

## **Rilievo e rappresentazione 3D di siti archeologici attraverso tecniche di fotogrammetria di prossimità mediante micro e mini UAV**

Andrea Borruso (\*), Antonio D'Argenio (\*), Francesca Julitta (\*\*), Lorenzo Mancon (\*\*),  
Vincenzo Pampalone (\*)

(\*) Consorzio Ticonzero, Palermo

(\*\*) Zenit s.r.l., Busto Arsizio (VA)

### **Riassunto**

Le attività di valorizzazione e conservazione dei beni archeologici ed architettonici richiedono lo sviluppo di specifici nuclei di conoscenza che ne consentano una descrizione in termini di posizione, colore e geometria. Questa esigenza è alla base dello sviluppo di nuove metodologie di indagine, un esempio dei quali è presentato in questo lavoro. Le attività descritte si riferiscono allo studio del sito archeologico di Himera (Sicilia) attraverso tecniche di fotogrammetria aerea di prossimità unite all'uso di piattaforme leggere di tipo UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*). La tecnica utilizzata permette di associare alla documentazione fotografica il modello 3D dello scavo su cui è possibile drappeggiare le immagini. Il flusso operativo che genera i prodotti fondamentali si dipana attraverso le fasi di programmazione ed esecuzione del volo automatico, orientamento delle prese, elaborazione di nuvole di punti, georeferenziazione e ortorettifica dei fotogrammi. Il sito è stato suddiviso in due aree: (i) una più ampia (circa 135 x 285 m) corrispondente alla parte alta dell'antico centro abitato su cui sono state acquisite immagini a 100 m di quota e (ii) una di minori dimensioni (35 x 60 m) che include i resti di un edificio religioso e che è stata ripresa ad una quota di 20 m, ottenendo fotogrammi di elevato dettaglio. La procedura utilizzata ha consentito di acquisire i dati necessari ad estrarre ortofoto e DSM (*Digital Surface Model*) dell'intero sito e modelli 3D di elevato dettaglio e accuratezza circoscritti all'area sacra. Parallelamente, sono state rilevate immagini atte a creare panorami sferici interattivi del sito.

### **Abstract**

Activities devoted to the enhancement and preservation of cultural heritage require the development of specific knowledge nuclei to allow its description in terms of position, colour and geometry. This need is the basis for the development of innovative technologies and introduction of new investigation tools. This work is particularly focused on the study of an archaeological site (Himera, Sicily) done by using close-range aerial photogrammetry techniques with micro UAVs (Unmanned Aerial Vehicles). The technique used allows to obtain, besides the photographic documentation, a 3D model of the site that can be textured with the acquired images. The adopted workflow unfolds through phases of automatic flight planning, image matching and orientation, point clouds processing and geoprocessing of images. The site has been divided in two areas: (i) a larger one (about 135x285 m) corresponding to the highest part of the ancient inhabited town which has been covered by pictures taken from a relative height of 100 m and (ii) a smaller one (35x60 m) that includes the remains of a religious building, covered by images shot from a relative height of 20 m, obtaining an higher geometric detail. The adopted procedure allowed to acquire the data necessary to extract orthoimages and a Digital Surface Model of the whole site and high resolution and accuracy 3D models of the religious area. Further images have been taken to create an interactive spherical panorama of the site.

## Introduzione

Il tema della valorizzazione e della conservazione del patrimonio culturale è intimamente connesso con la messa a punto di processi innovativi di creazione, gestione e fruizione di nuova conoscenza. L'adozione di metodologie di rilievo aereo di prossimità e restituzione fotogrammetrica, basate sull'impiego di piattaforme leggere di tipo UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), consente di generare, in tempi rapidi e con investimenti adeguati ai *budget* della Pubblica Amministrazione, i dati necessari alla realizzazione di prodotti metrici utilizzabili sia come strumento di conoscenza specialistica che come base per la realizzazione di prodotti mediatizzati destinati al grande pubblico. In questo lavoro vengono presentati metodologie utilizzate e risultati ottenuti nel corso di un rilievo eseguito nel febbraio del 2011 di una porzione dell'area archeologica di Himera (Termini Imerese, PA), che ospita le rovine dell'antica colonia greca del VII sec. a.C.. Il rilievo è stato condotto su quella parte della Città Alta che occupa il Piano di Himera. In quest'area sono riconoscibili due gruppi di edifici, corrispondenti ai Quartieri Settentrionali dell'abitato ed all'area sacra del *Temenos* di Atena. Di tale area, i dati metrici dall'alto (pubblici) disponibili alla data del rilievo erano rappresentati dalle "Ortofoto ATA 2007/2008" dell'Assessorato Territorio e Ambiente della Regione Siciliana. La risoluzione di queste immagini (25 cm/px), sebbene adeguata ad un corretto posizionamento dei singoli edifici ed al loro riconoscimento, risulta insufficiente sia alla generazione di prodotti derivati di tipo specialistico (restituzioni vettoriali e modelli tridimensionali di dettaglio) sia al loro inserimento in applicazioni multimediali (figura 1).



