

Monitoraggio delle qualità ambientali delle spiagge da drone

Lorenzo Rossi^{1,2}, Irene Mammi²

¹Geocoste Snc. Via Corsi 19, 50141 Firenze.

Email: lrossi@geocoste.com

²GNRAC - Gruppo Nazionale per la Ricerca sull'Ambiente Costiero, Corso Europa, 26 - 16132, Genova.

Email: irenemam3@gmail.com

Riassunto

I metodi di rilievo basati su immagini acquisite da UAV (Unmanned Aircraft Vehicle), o più comunemente droni, sono oggi le tecniche più usate per la produzione dei modelli digitali del terreno (DTM) e le ortofoto derivate. In questo lavoro si riportano i risultati di alcune indagini sperimentali per il monitoraggio ambientale costiero utilizzando un drone economico ed altri sensori come una sonda di torbidità. Le applicazioni riguardano la mappatura dei rifiuti spiaggiati e la valutazione della torbidità delle acque durante i dragaggi. La metodologia proposta mostra che il drone può diventare un utile strumento per programmi di monitoraggio di aree costiere in ambienti sensibili.

Parole chiave: UAV, drone, monitoraggio ambientale costiero, torbidità, dragaggi, rifiuti.

Abstract

Surveying methods based on images acquired by UAVs (Unmanned Aircraft Vehicle), or more commonly drones, are today the most used systems for the production of digital terrain models (DTM) and derived orthophotos.

This paper reports the results of some experimental investigations for coastal environmental monitoring using an economic drone and other sensors such as a turbidity probe. The applications concern beach litter mapping and the assessment of turbidity of water during dredging. The proposed methodology shows that the UAV can become a useful tool for monitoring programs of coastal areas in sensitive environments.

Keywords: UAV, drone, environmental coastal monitoring, water turbidity, dredging, beach litter, Posidonia, GEOBIA.

Premessa

Le attività di monitoraggio, valutazione, rendicontazione e gestione sono componenti essenziali di ogni efficace politica di protezione costiera (Day, 2008). A tale scopo, le immagini ad altissima risoluzione ed i DTM (modelli digitali del terreno) sono tipologie di dati sempre più utilizzati nei monitoraggi degli ambienti marini (Klemas, 2015) costituendo importanti risorse sia per gli studi di gestione integrata delle zone costiere (ICZM) sia per scopi ambientali o per la sicurezza della balneazione.

Oggi, questi dati sono acquisiti principalmente da sistemi LiDAR, con la fotogrammetria da drone (Papakonstantinou et al., 2016) e attraverso il telerilevamento satellitare.

La fotogrammetria da drone, spesso indicata anche con SfM (Structure from Motion), presenta, però vantaggi come la copertura completa delle aree d'interesse con un'elevatissima precisione o la capacità di fornire rapidamente immagini ad alta risoluzione spaziale unite ad un alto grado di flessibilità operativa (Nex e Remondino, 2011) ed al costo contenuto. In particolare, in campo ambientale, gli ecologisti richiedono dati raccolti a risoluzioni spaziali e temporali appropriate per descrivere i processi e per la ricostruzione degli

habitat. I droni, oltre ad essere sistemi a basso costo, sono facilmente trasportabili e in grado di raccogliere dati in breve tempo e l'utilizzo di tecniche SfM da bassa quota è aumentata soprattutto grazie allo sviluppo di queste piattaforme aeree (Yang Chao et al., 2010).

Le applicazioni sono diverse come nell'agricoltura di precisione, nell'archeologia o per il monitoraggio terrestre e marino (Lucieer et al., 2014, Turner et al., 2016).

Nella zona costiera i rilievi da drone sono principalmente utilizzati per la ricostruzioni tridimensionale della spiaggia e delle opere di difesa (Gonçalves e Henriques, 2015), per il monitoraggio della linea di riva e dei primi fondali (Mammì et al., 2017) o degli habitat emersi o sommersi (Ventura et al., 2018).

Il fine di questo studio è stato quello di effettuare una prima valutazione dei potenziali di questa metodologia rivolti ad alcune attività di monitoraggio ambientale costiero, in particolare valutare se le immagini acquisite da un drone potrebbero diventare strumenti utili a supporto della gestione costiera. A tale scopo è stato utilizzato e valutato un approccio scientifico interdisciplinare attraverso l'uso di tecniche SfM, del rilievo topografico con GPS, Side Scan Sonar e di una sonda per la misura della torbidità. Sono stati rilevati ed analizzati i dati su due aeree costiere situate presso il delta del fiume Ombrone (GR), alla foce del fiume Magra (SP) e su una spiaggia dell'Isola d'Elba (LI). Sulla prima è stata sperimentata un'applicazione per il monitoraggio dei rifiuti in spiaggia, sulla seconda lo studio è consistito nella mappatura della torbidità causata dall'attività di dragaggio, mentre all'Isola d'Elba è stato eseguito un rilievo geomorfologico del fondale marino per la mappatura della Posidonia oceanica.

Materiali e Metodi

La SfM è una metodologia di rilievo da cui si ottengono DTM ed ortofoto di un'area investigata a partire da immagini, in questo caso acquisite da drone. Per la georeferenziazione delle immagini sono anche necessari punti di controllo a terra (GCP) rilevati con GPS differenziale.

Una volta che la missione e la modalità di acquisizione delle immagini sono state programmate, il volo del drone prosegue in modalità automatica ed in autonoma. Le immagini sono registrate da una telecamera integrata sul mezzo insieme alla posizione e alle informazioni di assetto. Una alta sovrapposizione delle immagini è fondamentale per la qualità dei risultati.

Il drone utilizzato in questo studio è stato un DJI Phantom 3 equipaggiato con una fotocamera non metrica RGB da 12,4 megapixel e un obiettivo F/2,8 da 14 mm con un angolo di visione diagonale di 94°. La fotocamera è stata impostata per scattare automaticamente un'immagine ogni secondo. L'assetto e la velocità di volo sono state impostate per avere il 60% circa di sovrapposizione delle immagini al fine di ottenere modelli con risoluzioni a terra molto spinte ovvero di pochissimi cm. La precisione dipende principalmente dalla risoluzione della fotocamera, dall'altitudine e dalla velocità di volo e dal numero di GCP.

