

ROV E STRUMENTAZIONE A BASSO COSTO PER RILIEVI FOTOGRAMMETRICI DI SITI ARCHEOLOGICI SOMMERSI

di Elisa Costa, Francesco Guerra,
Paolo Vernier

I ROV svolgono un ruolo importante per la documentazione di siti sommersi, supportando una richiesta di metodi più sicuri ed efficienti per la ricerca archeologica. Il rilievo fotogrammetrico realizzato con una camera GoPro viene confrontato con quello realizzato con una camera reflex professionale per valutare la precisione di tecniche *low cost*.



Fig. 1 - Una delle fasi di assemblaggio del ROV.

ROV, chiamati anche UROV, *Underwater Remote Operated Vehicle*, sono stati ampiamente utilizzati negli ultimi tempi dai ricercatori per esplorare ambienti sottomarini, sia in acque basse che in acque profonde, per diversi tipi di studi come la biologia marina e l'archeologia subacquea, svolgendo un ruolo importante per la documentazione e le indagini scientifiche (Bruno et al., 2015; Nornes et al., 2015; Ødegård et al., 2016). Le tecnologie più innovative degli ultimi anni hanno portato a migliorare la qualità delle indagini subacquee e a supportare il lavoro degli archeologi attraverso l'utilizzo dei ROV, specialmente in contesti di difficile accessibilità come i relitti a profondità maggiori (Scaradozzi et al., 2013). Anche a profondità in cui i subacquei possono lavorare facilmente ma con tempi di immersione ridotti, questi, se assemblati con fotocamere, potrebbero realizzare un rilievo fotogrammetrico in una singola immersione grazie all'autonomia della batteria di circa 3 ore.

Solitamente, le operazioni di documentazione e rappresentazione di un sito archeologico richiedono un considerevole sforzo e una grande risorsa economica. La possibilità di ampliare la strumentazione per la documentazione subacquea potrebbe risultare molto vantaggiosa sia in aggiunta agli operatori subacquei su fondali a profondità inferiori o in loro sostituzione in acque profonde, senza la necessità di richiedere la presenza di professionisti altofondalisti.

Il nostro studio mira a fornire alcune indicazioni ai ricercatori, archeologi o biologi, che lavorano nell'ambiente sottomarino e le cui analisi necessitano di informazioni provenienti dalla documentazione e dal rilievo. Gli obiettivi della nostra ricerca partono dalla necessità di comprendere i vantaggi e le limitazioni dell'uso di un ROV piccolo ed a basso costo, confrontandolo con le esperienze e le conoscenze acquisite dagli autori nel rilevamento subacqueo negli ultimi 10 anni. Quali sono i vantaggi e gli svantaggi di un piccolo ROV? Cosa potrebbe aggiungere alla qualità di un sondaggio realizzato da un operatore subacqueo?

II ROV

“Un interesse primario dell’indagine archeologica è quello di estrarre, in modo non invasivo, quante più informazioni possibili con il minimo dispendio di tempo e di costose risorse” (Scaradozzi et al., 2013). Tradizionalmente, i ROV sono dispositivi di alto valore e quindi ad accesso limitato per piccoli gruppi di ricercatori, ma recentemente molte industrie stanno producendo ROV a basso costo che potrebbero essere presentati ad un pubblico più vasto (Teague et al., 2017). Tra differenti possibilità esistenti sul mercato, il Laboratorio di Fotogrammetria dell’Università Iuav di Venezia ha deciso di acquistare un’*OpenRov*, un’economico ROV *open source* che può essere assemblato in maniera indipendente e modificabile liberamente per usi personalizzati (Heisinger et al., 2017).

