

Tecniche imaging per la modellazione 3D spazio-temporale della superficie marina

Vincenzo Barrile ^(a), Vincenzo Gelsomino ^(a), Domenicantonio Lamari ^(b), Paolo Sensini ^(b)

^(a) Laboratorio di Geomatica, DICEAM, Università Mediterranea di Reggio Calabria, 89123 Feo di Vito, Reggio Cal.
vincenzo.barrile@unirc.it, ing.gelsomino@gmail.com

^(b) antonio.lamari@gmail.com, paolo.sensini@gmail.com

Riassunto

Nell'ottica di una sperimentazione più ampia da condurre in collaborazione con il NOEL (*Natural Ocean Engineering Laboratory*) del Dipartimento di Ingegneria Civile, dell'Energia, dell'Ambiente e dei Materiali (DICEAM) dell'Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, il Laboratorio di Geomatica ha prodotto la ricostruzione di un modello metrico 3D (tramite nuvola di punti), continuo nel tempo, della superficie marina, utilizzando tecniche *imaging* appartenenti alla *computer vision*. Le immagini digitali sono state acquisite in sincrono mediante videocamere gestite da opportuni dispositivi elettronici e successivamente elaborate. La prima sperimentazione è stata condotta su uno specchio di mare prospiciente il lungomare di Reggio Calabria, precisamente nei pressi del laboratorio NOEL, e ha permesso di estrapolare dal modello ottenuto dei valori di altezza d'onda. Tuttavia, si rende necessaria una validazione del modello combinando l'uso di più software (sviluppati in proprio).

Abstract

As part of a larger trial in collaboration with NOEL (Natural Ocean Engineering Laboratory) of Civil, Energy, Environmental and Materials Engineering Department (DICEAM) of the Mediterranean University of Reggio Calabria, the Geomatics Laboratory has produced the reconstruction of a 3D metric model (by points cloud), time-continuous, using imaging and computer vision methods. The digital images were taken synchronously through electronic devices and processed at a later time. The first test was conducted on a stretch of sea facing the promenade of Reggio Calabria, at the NOEL exactly, and it has obtained wave height values from 3D model. However, a validation of the model is necessary by combining the use of more software (developed in-house).

Introduzione

Poiché la conoscenza dei parametri caratteristici del moto ondoso precede qualsiasi studio scientifico o progettazione di opera ingegneristica in mare, risulta fondamentale la misura delle grandezze che caratterizzano la superficie marina. L'elevazione della superficie marina dovuta al passaggio di un'onda viene misurata solitamente in campo mediante l'utilizzo di sonde e boe parzialmente immerse. Le misure ottenute da tali strumenti sono puntuali e continue nel tempo.

Negli ultimi anni innovative tecniche di *remote sensing* sono state introdotte in quest'ambito. Esse permettono di ottenere informazioni sul moto ondoso senza alcuna interferenza con l'oggetto di studio, inoltre, permettono di evitare alcuni degli inconvenienti tipici delle misure on site del moto ondoso come: l'aggressività dell'ambiente marino e la difficoltà di alimentazione elettrica degli strumenti. Alcune di queste nuove tecniche sono appartenenti alla geomatica e applicate nei più disparati campi di rilievo e monitoraggio. Le tecniche basate su metodologie *imaging*, come la fotogrammetria digitale e la *computer vision*, vengono proficuamente sperimentate giorno dopo giorno e rappresentano una sfida per la ricerca in ambito marino.

Grazie alla metodologia *image based*, a partire dalle immagini digitali è possibile ricostruire un modello tridimensionale dell'oggetto indagato. Nel caso della superficie libera del mare bisogna utilizzare determinati accorgimenti data la particolare natura (trasparenza e riflesso) e l'eccessiva dinamicità della superficie marina. Le immagini acquisite devono essere necessariamente sincronizzate, da cui si può realizzare una rappresentazione, in quel fissato istante di scatto, dell'elevazione d'onda marina (modello spaziale). Utilizzando, invece, una sequenza di immagini scattate ad istanti successivi è possibile analizzare e modellizzare il movimento della superficie marina nel tempo (modello spazio-temporale). Il problema principale di questa tecnica è legato particolarmente sia all'individuazione dei punti omologhi necessari per poter costruire e restituire un modello attendibile e significativo, sia alla sincronizzazione degli scatti e ai tempi di trasmissione e ricostruzione del dato acquisito.