Per la misurazione della torbidità dell'acqua è stata utilizzata una sonda di profilatura multiparametrica. L'elaborazione delle immagini è stata eseguita con i software Photoscan, ENVI, eCognition ed ArcGis. Questi programmi hanno permesso la correzione e l'orientamento delle immagini, l'estrazione delle nuvole di punti, la produzione di un mosaico di ortofoto ed il riconoscimento automatico delle forme per la mappatura della Posidonia e la quantificazione della spazzatura spiaggiata.

Risultati

Rilievo dei rifiuti sulla spiaggia

Il delta del fiume Ombrone si trova nel sud della Toscana. L'unità fisiografica si estende da Punta delle Rocchette a nord fino ai Monti dell'Uccellina, a sud. L'intero delta appartiene al Parco Nazionale della Maremma. L'area di studio è di circa 0,1 km² e si trova in prossimità della spiaggia posta sull'ala sud del delta (Figura 1).

Durante la stagione estiva le spiagge del parco attirano molti bagnanti. La presenza di spazzatura, insieme all'erosione ed al legname spiaggiato sono tre dei principali problemi che affliggono l'ecosistema marino e costiero in quest'area.

Fino ad oggi, il metodo più comunemente usato per il monitoraggio dei rifiuti marini (Rees, 1995) è stato attraverso indagini in situ con campionamenti manuali (Madzena e Lasiak, 1997, Legambiente, 2016). Pochi metodi di telerilevamento (Jang et al., 2015) sono stati applicati per affrontare il problema (Kataoka et al., 2012), soprattutto utilizzando immagini da drone (Martin et al., 2018). Alcuni sistemi alternativi sono stati anche studiati per la classificazione e la catalogazione dei rifiuti in mare (Balas, 2004).



Figura 1. Area di studio sul delta del Fiume Ombrone (GR). Immagine da Google Earth.

Per monitorare la quantità di rifiuti in spiaggia è stato eseguito un rilievo tramite drone utilizzando tecniche fotogrammetriche. Per ottenere un'immagine molto accurata è stato eseguito un volo a bassissima quota (7 m) condotto ad una velocità di 3 m/s ed è stato quindi elaborato un DEM a risoluzione 0,1 x 0,1 m. Per la georeferenziazione del DEM e delle ortofoto sono stati misurati 12 GCPs con un GPS differenziale. Inizialmente è stato elaborato un GeoTIFF utilizzando il software fotogrammetrico Photoscan, in seguito l'immagine è stata elaborata per isolare e mappare i rifiuti. Per questo è stata utilizzata una metodologia di elaborazione dedicata i cui passaggi sono mostrati in Figura 2 relativa ad una porzione di spiaggia di 100 m² (Figura 2 a). Le tecniche di elaborazione ed estrazione automatica di caratteristiche dalle immagini, PBC (Pixel-based) e OBIA (Object Based Image Analysis) sono state recentemente molto sviluppate e migliorate.

In questo tipo di analisi la relazione tra gli oggetti presi in considerazione e la risoluzione spaziale è molto importante. L'alta risoluzione del nostro rilievo (pixel di 1,5 cm), dove i pixel sono più piccoli della maggior parte dei rifiuti ricercati, ha permesso una segmentazione in gruppi di pixel per applicare la classificazione tipo OBIA (Blaschke, 2010). L'accuratezza della classificazione delle immagini dipende direttamente dalla precisione della segmentazione. Al fine di identificare con il maggiore dettaglio possibile tutto il materiale presente sulla superficie della spiaggia è stato applicato uno strumento di classificazione delle soglie basato su oggetti (eCognition) per una segmentazione a scala fine (Figura 2b). I colori degli oggetti, precedentemente selezionati, sono stati quindi maggiormente evidenziati rispetto alla sabbia sottostante, in modo da consentire una migliore separazione degli stessi dal fondo e dal legname. Infine, usando l'estensione Spatial Analyst di ArcGIS, è stata calcolata l'area totale caratterizzata solo da oggetti artificiali applicando una classificazione di immagine "supervised" (Figura 2 c). Per l'area considerata di 100 m², la superficie della spiaggia coperta da rifiuti è risultata di circa 4 m² e quella coperta da legname di 26 m². Nell'area totale la superficie calcolata di "beach litter" è stata di circa 1800 m².

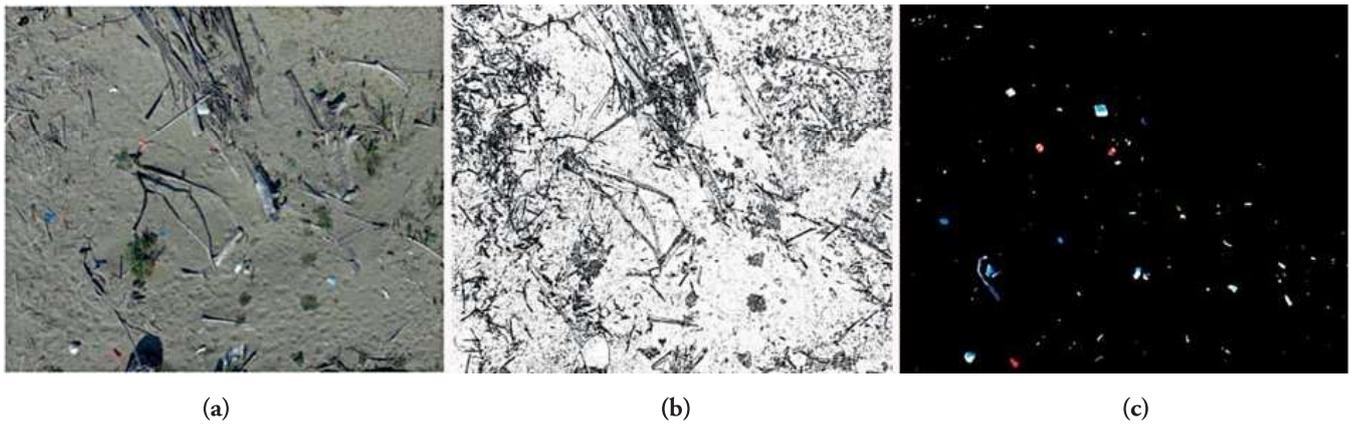


Figura 2. Particolare ingrandito della spiaggia (a); estrazione dei bordi (b); tracciamento dei colori degli oggetti (c).

