



Arch. Simona Alauria, Ing. Luca Amatori  
3DeFFe – Fotogrammetria Digitale Aerea 3D  
[www.3deffe.com](http://www.3deffe.com) – [info@3deffe.com](mailto:info@3deffe.com)

---

**TOPOGRAFIA, AEROFOTOGRAMMETRIA, BATIMETRIA:**

**USO DI STRUMENTAZIONE AEREA ALTERNATIVA  
AGLI UAV, INTEGRAZIONE DEI DATI E ANALISI DEI  
RISULTATI**

***TOPOGRAPHY, AERIAL PHOTOGRAMMETRY, BATHYMETRY:***

***USE OF DIFFERENT AERIAL EQUIPMENT FROM UAV,  
DATA INTEGRATION AND RESULTS ANALYSIS***

October 2015

**KEY WORDS:** fotogrammetria, topografia, batimetria, GIS, Geografic Information System.

**KEY WORDS:** photogrammetry, topography, bathymetry, GIS, Geographic Information System.

## ABSTRACT

Negli ultimi anni lo sviluppo della tecnologia di rilevamento UAV ha condotto a risultati sorprendenti in molti ambiti professionali: dall'edilizia alla geologia, dall'agricoltura di precisione al controllo del territorio, dall'archeologia alla valorizzazione dei beni culturali ed ambientali.

Lo sviluppo di sensoristica sempre più performante, di sistemi di sicurezza sempre più affidabili e di mezzi UAV sempre più versatili ha stimolato la ricerca scientifica nonché lo sviluppo professionale di attività dalle enormi potenzialità. Occorre tuttavia porre l'accento anche sulle tecnologie e sulle strumentazioni di ripresa alternative agli UAV che possono essere di importanza basilare, per esempio, qualora ci si trovi a dover effettuare un rilievo aereo in zona non autorizzata.

Questo è il caso che presenteremo nel seguito: il rilievo aereo di una scogliera in zona critica e la necessità di integrare le informazioni metriche ed altimetriche estrapolate dal modello tridimensionale georiferito con quelle derivanti dalla batimetria di prossimità.

Software utilizzati: Agisoft PhotoScan, QGIS.

## INTRODUZIONE

L'obiettivo del progetto è stato il rilievo di una scogliera e la batimetria di prossimità del fondale marino adiacente fino ad una profondità di 10 metri, il tutto in formato cad da sovrapporre alla cartografia tecnica regionale e catastale locale. La superficie rilevata è pari a circa 700 mq distribuiti in una fascia costiera stretta e lunga. La richiesta di inserimento del rilievo in cartografia tecnica regionale ha imposto la necessità di georeferenziare la mappa finale.

Il percorso formativo specialistico intrapreso dalla 3DeFFe, con la dotazione di strumentazione di rilievo aereo, l'acquisizione di competenze nella elaborazione fotogrammetrica in particolare modo con il software Photoscan e la costruzione di una solida rete di professionisti tra cui topografi di fiducia, ha permesso di pianificare ed eseguire il rilievo aerofotogrammetrico di precisione dell'area con impiego di sistemi ad alto contenuto tecnologico.

L'area, in riferimento alla normativa italiana che regola l'utilizzo professionale dei mezzi UAV, è ritenuta critica per il suo carattere urbano.

La post-elaborazione dei dati acquisiti ha prodotto in breve tempo l'ortofoto ad alta definizione ed il modello DEM che, inseriti in GIS, hanno permesso di estrapolare il piano quotato completo e di integrarlo con le misurazioni derivanti dalla batimetria.

## ABSTRACT

*In recent years the development of the UAV survey technology has led to impressive results in many professional fields: from building to geology, from precision agriculture to control of the territory, from archaeology to the enhancement of environmental and heritage assets.*

*The development of ever more powerful sensors, of security systems more and more reliable and of UAVs ever more versatile have increasingly promoted and stimulated scientific research and professional development activities in aerial survey of enormous potential. It should however be put emphasis also on the technologies and equipment of survey different from UAVs that can be of vital importance, for example, if you have to do an aerial survey in unauthorized zone.*