La sperimentazione, oggetto della presente nota, ha avuto luogo nel tratto di costa prospiciente il prolungamento sud del Lungomare "Italo Falcomatà" di Reggio Calabria (Figura 1), precisamente nelle vicinanze del laboratorio NOEL "Natural Ocean Engineering Laboratory" del DICEAM dell'Università "Mediterranea" di Reggio Calabria.



Figura 1 - Inquadramento dell'area interessata dalla sperimentazione

Metodologia e dispositivi utilizzati

La ricostruzione del modello 3D da immagini digitali avviene tramite *software* commerciale, basato su appositi algoritmi della tecnica *Structure from Motion* (SfM). La SfM è stata utilizzata con successo in una vasta gamma di applicazioni, per generazione di fotogrammetrie, rilievo e mappature topografiche, per attività di controllo, per la valutazione dei danni a seguito di catastrofi nonché per la conservazione di prove per risoluzioni di controversie legali. Diversi studi hanno evidenziato la precisione e l'efficienza di questa tecnica mettendo in risalto pregi e difetti. Attraverso questa tecnica, che ricalca quanto avviene per la fotogrammetria stereoscopica (dove la generazione della struttura 3D viene risolta e definita attraverso la sovrapposizione di immagini), la ricostruzione della scena, con il posizionamento e l'orientamento della telecamera vengono risolti automaticamente dal *software* utilizzato per l'elaborazione, velocizzando i tempi di lavoro e abbattendone i costi. La ricostruzione del modello avviene per mezzo di nuvola di punti e poiché punti notevoli (*tie points*) e *target* vengono individuati dal *software* in maniera del tutto automatica, occorre avere cura che gli scatti vengano effettuati in modo tale da garantire un elevato grado di sovrapposizione e quindi un'adeguata qualità del modello.

Il flusso di lavoro per l'ottenimento di una nuvola di punti e del relativo modello risulta essere molto semplice. Attraverso un algoritmo implementato da D. Lowe nel 2004 definito SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*), vengono individuati ed estratti i punti notevoli presenti negli scatti fotografici per mezzo di operatori di interesse che, all'interno di particolari zone della scena inquadrata, identificano i punti con uguali caratteristiche di illuminazione, colore, rotazione, ecc. Una volta individuati i punti omologhi, questi, vengono accoppiati attraverso l'operazione di

matching utilizzando il concetto di distanza euclidea. Individuato un punto nella prima scena avente determinate caratteristiche (luminosità, colore, ecc.), l'omologo nella scena successiva risulta essere quello che maggiormente si avvicina a quello in esame. La fase successiva prevede la generazione del modello 3D determinando i parametri di orientamento interno della camera utilizzata per le riprese. Il *bundle adjustment* ha il compito di limitare gli errori in fase di ricostruzione. Ultima fase è la generazione del modello attraverso una nuvola densa. Qui vengono utilizzati gli algoritmi di *dense image matching*. Vengono distinti in due tipi, algoritmi di *area based matching* (AMB) che lavorano sul confronto statistico dell'intensità di grigio presente nelle varie foto e che non prevedono l'estrazione delle *feature* trattando, appunto, l'intensità del grigio; e algoritmi di *feature based matching* (FBM) che prima ricercano le *feature* comuni e successivamente eseguono l'estrazione. La combinazione di entrambi garantisce risultati ottimali ma allunga notevolmente i tempi di elaborazione.

La modellazione 3D della superficie marina è stata effettuata mediante opportuno *software* di elaborazione, che sfrutta le teorie della stereofotogrammetria digitale e gli algoritmi della *computer vision*. I pregi di questa tecnica, come noto, risultano essere i costi contenuti e l'automaticità e l'immediatezza, con cui è possibile ottenere un risultato preciso e utilizzabile anche per ulteriori elaborazioni e processi di analisi. Il software usato è PhotoScan nella versione Professional 1.2.4, sviluppato dalla casa Agisoft LLC di San Pietroburgo (Russia).

