

Realizzazione di modelli digitali topo-batimetrici da drone

Irene Mammì¹, Lorenzo Rossi^{1,2}, Giovanni Vitale¹, Antonio Zeoli³

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze,

²GeoCoste S.n.c.,

³Officina Tecnica S.r.l.

Riassunto

Il presente lavoro costituisce una sperimentazione di rilievo combinato di spiaggia, topografico e batimetrico, attraverso l'utilizzo di immagini da fotocamera da drone e rilievo GPS.

Il rilievo, il DSM (Modello Digitale della Superficie) e l'ortofoto della zona di interesse sono stati realizzati applicando la tecnica fotogrammetrica su foto aeree di prossimità (bassa quota) acquisite mediante un Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto. I singoli fotogrammi vengono ortorettificati seguendo la procedura della triangolazione aerea di un blocco di immagini che ricostruisce l'orientamento interno ed esterno della presa e utilizzano un modello digitale del terreno ottimizzato iterativamente per le correzioni delle deformazioni dovute alla morfologia del territori. Il modello è stato quindi scalato e georiferito tramite punti di appoggio acquisiti contemporaneamente e nella stessa area con GPS.

La validità di questo sistema di acquisizione è stata testata confrontandolo con il modello digitale della spiaggia emersa e dei fondali ottenuto con rilievo GPS RTK unito ad un rilievo single-beam per la parte idrografica. La comparazione è stata effettuata calcolando le differenze in quota tra il rilievo da drone ed i punti acquisiti tramite rilievo tradizionale prima sul DEM originale e poi su una versione ottimizzata.

Parole chiave: Drone, Rilievo topo-batimetrico, Fotogrammetria

Abstract

This study describes a new test for combined topo-bathymetric beach survey, using drone camera images and GPS. A photogrammetric technique on low altitude aerial photos acquired through an Unmanned Aerial Vehicle. Survey was applied in order to obtain survey DSM (Digital Surface Model) and orthophotos in the area of interest. The camera was especially modified through filters in order to obtain a greater penetration into the water. The acquired images were further processes to fix deformation errors in the air-water passage. The model was then scaled and georeferenced through the support of ground control points acquired simultaneously in the same area with GPS on land and with a single beam echo-sounder in the submerged area. The validity of this acquisition system has been tested, comparing it to a digital model of the dry beach and the nearshore that had been obtained in a single-beam/RTKGPS combined survey. For this comparison, height differences between the drone survey and points acquired through traditional survey were calculated, considering the original elevation model and the control points optimized version.

Key words: Drone, UAV, topo-bathymetric survey, photogrammetry, remote sensing

Introduzione

La mappatura superficiale del fondo marino risulta di fondamentale importanza per la comprensione dei processi sedimentologici come il trasporto dei sedimenti e la distribuzione ed estensione degli habitat bentonici (Dartnell e Gardner, 2004).

I metodi geofisici, ed in particolare quelli acustici, sono ampiamente utilizzati per lo studio e il monitoraggio delle aree marine e costiere (Morang et al, 1997). L'impossibilità di acquisire omogeneamente dati nella fascia di transizione da fondali profondi a poco profondi e nella zona intertidale rappresenta senza dubbio la maggiore limitazione nell'impiego di strumenti acustici tradizionali.

A tal scopo, sono spesso associati a rilievi classici single beam e multibeam i rilievi da remoto come quello LIDAR e multispettrale (Lyzenga, 1985). Entrambe le tecnologie di telerilevamento presentano diversi svantaggi: nel caso del LIDAR batimetrico, ad esempio, la densità e la profondità di campionamento è in funzione della torbidità delle acque, mentre il tasso di copertura è limitato dall'altezza del velivolo e dall'angolo di apertura con il quale lo scanner opera (Lyzenga, 1985), mentre le immagini satellitari multispettrali non forniscono ancora l'accuratezza richiesta.

L'acquisizione di superfici e l'elaborazione di DSM (Digital Surface Model) ad alta risoluzione è stata dominata, fino a poco tempo fa, dall'uso del LIDAR terrestre e batimetrico e da ecoscandagli multi fascio (Haala e Rothermel, 2012). Oggi invece, l'introduzione dei sistemi Sistemi a Pilotaggio Remoto (SAPR) e i diversi sensori associati forniscono un nuovo potente strumento per il monitoraggio costiero degli habitat e per la mitigazione di aree sottoposte a dissesto (Lomax et al., 2005).

