



*Ministero dell'Istruzione,  
dell'Università e della Ricerca*



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO**

**Dipartimento di Ingegneria Civile**

***Dottorato di Ricerca***

***in***

***Rischio e sostenibilità***

***nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale***

**XXX Ciclo (2014-2017)**

**VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS PARA EL**

**LEVANTAMIENTO Y MONITOREO DE ÁREAS**

**ARQUEOLÓGICAS**

**(UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR SURVEY AND**

**MONITORING IN ARCHAEOLOGICAL AREA)**

***Marco Limongiello***

**Il Tutor**

***Prof. Salvatore Barba***

**I Coordinatori**

***Prof. Fernando Fraternali***

***Prof. Ciro Faella***

**Il Cotutor**

***Prof. essa Margherita Fiani***

**I Valutatori**

***Prof. Fernando Berenguer Sempere***

***Prof. Diego González Aguilera***

Marco Limongiello

---

Vehículos aéreos no tripulados para el levantamiento y monitoreo de áreas arqueológicas

## ABSTRACT

Nell'ultimo decennio, lo sviluppo della fotogrammetria da mezzi aviotrasportati ha subito un notevole incremento nelle applicazioni del rilievo architettonico e nel monitoraggio dell'ambiente, riuscendo a integrare (a volte addirittura a sostituire) le classiche tecniche della Geomatica e introducendo a nuove possibilità nel Remote Sensing rispetto alla tecnica fotogrammetrica aerea tradizionale. L'utilizzo di algoritmi provenienti dalla Computer Vision, soprattutto dalla disciplina della Visione Artificiale, ha permesso l'estrazione da set di immagini, di nuvole di punti di elevatissima densità e qualità metrica, sempre più utilizzate nei settori di nostro interesse (architettonico e ambientale). Le motivazioni del rapido successo di tali sistemi sono da attribuire alla qualità dei risultati metrici e infografici prodotti, alla rapidità della fase di acquisizione e ai prodotti realizzabili in post-processamento oltre che alla facilità di divulgazione del dato 3D. La diffusione del nuovo processo fotogrammetrico è avvenuto di pari passo alla innovazione tecnologia dei sensori passivi, dovuto all'ingresso sul mercato di fotocamere commerciali in grado di acquisire immagini di ottima qualità metrica e ad alta risoluzione.

Il lavoro sviluppato durante il corso di dottorato, sulla base delle numerose esperienze svolte all'interno del Laboratorio Modelli dell'Università degli Studi di Salerno, si è focalizzato sull'uso di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) per la fotogrammetria aerea del vicino (o spesso definita di prossimità), utilizzando e analizzando diverse configurazioni del sistema, ovvero diverse tipologie di sensori passivi e diversi vettori aerei su cui queste sono state installate. Le applicazioni svolte hanno occupato diversi casi applicativi, con caratteristiche morfologiche e grado di dettaglio differente, a seconda degli elaborati metrici finali richiesti.

La ricerca si è focalizzata sull'analisi degli scarti che un rilievo aereofotogrammetrico può produrre rispetto ai classici rilievi topografici, per mezzo di stazione totale, GPS (Global Positioning System) o TLS (Terrestrial Laser Scanner), strumentazioni dotate di sensibilità decisamente più elevate del sistema aviotrasportato, e quindi affette da minori incertezze. Nelle diverse applicazioni, utilizzando misurazioni topografiche provenienti da sistemi diversi e avvalendoci dei cosiddetti GCP (Ground Control Point), sono stati calcolati gli scarti metrici tra il modello fotogrammetrico georeferenziato e l'appoggio topografico, valutando le potenzialità metriche del sistema nelle diverse configurazioni.

Inoltre per mezzo di uno script, sono stati misurati gli errori di riproiezione per ogni punto della nuvola generata dall'intero processo fotogrammetrico; da analisi

---

Vehículos aéreos no tripulados para el levantamiento y monitoreo de áreas arqueológicas  
statistiche sull'errore di riproiezione nei diversi casi studio, sono state valutate le  
modalità per cui il rilievo aerofotogrammetrico ha gli scostamenti minimi.

I casi studio elaborati ricadono essenzialmente nell'ambito archeologico, in cui a  
stretto contatto con le diverse Sovrintendenze, si sono analizzati i possibili elaborati  
da restituire per una prima informatizzazione del rilievo. L'insieme degli elaborati  
prodotti e consegnati alle diverse sovrintendenze, rappresenta il punto di partenza  
per la conservazione e la salvaguardia del bene archeologico, da cui poter ricavare  
informazioni per diversi ambiti di interesse (valutazione del degrado, calcolo di  
cedimenti e/o deformazioni, ecc...). Il confronto con la classica topografia è  
necessario per un confronto metrico del modello 3D, da cui deriveranno tutti gli  
elaborati (ortofoto, sezioni, curve di livello, ecc..).

## ABSTRACT

In the last year, the development of photogrammetry by airborne vehicles has had a significant increase in the applications of architectural surveying and environmental monitoring, integrating (sometimes even to replace) the classic techniques of Geomatic and introducing new possibilities in the Remote Sensing compared to traditional aerial photogrammetric technique. The use of Computer Vision algorithms, above all from the Artificial Vision discipline, allowed the extraction from image sets, clouds of very high density points and metric quality, increasingly used in the sectors of our interest (architectural and environmental). The rapid success of these systems is attributable to the quality of the metric and infographics results produced, to the speed of the acquisition phase and to products that can be realized in post-processing in addition to the ease disclosure of the 3D data. The diffusion of the new photogrammetric process has occurred hand in hand with the passive sensor technology innovation, due to the emergence of commercial cameras on the market able to acquire images of excellent metric and high-resolution quality. The work developed during the PhD course, based on the many experiences carried out in the Model Laboratory of the University of Salerno, focused on the use of UAV for the aerial photogrammetry, using and analyzing different system configurations, ie different types of passive sensors and different air carriers on which these have been installed. The applications carried out occupied several application cases, with morphological characteristics and different degree of detail, depending on the final required metric data.

The research focused on the analysis of the deviation that an aerofotogrammetric survey can produce with respect to the classic topographic surveys, by total station, GPS (Global Positioning System) or TLS (Terrestrial Laser Scanner), instruments with significantly higher sensitivity than the airborne system, and therefore affected by minor uncertainties. In the various applications, using topographic measurements from different systems and using the so-called GCP (Ground Control Point), the metric deviations between the geo-referenced photogrammetric model and the topographic support were calculated, evaluating the system's metric potential in different configurations.

Moreover, by a script, the reprojection errors were measured for each point of the cloud generated by the entire photogrammetric process; from statistical analysis of the reprojection error in the various case studies, the modalities for which the aerofotogrammetric survey has the smallest deviations have been evaluated.

The elaborated case studies come essentially within the archaeological field, in which, in close contact with the various Sovraintendenze, the possible elaborations

Vehículos aéreos no tripulados para el levantamiento y monitoreo de áreas arqueológicas

to be returned for an initial computerization of the survey were analyzed. The set of works produced and delivered to the various Sovraintendenze, represents the starting point for the conservation and preservation of the archaeological heritage, from which to obtain information for different areas of interest (degradation assessment, calculation of subsidence and / or deformations, etc...). The comparison with the classical topography is necessary for a metric comparison of the 3D model, from which all the elaborates will be derived (orthophotos, sections, level curves, etc.).