

## BATIMETRIA COSTIERA CON IMMAGINI SATELLITARI MULTISPETTRALI AD ALTA RISOLUZIONE

Maurizio DEMARTE (\*), Francesco VITI (\*\*), Fabrizio FLORE(\*\*), Emilio SIMEONE (\*\*)

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

(\*\*) Flyby s.r.l., via Puini 97 int.26, 57128 Livorno, Tel. 0586-505016, Fax. 0586-587280, e-mail: info@flyby.it

**Riassunto.** *E' presentato un confronto tra mappe batimetriche di bassi fondali marini, calcolate usando immagini satellitari di aree costiere, e dati batimetrici misurati in situ.*

**Abstract.** *It is presented a comparison between bathymetric maps of shallow sea waters, calculated using satellite imagery of coastal areas, and bathymetric in situ measurements.*

### Introduzione

Nell'ambito del progetto EOREA (*Earth Observation enhanced Rapid Environmental Assessment*) finanziato dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea), è stato sviluppato un metodo di calcolo della batimetria costiera che sfrutta immagini ottiche satellitari multispettrali ad alta risoluzione spaziale. Flyby ha messo a punto l'algoritmo e implementato il metodo di calcolo; i rilievi batimetrici *in situ* utili alla validazione sono stati forniti da IIM (Istituto Idrografico della Marina); NURC (*NATO Undersea Research Center*) ha misurato alcuni importanti parametri marini *in situ*, mentre altri parametri meteo-marini sono stati calcolati da SOS (*Satellite Observing Systems*), in base a dati satellitari.

### Metodi sperimentali

Sfruttando il fatto che i fenomeni di scattering e di assorbimento della radiazione solare che avvengono nell'acqua di mare dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione stessa, è possibile ricavare attraverso l'analisi di immagini multispettrali la stima della mappa di batimetria per una area di mare costiera ove sia visibile il fondo.

L'inversione di modelli di trasferimento radiativo in atmosfera e quindi in mare, tenendo conto dell'effetto di riflessione sul fondale, è stata qui applicata a un tratto di costa a basso fondale presso Rodi Garganico in cui erano disponibili i dati batimetrici da campagne di misure effettuate da IIM.

La ricostruzione batimetrica riguarda i primi 15 metri di profondità di un tratto di costa ripreso dal sensore satellitare Quickbird il 15 Agosto 2006 (vedi Figura 1). La risoluzione spaziale dell'immagine è di 2,6 metri, le bande utilizzate sono: blu (450-520 nm), verde (520-600 nm), rosso (630-690 nm). Le coordinate centrali dell'immagine sono: Lat 41.99 N, Lon 15.91 E

La tecnica necessita di un simulatore bio-ottico e di alcuni dati ausiliari, come la concentrazione di clorofilla-a, la riflettanza del fondale ed alcuni parametri atmosferici. Occorre anche effettuare una correzione atmosferica per riportare le radianze TOA (Top Of Atmosphere) in radianze sopra il livello del mare.

