

LaserScanner, Interferometria Acustica e SideScanSonar integrati per una fedele rappresentazione delle coste in 3D

Andrea Faccioli *

*Codevintec Italiana srl, via Labus, 13 20147 Milano, tel 02.4830.2175, fax 02.4830.2169, info@codevintec.it

Riassunto

Laser Scanner e Interferometria acustica subacquea sono lo stato dell'arte del rilievo ambientale. Rilievi batimetrici con Multibeam Interferometrico, correzione dell'assetto con sistema di posizionamento e compensazione di moto, zone emerse rilevate con Laser Scanner terrestre. Il prodotto finale è un modello 3D dell'area **sopra e sotto il livello dell'acqua**, composto da batimetria e topografia, cui si possono applicare immagini da fotocamera digitale per una visione 3D a colori.

Abstract

Laser Scanner and interferometric bathymetry are the cutting edge of environmental survey technology. Bathymetric surveys with SEA Interferometric Wide Swath Sonar; attitude correction by CodaOctopus sensor; areas above sea level acquired with Optech Laser Scanner. The final product is a single 3D model made up of bathymetry and above water surface topography, to this it is possible to add on it digital camera images for a 3D photorealistic view of the surveyed area.

Introduzione

I rilievi sono stati condotti nell'autunno del 2005. Si è usata la seguente strumentazione:

- Multibeam Interferometrico SEA SWATHplusII,
- correzione dell'assetto con il sistema di posizionamento e compensazione di moto F-180 di CodaOctopus; in alcuni casi è stato utilizzato il sistema di posizionamento e assetto già disponibili a bordo delle barche ospitanti e utilizzati con sistemi Multibeam tradizionali.
- Le zone emerse sono state rilevate con un Laser Scanner Terrestre Optech ILRIS-3D.

Sia Laser Scanner che Multibeam Interferometrico forniscono insieme ai punti anche dati di intensità di segnale, utili per avere un'immagine 3D in bianco e nero dell'area investigata. Per il Laser Scanner si tratta di una pseudo foto basata sulla risposta all'infrarosso dei vari materiali rilevati; per lo SWATHplus l'intensità è generata da una vera e propria immagine side scan.

La similitudine dei dati forniti in uscita dai due sistemi (nuvola di punti completa di valore di intensità) ha reso possibile l'integrazione dei due rilievi mediante il software commerciale Polyworks; tale software permette l'allineamento di differenti riprese mediante la localizzazione di punti omologhi presenti in entrambe le nuvole di punti.

Il prodotto finale è un unico modello 3D composto dalla batimetria e dalla topografia in superficie, a cui è possibile applicare immagini da fotocamera digitale per una visione fotorealistica in 3D dell'area investigata. Il risultato è un modello tridimensionale comprendente sia la parte immersa che la parte in superficie (Fortezza di Livorno, Canal Grande a Venezia, Pontelagoscuro sul PO).

Il sistema batimetrico

SwathPus di SEA è un sistema batimetrico che si basa sul principio dell'interferometria, tecnica moderna ed innovativa soprattutto nel campo delle misure in mare.

Le sue caratteristiche principali sono:

- Copertura fino a 10-15 volte la colonna d'acqua, particolarmente indicato per rilievi in acque basse.
- Apertura del fascio (campo visivo) di 300°, utilizzabile per rilievi di coste, banchine e canali fino al pelo d'acqua.

