

Analisi e validazione di una metodologia per il calcolo della batimetria costiera da immagini satellitari ad alta risoluzione

Linda Corucci (*), Andrea Masini (**), Maurizio Demarte (***)

(*) Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione: Elettronica, Informatica, Telecomunicazioni, Università di Pisa,
Via Caruso 16, 56122 Pisa, linda.corucci@iet.unipi.it

(**) Flyby s.r.l., via Puini 97 int.26, 57128 Livorno, Tel. 0586-505016, Fax. 0586-587280, andrea.masini@flyby.it

(***) Istituto Idrografico della Marina, Passo Osservatorio 4, 16100 Genova, Tel. 010-2443213, Fax 010-261400,
iim.gfs@marina.difesa.it

Riassunto

In questo lavoro, è stato analizzato l'andamento batimetrico dell'area di Castiglione della Pescaia (GR), località di grande interesse turistico. La metodologia proposta per condurre questa analisi è non supervisionata e sfrutta l'utilizzo di un simulatore bio-ottico di trasferimento radiativo della radiazione solare in mare. Tale strumento simula la radianza uscente dalla superficie marina, partendo dalla conoscenza del tipo di fondale, della geometria di osservazione e della concentrazione dei costituenti marini. Correlando le radianze simulate con quelle ricavate da immagini telerilevate, dopo un'opportuna correzione atmosferica, si ottiene la profondità del fondale, ovvero la mappa batimetrica della zona d'interesse. L'analisi presentata è stata condotta utilizzando due immagini telerilevate della zona, con risoluzione spaziale di 2.4 m, acquisite dal sensore satellitare multi-spettrale Quickbird, in condizioni meteorologiche differenti.

L'algoritmo per il calcolo della batimetria è stato validato con dati di verità a terra raccolti dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM).

Abstract

In this work the bathymetric profile of the Castiglione della Pescaia (GR) area, a touristic locality of great interest, has been analyzed. The proposed unsupervised methodology is based on the use of a bio-optical radiative transfer simulator for solar radiation in the sea water. This tool simulates the water leaving radiance starting from the bottom type, the observation geometry and the water constituent concentrations. By correlating the simulated radiances with those obtained by remotely sensed images, after an appropriate atmospheric correction, a bathymetric map of the region of interest is obtained.

This analysis has been conducted on two 2.4 m resolution images of the same area, acquired by the multispectral sensor on board of Quickbird satellite in different meteorological conditions.

The presented algorithm has been validated using in situ truth data collected by the Istituto Idrografico della Marina (IIM).

Introduzione

Il monitoraggio dell'ambiente costiero costituisce un'attività essenziale per la conoscenza di fenomeni che influiscono sulla dinamica litoranea e per la conseguente realizzazione di interventi in difesa della sostenibilità ambientale. Fattori climatici, geologici ed antropici contribuiscono all'erosione costiera, influenzando sulla morfologia del litorale e sulle infrastrutture urbanistiche costiere. In questo lavoro, è stato stimato il profilo batimetrico dell'area di Castiglione della Pescaia (GR). In questo lavoro viene proposta ed esaminata una nuova metodologia non supervisionata per la stima della profondità del mare nelle vicinanze della costa (da 0 a 18 m di profondità). La tecnica presentata sfrutta l'utilizzo di un simulatore bio-ottico di trasferimento

radiativo della radiazione solare in mare. Il simulatore impiegato ricava la radianza uscente dalla superficie marina partendo dalla conoscenza del tipo di fondale, della geometria di osservazione e della concentrazione dei costituenti marini. Attraverso il confronto tra le radianze simulate e quelle ricavate dalle immagini telerilevate, corrette atmosfericamente, è possibile ricavare una mappa batimetrica dell'area di interesse.