*This is the case that we present in this article: a coastal aerial survey in a critical area with the necessity of integration of metrics and elevation data resulting from the georeferenced 3D model with data collected during the coastal bathymetric survey.*

*Software used: Agisoft PhotoScan, QGIS.*

## INTRODUCTION

*The project goal was the land survey of a seaside and the proximity bathymetry survey of the adjacent seabed till to a depth of 10 meters; everything managed in CAD format in order to overlay the output data to official regional mapping and local cadastral. The total area detected was approximately 700 square meters distributed in a long and narrow coastal strip. The requirement of integration between output survey data and regional technical cartography has imposed the necessity to geo-reference the final map.*

*The specialisation followed by 3DeFFe, with the supply of aerial survey instrumentation, the increase of skills in specific photogrammetric processes, in particular through software PhotoScan and the strong network built of professionals including surveyors of confidence, allowed us to plan and execute the aerophotogrammetric survey with the use of systems with a high tech content.*

*The area, according to the Italian legislation about the use of professional UAV, is defined "critical" for its urban aspect.*

*The post-processing of the acquired data produced in a short time the high-definition orthophoto and DEM model that, merged in GIS software, allowed to extrapolate the complete dimensioned plan and integrate it with the measurements coming from bathymetry survey.*

Nel seguito i dettagli del procedimento completo.

*Below the details of the complete procedure.*

## **RILIEVO TOPOGRAFICO**

Il rilievo topografico è stato eseguito preliminarmente alle operazioni di riprese aeree e rilievo batimetrico. Esso è stato indispensabile in fase di post-elaborazione per orientare e scalare il modello tridimensionale, per georeferenziarlo nel Sistema di Riferimento Geografico richiesto dalla committenza e sovrapporlo alle cartografie tecniche regionali e catastali. Al fine di localizzare con la maggiore precisione possibile l'ortofoto finale inoltre sono stati acquisiti dei capisaldi IGM.

### **FASE 1**

Posizionamento a terra di 20 GCP (Ground Control Point) formato A4 (29,7 x 21 cm.) e individuazione in sito di altri 10 GCP coincidenti con spigoli, gradini, tombini ritenuti utili in funzione della post-elaborazione. I GCP utilizzati in questo caso erano di cartoncino plastificato onde resistere all'umido ed alla salsedine del sito: sono stati fissati sul terreno con silicone. La grafica dei CGP era di colore giallo e nero per essere meglio riconoscibili in post produzione ed evitare l'effetto riflettente del bianco. Vista l'estrema irregolarità del terreno pietroso si è posta attenzione al posizionamento dei CGP sulla superficie di pietre piane. Data la conformazione stretta ed allungata del sito da rilevare, i GCP sono stati disposti a zig-zag lungo tutta la striscia di terra.



### **FASE 2**

Rilievo con GPS rover dei GCP posizionati, previa calibrazione dello strumento sulla base dei capisaldi IGM acquisiti. Restituzione grafica dei punti rilevati in cad GIS con impostazione del Sistema di Riferimento richiesto e sovrapposizione alle Carte Tecniche Regionali locali in formato raster e vettoriale.

Ottenuto l'inquadramento geografico del sito in cad sono state tracciate graficamente le quattro sezioni batimetriche richieste, acquisite in GIS le coordinate iniziali e finali di ciascuna e riportate sullo strumento, pronte per la successiva fase di rilievo batimetrico.

## **TOPOGRAPHIC SURVEY**

*The topographic survey was carried out prior to subsequent operations of aerial and bathymetric survey. It was essential in post-processing to orient and scale the three-dimensional model, in order to get it georeferenced in a Geographic Reference System to overlay it to regional technical and cadastral maps, as requested by the client. In order to localize as precisely as possible the final orthophoto were also acquired official IGM landmarks.*