È piccolo e leggero, ma allo stesso tempo può raggiungere i 100 m di profondità. La struttura esterna è tagliata a laser da pannelli acrilici e contiene un cilindro trasparente per la webcam HD interna, le luci a LED e le parti elettroniche (Figura 1). Queste sono collegate ad una serie di batterie al litio, sigillate all’interno di due tubi laterali trasparenti che conferiscono potenza e stabilità al veicolo. Tre motori compongono le parti elettroniche relative alla propulsione: due orizzontali per i movimenti laterali e uno verticale per l’assetto e la profondità. Il ROV è controllato tramite un cavo Ethernet collegato ad un computer portatile per dare la possibilità di guidare facilmente il veicolo direttamente dalla barca o dalla riva attraverso un *gamepad*. Una piattaforma IMU (*Inertial Measurement Unit*) è stata applicata per controllare precisamente la profondità, l’orientamento, l’inclinazione (rollio e beccheggio), aiutando l’operatore negli spostamenti, ma non può calcolare la posizione nello spazio; questo sensore è ampiamente utilizzato nei veicoli subacquei a causa del suo basso costo, nonostante sia meno preciso di quelli costosi e soggetto a possibili errori (Martínez Carvajal, Sierra Bueno & Villamizar Mejía, 2013). Il conducente non ha in questo caso la possibilità di impostare una rotta di navigazione, ma deve guidare manualmente il veicolo; di conseguenza, le strisciate del ROV risultano meno regolari e parallele rispetto a quelle effettuate dal subacqueo, a causa della difficoltà di mantenere le linee corrette per la corrente presente in acqua. In questo



Fig. 2 - L’OpenRov con le due camere GoPro montate sui lati.

primo test sul campo si è notato come il cavo della cima di collegamento del ROV avesse una spinta negativa e rimanesse incastrato sulle colonne, fermandone il movimento. Nei test successivi, è stato modificato l’assetto del cavo attraverso l’inserimento di alcuni piccoli galleggianti da pesca ogni 5 m, che lo hanno portato in posizione neutra.

Gli *OpenRov* hanno una fotocamera interna frontale che viene impiegata per guidare e controllare il veicolo, quindi si è deciso di alloggiare sui lati esterni della struttura due fotocamere scafandrate per la documentazione archeologica (Figura 2). L’utilizzo della GoPro Hero4 Session, una fotocamera ricreativa, è principalmente dovuto al basso costo e alle dimensioni ridotte, ma anche al peso neutro sott’acqua della macchina. L’assetto del ROV viene solo leggermente compromesso con una inclinazione verso il basso, ma questo problema è stato ovviato grazie alla possibilità di modificare alcuni componenti data dall’assemblaggio manuale dei materiali che compongono la struttura: due piccoli pesi posizionati sulla prua sono stati arretrati al fine di consentire il movimento corretto in avanti. Con queste telecamere, gli autori hanno avuto la possibilità di registrare sia immagini che video ad alta risoluzione per eseguire rilievi fotogrammetrici e per costruire un modello virtuale texturizzato.



Fig. 3 - Il ROV mentre effettua la strisciata fotogrammetrica sulle colonne del relitto.

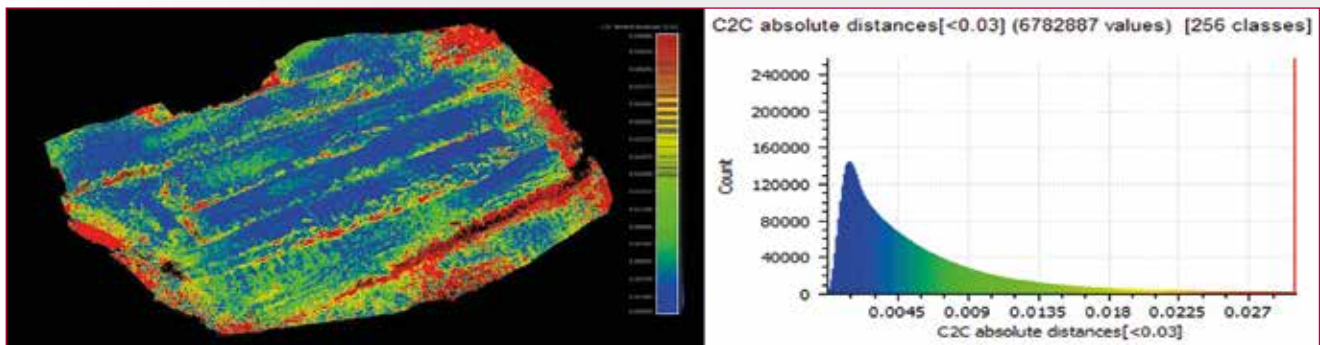


Fig. 4 - Confronto tra le nuvole di punti del rilievo fotogrammetrico ottenute dalle immagini realizzate dalla camera GoPro Hero4 Session e dalla Nikon D610.

