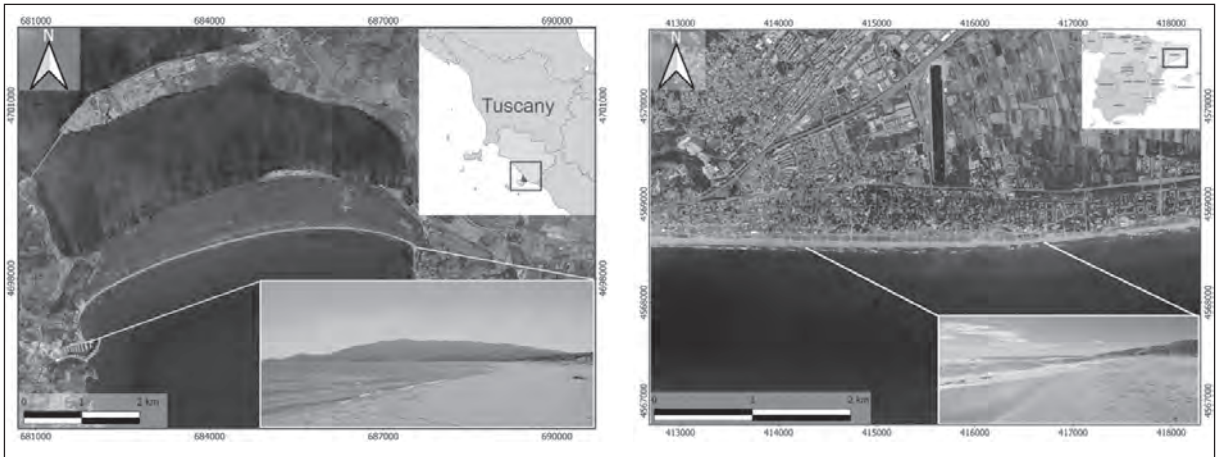


Figura 1. Le due aree, a sx la spiaggia della Feniglia, a dx il tratto considerato della Spiaggia di Castelldefels.

e 2 metodi di classificazione non supervisionata: K-means (García-Rubio et al., 2015) e il Gaussian Mixture Model (GMM) (figura 2). Poi abbiamo la fase di estrazione della linea di riva, con i principali passaggi: lettura dei file raster e identificazione delle zone connesse al loro interno; estrazione dei contorni delle regioni connesse identificate, conversione in geometria lineare, passando per i centroidi dei pixel, smussamento delle geometrie risultanti. Infine, la valutazione dell'accuratezza delle linee di riva estratte mediante il confronto con i riferimenti.

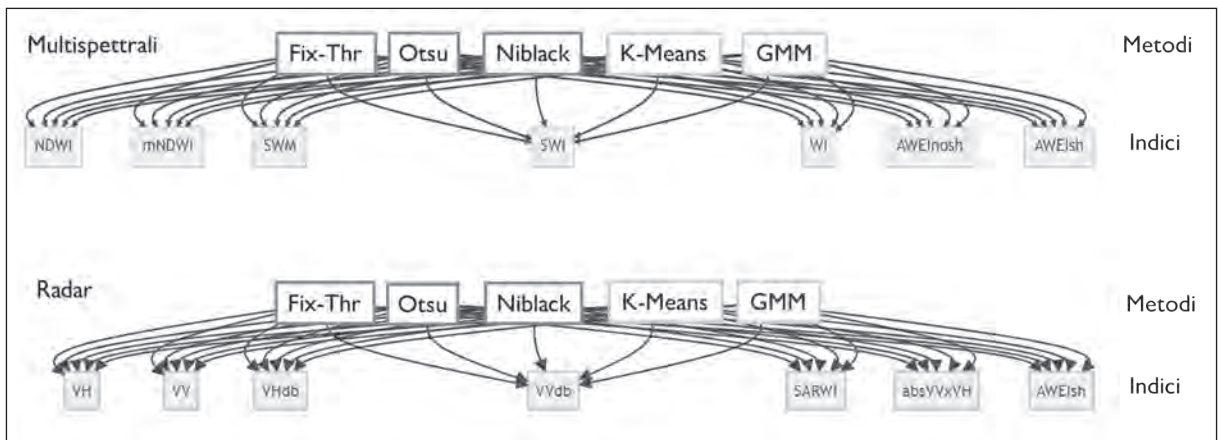


Figura 2. Combinazione di indici spettrali o polarizzazioni radar e metodologie testate.

Risultati e discussione

I risultati mostrati in tabella mostrano i 3 migliori risultati provenienti dalle analisi multispettrali e ottiche, mediati su tutti i casi di studio. La tabella 1 mostra i risultati in termini di distanza media assoluta dal riferimento, ed inoltre sono state calcolate anche distanza media con segno scarto quadratico medio e mediana. Bisogna specificare che in totale sono state testate 35 combinazioni di metodi e indici per la parte ottica e 35 per la parte radar per ciascuna data.