I risultati sono stati verificati confrontandoli con una misurazione effettuata tramite raccolta manuale della spazzatura con il metodo di campionamento equidistante. La misurazione eseguita manualmente ha restituito una differenza del 12% di materiale in più presente sulla spiaggia, probabilmente dovuto principalmente a oggetti di plastica semi-trasparenti difficilmente riconoscibili dalle immagini prese col drone. Questa nuova metodologia potrebbe essere uno strumento utile per monitorare l'impatto del turismo lungo le nostre spiagge o quantificare la deposizione dei rifiuti in spiaggia a seguito di una mareggiata. Un punto a sfavore del metodo è l'impossibilità di rilevare oggetti piccoli e trasparenti inoltre si possono rilevare solo gli oggetti affioranti in superficie ovvero identificabili dalle immagini.

In questo studio, oltre alla quantificazione dei rifiuti in spiaggia, è stato eseguito un calcolo del volume del legname depositato e spiaggiato. Tale materiale, oltre ad essere dannoso per il turismo e la sicurezza rappresenta anche un costo di smaltimento (Bruschi e Pacciani, 2017). A tale scopo, il software PhotoScan consente non solo di generare e visualizzare nuvole di punti densi, ma anche di classificare i punti in diverse classi. La procedura di classificazione automatica prevede che la nuvola dei punti sia divisa in celle di una certa dimensione di cui viene rilevato il punto con minore elevazione e quindi più basso. La triangolazione di questi punti fornisce la prima approssimazione del modello del terreno. Nell'elaborazione sono stati impostati i seguenti parametri: angolo massimo, distanza massima e dimensione della cella. In questo modo è stato possibile separare il DEM del materiale in oggetto, ovvero del legname presente, dal DTM rappresentante il resto della spiaggia ed avente una geometria più piatta. Attraverso una differenza di superfici si è quindi potuto quantificare il volume del legname spiaggiato; per l'area totale che è risultato di circa 700 m³ (Figura 3).

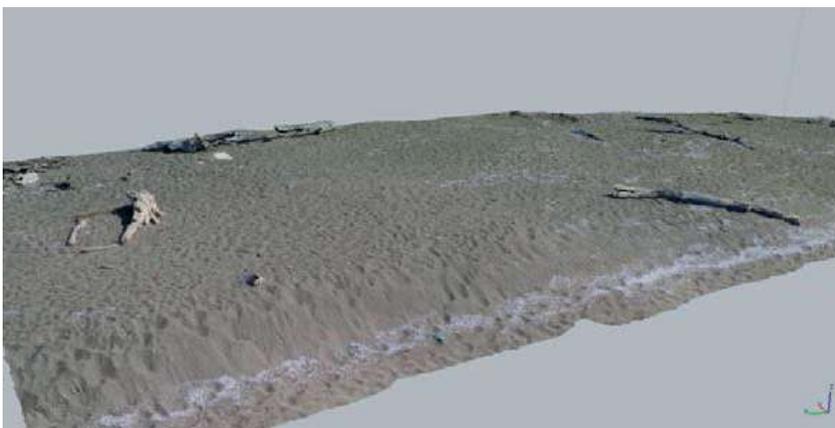


Figura 3. Nuvola dei punti 3D da rilievo drone con legname spiaggiato.

Monitoraggio della torbidità durante un dragaggio

Il fiume Magra si trova nel nord della Toscana vicino al confine con la regione Liguria (Figura 4) e sfocia nel Mar Ligure. La foce del fiume è sempre soggetta a lavori di dragaggio principalmente per la presenza di molti posti barca e luoghi di ormeggio ovvero per garantire la navigabilità.

L'area di studio in prossimità della foce del fiume si trova vicino ad una spiaggia molto frequentata durante la stagione estiva. Questo è il motivo per cui un monitoraggio ambientale accurato e costante del dragaggio, in particolare sull'espansione del pennacchio di torbidità, è fondamentale per prevenire eventuali problemi sulla balneazione. Le attività di dragaggio sono soggette a normative ambientali sempre più restringenti ed i pennacchi di torbidità che si formano in prossimità delle draghe durante queste operazioni non possono superare delle soglie specifiche di torbidità. La loro formazione è comunque legata alla tipologia d'intervento, al tipo di sedimento ed alle caratteristiche della draga, oltre che alle condizioni meteo marine.



Figura 4. Ubicazione area di studio sulla foce de Fiume Magra (SP). Immagine da Google Earth.

Le tecniche di telerilevamento da satellite sono ampiamente utilizzate per la valutazione della qualità delle acque nelle regioni costiere (Dogliotti et al., 2016), nei laghi interni, nei fiumi ed anche per il monitoraggio dei dragaggi (Wu et al., 1997; Kutser et al., 2007).

Un'indagine della torbidità condotta utilizzando un drone presenta però dei vantaggi legati all'elevato dettaglio spaziale delle immagini, all'alta frequenza e alla flessibilità del rilievo.