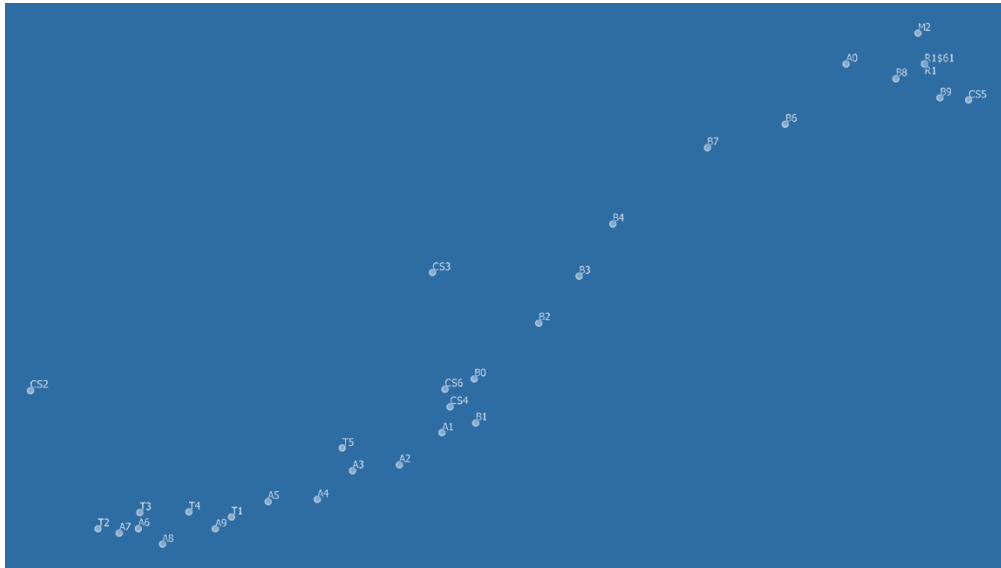
### **PHASE 1**

*Positioning on the ground of 20 GCP (Ground Control Point) A4 (29.7 x 21 cm.) and in situ detection of other 10 GCP coincident with corners, stairs, drains deemed useful in function of the post-processing. The GCP used in this case were made of plasticized cardboard in order to resist to damp and salt of the site: they were set on the ground with silicon. The colour of the CGP was yellow and black in order to be better recognized in post-production avoiding the reflective effect of white colour. Given the extreme unevenness of the rocky ground has paid particular attention to the positioning of CGP on the surface of the flat stones. Due to the narrow and elongated shape of the site to be detected, the GCP were arranged in a zig-zag path along the entire strip of land.*

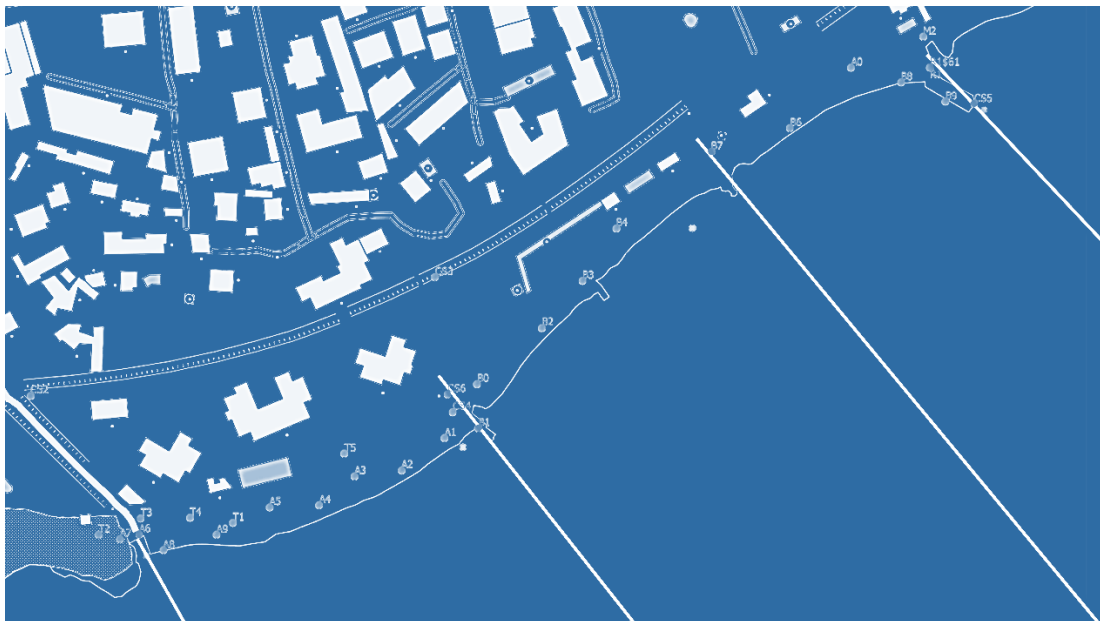
### **PHASE 2**

*Survey with GPS rover of all GCP positioned prior calibration of the instrument based on the acquired IGM landmark. Graphic drawing of points measured in GIS cad according to the reference system required and overlay to the local Regional Technical Maps in raster and vector formats.*