*Figura 1 – Comparazione visiva tra le "Ortofoto ATA 2007/2008" (a sinistra) ed uno stralcio dei dati acquisiti nel corso del rilievo (a destra). Il riquadro rosso indica il dettaglio oggetto del confronto. L'immagine si riferisce ai Templi A-B del Temenos di Atena.*

Il rilievo, che ha prodotto un significativo miglioramento della qualità dei dati disponibili sull'area, rappresenta la prima applicazione in Sicilia di una metodologia già sperimentata su altre aree archeologiche italiane. Tale metodologia, che si caratterizza per l'uso diffuso di strumenti e tecniche tipici dei GIS, è presentata in dettaglio in un altro lavoro di questo volume (Sarazzi et al., 2011) a cui si rimanda per i necessari approfondimenti.

## Strumentazione e metodi

Il rilievo sull'area archeologica di Himera è stato realizzato utilizzando un quadricotore elettrico radiocontrollato md4-200. Questo vettore è caratterizzato da un'elevata programmabilità ed è in grado di eseguire efficientemente voli automatici pianificati in precedenza. Caratteristiche e prestazioni del vettore sono illustrate in tabella 1. Le immagini (formato 4/3 a 12 Mpx) sono state acquisite utilizzando una fotocamera Pentax Optio A40 opportunamente calibrata.

Tabella 1 – Caratteristiche e prestazioni del quadrirotore elettrico md4-200.

Capacità di carico (kg)	0,2
Peso (kg)	0,9
Dimensioni in volo (cm)	70
Dimensioni a terra (cm)	70
Raggio d'azione (m)	500
Altitudine relativa massima (m)	150
Autonomia di volo (minuti)	20
Condizioni di volo	Vento fino a 15 km/h
Motore	Elettrico (4 x 250W flatcore brushless)
Strumento di ripresa	Pentax optio A40
GPS	✓
Pilota automatico	✓

Dal punto di vista metodologico, il flusso di lavoro tipico di un rilievo con finalità metriche si articola nei passi seguenti:

- analisi dell'area,
- pianificazione delle operazioni di volo e di ripresa,
- esecuzione del rilievo,
- elaborazione fotogrammetrica.

Ai punti precedenti si aggiunge poi la generazione ed il rilascio dei prodotti finali (ortofoto, modelli 3D, prodotti multimediali).

L'analisi dell'area consiste nella sua individuazione su cartografia di base (CTR, ortofoto, ecc.) che viene inserita in ambiente GIS e nel riconoscimento, sul campo, di tutte le problematiche locali che caratterizzano il singolo rilievo (presenza di ostacoli, andamento della morfologia, ecc.).

La pianificazione dei voli è di norma realizzabile attraverso il software a corredo del velivolo (Microdrones MD Cockpit) ma, nel caso in esame è stata eseguita in ambiente GIS, utilizzando una metodologia originale (sviluppata da Zenit s.r.l.), che consente di definire con elevata precisione, oltre alla rotta di volo (*waypoint*), lo schema delle riprese (assetto del vettore in ciascun *waypoint*) ed i parametri di acquisizione delle immagini (orientamento della fotocamera, livello di zoom). Nel caso di Himera sono state programmate 4 diverse sessioni di acquisizione di cui tre (riferite all'area nel suo complesso) ad una quota relativa di 100 m ed una (di maggior dettaglio e relativa al *Temenos* di Atena) a 20 m di altezza (figura 2). Utilizzando una risoluzione di 12 Mpx ed una lunghezza focale di 7,9 mm, le due quote di volo consentono di acquisire fotogrammi con risoluzione al suolo rispettivamente di 2,40 e 0,48 cm/px.