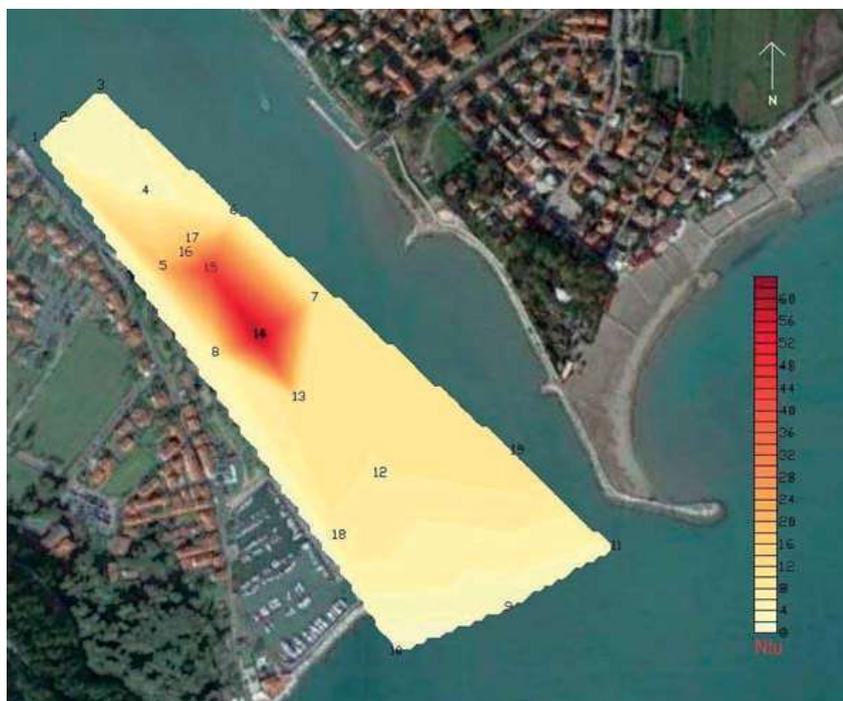
Per verificare la torbidità delle acque del fiume durante un'operazione di dragaggio nel luglio 2016, sono stati effettuati 19 misurazioni utilizzando una sonda parametrica (OBS) (Figura 5).

Durante il rilievo la draga era posizionata vicino ai campioni 15, 16 e 17, dove è stato anche rilevato un valore massimo di torbidità. La sonda è stata immersa fino alla prossimità del fondo del fiume (circa - 4 m) in modo che i valori di torbidità potessero essere raccolti a diverse profondità, attraverso una registrazione in continuo. Tutti i punti di campionamento sono stati posizionati con un GPS NRTK ed acquisiti in coordinate Wgs84 UTM32 (Tabella 1). Il range di valori di torbidità riscontrati, in termini di concentrazione di particelle in sospensione, è variato da 1,58 a 63,54 unità di torbidità nefelometrica (Ntu).

I valori di torbidità dell'acqua più elevati sono stati rilevati in prossimità della superficie, nel primo metro della colonna d'acqua, con un gradiente decrescente verso il fondo. La mappa (Figura 5) della torbidità superficiale mostra come il pennacchio sembra rimanere confinato nell'area di dragaggio. La torbidità diminuisce significativamente a monte e a valle della sorgente e presenta valori normali (pre-dragaggio) nelle stazioni vicine ai margini dell'area. Durante l'indagine era presente una lieve corrente verso mare, così come si può evincere anche dalla forma del plume (Figura 6).

Tabella 1: Valori di torbidità (Ntu) per 19 campioni ubicati nell'area di studio durante il dragaggio.

ID	Est	Nord	Ntu (sup)	Ntu (fondo)
1	578685	4878011	4.09	5.90
2	578719	4878035	4.83	4.29
3	578763	4878074	5.84	5.70
4	578817	4877947	5.40	4.22
5	578838	4877856	22.07	21.24
6	578922	4877923	6.76	5.29
7	579019	4877818	11.12	9.71
8	578900	4877752	7.01	5.48
9	579250	4877446	4.25	1.95
10	579116	4877393	2.09	2.62
11	579379	4877520	5.30	1.68
12	579097	4877608	9.75	1.76
13	579000	4877699	11.62	3.56
14	578954	4877774	62.58	4.79
15	578895	4877854	46.99	36.30
16	578865	4877873	24.34	19.32
17	578873	4877890	20.36	16.95
18	579048	4877533	9.58	3.98
19	579261	4877635	11.80	5.27
		TOT	275.77	160.01

**Figura 5. Mappa della torbidità superficiale ricavata da 19 registrazioni con sonda parametrica. Base da Google Earth.**

Al fine di acquisire le immagini aeree contemporaneamente alle attività di dragaggio è stato eseguito un rilievo da drone. Per evitare l'effetto dei riflessi solari sulla superficie dell'acqua sono state scelte le prime ore del mattino. La quota di volo è stata imposta a 250 m, questo per ottenere immagini più ampie che sono necessarie per pro-

durere il GeoTIFF finale in condizioni particolari come questa. A causa dell'alta percentuale di acqua presente nelle immagini, infatti, e quindi anche dell'impossibilità di avere GCP ben distribuiti, è complicato da parte del software elaborare un corretto calcolo del "bundle adjustment" per la generazione del modello. Ogni immagine è stata quindi posizionata e orientata utilizzando i dati interni del sensore del drone ovvero posizione dal GPS e direzione dalla girobussola, utilizzando anche la tecnica del "course made good" (CMG) che calcola la direzione dalle successive posizioni del GPS. Per cercare di ridurre la deformazione inoltre le immagini sono state tagliate ai bordi del 20% e corrette della vignettatura. Successivamente, tutte le immagini sono state unite per comporre l'ortomosaico finale. Questo è stato georeferenziato e ridimensionato utilizzando 4 GCP posti e misurati sulle rive del fiume ed infine ricampionato in scala di grigi per creare l'ortofoto finale dell'area indagata. (Figura 6).



Figura 6. Ortofoto dell'area di dragaggio da rilievo da drone, ricampionata in scala di grigio.

L'accuratezza orizzontale media dell'immagine, calcolata su 10 punti di verifica, è inferiore a 3 metri, comunque sufficiente per lo scopo previsto. I valori in scala di grigio dei pixel sono stati successivamente messi in relazione ai valori Ntu rilevati con la sonda parametrica sulla superficie dell'acqua. Sono stati quindi stabiliti dei modelli di regressione per trovare le correlazioni ottimali tra i parametri di torbidità dell'acqua (Ntu) ed i valori in scala di grigio (Figura 7a). I risultati hanno mostrato una forte correlazione tra i valori misurati sul campo e quelli ottenuti dall'elaborazione delle immagini ($R^2 = 0,90$). L'equazione di regressione lineare ottenuta è:

$$y = 1.52x + 23.8, \quad (1)$$

Il risultato è una mappa della diffusione della torbidità superficiale estesa tra valori Ntu massimi e minimi (Figura 7b). Il pixel della cella della mappa è stato impostato di maglia 5x5 m, tenendo conto della precisione della metodologia.