*After having got the geographical classification of the site, were graphically drawn the requested four bathymetric sections, were acquired GIS coordinates of starting and ending point of each section line and then were put them into the GPS instrument, ready for the next phase of bathymetric survey.*



Restituzione grafica cad dei punti e dei GCP rilevati  
*Graphic rendering of each of the surveyed points*



Inserimento dei GCP e dei punti rilevati in GIS e tracciamento delle sezioni batimetriche  
*GIS integration of GCP and the measured points and tracing of bathymetric sections*

## **RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO ED ELABORAZIONE DATI**

### **FASE 1**

La scogliera è situata in area urbana che, ai sensi della vigente normativa ENAC, è considerata zona critica per l'uso del drone. Il rilievo aereo è stato effettuato con l'impiego di dirigibile ad elio controllato via cavo da operatore a terra. Si è impiegata una fotocamera Nikon D600 full HD, focale fissa 24 mm, montata su gimbal stabilizzata e radiocomandata. Le foto sono state acquisite in nadirale.

Le foto sono state acquisite da una altezza costante di 30 metri con attenzione ad ottenere una sovrapposizione delle immagini del 70% in entrambe le direzioni. Nei pressi dei CGP la sovrapposizione è stata anche maggiore per garantire una buona ridondanza dei

## **AERIAL PHOTOGRAMMETRIC SURVEY AND DATA PROCESSING**

### **PHASE 1**

The seaside is located in an urban area that, according to existing legislation ENAC, is considered "critical area" for the UAV system. The aerial survey was performed with the use of helium blimp controlled by cable to ground operator. It was used a reflex cam Nikon D600 full HD, fixed focal length 24 mm, mounted on a stabilized gimbal and radio-controlled in order to get a nadir survey, orientation.

The photos were collected at a fixed height of 30 meters with particular attention to get an overlap of images of at least 70% in both directions. Close to CGP the overlap has been increased in order to ensure a

fotogrammi. Sono state acquisite in totale 250 fotogrammi dai quali ne sono stati processati 180.

## **FASE 2**

La fase di elaborazione fotogrammetrica (unico Chunk) e ottenimento del modello tridimensionale si è svolta con software Agisoft PhotoScan. Il Batch Process è stato così impostato:

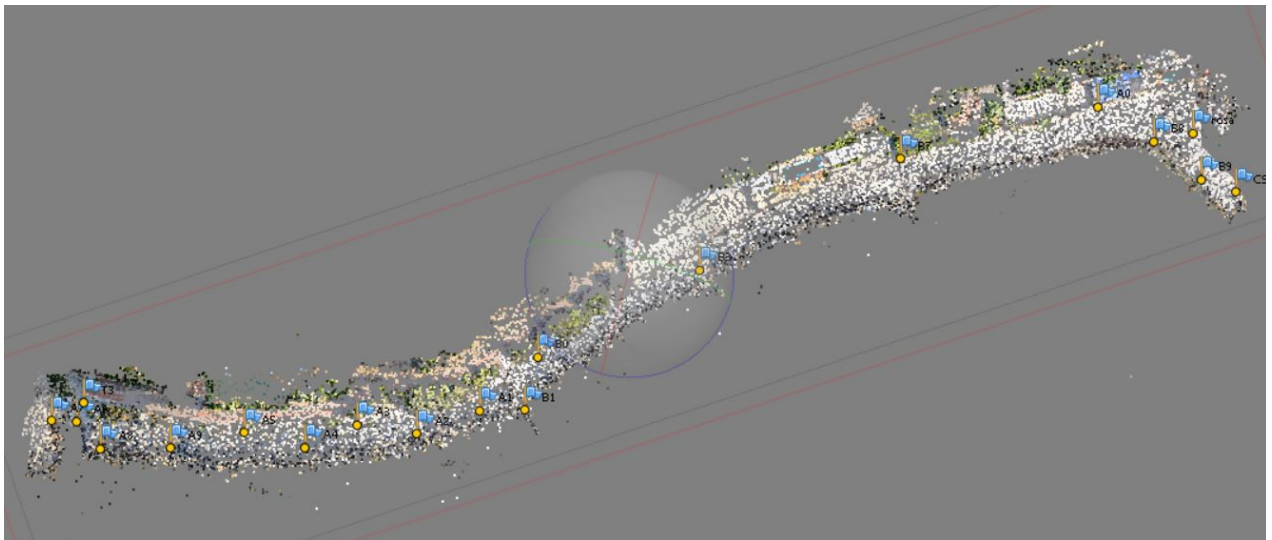
- Allineamento delle 180 immagini con accuratezza elevata e opzione "Pair Preselection" disabilitata in quanto le foto, data la tecnologia di ripresa impiegata, sono state acquisite in maniera manuale. Già dal primo allineamento si è potuta verificare l'intera ricopertura dell'area rilevata. Le immagini selezionate sono state allineate tutte con il riconoscimento di circa 22.000 Tie Point.