- Peso e dimensioni ridotti per una facile e veloce installazione anche su piccole imbarcazioni.
- Immagini Side Scan coincidenti con la batimetria

Lo stesso sistema sonar fornisce inoltre visualizzazioni integrate di batimetria 3D e immagini Sidescan. I DTM ottenuti (completi delle tre coordinate XYZ e dell'ampiezza del segnale A) possono essere interrogati, visualizzati, scambiati e stampati sia con il software SwathPlus che con qualsiasi altro software di trattamento dati da nuvola di punti, come ad esempio Polyworks, utilizzato per il trattamento dati da Laser Scanner. L'elaborazione può essere eseguita direttamente sulla Workstation di acquisizione oppure su un altro PC su piattaforma Windows. Eventualmente l'elettronica di bordo è disponibile anche in un alloggiamento stagno separato, per essere controllata a distanza da un semplice PC portatile con connessione Ethernet (soluzione utile per rilievi su piccole imbarcazioni aperte). È stato inoltre utilizzato un sistema di misura della velocità del suono in acqua Valeport miniSVS. Questo strumento è stato posizionato sulla testa del sonar in modo da ottenere valori di SoS (Speed of Sound) in tempo reale. I dati dello SWATHplus possono comunque essere corretti con valori di SoS anche in postelaborazione.

Sensore di posizionamento

I rilievi sono stati georeferenziati in tempo reale utilizzando un sensore di posizionamento F-180 di CodaOctopus. E' un sistema, sviluppato inizialmente per le gare di Formula Uno che integra una coppia di antenne GPS ed un sensore di moto per ottenere in un'unica soluzione sia la posizione che l'assetto in 3D dell'imbarcazione.

Le antenne GPS possono essere utilizzate autonomamente, ottenendo un'accuratezza nel posizionamento migliore di 1 m (grazie a EGNOS), oppure corrette in differenziale DGPS o RTK (se presente l'opzione) per una maggiore accuratezza che può spingersi fino a pochi centimetri. Nella versione doppia frequenza RTK il sistema fornisce inoltre informazioni sulla quota piuttosto accurate, che possono essere utilizzate per determinare l'effetto della marea in tempo reale. Durante il periodo dei test era a nostra disposizione solo la versione singola frequenza che ha costretto l'uso un secondo ricevitore GPS per il posizionamento (Thales Z-Max doppia frequenza RTK), mentre l'F180 è stato utilizzato solo per le misure di assetto, *pitch*, *roll*, *heading* e *heave*.

Laser scanner terrestre

Il Laser Scanner Optech ILRIS-3D è stato utilizzato per le scansioni 3D delle aree emerse. Integra un PC con sistema operativo Linus embedded, un display LCD VGA a largo formato e un sistema di comunicazione WiFi e Ethernet e memorizzazione dei dati su chiavetta USB removibile. L'interfaccia utente è molto simile a quella di una macchina fotografica: si definisce l'area da rilevare, si definisce la risoluzione con cui si vuole acquisire, e si dà il via. Lo strumento rileverà tutto quello che vede fino ad una distanza di oltre 1000 m, con una precisione modellata di pochi millimetri. La risoluzione è di 20 millirad, che si traduce a distanze di 100 metri, in un punto ogni 2 mm.

Software di elaborazione dati integrati

Il software Polyworks di Innovmetric ha permesso l'allineamento delle nuvole di punti generate dai due strumenti (Laser Scanner e Interferometrico) modo semi-automatico, individuando semplicemente tre o più punti comuni ai due rilievi. Il software effettua una ricerca automatica dei punti omologhi nelle due scansioni generando una rototraslazione nello spazio allineando la seconda nuvola di punti alla prima. Il risultato ottenuto potrà poi essere esaminato, ispezionato e infine salvato in diversi formati grafici.

Installazione e calibrazione

SWATHplus è stato posizionato a prua utilizzando gli accessori forniti con la strumentazione (eccetto per il rilievo al Lido di Venezia dove l'imbarcazione presentava già un proprio supporto montato a prua). Le antenne GPS sono state posizionate trasversalmente all'imbarcazione con

distanza variabile tra 0,77 m e 3 m a seconda dell'imbarcazione utilizzata. Dovendo operare in acque poco profonde la testa del sonar è stata montata ad una profondità variabile tra 0.4 m e i 0.2 m per migliorare così l'ampiezza dell'area investigata.