Questo articolo è organizzato come segue: nel paragrafo 1 vengono brevemente descritte le caratteristiche delle due immagini satellitari utilizzate e dei dati di verità a terra forniti dall'Istituto Idrografico della Marina (IIM). Nel paragrafo 2 viene presentata la metodologia non supervisionata impiegata in questo studio. Nel paragrafo 3 vengono mostrati i risultati ottenuti e nel paragrafo 4 vengono discusse le conclusioni.

Dati utilizzati

In questo lavoro sono state utilizzate due immagini multispettrali ad alta risoluzione (2.44 m) telerilevate dal sensore satellitare Quickbird, ed ortorettificate. Le caratteristiche del sensore sono riportate in Tabella 1.

QuickBird Characteristics	
Launch Date	October 18, 2001
Launch Vehicle	Boeing Delta II
Launch Location	Vandenberg Air Force Base, California
Orbit Altitude	450 km
Orbit Inclination	97.2 degree, sun-synchronous
Speed	7.1 km/second
Equator Crossing Time	10:30 a.m. (descending node)
Orbit Time	93.5 minutes
Revisit Time	1-3.5 days depending on latitude (30° off-nadir)
Swath Width	16.5 km at nadir
Metric Accuracy	23-meter horizontal (CE90%)
Digitization	11 bits
Resolution	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25° off-nadir) MS: 2.44 m (nadir) to 2.88 m (25° off-nadir)
Image Bands	Pan: 725 nm Blue: 479.5 nm Green: 546.5 nm Red: 654 nm Near IR: 814.5 nm

Tabella 1 –Caratteristiche del sensore Quickbird.

Le immagini sono relative all'area costiera di Castiglione della Pescaia (GR) e fanno riferimento a due acquisizioni avvenute rispettivamente nei giorni 26 Aprile 2007 alle ore 10:32 UTC, e 14 Luglio 2008 alle 10:32 UTC. La conoscenza della data e dell'ora di acquisizione è di fondamentale importanza per la correzione dell'effetto di marea, necessaria per poter riferire la stima della batimetria ad un livello standard che in questo lavoro è stato scelto come il livello medio mare di Genova. L'informazione di data ed ora di acquisizione è stata utilizzata inoltre nella correzione atmosferica del dato per riportare i valori di radianza misurata dal sensore al livello della superficie marina.

La Figura 1 e la Figura 2 mostrano una rappresentazione RGB dei dati multispettrali Quickbird sopra descritti. I risultati presentati nel seguito fanno riferimento all'area evidenziata dal rettangolo in queste figure. Osservando le immagini risulta evidente la differenza tra le condizioni meteorologiche delle due acquisizioni. In particolare l'immagine dell'anno 2007 (Figura 1) presenta una condizione di mare calmo, bassa intensità del vento, e cielo sereno (assenza di nubi). Queste condizioni sono ideali per l'applicazione della metodologia qui utilizzata. Nell'immagine dell'anno 2008 (Figura 2) si nota invece una condizione di mare molto mosso e presenza di schiuma, seppur

in assenza di nubi. Tale condizione è sfavorevole per l'applicazione della metodologia proposta, per cui i risultati attesi in questo caso sono peggiori.