*good redundancy of the frames. Were acquired total 250 frames from which were processed 180.*

## **PHASE 2**

*The photogrammetric process (single chunk) and obtaining the three-dimensional model of the site with software Agisoft PhotoScan. The Batch Process has been set as follows:*

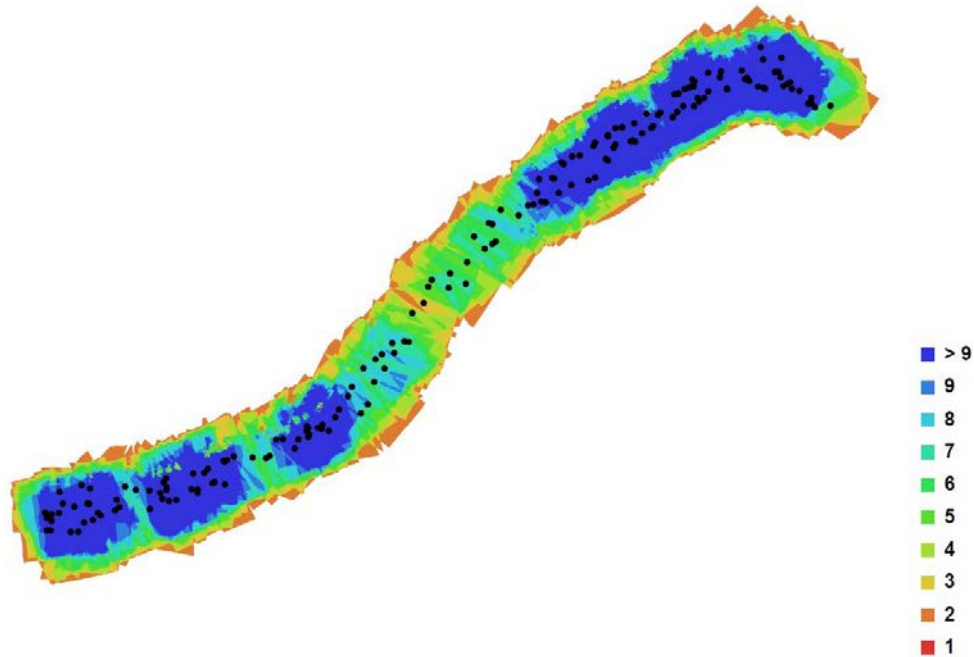
- *Alignment of 180 images with high accuracy and option "Pair Preselection" disabled as photos, given the technology used, have been acquired in manual mode. Since the first alignment it has been possible to verify the complete covering of the whole surveyed area. The selected images have been all aligned with the identification of about 22,000 Tie Point.*



Sparse Cloud e riconoscimento dei GCP  
*Sparse Cloud and GCP identification*

- Importazione del file xml contenente i GCP rilevati ed inserimento delle loro coordinate georiferite nel Sistema di Riferimento prescelto; riconoscimento di 20 GCP sulle immagini e individuazione dei rispettivi omologhi. L'elevata definizione delle immagini ha consentito di riconoscere graficamente il centro dei GCP con precisione tale da contenere l'errore complessivo medio sul posizionamento dei Marker nelle tre direzioni X, Y, Z entro i 0,2 pix (1 pix = 0.006 um circa).