I SAPR sono sistemi a basso costo e facilmente trasportabili che, utilizzando la tecnica fotogrammetrica, permettono di acquisire dati territoriali in tempi rapidi e a basso costo.

L'utilizzo combinato delle nuove tecnologie presenti oggi in commercio permette un'integrazione nell'ambito del monitoraggio costiero consentendo di valutare con maggior dettaglio e da differenti prospettive le informazioni delle aree indagate.

Un rilievo eseguito mediante Sistema Aereo a Pilotaggio Remoto, SAPR si compone in una preliminare pianificazione del volo, nell'acquisizione delle immagini ad una quota funzione della risoluzione a terra richiesta ed infine nella creazione di un DSM.

Nel marzo 2015 è stata effettuata, dalla società GeoCoste snc per conto di FUGRO Spa, un'indagine finalizzata alla progettazione del percorso per utenze telefoniche sottomarine di SubCom LLC.

L'area di studio è una piccola baia di 300 m di lunghezza fortemente antropizzata e ubicata in località San Giorgio a sud di Bari. E' caratterizzata da una spiaggia di sabbia grossolana e dalla presenza di affioramenti rocciosi anche nella spiaggia sommersa. Lo studio fa parte di una indagine più ampia per l'approdo di un cavo sottomarino (Fig. 1).



Figura 1. Tratto di costa interessato dal rilievo.

Materiali e Metodi

Il principale obiettivo del lavoro riguarda l'integrazione di due metodologie: il rilievo da drone e quello batimetrico mediante *single beam*, al fine di arrivare ad ottimizzazione nell'esecuzione dei rilievi idrografici in acque molto basse.

Per il rilievo topo-batimetrico, il DSM (Modello Digitale della Superficie) e l'ortofoto ad alta risoluzione della zona di interesse sono stati realizzati applicando una tecnica fotogrammetrica su foto aeree di prossimità (bassa quota) acquisite mediante un SAPR.

Il SAPR utilizzato (drone) è un velivolo a sei rotori a propulsione elettrica equipaggiato con un sistema automatico di stabilizzazione, un GPS, un "camera mount" stabilizzato per fotocamera ed un ecoscandaglio di precisione. Il sistema di guida prevede sia il completo controllo dell'operatore a terra che la navigazione autonoma su rotte pre-impostate.

In questo lavoro sono stati effettuati tre voli a quote diverse (30, 50, e 80 m) con transetti in direzioni perpendicolari (NS, EW e NS). Insieme al rilievo aereo, sono stati acquisiti dei GCP (Ground Control Point) marini per la georeferenziazione e la creazione del DTM batimetrico. Questo è stato possibile avvicinando il drone alla superficie del mare in modo che l'ecoscandaglio si immergesse di circa 30 cm e rilevasse il punto. I singoli fotogrammi sono stati ortorettificati seguendo la procedura della triangolazione aerea di un blocco di immagini che ricostruisce l'orientamento interno ed esterno della presa e utilizzando un modello digitale del terreno ottimizzato iterativamente per le correzioni delle deformazioni dovute alla morfologia del territorio. Grazie all'utilizzo dei parametri di assetto del velivolo acquisiti dalla IMU/GPS di bordo e l'inserimento dei GCP (sia terrestri che marini) sono stati eliminati gli effetti dovuti alla distorsione della lente e all'orientamento della macchina fotografica.

Le fasi di elaborazione sono state: allineamento scatti, generazione mesh triangolari e modello digitale del terreno (5 x 5 cm), estrazione curve di livello ed orto rettifica, creazione del mosaico georeferenziato delle ortofoto. (Fig. 2).



Figura 2. DEM topo-batimetrico con curve di livello ottenuto da rilievo con drone.

L'accuratezza del modello ottenuto è evidenziata dalla distribuzione dell'errore nelle tre coordinate, calcolato come differenza fra i valori rilevati a terra con rilievo GPS RTK dei punti di controllo e la posizione stimata

dal processo di estrazione del modello digitale. In Tabella 1 sono riportati i valori ottenuti per i soli punti a terra utilizzati per il processo di *scaling* e georeferenziazione.

N°	X/EAST	Y/NORTH	Z	X_ERROR	Y_ERROR	Z_ERROR
point_1	2763911.36	3996847	0.35	0.079511	-0.081956	-0.01648
point_2	2763891.66	3996837	1.47	0.050812	0.051949	0.018196
point_3	2763820.4	3996845	1.79	-0.041808	-0.00663	-0.096473
point_4	2763754.65	39968506	1.14	-0.00174	0.026209	0.01611
point_5	2763744.29	3996812	2.84	0.033239	-0.050176	-0.010212
point_6	2763823.64	3996844	1.6233	-0.005795	0.057851	-0.00654
point_7	2763880.32	3996837	1.5082	-0.121416	-0.016788	-0.002708
point_8	2763918.28	3996829	1.4766	0.016796	0.062863	0.019433
			Total error	0.06122	0.054009	0.013312

Tabella 1 – Stima dell'accuratezza nei punti di controllo a terra.