Per tutti i rilievi, ad eccezione di quello sul Canal Grande a Venezia, è stato utilizzato come sistema di posizionamento primario un ricevitore GPS RTK Thales Z-Max, essendo il sistema F180 a nostra disposizione solo a singola frequenza. Per il rilievo del Canal Grande invece è stato usato il sistema F180 anche come sistema di posizionamento principale, per sfruttare le sue proprietà di *dead reckoning* nel passaggio sotto i ponti o quando la visibilità dei satelliti era oscurata dagli edifici.

Dopo l'installazione, l'attrezzatura è stata opportunamente calibrata: la calibrazione del sistema di posizionamento F180 consiste nel navigare tracciando delle rotte a forma di otto, di cerchio e dei tracciati chiusi in direzioni opposte e a velocità differenti.

Prima della calibrazione sono stati determinati gli *offset*, cioè la posizione relativa tra unità principale, l'antenna GPS primaria, l'antenna GPS secondaria e, nel nostro caso, anche dell'antenna del ricevitore GPS Z-Max. Questi valori di *offset* vengono utilizzati inizialmente dall'algoritmo di calibrazione, e da lui stesso affinati durante tutta la procedura di calibrazione.

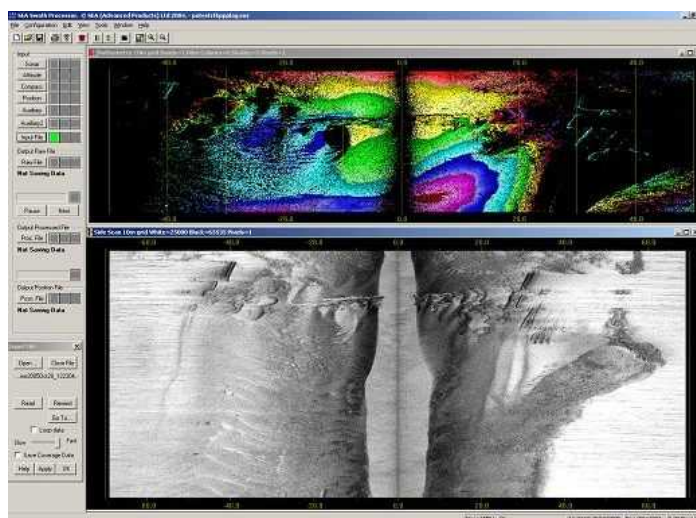


figura 1 – fiume Po. A sinistra, rilievo con laser scanner. A destra, batimetria (in alto) e immagine Side Scan (sotto) dell'area del ponte in cui si individuano macerie attorno alle fondamenta.

La calibrazione dello SWATHplus consiste invece nell'effettuare un normale *patch test*, una serie di passate su uno stesso fondale per determinare disallineamenti tra il sonar ed i diversi valori di posizione, orientamento ed assetto. I parametri di calibrazione vengono poi inseriti nel software di acquisizione in modo che ogni profondità acquisita abbia il corrispondente valore di side scan sonar, e quest'ultimo risulti correttamente georeferenziato sulle mappe batimetriche. Effettuato il Patch Test e salvati i parametri risultanti, il lavoro può cominciare e i risultati essere prodotti immediatamente dopo il rilievo. Ognuno dei rilievi descritti è stato condotto in una sola giornata.

La pulizia, la calibrazione e la visualizzazione dei dati è realizzata attraverso l'applicazione GridProc di SEA. Tale software permette di raggruppare i dati a vari livelli ed ha una selezione di filtri statistici e areali per la pulizia dei dati.

Inoltre ha una serie di procedure automatiche e semiautomatiche che danno la possibilità all'utente di stimare i disallineamenti tra il sonar ed i sistemi ausiliari, permettendogli di controllare questi valori prima di applicarli al software di acquisizione e processamento dei dati.

L'applicazione permette inoltre di visualizzare i dati in modi differenti, in 2D ed in 3D, inclusa la modalità di volo e la produzione video. L'utente può anche modificare i dati della nuvola di punti

tridimensionale per pulire ulteriormente e raffinare il DTM che può essere esportato in parecchi formati differenti, per permettere la visualizzazione dei dati in diverse applicazioni. Il software consente anche di esportare le curve di livello in formato DXF.