- *Import of xml file containing the CGP detected and imputing of their coordinates in georeferenced Reference Sistem; identification of 20 GCP on the images and location of the respective homologous. The high definition images enabled to precisely recognize graphically the center of GCP allowing to limit the overall average error within the 0.2 pix (1 pix = approximately 0.006 um) on the positioning of Marker in X, Y, Z.*



Posizione dei punti di presa dei fotogrammi e sovrapposizione delle immagini  
*Camera locations and image overlap*

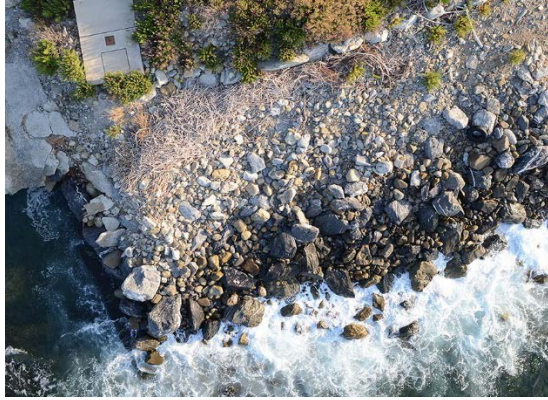
- Elaborazione della Dense Cloud in alta qualità e con opzione “Depth Filtering” impostata su Moderate. Sulla base della Dense Cloud così ottenuta, composta da 126 milioni di punti, si è passati alla elaborazione della mesh in alta definizione e “Surface Type: Height Field”. Il che ha consentito di accorciare notevolmente i tempi di elaborazione della mesh dando prevalenza alla definizione dei dettagli sul piano XY.
  - Elaborazione della texture che ha permesso di ottenere una ortofoto georeferenziata con una risoluzione pari a 0.7 cm/pix: in altre parole ogni pixel dell’immagine rappresenta 0,7 cm. al suolo. Definizione idonea ad offrire dettagli in una rappresentazione grafica in scala finale 1:100 del rilievo.
  - Vettorializzazione dell’ortofoto e sua sovrapposizione in GIS ai layer precedentemente impostati.
- *Dense cloud processing in high quality and with option "Depth Filtering" set to Moderate. Based on Dense cloud thus obtained, consisting of 126 million points, we moved to the elaboration of the mesh in high definition and "Surface Type: Height Field". This made it possible to shorten the processing time of the mesh giving precedence to the definition of the details in the XY plane.*
  - *Final model texture elaboration has given as output a georeferenced orthophoto with a resolution of 0.7 cm/pix: in other words, every pixel of the image is referred to 0.7 cm. to the ground. Definition more than sufficient to provide necessary detail in a graphic representation in the final survey scale of 1:100.*
  - *Vectorisation of the orthophoto and its overlapping with GIS cartographic layers and survey previously imported.*

Il rilievo è stato perfezionato con l’elaborazione in PhotoScan della DEM georeferenziata. Tale mappa è stata fondamentale in quanto, inserita in GIS, si sono potute estrapolare le quote di tutti i punti necessari al completamento del piano quotato del sito.

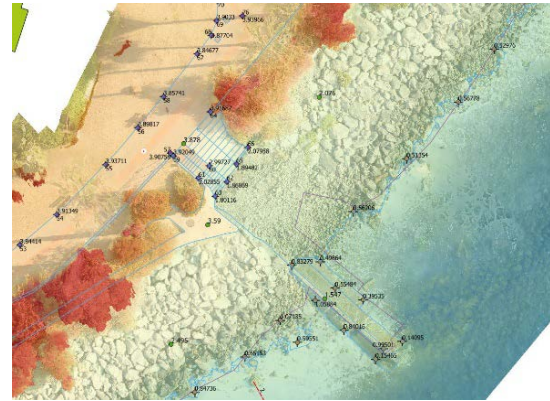
Si è potuto così verificare l’attendibilità del modello e delle mappe di output prodotte. Infatti, interrogando la DEM in corrispondenza dei GCP rilevati con GPS in sito e di altri GCP rilevati, ma non inseriti nella modellazione di Photoscan, le coordinate restituite evidenziano un errore medio pari a 2 cm. Questa discrepanza, in funzione dell’obiettivo del rilievo, è accettabile. La stessa strumentazione GPS ha restituito le coordinate rilevate con lo stesso margine di errore.