Inoltre, considerate le finalità del rilievo (generazione di prodotti metrici bi e tridimensionali), nello schema di ripresa si è scelto di adottare una sovrapposizione frontale dei fotogrammi (*overlap*) dell'80% ed una laterale delle strisciate (*sidelap*) del 60%.

Infine, è stato preparato un piano di volo studiato per realizzare panorami sferici ripresi dall'alto.

Una volta definiti i piani di volo si passa alle operazioni in campo che iniziano con il posizionamento di una serie di bersagli (30 nel caso in esame), di dimensioni tali da consentirne l'individuazione nelle immagini, la cui posizione relativa viene rilevata con una Stazione Totale. Di alcuni di essi vengono inoltre battute le coordinate GPS. I bersagli rappresentano i punti di controllo al suolo (GCP, *Ground Control Point*), che saranno utilizzati successivamente in fase di elaborazione delle immagini. Le acquisizioni vengono realizzate eseguendo i voli pianificati in precedenza e precaricati sul quadrirotore. Nel caso di Himera le fasi di volo si sono concluse nell'arco di circa due ore e hanno consentito di raccogliere 68 prese a 100 m di quota, 16 prese a 20 m cui si associano le 53 prese del piano di volo dedicato all'immagine sferica.

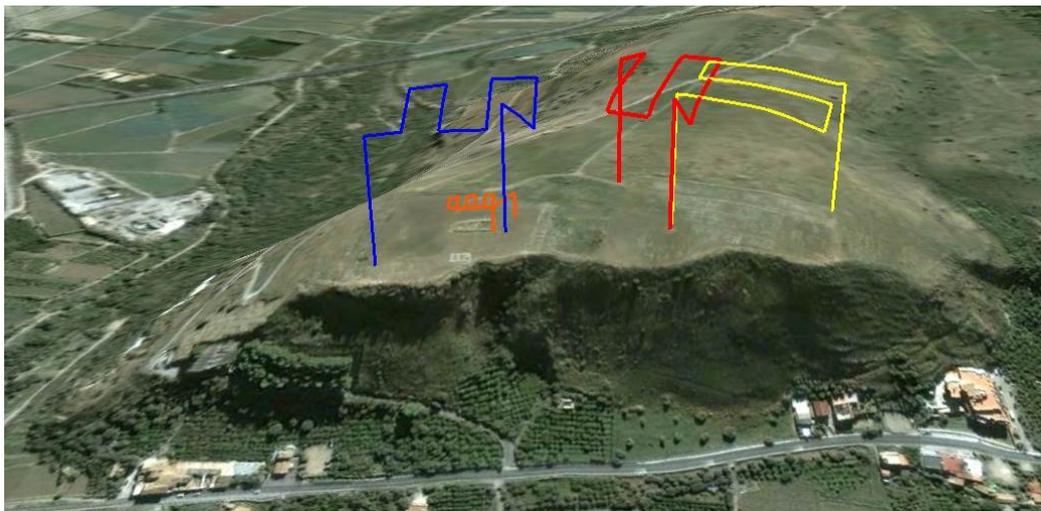


Figura 2 – La Città Alta sul Piano di Himera e le rotte corrispondenti alle quattro sessioni di acquisizione.

Le immagini acquisite vengono poi sottoposte ad una procedura di elaborazione condotta in un ambiente software dedicato. Nel caso delle immagini destinate alla realizzazione di prodotti metrici, il *processing* fotogrammetrico è stato condotto in PhotoModeler Scanner, un prodotto ampiamente utilizzato nella modellazione di oggetti a partire da prese raccolte da terra. Il software consente di estrarre nuvole di punti a partire da coppie di immagini il cui orientamento esterno viene ricavato in maniera semiautomatica. Nel caso in esame, la generazione delle nuvole dei punti è stata eseguita secondo due modalità differenti: (i) manualmente per la modellazione dei Templi A-B del *Temenos* di Atena, (ii) in maniera automatica per quella della più ampia area (circa quattro ettari) dei Quartieri Settentrionali della città alta (figura 3).