Analisi dei dati e discussione

Il rilievo batimetrico da drone si è esteso fino a circa 4 m di profondità. La fotocamera è stata dotata di particolari filtri sulle frequenze del blu e del verde per una maggiore penetrazione in acqua e per l'utilizzo di diverse bande. Le immagini sono state quindi elaborate attraverso il software ENVI per evidenziare ulteriormente le forme di fondo. Sono state inoltre apportate modifiche per la correzione radiale e per la rifrazione aria-acqua. Il vantaggio della bassa quota di volo (50 m) rispetto alle immagini satellitari ha consentito inoltre di trascurare correzioni atmosferiche e di ottenere accuratèzze di ordine centimetrico. Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Agisoft PhotoScan ed alcuni applicativi proprietari. Ulteriori sviluppi del metodo prevedono estrazione di dati batimetrici da rapporti spettrali fra bande di immagini digitali nonché da semplici regressioni polinomiali che legano l'intensità del pixel alla profondità.

L'accuratezza del sistema di acquisizione da drone è stata testata confrontandolo con il modello digitale della spiaggia emersa e dei fondali ottenuto con rilievo GPS RTK unito ad un rilievo single-beam per la parte idrografica.

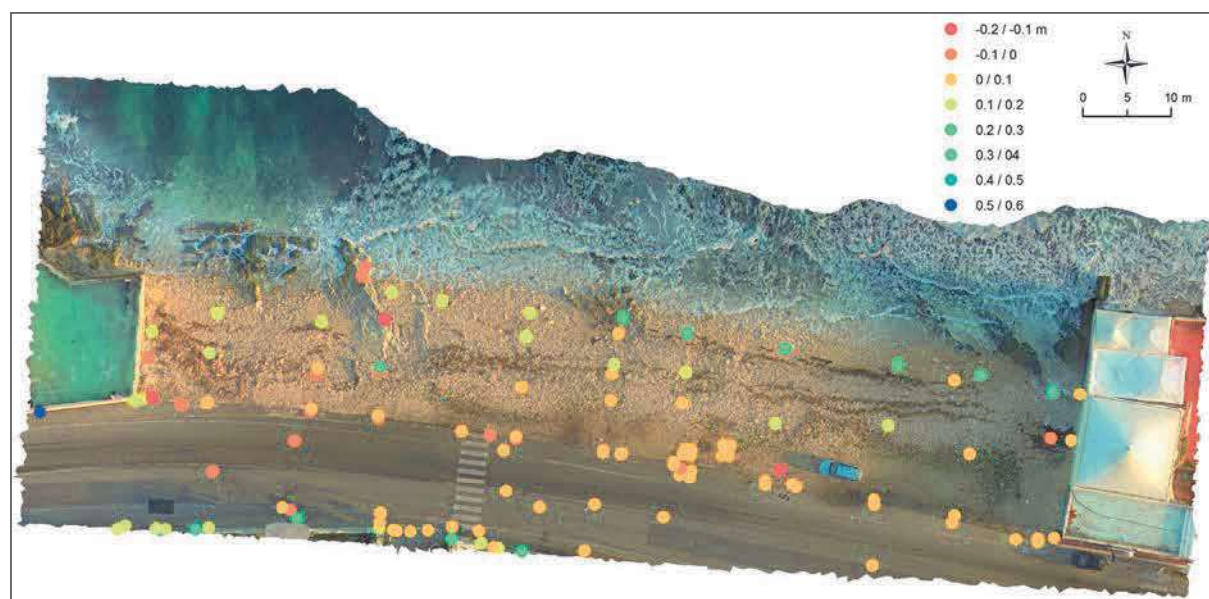


Figura 3. Differenze di quota fra i punti del DEM realizzato da drone e rilievo GPS su spiaggia emersa.