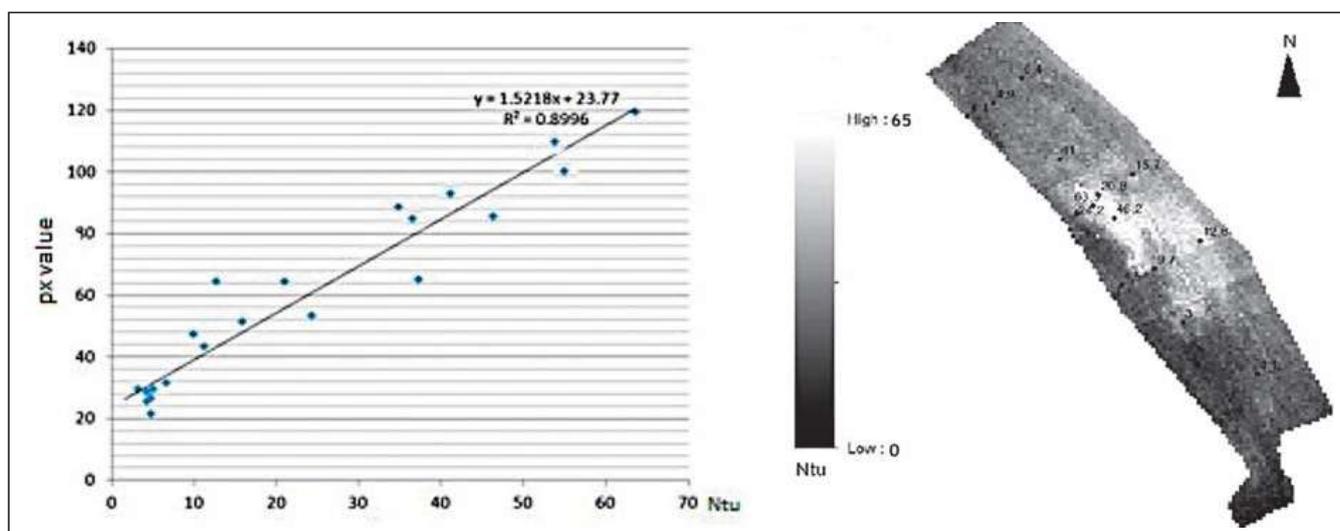


Figura 7. Regressione lineare valore del pixel/Ntu (a); mappa della torbidità superficiale ricampionata a 5x5m (b).

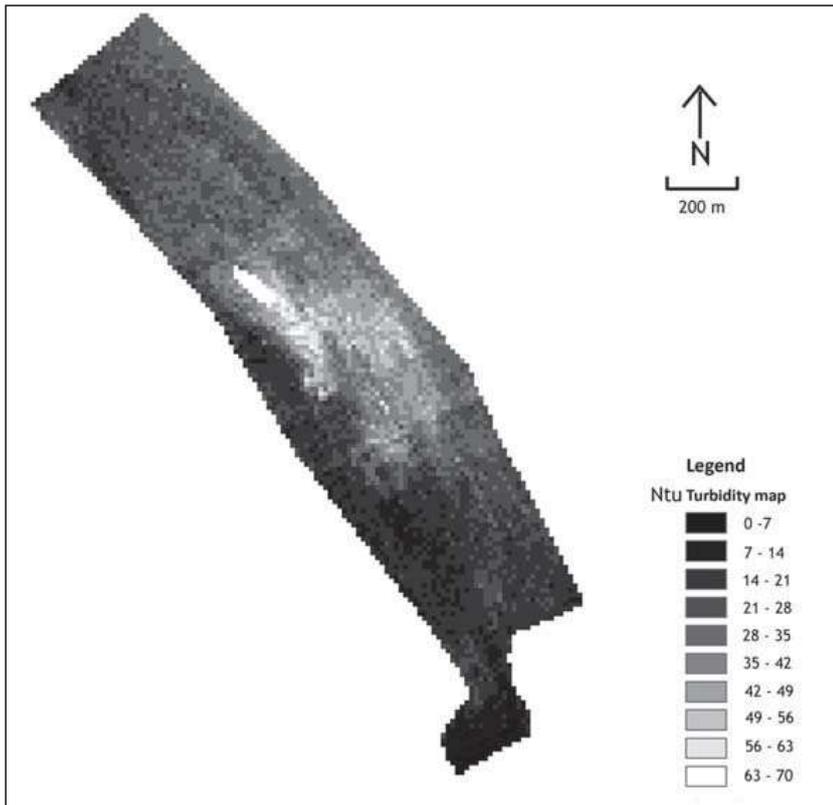


Figura 8. Mappa della concentrazione superficiale della torbidità da rilievo drone dopo la “density slicing”.

Per evidenziare le aree che sembrano uniformi nel tono di grigio e creare una mappa di concentrazione della torbidità, è stata applicata anche una tecnica di affinamento della densità all’immagine monocromatica a banda singola. E’ stata quindi effettuata una “density slicing”, ovvero i valori di scala di grigio sono stati convertiti in una serie di 10 intervalli uguali di valore Ntu a cui sono stati assegnati diverse tonalità per ciascun intervallo (Figura 8).

L’indagine è stata ripetuta anche nei giorni successivi al fine di monitorare tutte le fasi di dragaggio e prevenire eventuali problemi di inquinamento per la spiaggia adiacente. Solitamente, infatti, queste attività di monitoraggio si espletano con misurazioni puntuali con sonde parametriche da imbarcazione. Questa tecnica permette invece una mappatura areale ed estesa con la possibilità ulteriore di essere ripetuta in maniera rapida ed a basso costo.