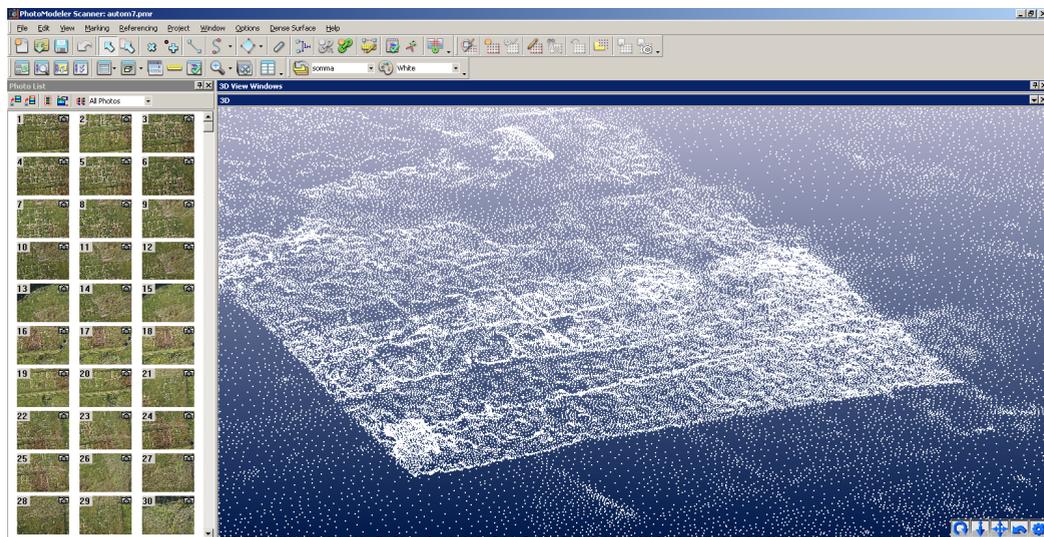


Figura 3 –Fasi di estrazione delle nuvole di punti relative ai Quartieri Settentrionali della Città Alta in PhotoModeler Scanner.

Le nuvole di punti estratte possono essere esportate per essere mosaicate, normalizzate e georeferenziate in ambiente GIS, ottenendo delle griglie di punti 2,5 D del passo desiderato, utilizzabili per successive elaborazioni ed in particolare per l'ortorettifica delle immagini, ottenendo così prodotti intermedi e risultati finali pienamente compatibili con ambienti software di tipo cartografico.

Nel caso delle immagini sferiche, la procedura di elaborazione è stata realizzata in Pano2VR, un'applicazione in grado di generare panorami sferici e cilindrici e di esportarli in formato Flash, HTML5 e QuickTime VR. La procedura viene eseguita in maniera semiautomatica e consente la generazione di prodotti con caratteristiche multimediali (presenza di collegamenti web, *hotspot* con immagini e filmati, testi, sonoro, ecc.) e multimodali (dai file residenti sul PC dell'utente ai prodotti visualizzabili su piattaforme mobili).

### Risultati

Il processo sinteticamente descritto nelle righe precedenti ha portato alla realizzazione dei seguenti prodotti metrici di base:

- ortofoto a risoluzione 5 cm/px dell'area dei Quartieri Settentrionali (figura 4),
- ortofoto a risoluzione 1 cm/px dei Templi A-B del *Temenos* di Atena (figura 5),
- modello 2,5 D a passo 10 cm/px dell'area dei Quartieri Settentrionali (figura 6),
- modello 2,5 D a passo 2 cm/px dei Templi A-B del *Temenos* di Atena (figura 7).