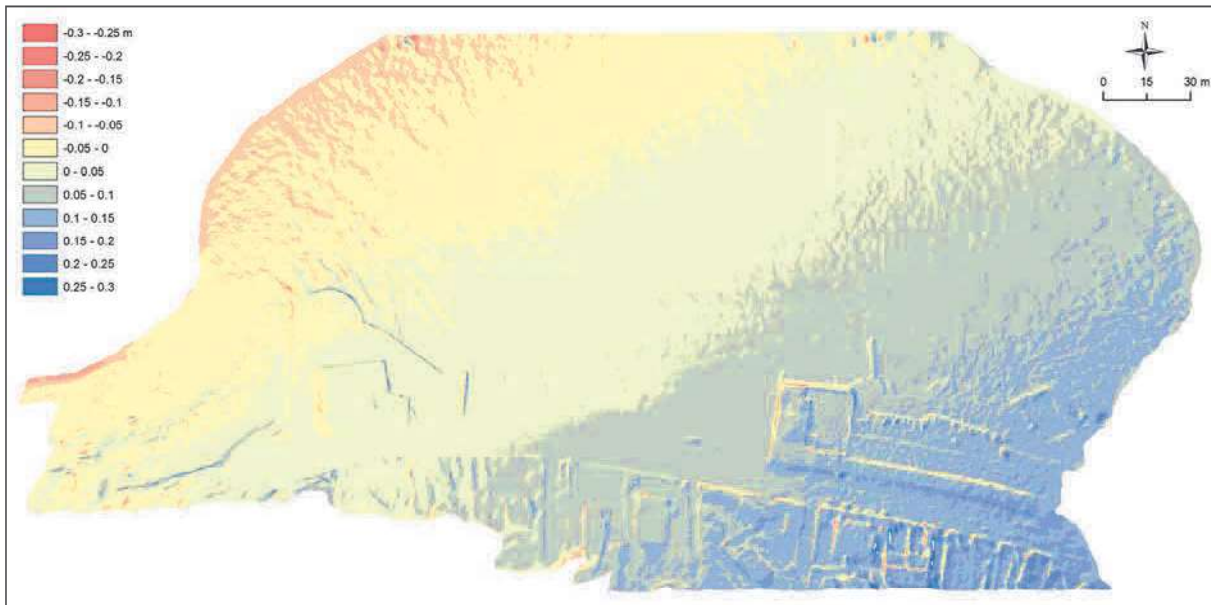


Figura 4. Differenze in quota fra il DEM ottenuto da drone e la sua versione corretta con punti di controllo.

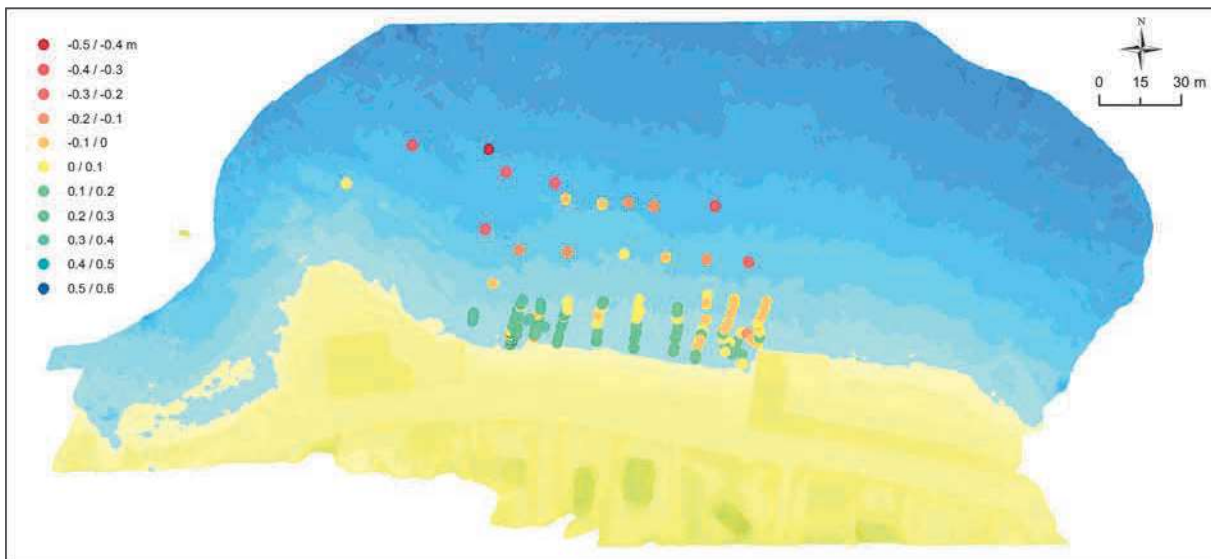


Figura 5. Differenze di quota fra i punti del DEM realizzato da drone, corretto con punti di controllo, e rilievo single-beam su spiaggia sommersa.