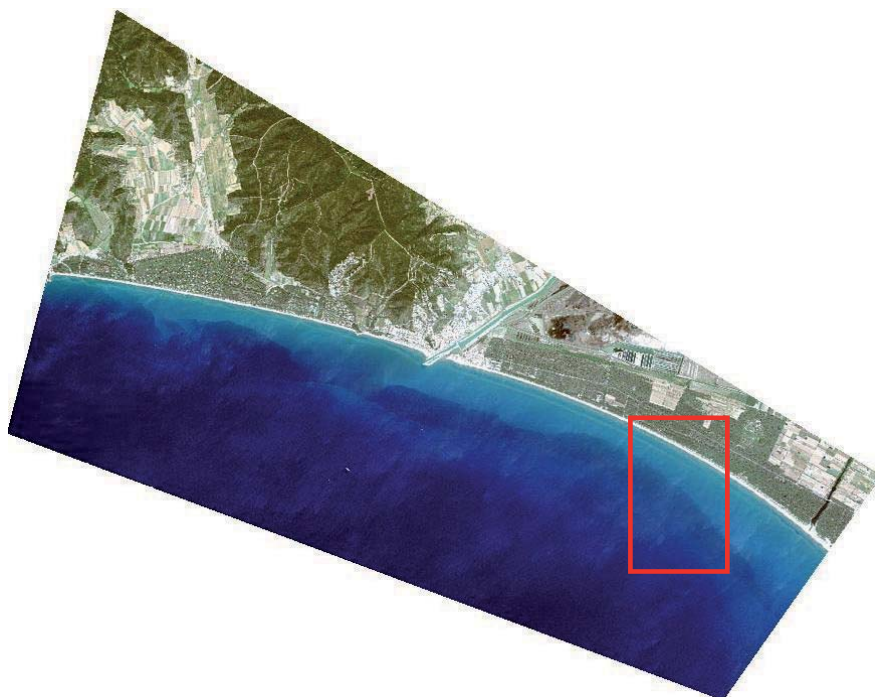


Figura 1 – Immagine Quickbird dell'area di Castiglione delle Pescaie relativa all'acquisizione del 26 Aprile 2007 alle ore 10:32 UTC. I risultati presentati nel seguito fanno riferimento all'area evidenziata dal rettangolo.



Figura 2 - Immagine Quickbird dell'area di Castiglione delle Pescaie relativa all'acquisizione del 14 Luglio 2008 alle ore 10:32 UTC. I risultati presentati nel seguito fanno riferimento all'area evidenziata dal rettangolo.

I dati di verità a terra utilizzati per la validazione del metodo sono stati acquisiti mediante ecoscandaglio dall'IIM con un errore di misura di 15 cm.

Metodologia proposta

Il diagramma a blocchi in Figura 3 descrive in forma schematica il principio di funzionamento dell'algoritmo utilizzato per la stima della batimetria costiera. Gli input dell'algoritmo sono rappresentati da:

- Immagine multispettrale ortorettificata. In questo studio sono state utilizzate immagini Quickbird.
- Parametri meteorologici e geometrici (angolo solare zenitale e azimutale, angolo di vista zenitale e azimutale) necessari per eseguire la correzione atmosferica dell'immagine riportando le radianze misurate dal sensore al livello della superficie marina.
- Concentrazioni dei costituenti marini, firma spettrale del fondale, angolo solare zenitale e azimutale, angolo di vista zenitale e azimutale, necessari per simulare le radianze sulla superficie marina per diversi valori di profondità.

Per la correzione atmosferica sono state utilizzate le librerie libRadtran (Mayer *et al.*, 2005) mentre il modello alla base del simulatore bio-ottico è quello presentato in (Mobley, 1994).

Dal confronto tra le radianze simulate per diversi valori di profondità, e quelle ottenute dall'immagine satellitare opportunamente depurata dal contributo dovuto al cammino ottico della radiazione solare nell'atmosfera, si stimano i valori di profondità per ogni pixel dell'immagine, ottenendo così una mappa batimetrica di interesse.