IL RILIEVO

Queste tecnologie vengono utilizzate per la mappatura e il monitoraggio del patrimonio culturale e naturale o per documentare le fasi del lavoro dell'archeologo durante lo scavo, ma l'applicazione principale dei ROV è legata al rilievo fotogrammetrico per la documentazione di ambienti subacquei (Drap et al., 2015; Sedlazeck, Köser & Koch, 2009, Teague et al., 2017).

Per testare il ROV e applicare il rilievo fotogrammetrico si è deciso di indagare un relitto facile e accessibile vicino a Torre Chianca, in Puglia, a circa cento metri dalla costa, dove sono affondate cinque colonne allineate su un fondale sabbioso a 5 metri di profondità.

Innanzitutto, 6 target a scacchiera sono stati posizionati alle estremità degli elementi e sono stati misurati con un rilievo per trilaterazione, attraverso il quale sono state ottenute delle coordinate 3D per georeferenziare gli elementi in un sistema di riferimento locale e controllare l'accuratezza metrica dei modelli fotogrammetrici.

I rilievi sono stati realizzati attraverso strisciate nadirali

effettuate sia dal ROV (Figura 3) che dal subacqueo, mentre esclusivamente quest'ultimo può scattare delle immagini radiali attorno alle colonne al fine di documentare precisamente anche la parete verticale a ridosso del fondale.

Il blocco fotogrammetrico con la camera reflex è stato realizzato manualmente dal subacqueo, ottenendo circa 400 immagini da 6016 x 4016 pixel e una risoluzione di 300 dpi, suddivise in strisce parallele e regolari con una sovrapposizione del 60% circa tra le immagini e del 20% circa tra le strisce.

La camera GoPro ha acquisito immagini di dimensioni inferiori, 2720 x 2040 pixel, e con una risoluzione di 72 dpi ed è stata impostata automaticamente per registrare un'immagine ogni 0,5 secondi e garantire la massima sovrapposizione, ottenendo circa 550 immagini.

Terminate le operazioni di rilievo sono stati ottenuti tre diversi modelli virtuali:

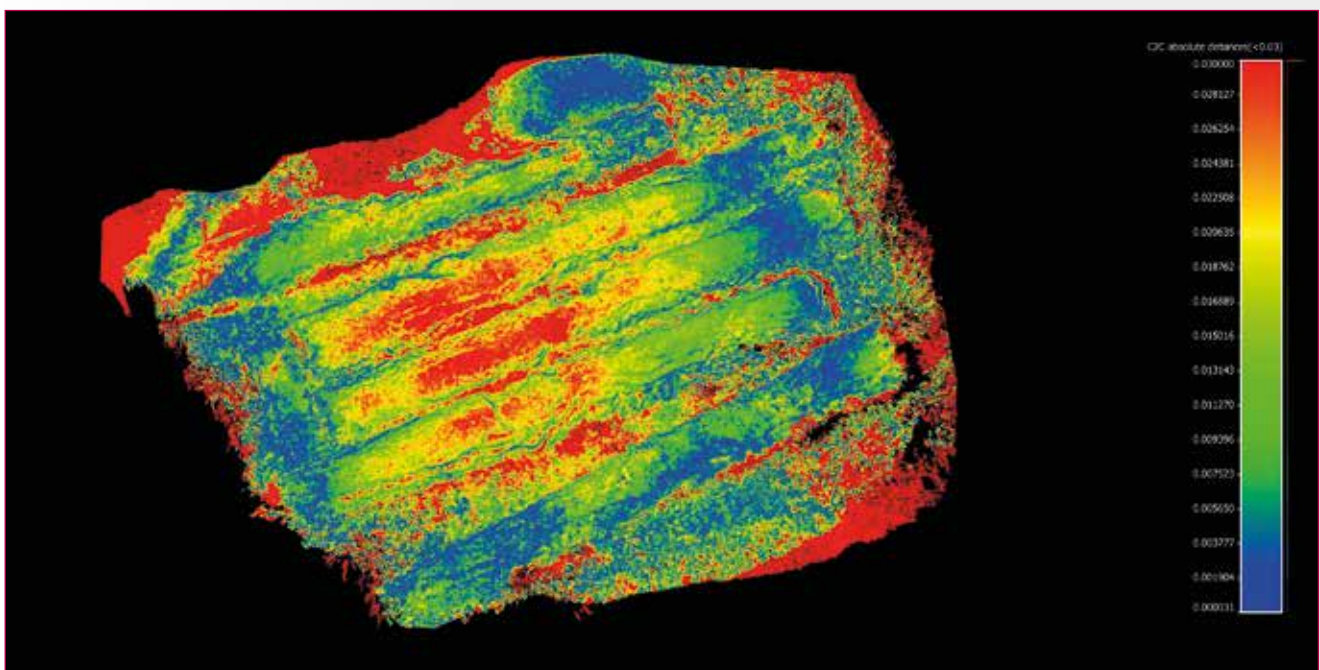


Fig. 5 - Confronto tra le nuvole di punti del rilievo fotogrammetrico ottenuto dalle immagini e dai frame del video della camera GoPro Hero4 Session.

- ▶ allineando le immagini della fotocamera Nikon D610
- ▶ allineando le immagini della camera GoPro Hero4 Session
- ▶ allineando i frame del video della camera GoPro Hero4 Session.

L'uso della camera stereo, con una distanza nota del punto centrale sulle lenti degli obiettivi, (Negahdaripour & Firoozfam, 2005, Schmidt & Rzhanov, 2012) consente di ottenere un modello fotogrammetrico in scala. Questa tecnica risulta utile durante campagne di monitoraggio e sondaggio e soprattutto nei casi di lavori a profondità elevate dove non è possibile posizionare target sul soggetto e realizzare un rilievo topografico manuale.

IL CONFRONTO TRA LE NUVOLE DI PUNTI

Il confronto tra le nuvole di punti prodotte dall'indagine fotogrammetrica è stato realizzato dal software *CloudCompare*; queste sono state orientate nello stesso sistema di riferimento attraverso i 6 target posizionati sulle colonne (*Ground Control Point*) al fine di effettuare l'analisi della distanza e mostrare la differenza metrica tra le nuvole. Il software fotogrammetrico e quindi l'algoritmo impiegato per l'allineamento delle immagini è lo stesso per ogni progetto, al fine di ottenere lo stesso tracciamento dei raggi, le stesse impostazioni nell'allineamento e nella creazione delle nuvole dense. Il confronto ha dato buoni risultati con un'elevata conformità tra i punti, con un errore medio e una deviazione standard inferiore a 1 cm, al di sotto delle nostre aspettative se si considera la mancanza di un processo di calibrazione conosciuto delle camere in ambiente sottomarino, soprattutto nel caso della GoPro. Tre diversi confronti sono stati realizzati sulla base delle immagini realizzate e dei modelli ottenuti, con un intervallo di scala impostato da 0 a 3 cm con una colorazione variabile da blu a rosso:

- ▶ confronto tra i modelli ottenuti dalle strisciate nadirali della camera reflex Nikon D610 e dalla camera GoPro Hero4 Session
- ▶ confronto tra i modelli ottenuti dalle strisciate nadirali e dalle immagini radiali della camera reflex Nikon D610
- ▶ confronto tra i modelli ottenuti dalle immagini e il video della camera GoPro Hero4 Session.

Il primo confronto ha rilevato un errore massimo di 0,011 m mostrato in verde nel modello di Figura 4 e un errore medio di 0,0015 m osservando la curva di Gauss delle deviazioni standard e l'istogramma delle distanze assolute tra i punti, comportando una maggioranza di punti di colore blu. È evidente la corrispondenza metrica tra i due modelli e le piccole differenze sono dovute al blocco fotogrammetrico e alle diverse distorsioni degli obiettivi della fotocamera a causa dell'assenza di una calibrazione diretta *in situ*.

Le parti rosse esterne non rappresentano un errore, ma un'assenza di dati attorno alle colonne poiché l'area documentata con le due fotocamere è diversa; le parti rosse interne alle colonne, invece, sono relative all'assenza delle immagini fotogrammetriche radiali sul rilievo realizzato attraverso il ROV.

Il secondo confronto tra il modello realizzato con le immagini fotogrammetriche complete (strisciate nadirali e radiali) della Nikon D610 e il modello realizzato solo con le immagini nadirali ha evidenziato la necessità di una copertura totale delle immagini per ottenere un modello ben definito. Per riuscire ad effettuare un'indagine accurata attraverso il

ROV, i ricercatori devono organizzare due diverse sessioni di rilievo:

- ▶ un primo rilievo fotogrammetrico con la camera impostata nadiralmente al sito
- ▶ un secondo con la camera ruotata e posizionata a 45° rispetto alle colonne per meglio rappresentarne la porzione laterale.