Il sistema per l'acquisizione delle immagini è basato sull'utilizzo di 5 Raspberry Pi, un *single board computer* di dimensioni molto contenute (circa 8 x 5 cm) ed equipaggiato con un processore ARM a 700MHz, 512MB di RAM e diversi ingressi e uscite di uso comune (Figura 2). Sulla scheda è disponibile, oltre ai connettori per il pannello lcd e per la *webcam*, anche un connettore "General Purpose Input/Output" (GPIO), che serve a poter connettere circuiti esterni da comandare dal Raspberry per applicazioni elettroniche. Gli scatti fotografici sono stati eseguiti mediante Raspberry Pi Camera IR, di dimensioni 25mm x 20mm x 9mm e con una risoluzione di 5MP (2592x1944 *pixel*). I vantaggi legati all'utilizzo del sistema Raspberry sono riconducibili a tre fattori: il costo, le dimensioni e il consumo di potenza elettrica.

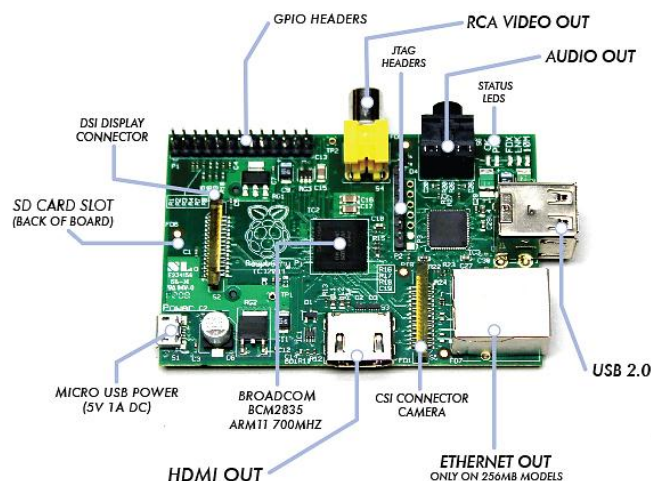


Figura 2 – Indicazione struttura del Raspberry Pi

La sincronizzazione degli scatti è garantita da un *sequencer* opportunamente sviluppato su sistema *hardware* Arduino e gestito da un applicativo scritto in Python, mentre tutte le immagini acquisite vengono inviate e gestite da un PC remoto (Figure 3 e 4), utilizzato anche come macchina di calcolo per la successiva elaborazione, una *workstation* HP Z800 con CPU 2 x Xeon Hexa Core X5650, RAM da 64 GB, 128GB SSD Hard Disk aggiuntivo da 2 TB, equipaggiata con due schede video NVIDIA Quadro FX 4800 con 1,5 GB di RAM ciascuna.

In questa prima prova sperimentale tutti i dispositivi sono stati montati su una struttura metallica rudimentale predisposta sulla scogliera nelle vicinanze del Laboratorio NOEL.