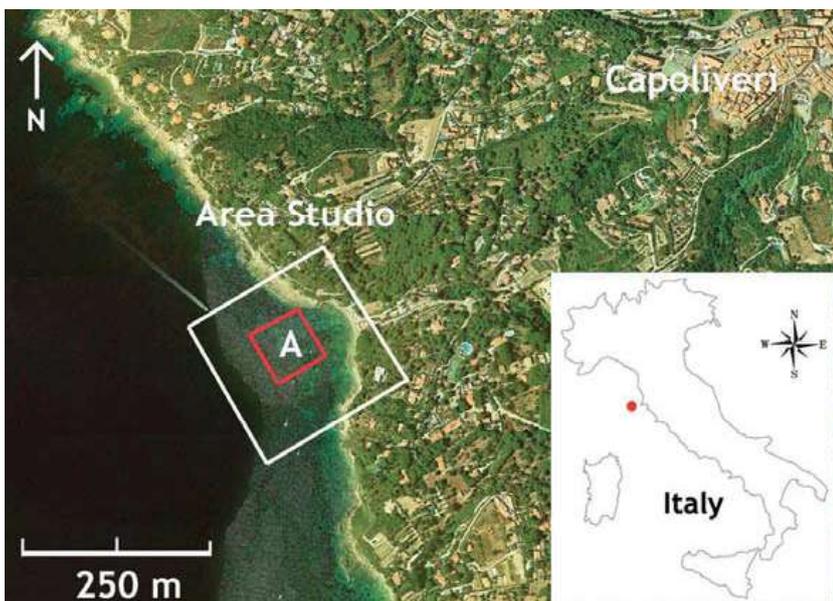


Figura 9. Area di studio. Spiaggia Madonna delle Grazie. Capoliveri, Isola d’Elba (LI). Immagine da Google Earth.

Mappatura della Posidonia

Le praterie di *Posidonia oceanica* hanno un ruolo essenziale negli ecosistemi dei bassi fondali del Mediterraneo, dove rappresentano la specie algale più diffusa. Sono considerate siti ad alta concentrazione di biomassa offrendo rifugio e fonte di alimentazione a moltissimi organismi. Questa pianta ricopre inoltre un importante ruolo nell'ossigenazione delle acque e nella stabilizzazione dei fondali proteggendo in parte le spiagge dall'erosione.

L'area di studio è la spiaggia di Madonna delle Grazie all'isola d'Elba nel comune di Capoliveri (LI). Questa "pocket beach" è caratterizzata da una piccola spiaggia di circa 100 m di lunghezza confinata da scogli e falesie appartenenti al complesso ofiolitico (Figura 9).

Nell'area di studio è stato eseguito nel Febbraio 2019 un rilievo batimetrico singlebeam, uno morfologico con Side Scan Sonar (SSS), una SfM da drone con elaborazione di ortofoto (Figura 10) e delle riprese subacquee su una area di circa 250x250 m di estensione. In figura è evidenziata una sotto area "A" utilizzata per la dimostrazione di alcune elaborazioni d'immagine.

Il SSS è uno strumento che permette di ottenere immagini acustiche georeferite dei fondali che, opportunamente interpretate, possano fornire indicazioni sugli habitat marini presenti.

Anche in questo caso l'elevata percentuale di acqua presente nelle immagini riprese dal drone ha richiesto una tecnica di georeferenziazione particolare, come precedentemente descritto per il monitoraggio della torbidità. In questo caso inoltre sono state posizionate due piccole boe ai margini dell'area le cui coordinate sono state rilevate con GPS differenziale. Queste hanno permesso di ottenere una migliore georeferenziazione. Ulteriori GCPs sono stati rilevati sulla spiaggia emersa.

Sulle ortofoto derivanti dal rilievo drone sono state applicate e testate due procedure per l'estrazione automatica dei limiti delle differenti litologie presenti, qui descritte in modo schematico.

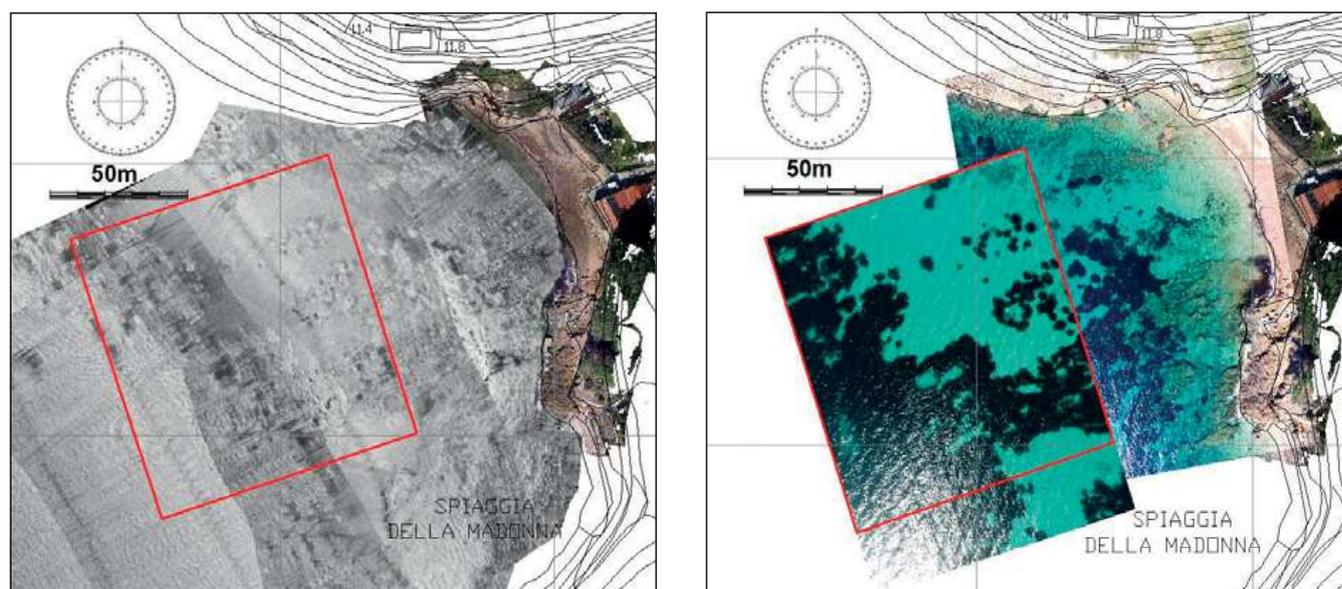


Figura 10. Immagine SSS (sx) e ortofoto da drone (dx) con limiti area A in rosso.