Il terzo confronto è stato realizzato tra i due modelli fotogrammetrici ottenuti con le immagini e con il video realizzato da GoPro Hero4 Session. Una prima differenza è stata osservata nelle immagini, in cui il valore RGB e la dimensione delle immagini sono differenti; la regolazione automatica del tono del colore in base alle condizioni ambientali lavora su diversi valori di bilanciamento del bianco. Le immagini originali della GoPro hanno una dimensione di 2720 x 2040 pixel e sono caratterizzate da una dominante di colore verde, mentre i fotogrammi estrapolati dal video hanno invece una dimensione di 1920 x 1080 pixel e sono caratterizzati da un dominante di colore blu.

Il processo fotogrammetrico del video è stato elaborato dal software *Photoscan* nell'ultima versione 1.4.0 che è in grado di estrarre automaticamente i fotogrammi dal video secondo diverse impostazioni; estrapolando un frame ogni 0,6 secondi si raggiunge un totale di 2160 immagini che viene ridotto a 1390 dopo un'accurata pulizia. Le immagini ottenute con la GoPro erano circa lo stesso numero con un tempo di scatto ogni 0,5 secondi. L'ottenimento di un modello fotogrammetrico completo dai fotogrammi estrapolati dal video è risultato più complesso: è stato necessario suddividere l'allineamento dei frame in due fasi distinte che sono state unite in un secondo procedimento attraverso l'inserimento di punti di controllo direttamente sulle colonne. Inoltre, il confronto tra le nuvole di punti non è risultato preciso come i precedenti; al centro del modello il software *CloudCompare* ha calcolato un errore di 0,03 m. Posizionando un *Ground Control Point* al centro del modello e confrontando gli errori ottenuti sulle coordinate x y z, l'errore risulta esclusivamente lungo l'asse verticale confermando una differenza sulla distanza tra le nuvole di punti solo nella profondità. Il modello ottenuto dal video sembra avere una distorsione centrale che è assente sugli altri modelli, a causa probabilmente della difficoltà del software *Photoscan* di calcolare in maniera precisa l'orientamento interno dei frame (Figura 5).

CONCLUSIONI

Le attività umane nell'ambiente subacqueo sono state supportate e sostituite ove possibile da strumenti a controllo remoto che consentono di ottenere risultati scientifici con meno rischi per la salute umana. Tra le varie possibilità attualmente disponibili, i ROV offrono non solo sicurezza per i loro operatori, ma sono anche un'alternativa relativamente a basso costo. L'impiego di un veicolo a basso costo adattato alle necessità del rilievo supporta una richiesta di metodi più sicuri, più economici e più efficienti per esplorare ambienti subacquei senza l'alto costo dei ROV professionali riducendo significativamente il costo delle operazioni archeologiche. Sulla base della nostra esperienza e di alcuni test ancora in corso possiamo osservare che il ROV ha alcuni vantaggi come strumento per il rilievo e la documentazione. Contrariamente a un subacqueo però può supportare solo fotocamere non professionali con limiti metrici che possono essere ridotti attraverso l'uso di

calibrazioni che vengono studiate dal team di ricerca del Laboratorio di Fotogrammetria dello Iuav.

Un secondo vantaggio è relativo all'utilizzo del ROV in profondità, consentendo un primo monitoraggio e un primo rilievo del sito archeologico, permettendo di ridurre il tempo di immersione sott'acqua e limitando i rischi fisici dei subacquei.