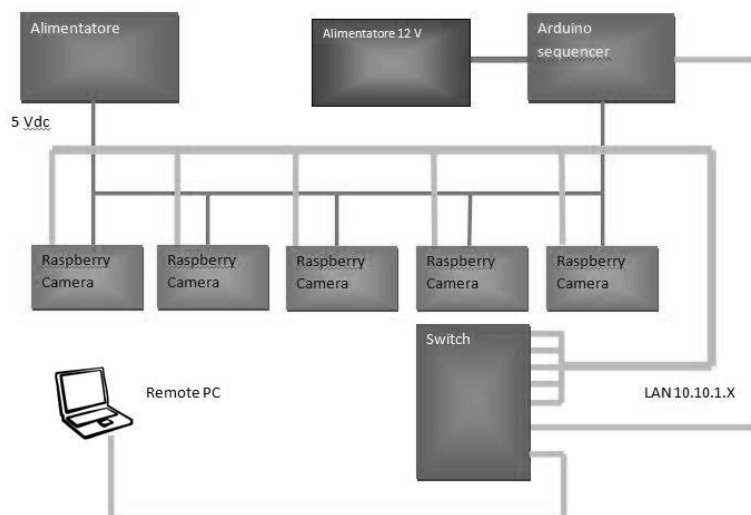


Figura 3 – Schema del sistema di acquisizione immagini

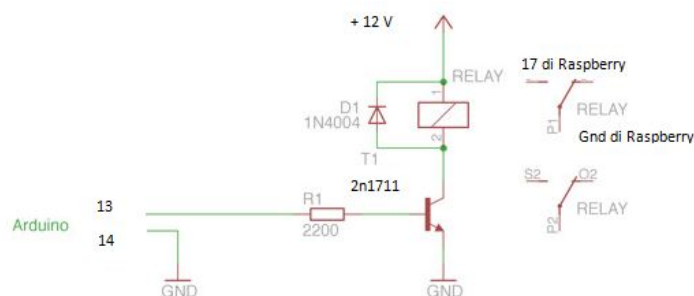


Figura 4 – Schema circuito elettrico per sincronizzazione scatti

Realizzazione del modello

Il sistema permette di ottenere 5 immagini, da 5 punti di ripresa differenti, sincronizzate ad ogni scatto, inoltre, date le impostazioni stabilite, è possibile effettuare una sequenza di scatti intervallati ad un tempo stabilito. Nel caso della prima sperimentazione compiuta sono state acquisite 5 immagini ad ogni secondo di intervallo per una durata totale di ripresa pari a 5 minuti (per un totale di 1500 immagini acquisite). Per ogni istante di scatto è stato realizzato un modello 3D (Figura 5). Nella fase successiva i differenti modelli 3D relativi ad ogni istante di scatto sono stati combinati per realizzare un modello 3D continuo nel tempo della superficie marina. Ciò è stato reso possibile attraverso l'utilizzo di un opportuno *software* sviluppato in proprio, in grado di collegare i diversi modelli spaziali restituiti ad istanti di tempo fissati dall'operatore.

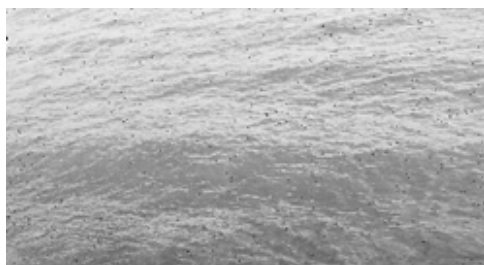


Figura 5 – Modello 3D ad un istante fissato

La procedura di trasformazione computerizzata da fotogrammi a modello 3D (di ogni istante) avviene secondo un ordine prestabilito in diverse fasi (modellizzazione spaziale). La prima fase è quella di allineamento delle immagini e della costruzione della nuvola di punti rada (*points cloud base*). In questo *step* vengono individuati i punti in comune ad entrambi i fotogrammi mediante gli

algoritmi di *image matching*. I punti scelti nelle diverse foto devono avere necessariamente delle caratteristiche in comune per poter essere adeguatamente sovrapposti. Il risultato è una visione complessiva di tutti i punti di ripresa posizionati lungo i tre assi cartesiani (sistema di riferimento locale) e i punti che costituiscono la nuvola di punti rada. La costruzione della nuvola di punti densa (*dense points cloud*) rappresenta la seconda fase di elaborazione, in cui partendo dalla nuvola di punti rada si ottiene una nuvola di punti più densa e dettagliata. La realizzazione della *mesh* permette di ottenere una maglia poligonale della superficie marina, mentre la costruzione della *texture* è l'ultimo passaggio che permette di "rivestire" la maglia poligonale generata nella fase precedente utilizzando i dati di colore delle immagini caricate. La *texture* è, infatti, un insieme di punti, linee, e forme che danno complessivamente l'impressione di una superficie compatta, rendendo quanto più realistico il modello 3D finora ottenuto. Il modello 3D texturizzato ottenuto viene successivamente scalato e georeferenziato utilizzando dati rilevati sulla struttura di appoggio dei dispositivi di ripresa.

La combinazione temporale dei modelli ottenuti (modellizzazione spazio-temporale) è realizzata mediante opportuno algoritmo implementato in proprio su MATLAB e permette di avere l'andamento del profilo dell'onda nel tempo di un determinato punto della superficie marina (Figura 6).