Aree Rilevate

Le località dei rilievi sono state scelte per verificare la flessibilità del sistema in differenti condizioni e la sua applicabilità di utilizzo su diverse imbarcazioni.

Fiume Po

Il rilievo è stato condotto su tre sezioni del fiume Po in una zona vicina al delta.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata da una riva all'altra su una sezione di fiume lunga circa 7 km e larga tra 100 e 500 m, con un valore generalmente compreso tra 200 e 300 metri. La maggior parte del fiume è stata rilevata con 4 passaggi, ma le estensioni con fondali poco profondi hanno richiesto ulteriori passaggi per ottenere una copertura sufficiente. La profondità media rilevata è compresa tra 4 e 7 m, con picchi in corrispondenza delle anse del fiume pari a 16 m. Zone di secca sono state rilevate sulla riva interna delle anse. Nell'area erano presenti due ponti: osservando le immagini side scan si notano delle macerie attorno ai pilastri e uno dei due ponti mostra la presenza, tra le campate, di un'imbarcazione naufragata o della struttura di un vecchio ponte crollato. Uno dei due ponti è stato rilevato anche con laser scanner e i dati sono stati integrati al rilievo batimetrico attraverso il software Polyworks.

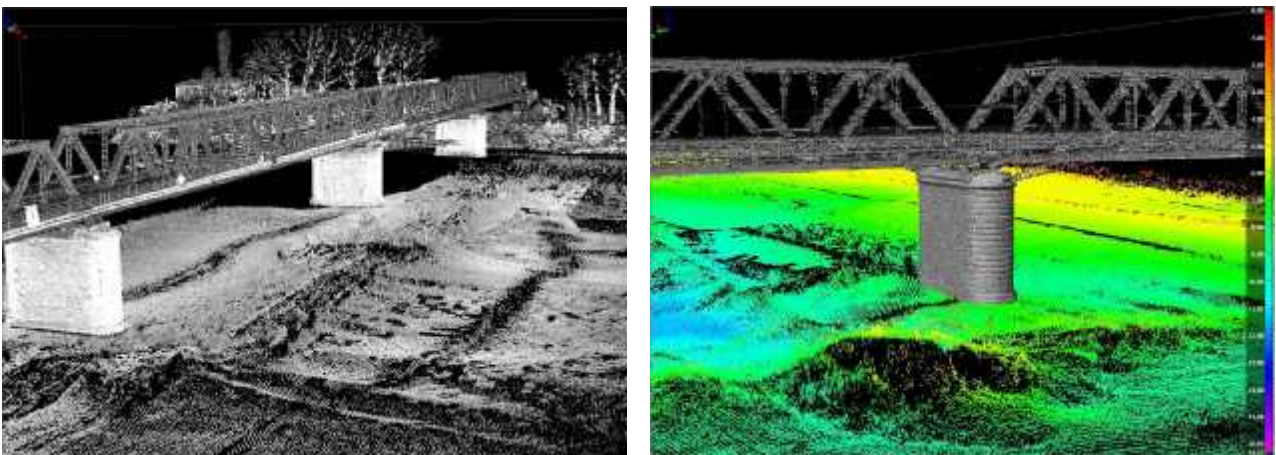


figura 2 - fiume Po. Viste tridimensionali del rilievo integrato in intensità di segnale (e a colori). Sono visibili le macerie vicino alle fondamenta del ponte.