BIBLIOGRAFIA

- Bruno, F., Muzzupappa, M., Lagudi, A., Gallo, A., Spadafora, G., Ritacco, G., Angilica, A., Barbieri, L., Di Lecce, N., Saviozzi, G., Laschi, C., Guida, R., Di Stefano, G. (2015). A ROV for supporting the planned maintenance in underwater archaeological sites. In *Oceans 2015*, [online] Genova, pp.1-7.
- Drap, P., Seinturier, J., Hijazi, B., Merad, D., Boi, J-M. (2015). The ROV 3D Project: Deep-Sea Underwater Survey Using Photogrammetry. Applications for Underwater Archaeology. In *Journal on Computing and Cultural Heritage* 8(4), pp. 1-24.
- Heisinger, B.E., Holm, W., Fuller, C., -AAIR, Quigg, G.F. (2017). The Hester Lake B-24 Crash: A Case Study for Small, Low-Cost ROVs. *doi.org/10.13140/rg.2.2.10440.52488*.
- Martínez Carvajal, B. V., Sierra Bueno, D. A., Villamizar Mejía, R. (2013). Recent advances in navigation of underwater remotely operated vehicles. In *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia N. °69*, pp. 167-180.
- Negahdaripour, S., Firoozfam, P. (2005). An ROV Stereovision System for Ship Hull Inspection. In *Journal of Oceanic engineering*.
- Nornes, S.M., Ludvigsen, M., Ødegård, Ø., Sørensen, A. J. (2015). Underwater Photogrammetric Mapping of an Intact Standing Steel Wreck with ROV. In *IFAC-PapersOnLine* 48-2, pp. 206-211.
- Ødegård, Ø., Sørensen, A. J., Hansen, R. E., Ludvigsen, M. (2016). A new method for underwater archaeological surveying using sensors and unmanned platforms. In *IFAC-PapersOnLine* 49-23, pp. 486-493.
- Scaradozzi, D., Sorbi, L., Zoppini, F., Gambogi P. (2013). Tools and techniques for underwater archaeological sites documentation. In *Oceans 2013*, [online] San Diego.
- Schmidt, V., Rzhhanov, Y. (2012). Measurement of micro-bathymetry with a GOPRO underwater stereo camera pair. In *Oceans 2012*.
- Sedlazeck, A., Köser, K., Koch, R. (2009). 3D Reconstruction Based on Underwater Video from ROV Kielk 6000 Considering Underwater Imaging Conditions. In *Europe*, pp. 1-10.
- Teague, J., Miles, J., Connor, D., Priest, E., Scott, T.B., Naden, J., Nomikou, P. (2017). Exploring offshore hydrothermal venting using low-cost ROV and photogrammetric techniques: a case study from Milos Island, Greece. *doi: 10.20944/preprints201710.0014.v1*.

Uno degli svantaggi è, invece, relativo alle piccole dimensioni in caso di condizioni meteorologiche avverse; in una situazione di forte corrente, l'*OpenROV* difficilmente riesce a mantenere un perfetto assetto e un movimento regolare per la realizzazione di corrette strisciate fotogrammetriche. Inoltre, come riscontrato in un sito archeologico a più alte profondità e in mare aperto, l'assenza di un sistema di posizionamento o un punto di riferimento in acqua non permettono di raggiungere facilmente il sito archeologico. Nel complesso, l'impiego di questo tipo di strumentazione *low cost* è sicuramente di grande supporto al lavoro degli archeologi, nonostante non sia ancora professionalizzante in maniera tale da sostituirli.

ABSTRACT

ROVs HAVE BEEN EMPLOYED TO EXPLORE UNDERWATER ENVIRONMENTS AND HAVE PLAYED AN IMPORTANT ROLE FOR DOCUMENTATION AND SURVEYS IN DIFFERENT FIELDS OF SCIENTIFIC APPLICATION. THE EMPLOYMENT OF A LOW-COST VEHICLE SUPPORT A REQUEST FOR SAFER, CHEAPER AND EFFICIENT METHODS FOR EXPLORING UNDERWATER ENVIRONMENTS.

THE PAPER IS RELATED TO PHOTOGRAMMETRIC SURVEYS FOR THE DOCUMENTATION OF UNDERWATER ENVIRONMENTS AND TO COMPARISON BETWEEN DIFFERENT SOLUTIONS: TWO GoPro HERO4 SESSION -IMAGES AND VIDEOS- AND A NIKON D610. SOME TARGETS HAVE BEEN USED TO CONNECT IN THE SAME REFERENCE SYSTEM THE DIFFERENT MODELS, ALLOWING THE COMPARISONS OF THE POINT CLOUDS.

PAROLE CHIAVE

ARCHEOLOGIA SUBACQUEA; FOTOGRAMMETRIA; NUVOLE DI PUNTI; REMOTE OPERATED VEHICLE

AUTORE

ELISA COSTA
ECOSTA@IUAV.IT
FRANCESCO GUERRA
GUERRA2@IUAV.IT
PAOLO VERNIER
VERNIER@IUAV.IT
LABORATORIO DI FOTOGRAMMETRIA,
UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA,
S. CROCE 191, 30135 VENEZIA