

LA STRUMENTAZIONE UAV NEL RILIEVO E NELLA MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE DI UN SITO ARCHEOLOGICO

di Paola Piani

Il tema della valorizzazione e della conservazione del patrimonio culturale è strettamente connesso con lo sviluppo di processi innovativi di creazione, gestione e fruizione della 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 ridotti, i dati necessari alla realizzazione di prodotti metrici utilizzabili sia come strumento di conoscenza specialistica che come base per la realizzazione di prodotti multimediali destinati al grande pubblico.

TECNOLOGIE E BENI CULTURALI

La continua evoluzione delle tecniche di rilievo basate su sensori e lo sviluppo di sistemi sempre più performanti per la visualizzazione e l'elaborazione di dati digitali, evidenziano il particolare valore aggiunto fornito da queste metodiche anche nell'ambito dei Beni Culturali. In particolare appare sempre più chiaro il contributo attivo che tali tecnologie possono fornire nelle fasi operativa ed interpretativa, nella conservazione e archiviazione dei dati e nella valorizzazione del patrimonio archeologico dove, infatti, la documentazione grafica costituisce un momento essenziale dell'indagine, così come le immagini forniscono una forma di archivio completa e dettagliata sia dell'attività di scavo sia dei cambiamenti in cui si viene a trovare (Bonora 2003).

L'interesse sorto sulle diverse tecniche e metodologie di rilievo digitale e di modellazione tridimensionale (fotogrammetria e laser scanner) in ambito archeologico è evidenziato dalla continua crescita della richiesta, dal loro sempre più frequente impiego, nonché dalla crescente necessità di utilizzare forme di registrazione e di archiviazione digitale a differenti livelli di scala e risoluzione.

Queste tecniche e tecnologie digitali offrono, infatti, la possibilità di ottenere nuovi risultati non solo dalle attività di rilievo, ma anche nella rappresentazione e nella visualizzazione, con l'effetto di avere una descrizione metrica accurata del territorio, delle strutture, degli edifici e reperti; esse costituiscono così potenti strumenti per l'analisi degli oggetti e per il supporto nelle attività di ricostruzione e restauro (anche virtuale). L'acquisizione ed il processamento dei vari dati devono essere realizzati seguendo appropriate metodologie, prendendo in considerazione le caratteristi-

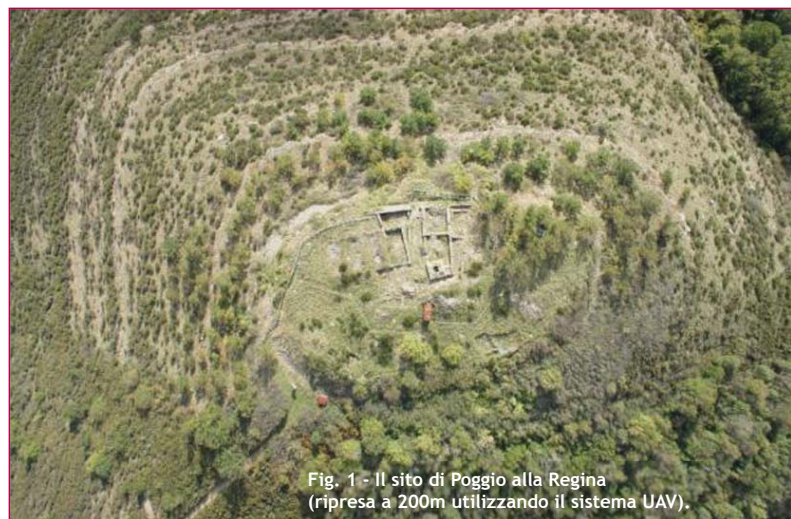


Fig. 1 - Il sito di Poggio alla Regina (ripresa a 200m utilizzando il sistema UAV).

che di ogni tecnica sia in termini di capacità intrinseche, come ad esempio precisione, accuratezza e formato dei dati, sia allo scopo della necessaria mutua integrazione, con il fine ultimo di poter inserire tutti i prodotti in un comune *database*, utile nelle diverse applicazioni quali la divulgazione, la documentazione, gli studi di stabilità delle strutture, etc.

LA FOTOGRAMMETRIA DA DRONE

La fotogrammetria è, ai giorni nostri, una delle scienze che ha beneficiato maggiormente della ricerca e dello sviluppo di soluzioni tecnologicamente innovative in grado di migliorare non solo le condizioni di rilievo e ripresa ma anche i risultati del successivo processo di analisi e di interpretazione. Da un lato si è assistito ad un miglioramento tecnologico con la nascita di nuovi *software* (commerciali e non), che permettono un maggiore grado di automazione del processo, nonché di nuove strumentazioni utili a migliorare la qualità e le modalità del rilievo (come ad esempio nuove camere digitali di dimensioni più compatte e a maggiore risoluzione e sistemi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) sempre più performanti. Dall'altro, grazie a nuovi studi e ricerche, sono state sviluppate nuove piattaforme aeree non convenzionali da utilizzarsi nel rilievo fotogrammetrico vero e proprio. Infatti, i sensori e le fotocamere digitali in grado di acquisire immagini per questa tipologia di rilievi sono normalmente utilizzati da terra, oppure montati su piattaforme aeree di diversa tipologia (aeroplani, palloni, aquiloni, elicotteri, aste telescopiche, etc.), oppure satellitari (*Ikonos*, *World-View*, *Spot*, *Quickbird*, etc.). Ad oggi la fotogrammetria può essere divisa in tre differenti classi, e cioè la fotogrammetria aerea/da satellite, la fo-