Inizialmente è stato effettuato un riconoscimento delle varie classi di interesse (es. posidonia/roccia/sabbia) attraverso una analisi visiva delle immagini e di un campionamento video. Tale ispezione è stata fatta con una telecamera subacquea trainata dall'imbarcazione e posizionata con GPS. All'ortofoto sono stati applicati dei filtri ed una tecnica di "density slicing" per migliorare la separazione delle varie classi di interesse. È stato quindi applicato un filtro digitale passa alto per il tracciamento dei vari limiti. Questi sono stati successivamente vettorializzati in modo automatico (Figura 11).

Oltre a questa metodologia è stata anche applicata l'analisi GEOBIA (Geographic Object Based Image Analysis). Si tratta di una tecnica software relativamente nuova, citata precedentemente nell'applicazione sulla mappatura della "Beach litter" che imita l'interpretazione umana nella classificazione delle immagini. Questa metodologia è stata utilizzata recentemente anche per il riconoscimento della *Posidonia* da alcuni

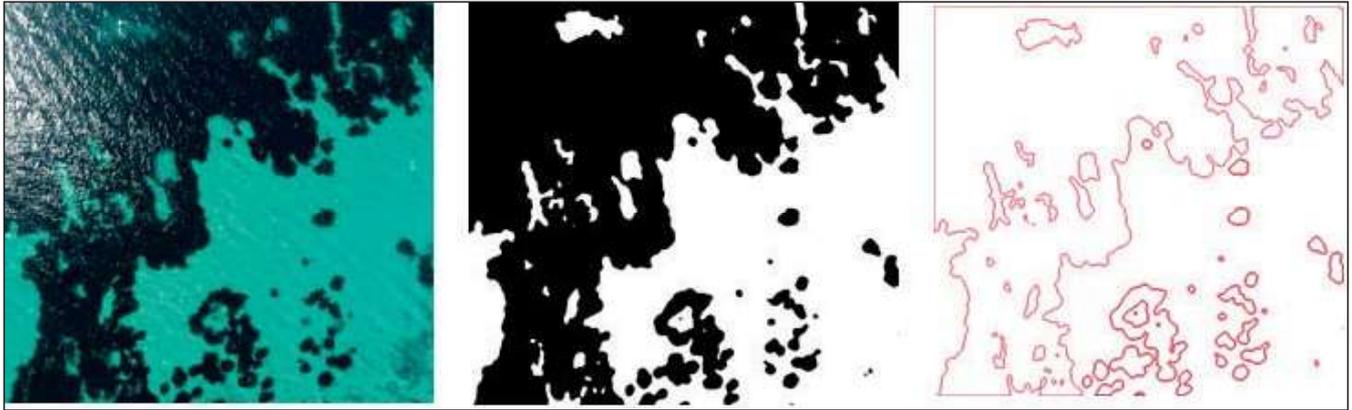


Figura 11. Elaborazioni dell'immagine nella sotto area A.

autori (Fakiris et al., 2019; Venura et al., 2018). Per questa applicazione è stato utilizzato il modulo di segmentazione e classificazione dei fondali "RSOBIA" sviluppato per ArcMap 10.x.

I risultati sono stati quindi verificati sia attraverso un'interpretazione visiva sia utilizzando il mosaico del rilievo SSS. Il grado di attendibilità riscontrato supera il 90%. E' stata infine prodotta una carta geomorfologica in ambiente CAD (Figura 12).

L'utilizzo di tecniche automatiche oltre a ridurre i tempi di elaborazione permette una gestione obiettiva del dato anche in ottica di effettuare confronti per piani di monitoraggio. Le immagini da drone garantiscono notevoli vantaggi rispetto ad immagini satellitari (Figura 9) o da SSS (Figura 10) in termini sia economici che di qualità e definizione e quindi di discriminazione delle informazioni.

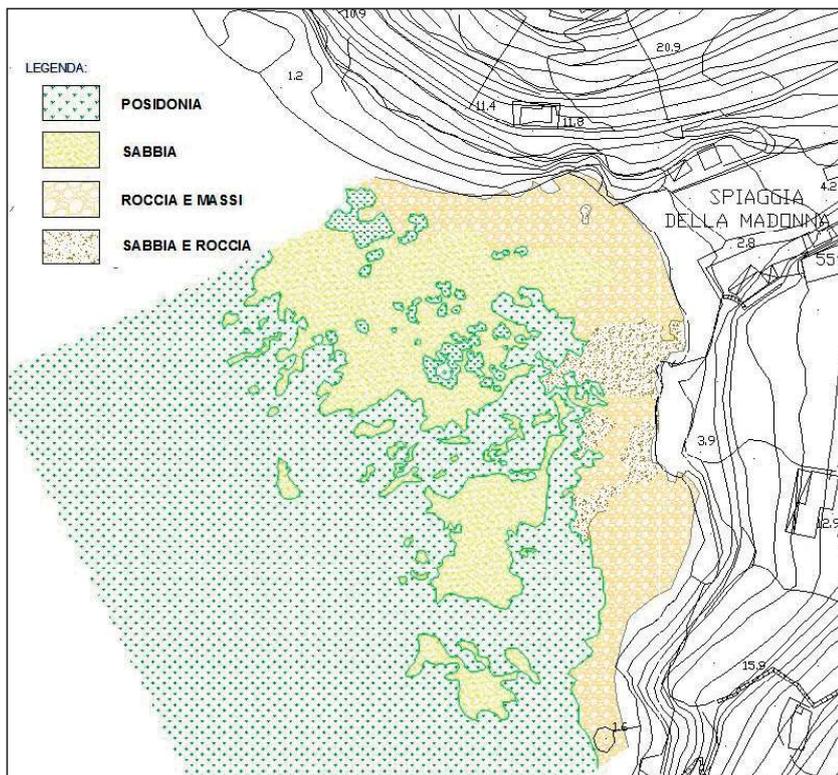


Figura 12. Carta geomorfologica da elaborazione ortofoto drone.