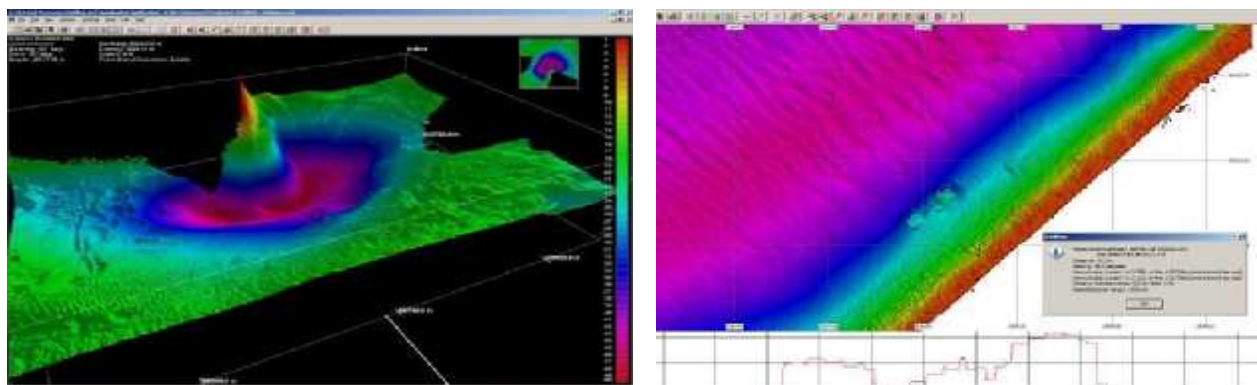


Figura 3 – lido di Venezia. A sinistra, visione batimetrica 3D della radice del canale di Malamocco (busa delle Ceppe). A destra, immagine batimetrica 2D e profilo di un piccolo relitto.

Lido di Venezia

Il rilievo al Lido di Venezia è stato effettuato su 5.5 km del canale di Malamocco e su un'area con un'estensione di 1.5 km per 0.5 km all'interno della laguna. Sono state osservate una profondità minima pari a 0.5 metri ed una profondità massima pari a 55 metri.

Venezia, Canal Grande

Sono stati acquisiti 5,5 km di canale utilizzando lo strumento F180 sia per la misura di assetto che per il posizionamento. E' stata adottata questa soluzione nonostante l'F180 fosse in versione singola frequenza, poiché il suo sistema di *dead reckoning* è in grado di mantenere valori accettabili di posizione ed assetto anche durante il passaggio dell'imbarcazione sotto i ponti o nelle vicinanze di edifici, quando una porzione di cielo piuttosto significativa risulta oscurata.

Il rilievo del canale è stato effettuato da una riva all'altra in due passaggi.

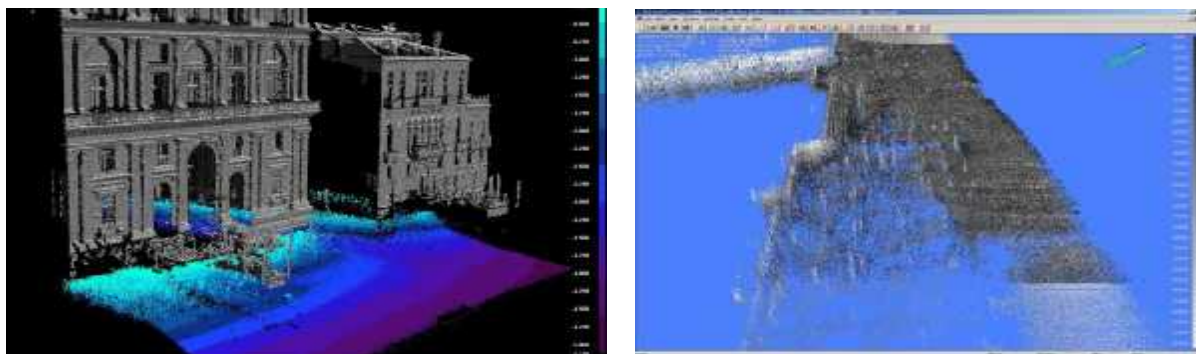


Figura 4 – Venezia, Canal Grande. A sinistra immagine side scan 3D di un edificio affacciato sul Canal Grande (si notino i gradini dell'ingresso). A destra: viste 3D del palazzo rilevato con laser scanner e batimetria sottostante rilevata con interferometria

Porto di Monopoli

È stata rilevata un'area con estensione approssimativa di 1 x 1.5 km, acquisita in tre sezioni con una sovrapposizione pari al 100%, e quindi con copertura del 200% per la maggior parte dell'area rilevata.