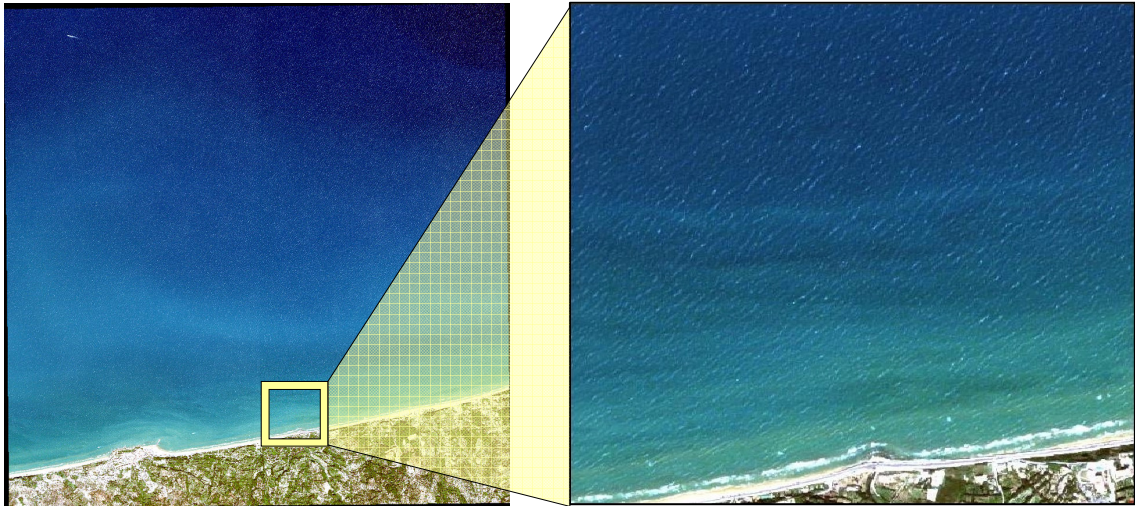


Figura 1- Immagine Quickbird e area analizzata

Lo schema di processamento è illustrato in Figura 2.

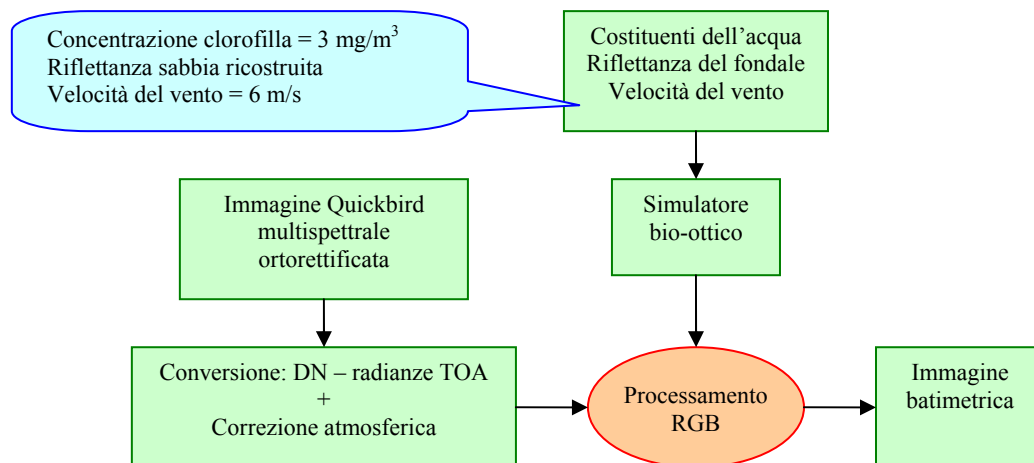


Figura 2 - Schema di processamento per la stima della batimetria

Occorre notare che tale tecnica ipotizza un fondale uniforme e una concentrazione uniforme dei costituenti dell'acqua, mentre, come si può vedere nell'immagine di Figura 1, le condizioni non sono molto favorevoli, in quanto caratterizzate da:

- torbidità non uniforme
- alta concentrazione di clorofilla
- superficie del mare increspata

### Dati ausiliari

Nell'ipotesi che in questo caso la clorofilla-a sia la principale causa di torbidità, la sua concentrazione è stata ricavata utilizzando misure effettuate da NURC con spettrofluorimetro AC9, il 26 Agosto 2006, nell'area GS1 situata ad una distanza di circa 3600 metri dalla costa (vedi Figura 3). Sulla base di tali dati è stata fatta un'estrapolazione utilizzando il simulatore bio-ottico e le

radianze osservate per ricavare le condizioni dell'area di interesse compresa entro 1600 m dalla costa.