L'utilizzo di tecniche automatiche oltre a ridurre i tempi di elaborazione permette una gestione obiettiva del dato anche in ottica di effettuare confronti per piani di monitoraggio. Le immagini da drone garantiscono notevoli vantaggi rispetto ad immagini satellitari (Figura 9) o da SSS (Figura 10) in termini sia economici che di qualità e definizione e quindi di discriminazione delle informazioni.

Conclusioni

I principi fondamentali di un monitoraggio costiero comprendono la valutazione di costi e benefici, dei vantaggi e degli svantaggi prima di intraprendere delle decisioni. E' per questo che anche in questo settore vengono continuamente testate nuove metodologie ed analizzate nuove tecniche di rilievo anche attraverso l'uso combinato di differenti tipologie di strumenti.

In questo studio sono state messe appunto e testate alcune tecniche di monitoraggio costiero ambientale basate principalmente sull'uso di drone economico e sull'aerofotogrammetria con camere non metriche. La combinazione di questa tecnologia con altri sensori come una sonda multiparametrica, un SSS o con particolari software di riconoscimento di immagini ci ha permesso di implementare e testare delle rapide metodologie a basso costo per il monitoraggio areale della torbidità durante il dragaggio, dei rifiuti spiaggiati o per la mappatura della posidonia. La velocità di acquisizione e di elaborazione rendono queste tecniche degli utili strumenti non solamente per una iniziale valutazione ma anche per un monitoraggio ambientale a lungo termine o per una rapida gestione del rischio potenziale di questi delicati ambienti.

Bibliografia

- Day J., 2008. *The need and practice of monitoring, evaluating and adapting marine planning and management. Lessons from the Great Barrier Reef*. Marine Policy, 32: 823– 831.
- Balas C.E., Ergin A., Williams A.T., Koc L., 2004. *Marine litter prediction by artificial intelligence*. Marine Pollution Bulletin, 48: 449-457.
- Blaschke T., 2010. *Object based image analysis for remote sensing*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65: 2-16.
- Bruschi G., Pacciani A., 2017. *La gestione dei materiali legnosi spiaggiati sugli arenili. L'esperienza di Marina di Carrara*. Studi costieri, 26: 29-40.
- Dogliotti A. I., Ruddick K. G., Nechad B., Doxaran D., Knaeps E., 2015. *A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters*. Remote Sensing of Environment, 156: 157–168.
- Fakiris E., Blondel P., Papatheodorou G., Christodoulou D., Dimas X., Georgiou N., Kordella S., Dimitriadis C., Rzhhanov Y., Geraga M., Ferentinos G., 2019. *Multi-Frequency, Multi-Sonar Mapping of Shallow Habitats-Efficacy and Management Implications in the National Marine Park of Zakynthos, Greece*. Remote Sensing, 11: 1-23.
- Jang S. W., Kim D. H., Chung Y. H., Seong K. T., Yoon H. J., 2015. *Application of Remote Monitoring to Overcome the Temporal and Spatial Limitations of Beach Litter Survey*. Advanced Science and Technology Letters, 95: 67-72.
- Kataoka T., Hinata H., Kako S., 2012. *A new technique for detecting colored macro plastic debris on beaches using webcam images and CLEUV*. Marine Pollution Bulletin., 64: 1829-1836.
- Klemas V. V., 2015. *Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview*. Journal of Coastal Research, 31: 1260 – 1267.
- Kutser T., Metsamaa L., Vahtmäe E., Aps R., 2007. *Operative Monitoring of the Extent of Dredging Plumes in Coastal Ecosystems Using MODIS Satellite Imagery*. Journal of Coastal Research, 50: 180-184.
- Legambiente, 2016, *Beach litter 2016*. https://www.legambiente.it/sites/default/files/docs/legambiente_beachlitter2016_def.pdf.
- Lucieer A., Jong S. M., Turner D., 2014. *Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography*. Progress in Physical Geography, 38: 97-116.
- Madzema A., Lasiak T., 1997. *Spatial and temporal variations in beach litter on the Transkei coast of South Africa*. Marine Pollution Bulletin, 34: 900-907.
- Mammì I., Rossi L., Vitale G., Zeoli A., 2017. *Realizzazione di modelli digitali topo-batimetrici da drone*. Studi costieri, 24: 69-74.
- Martin C., Parkes S., Zhang Q., Zhang X., Mc Cabe M., Duarte C.M. 2018. *Use of unmanned aerial vehicles for efficient beach litter monitoring*. Marine Pollution. Bulletin, 131: 662-673.
- Nex F., Remondino F. 2011. *UAV for 3D mapping applications: a review*. Applied Geomatics, 6: 1–15.
- Papakonstantinou A., Topouzelis K., Pavlogeorgatos G., 2016. *Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5:1-14.

- Rees G., 1995. *Marine litter monitoring programs*. A review of methods with special reference to national surveys. *Marine Pollution Bulletin*, 30: 103-108.
- Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaion M., Sarazzi D., 2011. *UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives*. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 25-31.
- Turner I. L., Harley M.D., Drummond C. D., 2016. *UAVs for coastal surveying*. *Coastal Engineering*, 114: 19-24.
- Ventura B., Bonifazzi A., Glavina M., Belluscio A., Ardizzone G., 2018. *Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA)*. *Remote Sensing*, 10: 1-23.
- Wu G., Jan de Leeuw, Skidmore A., Prins H.T., Yaolin L., 2007. *Concurrent monitoring of vessels and water turbidity enhances the strength of evidence in remotely sensed dredging impact assessment*. *Water Research*, 41 Issue 15: 3271-3280.
- Yan G., Mas J.F., Maathuis B.H.P., Xianmin Z., Van Dijk P.M., 2006. *Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches-a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China*. *International Journal of Remote Sensing*, 27: 4039-4055.

Ricevuto il 20/05/2019

Accettato il 30/06/2019