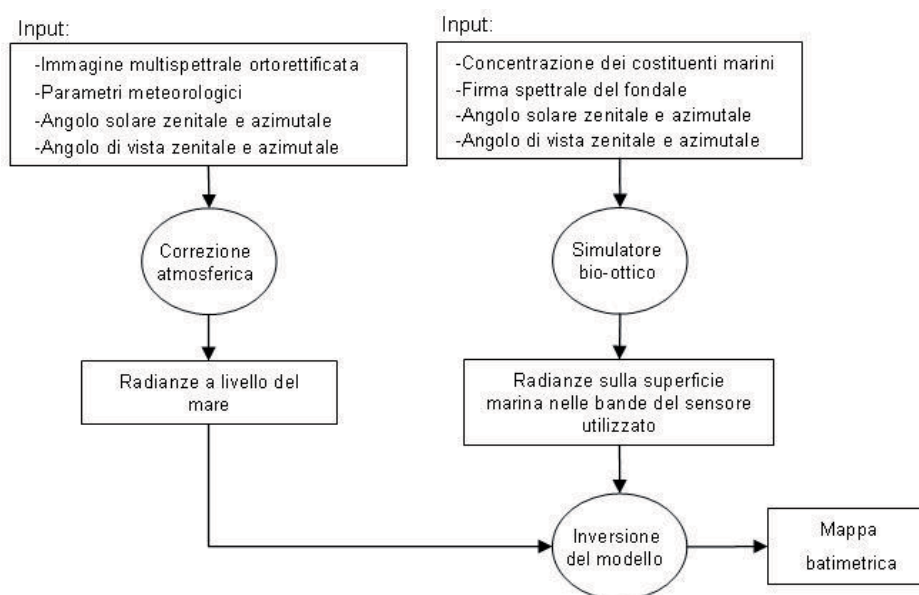


Figura 3 –Schema a blocchi della metodologia utilizzata.

Risultati

La metodologia descritta nel paragrafo precedente è stata applicata alle immagini mostrate in Figura 1 ed in Figura 2.

In Figura 4 sono mostrate le mappe batimetriche ottenute. E' da notare come le differenti condizioni meteo nei due casi influiscano pesantemente sui risultati ottenibili dall'applicazione dell'algoritmo proposto. Infatti, il modello si basa sull'assunzione di superficie marina piatta. Nel caso in cui siano presenti onde marine di lunghezza dell'ordine della risoluzione spaziale a terra del sensore, la geometria di osservazione si complica e l'ipotesi sopra citata non è più verificata, come nel caso dell'immagine dell'anno 2008. I risultati dunque peggiorano (Figura 4 b). Quando l'immagine viene acquisita in condizioni di mare calmo, ovvero in assenza di onde oppure in presenza di onde

di lunghezza molto maggiore della risoluzione spaziale a terra del sensore, l'approssimazione di superficie piatta è giustificata e l'applicazione dell'algoritmo porta a buoni risultati, come nel caso dell'immagine del 2007 (Figura 4 a)).