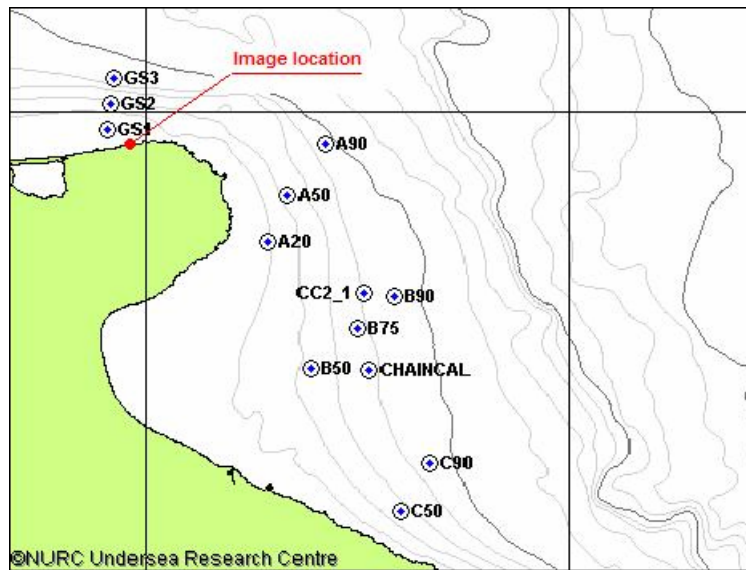


Figura 3 – Localizzazione della zona d'interesse e delle misurazioni ausiliarie

Le misurazioni indicano un valore di  $1.7 \text{ mg/m}^3$ , mentre la concentrazione estrapolata da utilizzare come input per il processamento è pari a  $3 \text{ mg/m}^3$ .

Le informazioni sulla velocità del vento del giorno 15 Agosto 2006 nella località interessata sono state fornite da SOS e indicano un valore di circa 6 m/sec.

Per determinare la riflettanza del fondale si è fatta l'ipotesi che essa coincida con la riflettanza della sabbia bagnata sulla spiaggia. Pertanto, nell'immagine satellitare sono state individuate tre condizioni di sabbia: asciutta, semi-bagnata e bagnata (vedi Figura 4) e i valori rispettivi sono stati confrontati con dati di archivio riguardanti lo spettro di alcuni tipi di sabbia: chiara, media e scura.

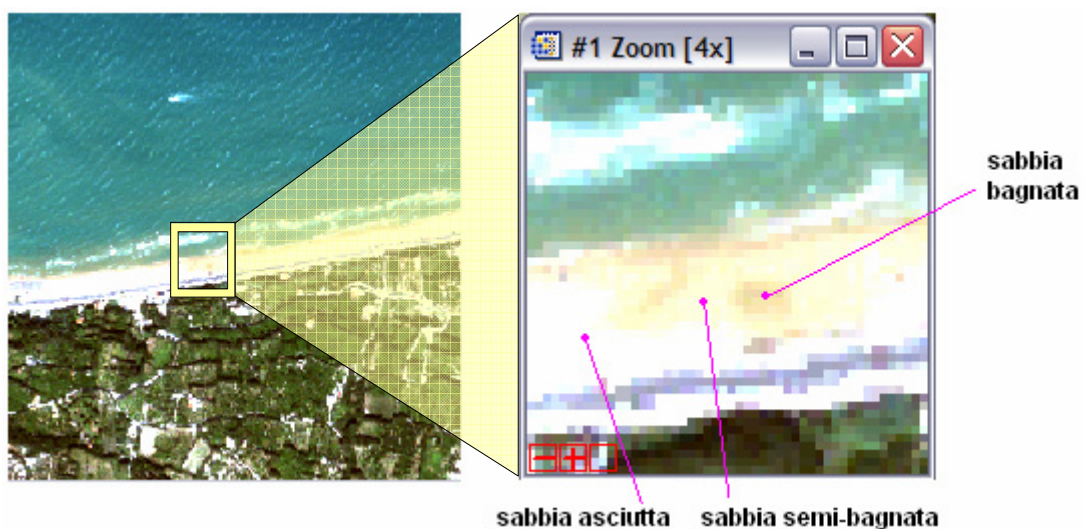


Figura 4 – Individuazione di tre condizioni di sabbia

Lo spettro di riflettanza della sabbia “media” è stato quindi adattato per rappresentare la condizione di sabbia bagnata, come mostrato in Figura 5.