*The survey was completed with the development, in PhotoScan, the georeferenced DEM. This additional processing is crucial as, once inserted in GIS it was possible to extrapolate the altitude of all the points necessary to complete the dimensioned plan of the site.*

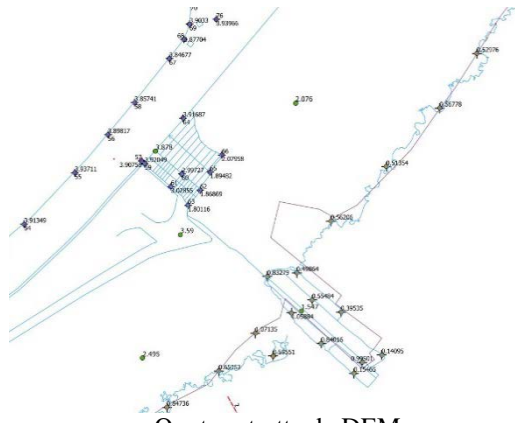
*In this way it was possible check the reliability of the model and the maps produced. In fact, querying the DEM in correspondence of the GCP recorded with GPS and the other GCP detected, but not incorporated in the modelling of PhotoScan, the coordinates returned show an average error equal to 2 cm. This discrepancy, according to the the objective of the survey, is acceptable. The same GPS instrumentation has returned the coordinates acquired with the same margin of error.*



Dettaglio ortofoto  
*Orthophoto detail*



Sovrapposizione ortofoto – DEM  
*Orthophoto – DEM overlay*



Quote estratte da DEM  
*altitude extracted from DEM*



Sovrapposizione ortofoto e quote estratte da DEM  
*Overlapping orthophotos and quotas extracted from DEM*

## **RILIEVO BATIMETRICO**

### **FASE 1**

L'impostazione del rilievo batimetrico di prossimità è stata fatta prima di tutto trasferendo sulla strumentazione GPS le coordinate dei punti iniziale e finale delle quattro sezioni batimetriche tracciate in GIS.

La sovrapposizione della cartografia regionale in formato vettoriale con le isobate a 5 – 10 – 15 metri dalla linea di costa ha consentito di individuare il limite di profondità di 10 metri a cui spingere il nostro rilievo di prossimità e, successivamente, ha fornito una base di verifica finale delle quote del fondale da noi acquisite.

### **FASE 2**

Rilievo batimetrico di prossimità con sonar single beam su imbarcazione guidata da sistema GPS base – rover sulla base delle coordinate estratte dal GIS e dei marker fissati a terra. Il segnale è stato rilevato ogni 50 cm. di dislivello in profondità.

Data l'instabilità del rover per rollio e beccheggio dell'imbarcazione si è preferito operare con base GPS posizionata in riva alla stessa scogliera. In questo modo si sono evitati anche i possibili errori derivanti da un eventuale scarso collegamento con la rete GSM locale. I punti rilevati sono poi stati trasferiti in CAD elaborando le sezioni alla scala richiesta ed inseriti in

## ***RILIEVO BATIMETRICO***

### ***PHASE 1***

*The setting of the proximity bathymetric survey was first organized transferring into GPS instrumentation the coordinates of the starting and ending points of the four bathymetric sections traced in GIS.*

*The overlap of the regional map in vector format with depth contours at 5 - 10 - 15 meters from the coastline allowed to identify the depth limit of 10 meters where to push our survey offshore and subsequently provided a basis of final assessment of the depth of the seabed acquired by us.*

### ***PHASE 2***

*Bathymetric sonar proximity survey with single beam mounted on a boat guided by GPS base - rover system on the basis of the coordinates extracted from the GIS and markers fixed to the ground. The signal was recorded every 50 cm. elevation gain in depth.*

*Given the instability of the rover due to roll and pitch of the boat, we preferred to operate with the base GPS positioned on the banks of the same seaside. In this way we avoided also the possible errors coming from a possible poor connection with the local GSM network. The points collected have been transferred in CAD, represented at the desired scale and entered in GIS. This completed the dimensional diagram of the*

GIS completando così il piano quotato del sito anche con le misure derivanti dal rilievo batimetrico.