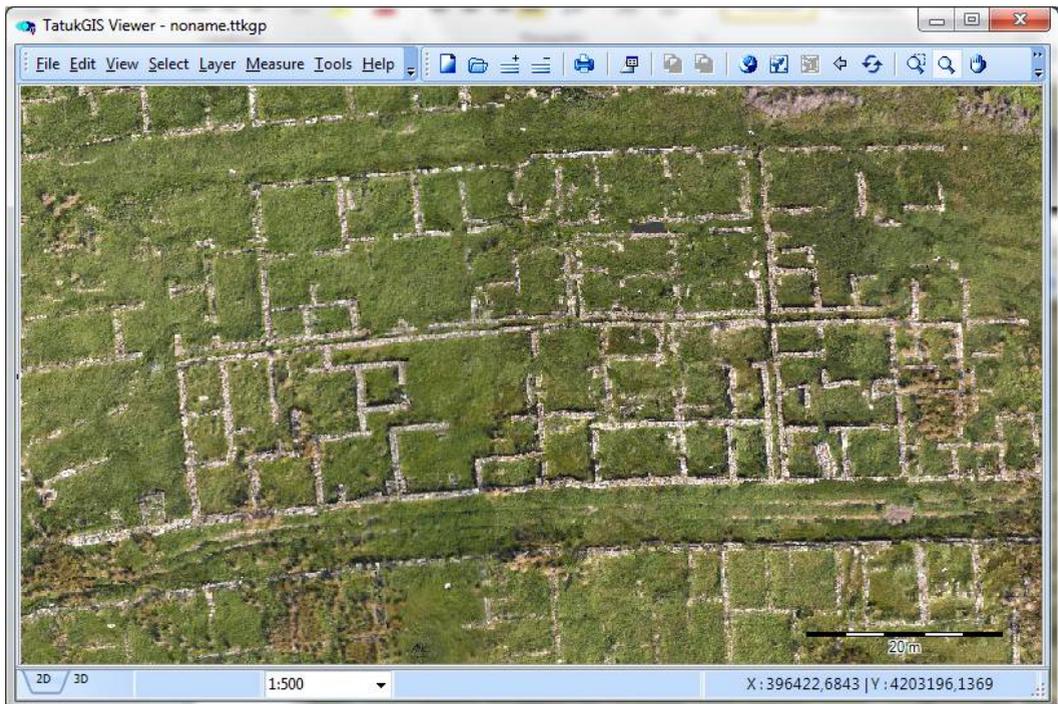


Figura 4 – Particolare dell'ortofoto dell'area dei Quartieri Settentrionali del Piano di Himera visualizzato in ambiente GIS.



*Figura 5 – Ortofoto dei Templi A-B del Temenos di Atena.*



*Figura 6 – Ortofoto dell'area dei Quartieri Settentrionali drappeggiata su modello 2,5 D.*

Tutti i prodotti sono georeferenziati ed è quindi possibile il loro inserimento in ambiente cartografico (figure 4 e 5) ed il loro impiego a fini specialistici. In aggiunta, a partire da questi elaborati di base, sono stati realizzati alcuni prodotti derivati destinati ad un uso diverso e principalmente alla fruizione ed in particolare: video da modelli tridimensionali (figura 7), panorami sferici distribuibili su varie piattaforme (figura 8).



Figura 7 – Frame video con visualizzazione tridimensionale (basata su modello 2,5 D a 2 cm/px) di una porzione dei Templi A-B del Temenos di Atena.

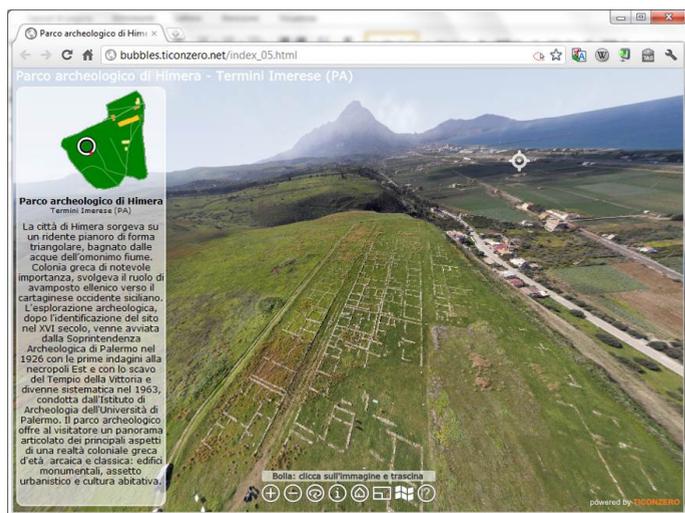


Figura 8 – Immagine sferica del Piano di Himera. Esempio di distribuzione multimodale: su web in formato Flash e su piattaforma mobile in HTML5.

### Discussione e conclusioni

Il rilievo eseguito nel febbraio del 2011 sull'area archeologica di Himera ha portato alla acquisizione in volo pianificato, di 137 prese uniche riferite ad un'area superiore ai 4 ettari. Le operazioni di volo hanno richiesto circa due ore di tempo ed i dati acquisiti sono stati utilizzati per generare elaborati metrici e multimediali.