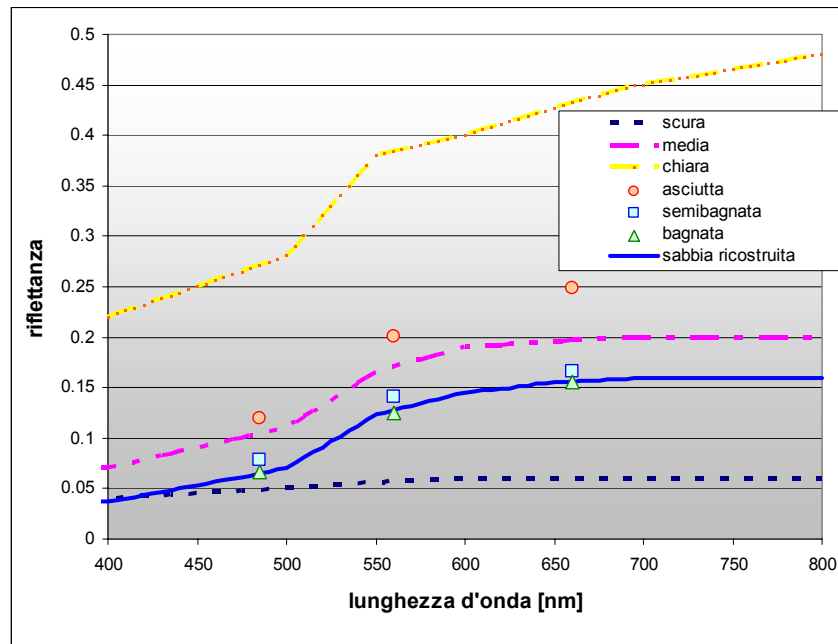


Figura 5 – Ricostruzione della riflettanza della sabbia del fondale

### Risultati ottenuti

In Figura 6 è riportata la mappa batimetrica ottenuta con la tecnica sviluppata da Flyby. E' evidenziato il transetto su cui è stato fatto uno dei confronti con i dati *in situ*, riportato in Figura 7.

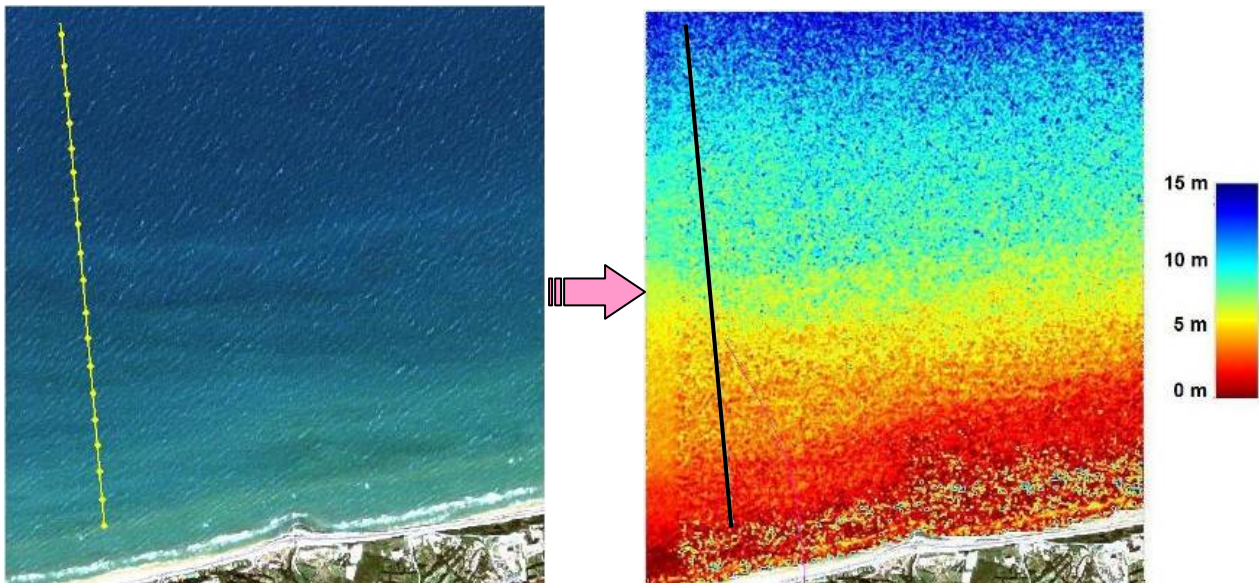


Figura 6 – Mappa batimetrica e transetto



I dati batimetrici misurati *in-situ* usati per la validazione del metodo sono stati acquisiti mediante ecoscandaglio da IIM negli anni '70, con un errore di misura di 10-15 cm. Tali misure sono illustrate in Figura 7, come esempio di transetto, e in Figura 8, come visualizzazione 3D.