La comparazione è stata effettuata calcolando le differenze in quota tra il rilievo da drone ed i punti acquisiti tramite rilievo tradizionale, prima sul DEM originale e poi sulla versione ottimizzata calibrando il modello sia con dei GCP a terra che in mare. Considerando la sola spiaggia emersa, la differenza media tra i valori del modello DEM ottenuto da drone e il rilievo topografico, misurata su 126 punti, è pari a 8 cm, con un errore massimo di 52 cm (Fig. 3).

Per quanto riguarda la spiaggia sommersa, per ottenere delle differenze di ordine di grandezza accettabili bisogna considerare la versione calibrata con i GCP. Questa mostra variazioni fino a ± 30 cm rispetto all'originale (Fig. 4) nelle aree più lontane ai punti di controllo. In questo caso, calcolando le differenze in 127 punti sotto la quota zero ed entro la profondità di 2 m, si ottiene una differenza media di 16 cm ed una massima anche in questo caso di 52 cm (Fig. 5).

I confronti puntuali fra misure dirette topografiche e batimetriche e i DTM estrapolati da drone non sono da

ritenersi completamente indicativi a causa dell'elevata rugosità dei fondali dovuta alla loro natura sabbioso-rocciosa ed a quella ciottolosa della spiaggia emersa. Ovvero è difficile individuare dei punti di raffronto esatti.

Conclusioni

La tecnica proposta offre notevoli vantaggi soprattutto in aree come quella in oggetto in cui un rilievo di dettaglio in acqua bassa non è ottenibile attraverso nessuna altra tecnologia. I risultati ottenuti mostrano un grado di accuratezza equiparabile ad un rilievo tradizionale. Tale vantaggio può essere sfruttato anche per creare DTM di alta precisione di strutture poco accessibili, come le dighe foranee o le scogliere parallele emerse e sofolte (Fig. 6).

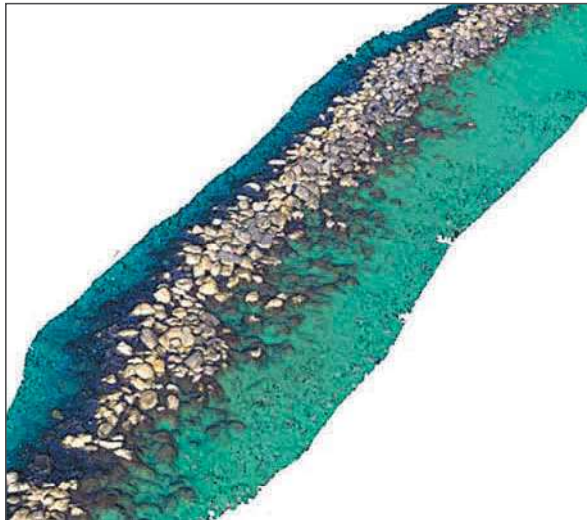


Figura 6. Modello 3D di una scogliera parallela.



Figura 7. Ortofoto di un tratto di mare con plume di dragaggio.

Il rilievo batimetrico da drone permette inoltre di restituire mappe di pericolosità per la balneazione sia in coste alte che basse, identificando e mostrando la presenza di buche o scogli sommersi.

Attraverso le immagini da drone è possibile inoltre monitorare in tempo reale i *plume* di sedimento durante i dragaggi (Fig. 7); un campionamento diretto della torbidità permette di associare al colore del pixel un valore di riferimento. Altro campo di applicazione è quello della *beach litter*, dove i primi test hanno dato interessanti risultati.

Bibliografia

- Dartnell P., Gardner J.V. (2004) - *Predicting Seafloor Facies from Multibeam Bathymetry and Backscatter Data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70: 1081–1091.
- Haala N., Rothemel M. (2012) - *Dense Multi-Stereo Matching for High Quality Digital Elevation Models*. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 4: 331–344.
- Lizenga D.R. (1985) - *Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data*. Int. J. Remote Sensing, 1985: 115.125.
- Lomax A.S., Corso W., Etro J.F. (2005) - *Employing unmanned aerial vehicles (UAVs) as an element of the Integrated Ocean Observing System*. Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE. Vol. 1, pp 184-190.
- Morang A., Larson R., Gorman L. (1997) - *Monitoring the coastal environment; Part III; Geophysical and research methods*. Journal of Coastal Research, 13: 1064-1085.

Ricevuto il 15/12/2016; accettato il 05/02/2017