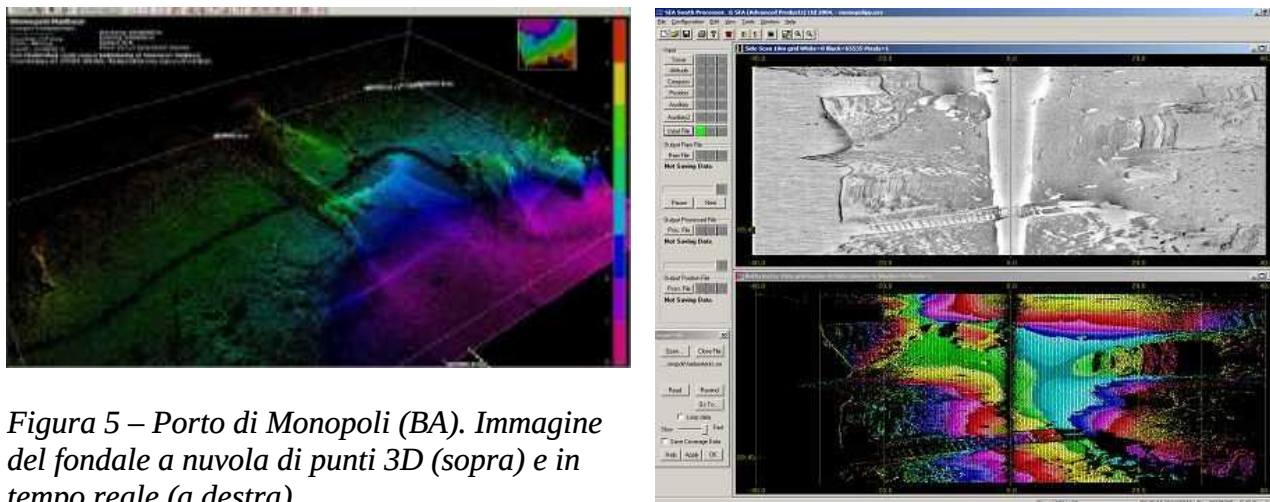


Figura 5 – Porto di Monopoli (BA). Immagine del fondale a nuvola di punti 3D (sopra) e in tempo reale (a destra).

Porto di Livorno

Il rilievo del porto di Livorno è stato condotto in due diversi momenti: nel Novembre 2005 è stato rilevato il fondale con sistema interferometrico, producendo le nuvole di punti con intensità di segnale, il DTM della batimetria e le immagini side scan. Qualche mese più tardi, febbraio 2006, è stata invece effettuata la scansione Laser. Il tutto è stato poi gestito e integrato con Polyworks.