La pluridecennale età delle misure batimetriche disponibili non ha purtroppo permesso un confronto dei dati esaustivo ed ottimale in quanto non è escludibile, a priori, l'ipotesi di azioni di ripascimento e/o erosione (essenzialmente naturali) che abbiano potuto modificare l'andamento del profilo del fondale, in particolare nei primi 200/400 metri dalla battigia.

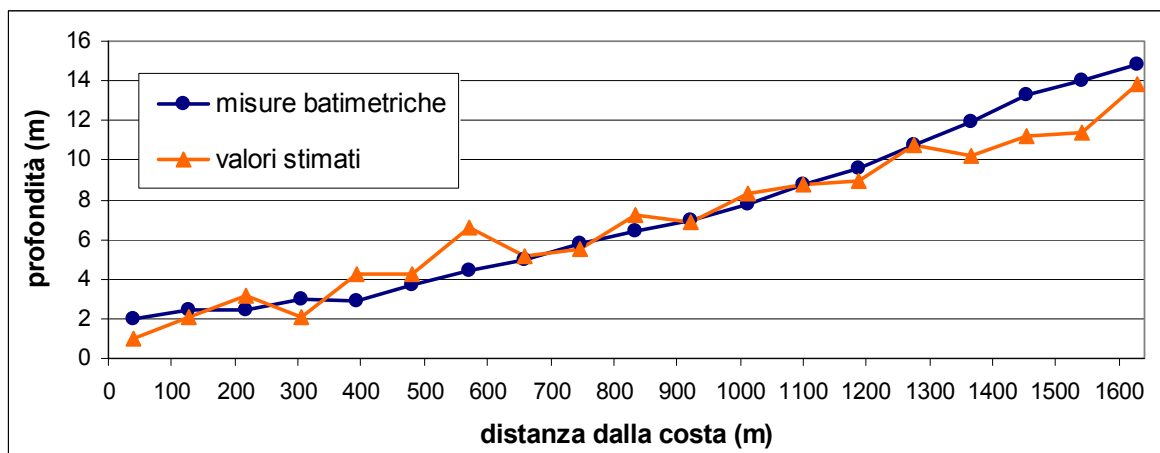


Figura 7 – Confronto su un transetto tra profondità misurate e calcolate

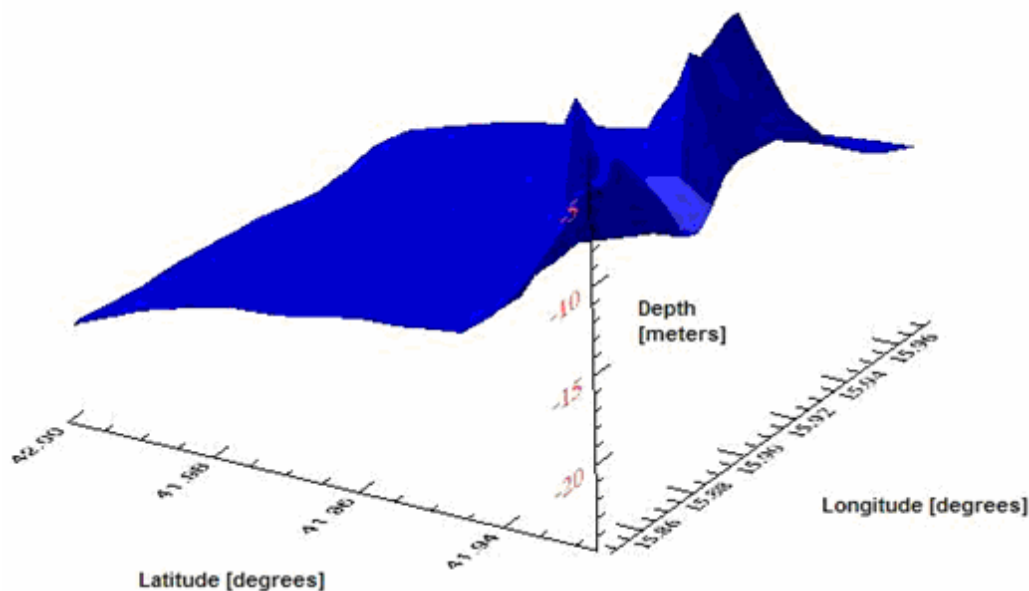


Figura 8 – Misure batimetriche disponibili, visualizzazione 3D

Dal confronto globale con i dati *in situ* risulta un *root mean square error* di poco più di 1 metro nei primi 10 metri di profondità (vedi Figura 9). Tale errore aumenta insieme con la profondità, a causa della sempre minore visibilità del fondale. In Figura 10 è riportato invece lo scatterplot.