I risultati della parte multispettrale si sono dimostrati molto soddisfacenti, raggiungendo accuratze sub-pixel, confermando precedenti ricerche (Angelini et al., 2023). Le analisi radar al contrario hanno mostrato dei limiti che necessitano di ulteriori conferme. I risultati sembrano affetti da un bias negativo che indicherebbe una maggiore propensione del dato radar a cogliere la distinzione tra la linea della precedente alta marea o run-up e la spiaggia asciutta. In generale altre fonti di errore possono essere associate al dato ondametrico e mareale nonché alla differenza in giorni tra i riferimenti e le immagini satellitari. Valutazioni a riguardo sono state svolte mantenendo la distanza temporale tra le immagini entro i 3 gior-

ni e con un'analisi delle condizioni meteomarine nelle date in esame. Le altezze d'onda e di marea sono risultate essere di due ordini di grandezza inferiore alla risoluzione spaziale disponibile.

Tabella 1. Risultati delle analisi multispettrali e radar in termini di distanza media assoluta

Risultati Multispettrale (Sentinel-2)						
	Indice	Metodo	Distanza Media Assoluta [m]	Scarto Quadratico Medio [m]	Distanza Media [m]	Mediana [m]
1	NDWI	Fix-Thr	4.26	6.36	-0.67	-1.46
2	SWM	Fix-Thr	4.82	6.83	-0.30	-0.45
3	AWEI	Otsu	5.00	6.97	0.25	-0.25

Risultati Radar (Sentinel-1)						
1	VVdb	Fix-Thr	12.77	15.83	-0.79	-2.05
2	SARWI	Fix-Thr	13.96	16.86	-1.16	-3.37
3	Abs(VVxVH)	Fix-Thr	14.00	16.73	-1.22	-3.45

Conclusioni

Lo sviluppo di metodologie semplici e replicabili per l'identificazione e l'estrazione della linea di riva da immagini satellitari, rappresenta un importante tema di ricerca, in un ambiente che sarà soggetto a forti mutamenti. Sul fronte dell'accessibilità dei dati e delle metodologie svolte, i risultati sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di software open-source per le analisi come python e SNAP nonché tramite l'uso di dati gratuiti come quelli disponibili dal programma Copernicus. Le accuratèzze raggiunte nell'ordine di qualche metro su tratti di litorale di diversi chilometri aprono possibilità nell'ambito del monitoraggio a vasta scala dell'ambiente costiero. Le prospettive sono incoraggianti in considerazione del futuro lancio di nuove costellazioni con maggiore risoluzione spaziale e temporale rispetto alle attuali.

Bibliografia

- Angelini R., Angelats E., Luzi G., Ribas F., Masiero A., Mugnai, F., 2023. *A review and test of shoreline extraction techniques*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XLVIII-1-W1-2023, 17–24. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W1-2023-17-2023>.
- Barnes R.S.K., 1980. *Coastal Lagoons*. CUP Archive.
- Boak E., Turner I., 2005. *Shoreline Definition and Detection: A Review*. J. Coast. Res. J. Coast. Res. 21, 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>.
- García-Rubio G., Huntley,D., Russell P., 2015. *Evaluating shoreline identification using optical satellite images*. Mar. Geol. 359, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.11.002>.
- Otsu N., 1979. *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms*. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, 62–66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>.
- Ozturk D., Sesli F.A., 2015. *Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series*. Ocean Coast. Manag., Special Issue: Third International Symposium on Integrated Coastal Zone Management (ICZM): Towards Sustainable Coasts - “Recent developments and advancements” 118, 290–308. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.009>.
- Spinosa A., Ziemba A., Saponieri A., Damiani L., El Serafy G., 2021. *Remote Sensing-Based Automatic Detection of Shoreline Position: A Case Study in Apulia Region*. J. Mar. Sci. Eng. 9, 575. <https://doi.org/10.3390/jmse9060575>.
- Tian H., Li, W. Wu, M., Huang N., Li G., Li,X., Niu,Z., 2017. *Dynamic Monitoring of the Largest Freshwater Lake in China Using a New Water Index Derived from High Spatiotemporal Resolution Sentinel-1A Data*. Remote Sens. 9, 521. <https://doi.org/10.3390/rs9060521>.

Toure S., Diop O., Kpalma K., Maiga, A.S., 2019. *Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review*. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 8, 75. <https://doi.org/10.3390/ijgi8020075>.

Ricevuto il 30/10/2023; accettato il 15/11/2023