La precedente elaborazione del modello metrico tridimensionale del sito ha consentito, infine, di prolungare le sezioni batimetriche sul terreno estrapolando in ogni punto le rispettive coordinate Z e completando la grafica delle sezioni anche sulla superficie della scogliera.

## CONCLUSIONI

La metodologia di rilievo seguita, conclusasi complessivamente in due giornate di operazioni in sito e circa tre di processamento immagini ed estrapolazione dati, ha permesso di ottenere un rilievo cad finale del terreno supportato da una ortofoto georeferenziata in alta definizione. Il tutto basato sul rilievo topografico preliminare di soli 40 punti tra GCP, capisaldi e punti IGM di calibrazione. Ogni punto del cad e ogni punto dell'ortofoto finale hanno, quindi, coordinate reali inserite nel Sistema di Riferimento prescelto.

Entrambi gli elaborati sono stati inseriti e post elaborati in ambiente GIS dove sono stati sovrapposti alla cartografia tecnica regionale locale.

L'ulteriore elaborazione in PhotoScan della DEM del modello ha permesso l'estrapolazione delle coordinate Z e quindi delle quote di tutti gli altri punti necessari alla definizione ed al completamento del piano quotato del sito.

Sulla base del Sistema geografico di Riferimento prescelto sono stati infine collegati il rilievo aerofotogrammetrico con il rilievo batimetrico di prossimità ottenendo un unico piano quotato completo delle quote sul terreno e delle quote del fondale marino fino ad una profondità di 10 metri, corrispondenti ad una distanza dalla linea di costa di circa 300 metri.

L'esperienza ha dimostrato l'affidabilità della tecnologia aerofotogrammetrica, l'importanza della precisione nel rilievo topografico preliminare e del GIS per l'inquadramento cartografico dell'area oggetto di studio in particolare se i dati vanno integrati con database differenti provenienti da metodologie diverse.

Sotto il profilo del processamento delle immagini si è dimostrato, inoltre, l'efficacia del software PhotoScan nella elaborazione di fotogrammi provenienti da un "volo manuale", quindi non perfettamente allineate tra loro e con sovrapposizione non del tutto costanti.

*site even with the measures resulting from the bathymetric survey.*

*The previous processing of three-dimensional metric model of the site has at the end allowed to extend the bathymetric sections on the ground extrapolating for every point the respective Z coordinates and completing the sections graphic also in the seaside surface.*

## RESULTS

*The survey methodology followed, that ended in a total of two days of operations on site and about three of image processing and data handling, has resulted in a survey of the ground supported by a high definition georeferenced orthophoto. Everything based on the preliminary topographical survey of only 40 points between GCP, landmarks and IGM calibration points. Each point of the cad model and of the final orthophoto have, therefore, been included in the actual chosen coordinates reference system.*

*Both papers were included and post processed in GIS where they were overlaid on the local regional technical map.*

*The further processing of PhotoScan DEM model has allowed the extrapolation of the Z coordinates and of all other points necessary to the definition and completion of the dimensioned plan of the site.*

*On the basis of the chosen reference geographical system were finally connected the aerophotogrammetric survey with bathymetric one getting one single fully dimensioned plan, including both ground and seabed measures till to a depth of 10 meters, corresponding to a distance from coast line of about 300 meters offshore.*

*Our experience has demonstrated the reliability of the aerophotogrammetric technology, the importance of precision in the preliminary topographic surveying and GIS mapping for framing the study area, especially if the data must be integrated with databases from different databases coming from different survey procedures.*

*Under the profile of the processing of the images it has been shown, moreover, the effectiveness of the software PhotoScan in the processing of frames from a "flight manual," then not perfectly aligned and with percentages of overlap not entirely constant.*