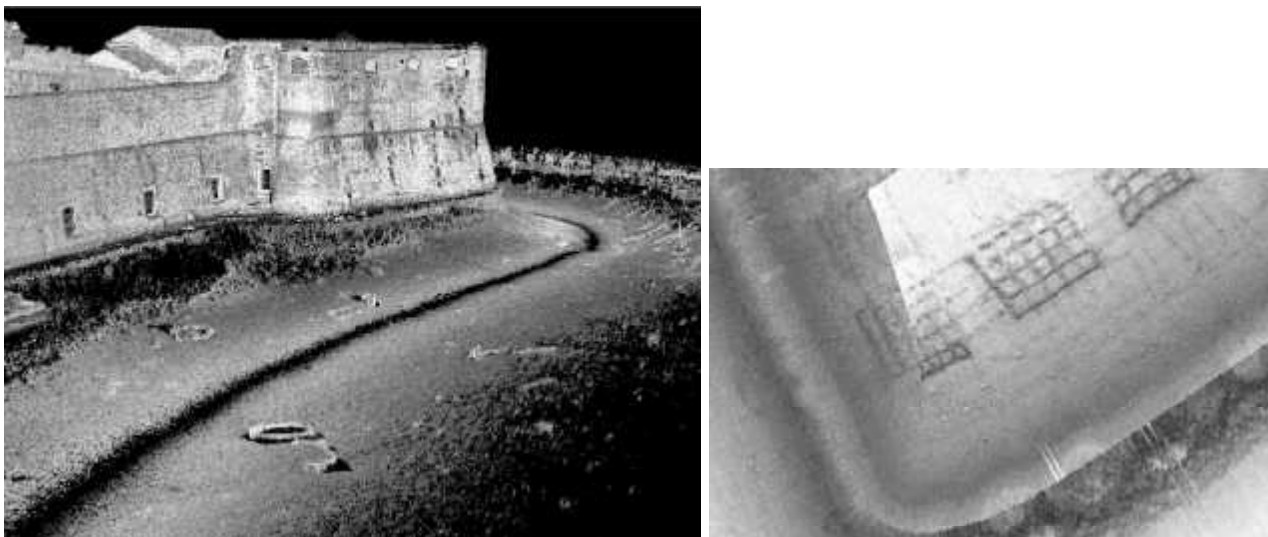


*Figura 6 – A sinistra: Fortezza Vecchia nel porto di Livorno: vista 3D del rilievo integrato con intensità di segnale da side scan. I relitti delle imbarcazioni sul fondale sono evidenziati molto bene quando alla nuvola di punti viene associata l'immagine side scan.
A destra: allevamenti di cozze nel porto di La Spezia*

Porto di La Spezia

Il rilievo del porto di la Spezia (come quello di Monopoli) è stato condotto con il solo multibeam Interferometrico SWATHPlus e non presenta caratteristiche particolari rispetto ai lavori già illustrati. Vale la pena però riportare alcune immagini side scan di alcuni allevamenti di cozze per evidenziare il dettaglio e la pulizia del rilievo.

Risultati

Per tutte le aree rilevate sono stati prodotti DTM e mosaici di immagini side scan sonar. I DTM sono stati eseguiti considerando negative le profondità e sono stati prodotti usando come riferimento il datum geoidico, utilizzando quote derivate dall'RTK con stazione base sui punti IGM nei siti dove questa informazione era disponibile. La griglia utilizzata è l'UTM33, derivata dal WGS84. I DTM possono essere forniti con informazioni su latitudine, longitudine e profondità. Sono anche provvisti di un quarto campo che rappresenta l'ampiezza, ovvero la forza del segnale di ritorno del side scan e del Laser. Questi valori non contengono tutta l'informazione contenuta in un vero mosaico di immagini side scan, ma sono comunque molto utili per la lettura e l'interpretazione dei sondaggi batimetrici.

Conclusioni

I rilievi effettuati su tutte le aree sono risultati molto promettenti, con entrambe le metodologie. L'integrazione dei due rilievi è stata facilitata dal potente algoritmo ICP utilizzato dal software Polyworks per l'allineamento delle nuvole di punti, e dall'uso di uno stesso sistema di riferimento (UTM su WGS84) per il posizionamento e la georeferenziazione. Proprio il sistema di posizionamento ha evidenziato qualche difficoltà: sul fiume Po a causa della presenza di ostruzioni quali i ponti e per la presenza di argini ripidi e nel Canal Grande a Venezia per la presenza di ponti e di edifici alti.

Questo problema è stato risolto nel rilievo a Venezia utilizzando il sistema F180 di CodaOctopus che contiene un sistema inerziale al suo interno ed è riuscito a mantenere la posizione nel passaggio attraverso i ponti, anche senza vedere alcun satellite.

I problemi di posizionamento possono essere risolti utilizzando la versione più completa dell'F180, che sfortunatamente nel periodo dei test non era disponibile.