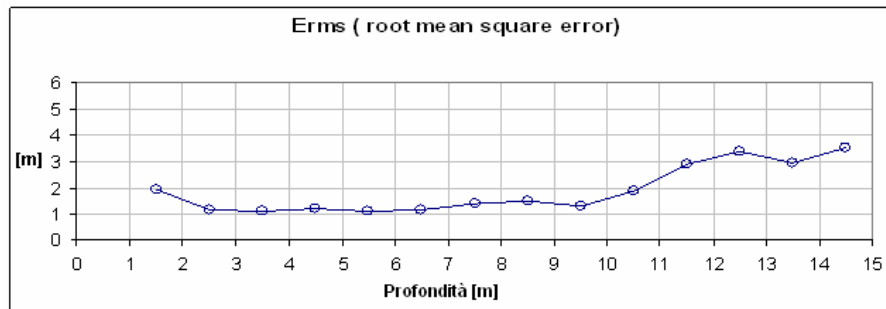


Figura 9 – Root mean square error

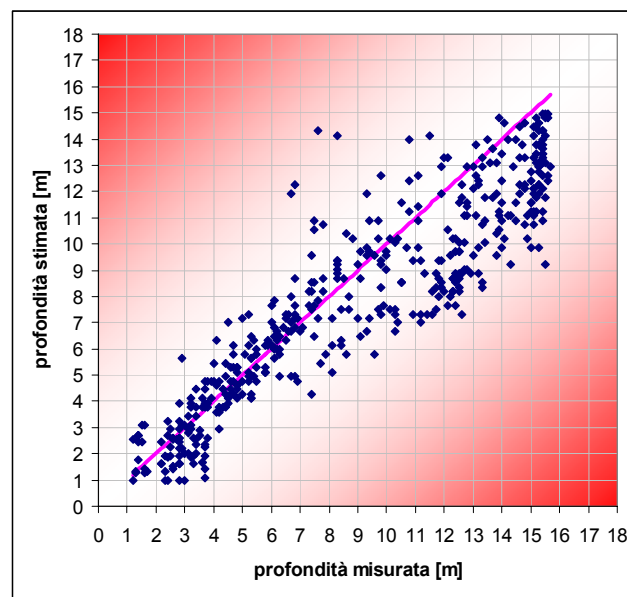


Figura 10 – Scatterplot

## Conclusioni

Nonostante le condizioni marine non ottimali per l'applicazione della tecnica impiegata, nonostante la distanza temporale tra misure di clorofilla e dati satellitari e nonostante non sia stato possibile includere l'errore dovuto alle possibili variazioni del fondale marino tra il momento delle misure *in situ* e quello dell'acquisizione satellitare, i risultati del confronto con i dati *in situ* appaiono soddisfacenti, in particolare per quanto riguarda l'errore, limitato a circa 1 metro per i primi 10 metri di profondità. Come esempio di paragone si può citare il lavoro analogo di Stumpf, basato su dati ad alta risoluzione del satellite Ikonos, (Stumpf et al., 2003): l'errore relativo è di circa il 10% per profondità di 10 m e di circa il 20% per profondità di 15 m, come nel nostro caso.

Eventuali futuri sviluppi del metodo possono consistere in una maggiore accuratezza del modello, ad esempio considerando altri parametri e variandoli sull'area anziché assumendoli costanti, ed anche in una maggiore precisione dei valori in ingresso al modello e in una loro maggiore vicinanza temporale con i dati satellitari.

## Bibliografia

Stumpf R.P., Holderied K., Sinclair M. (2003), "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types", *Limnology Oceanography*, 48 (1, part 2), 547–556.