La estrema velocità delle fasi di rilievo è da attribuire all'adozione di una metodologia che associa tecniche di fotogrammetria a strumenti tipici della geomatica. In questo senso la fase cruciale è la

pianificazione dei voli in ambiente cartografico che consente di utilizzare efficientemente le piattaforme UAV come parte integrante di una strumentazione destinata alla raccolta di misure. La pianificazione, oltre ad ottimizzare le operazioni di volo e di ripresa, produce il vantaggio di renderle perfettamente riproducibili nel tempo, consentendo (i) l'acquisizione di serie temporali riferite alla medesima scena o (ii) quella di più set di dati basati su differenti sensori (come termocamere o camere nel vicino infrarosso). Da questo punto di vista, l'esempio presentato in questo lavoro rappresenta solo una delle possibili tipologie di applicazione delle piattaforme leggere di tipo UAV al vasto ambito tematico in cui si incrociano tecniche di fotogrammetria aerea a bassa quota e di telerilevamento di prossimità.

La risoluzione dei prodotti metrici ottenuti fa ritenere queste piattaforme particolarmente indicate nel rilievo di aree delle dimensioni tipiche degli scavi archeologici. In tali contesti, l'uso di metodi *image based* che sfruttano gli UAV di tipo leggero può rappresentare un valido complemento ed, in taluni casi, una significativa alternativa ad altre metodologie di rilievo metrico come quelle basate sul *laser scanner* terrestre. Al di là dell'estrema rapidità di esecuzione, la possibilità di acquisire dati dall'alto, oltre a fornire un punto di vista unico, consente di risolvere alcuni problemi tipici dei rilievi dal basso (come l'acquisizione delle coperture degli edifici o la presenza di ostacoli non aggirabili da terra). Inoltre, l'esecuzione di voli a quote ridotte, ed il conseguente incremento di risoluzione geometrica delle immagini, consente di generare su aree selezionate ortofoto e modelli di elevato dettaglio. I modelli di aree e manufatti presentati in questo lavoro possono essere destinati a differenti usi. Le ortofoto possono essere impiegate come base per la produzione di prodotti vettoriali riferiti all'area in esame o per documentare le fasi successive di uno scavo archeologico. I modelli tridimensionali di maggior dettaglio possono essere texturizzati ed impiegati in operazioni di restauro virtuale o possono essere utilizzati come copie digitali di un bene di particolare interesse (Manferdini et al., 2008; Remondino, 2008; Remondino et al., 2010).

Allo stesso tempo, le medesime informazioni possono rappresentare le basi di oggetti destinati alla fruizione alternativa del bene archeologico da parte del grande pubblico ed entrare a far parte di prodotti che sfruttino la convergenza di differenti modalità di accesso al bene (diretta, documentale, virtuale) e utilizzino la molteplicità di sistemi e dispositivi oggi disponibili (dalle sale per la Realtà Virtuale Immersiva agli *smartphone* utilizzati per arricchire di contenuti la fruizione tradizionale).

### **Ringraziamenti**

Il rilievo della Città Alta del Piano di Himera è stato eseguito nell'ambito di una sperimentazione promossa dalla dott.ssa Francesca Spatafora, Direttore del Parco Archeologico di Himera e dal dott. Enrico Carapezza, Dirigente del "Servizio Promozione e valorizzazione delle tradizioni e dell'identità siciliana" del "Dipartimento Regionale dei Beni Culturali e dell'identità siciliana". A entrambi va il sentito ringraziamento degli autori.

### **Riferimenti Bibliografici**

- Manferdini A.M., Remondino F., Baldissini S., Gaiani M., Benedetti B. (2008), *3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization in 3D archaeological databases*. Proc. of 14th Int. Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM 2008), Limassol, Cyprus, 221-228.
- Remondino F. (2010), *Documentazione e modellazione 3D di Beni Culturali. L'approccio multi-sensoriale e multi-risoluzione*. Archeomatica, 1/2010, 8-11.
- Remondino F., El-Hakim S.F., Gruen A. e Zhang L. (2008), *Turning Images into 3D models*. IEEE Signal processing Magazine, 55-64.
- Sarazzi D., Mancon L., Julitta F., Quartieri A. (2011), *Micro e mini UAV per l'acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini di scavi archeologici e strutture architettoniche* (questo volume).
- Vassallo S. (2004), *Himera, guida breve*, Regione Siciliana - Assessorato dei Beni Culturali e dell'identità siciliana, Palermo, pp.56.