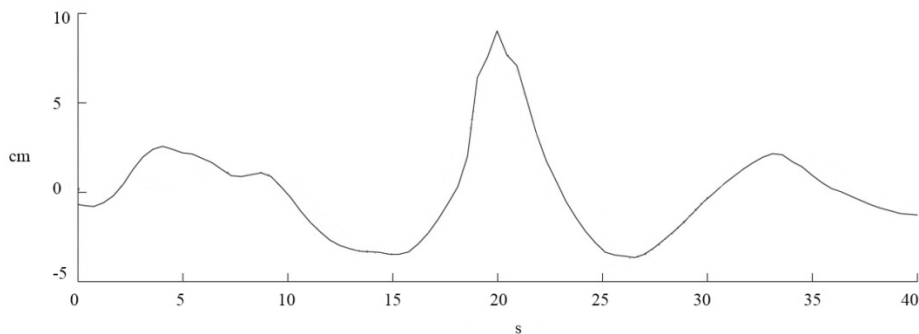


Figura 6 – Profilo temporale ottenuto

Conclusioni

La sperimentazione compiuta ha dimostrato le potenzialità delle tecniche basate sull'uso di metodi fotogrammetrici "a basso costo" per il rilievo tridimensionale applicate nel campo del moto ondoso. Attraverso le immagini digitali, acquisite con particolari dispositivi elettronici ed elaborate con algoritmi della *computer vision*, è stato possibile ottenere dei modelli 3D altamente dettagliati della superficie marina ad istanti fissati e successivamente processati per ottenere un profilo dell'onda nel tempo. Tutto ciò è stato realizzato grazie ad una strumentazione dai costi contenuti e ad una elaborazione rapida tipicamente propria delle tecniche *image based* mediante *computer vision*.

Proprio la possibilità di ottenere una modellazione della superficie marina non solo spaziale bensì spazio-temporale, pone questa tecnica fotogrammetrica come promettente alternativa alle tradizionali tecniche di misure ondometriche, da cui si ottengono solo dati puntuali interferendo con l'oggetto della misurazione. Tuttavia, considerato lo stato iniziale della sperimentazione compiuta si rende necessario una validazione dei risultati e una ottimizzazione dei programmi implementati (con particolare riferimento alla combinazione temporale dei diversi modelli spaziali ottenuti ad istanti di tempo differenti) ottenuti mediante confronto con tecniche di misura tradizionali e ulteriori *software* di elaborazione.

Allorquando il sistema proposto in questa nota verrà ultimato ed ottimizzato in tutte le sue componenti, sarà interessante e significativo verificare le precisioni ottenibili dal metodo mediante il confronto con collaudate tecniche ondometriche disponibili presso il Laboratorio NOEL. Proprio per questo motivo in questa prima fase sperimentale del lavoro non si riportano volutamente le precisioni ottenute, che comunque appaiono già in questa fase promettenti e significative in relazione allo scopo della applicazione e sperimentazione proposta.

Bibliografia

- Barrile V, Bilotta G, Lamari D, Meduri G.M., Monardi Trungadi U, Ricciardi A. (2015), "Computer Vision/Structure For Motion per la Diffusione dei Beni Culturali", *Atti della XIX Conferenza Nazionale Asita*. P. 51-60
- Barrile V, Lamari D, Gelsomino V. (2016), "Tecniche Imaging la Modellazione 3D della Superficie Marina", *61° Convegno Nazionale Sifet*, 8-10 Giugno 2016, Lecce
- Barrile V, Meduri G.M, Bilotta G. (2015), "Lidar for Analysis of Hydraulic Risk Territories", *Advances In Environmental And Geological Science And Engineering - Proceedings Of The 8th International Conference On Environmental And Geological Science And Engineering Salerno*, June 27-29, 2015. *Energy, Environmental And Structural Engineering Series*, Vol. 38, P. 157-161
- Benetazzo A. (2006), "Measurements of short water waves using stereo matched image sequences", *Coastal Engineering* 53
- Cotè L.J, Davis J.O, Marks W, McGough R.J, Mehr E, Pierson W.J, Ropek J.F, Stephenson G, Vetter R.C. (1960), "The directional spectrum of a wind-generated sea ad determined from data obtained by the Stereo Wave Observation Project", *Meteorological Papers*, 2, No. 6, New York University, College of Engineering
- De Vries S, Hill D, de Schipper M.A, Stive M.J.F. (2009), "Using stereo photogrammetry to measure coastal waves", *Journal of Coastal Research* 1484-1488
- Hatzopoulos J.N, Demetrios M. (2012), "Close range photogrammetry mapping of sea waves for better harbor design", *ASPRS Annual Conference Sacramento*, California, 19-23 March 2012
- Holthuijsen L.H. (2007), *Waves in oceanic and coastal waters*, Cambridge University Press, Cambridge UK
- Santel F, Linder W, Heipke C. (2004), "Stereoscopic 3D-image sequence analysis of sea surfaces", *Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium*, Istanbul, Vol. 35, Part 5, pp. 708-712
- Wanek J, Wu C. (2006), "Automated trinocular stereo imaging system for three-dimensional surface wave measurements", *Ocean Engineering* 33 (5-6): 723-747