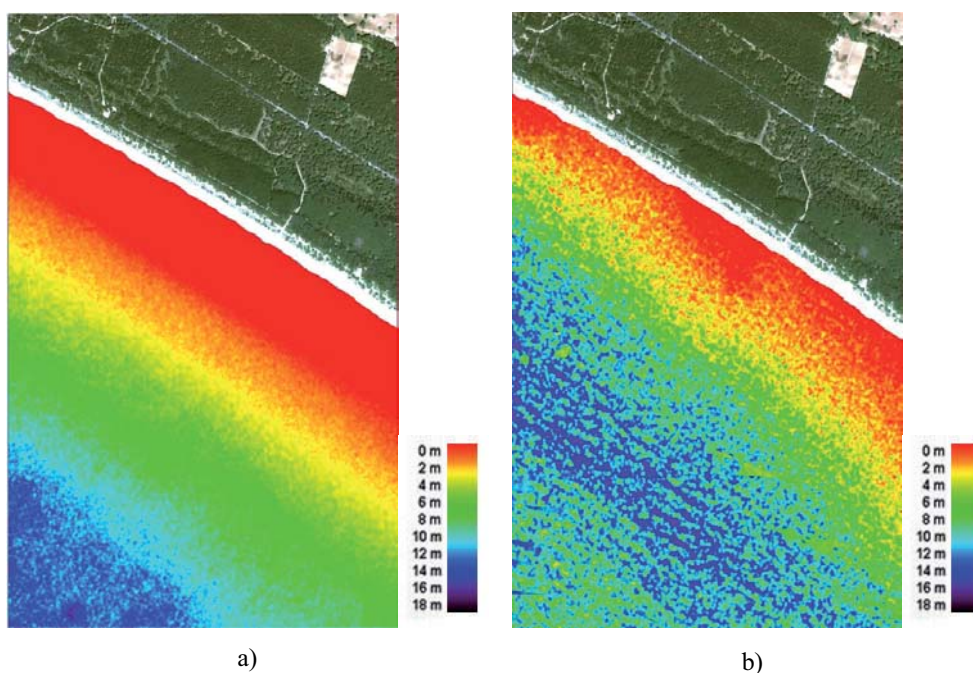


Figura 4 –Mappe batimetriche dell'area di Castiglione della Pescaia ottenute dalle immagini Quickbird relative alle acquisizioni del 26 Aprile 2007 a) e del 14 Luglio 2008 b).

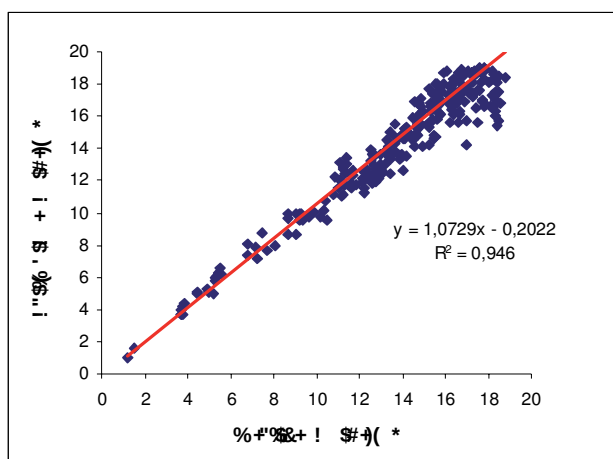


Figura 5 –Scatter plot relativo al caso del 2007. Sull'asse delle ordinate sono riportati i valori di profondità stimata (in m) dall'algoritmo presentato mentre sull'asse delle ascisse sono riportati i valori di profondità (in m) misurata in situ dall'IIM.

In Figura 5 è riportato lo scatter plot relativo all'immagine del 2007. Sull'asse delle ordinate sono riportati i valori di profondità stimata (in m) dall'algoritmo presentato mentre sull'asse delle ascisse sono riportati i valori di profondità (in m) misurata in situ dall'IIM, utilizzati. Si può notare come i dati stimati rispecchino quelli misurati in situ. Calcolando la correlazione tra i dati si ottiene un coefficiente di correlazione di 0.97 che indica un buon accordo tra dati misurati e simulati.

L'errore medio (RMSE) che si commette nella stima è di 0.4 m tra 1 m e 8 m di profondità, 0.6 m tra 8 m e 12 m di profondità, 0.9 m tra 12 m e 15 m di profondità ed arriva a 1.3 m oltre i 15 m di profondità. Tale andamento può essere spiegato con la diminuzione del rapporto segnale-rumore con l'aumentare della profondità. Questo effetto è osservabile anche sul grafico in Figura 5, dove si può notare l'aumento della dispersione dei dati all'aumentare della profondità. Sul grafico è riportata anche la retta di regressione.

Conclusioni

I risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia presentata all'immagine Quickbird del 26 Aprile 2007, e la relativa validazione mediante il confronto con dati in situ permettono di concludere che la tecnica proposta, in condizioni di mare calmo ed assenza di nubi, rappresenta uno strumento a basso costo per la stima della batimetria costiera. E' da notare che tale metodologia è non supervisionata e non necessita di misure in loco. Tutti i parametri utilizzati in ingresso al sistema sono infatti ricavabili da sensori satellitari. La tecnica presentata risulta quindi di grande interesse per l'applicazione in aree difficilmente raggiungibili oppure nel caso in cui non sia possibile effettuare campagne di misure in mare.

Bibliografia

Mayer B. and Kylling A., (2005), "Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations - description and examples of use", *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 1855-1877
Mobley C. D., (1995), "*Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters*", Academic, New York