togrammetria terrestre e la più innovativa fotogrammetria con UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Questa tecnologia, che si riferisce a una classe di velivoli in grado di volare senza la presenza del pilota a bordo, consente di eseguire riprese aeree programmate come con un normale aeromobile, ma con notevoli vantaggi quali l'elevata velocità di esecuzione del rilievo, il grande dettaglio delle immagini ottenute, dato dalla quota di volo nettamente inferiore rispetto a quella di un aereo, ed il minore impegno logistico di esecuzione.

Il successo ottenuto in campo militare ha infatti offerto un valido stimolo per lo sviluppo di tali sistemi anche nell'uso civile, in particolare nel campo del monitoraggio ambientale, della pubblica sicurezza, oltre che nel vasto campo dei Beni Culturali.

Al gruppo degli UAV appartengono diverse tipologie di velivoli (aeroplani, elicotteri, dirigibili) ed ora anche velivoli altamente innovativi quali i piccoli elicotteri multi-rotori (quadri e octorotori) definibili come *DRONI automatici o MICRO-UAV* (Dipartimento IUAV per la Ricerca 2011).

Il ricorso a questa tipologia di apparecchi ha recentemente avuto un forte successo ed incremento sia nel campo archeologico che architettonico, permettendo di acquisire immagini nadirali o oblique ed affidabilità di rilievo elevate, paragonabili a quelle ottenute da laser scanner ma, a costi decisamente più contenuti (Remondino et alii 2011). Questo tipo di fotogrammetria di prossimità, applicato al rilievo di scavi archeologici, permette in particolare di superare due dei maggiori limiti legati ai metodi tradizionali e al rilievo da stazione laser terrestre, quali i tempi di esecuzione molto lunghi e la rappresentazione piana della terza dimensione. Il rilievo da micro-UAV garantisce, per sua caratteristica, la restituzione accurata di superfici e volumi utilizzabile per misurazioni di precisione e per la costruzione di modelli tridimensionali, permettendo di effettuare, grazie alla ripetibilità dei voli con identici parametri, indagini multitemporali in qualsiasi momento.

L'APPLICAZIONE PRATICA SU UN SITO ARCHEOLOGICO

Il sito oggetto dello studio applicativo è stato quello del castello di Poggio alla Regina posto nel Comune di Pian di Scò (AR) che per ubicazione e stato di conservazione dei ruderi, ha fatto ben emergere i vantaggi e le problematiche legate all'utilizzo della strumentazione UAV.

Il sito è oggetto dal 1993 di un progetto di ricerca condotto da un'équipe dell'Università degli Studi di Firenze, sotto la direzione scientifica del Prof. Guido Vannini.

Si tratta di un insediamento d'altura di epoca medievale che ben rappresenta uno di quei luoghi dove è ancora possibile leggere archeologicamente il radicarsi sul territorio di un'intera società rurale e di quella che può esserne considerata la sua tradizionale espressione politica: l'aristocrazia feudale. Oggi come in passato, il castello, occupa una posizione strategica di rilevanza fra Valdarno e Casentino sui contrafforti sud-occidentali del massiccio del Pratomagno, in posizione dominante sulla porzione del medio Valdarno, compresa tra Firenze ed Arezzo, perfetta per il controllo sui valichi di crinale e sulle vie d'accesso a questi.

La stessa conformazione del Poggio, dal singolare profilo troncoconico (cima isolata abbastanza ampia di 2000 mq e pendici scoscese), ne fa il luogo ideale per un insediamento fortificato.

Una sorta di città rurale feudale di montagna, caratterizzata da una cerchia muraria lunga più di 250 m, edifici di notevole livello tecnico ed un'efficiente rete viaria di riferimento che la colloca al centro di un territorio sfruttato razionalmente non solo dal punto di vista difensivo ma anche da quello economico (Vannini 2002).

I limiti dell'impianto fortificato corrispondono ai margini dell'intero pianoro lungo i quali si sono parzialmente conservati i resti del circuito murario difensivo, in alcune parti documentato unicamente dai suoi crolli.

I dati materiali fino ad oggi raccolti, documentano la sua storia fatta di alterne fasi di vita e abbandono, dalle origini etrusche, con tracce di precedenti frequentazioni preistoriche, passando per le fasi altomedievali e di incastellamento feudale (secoli XI-XIII), fino al definitivo collasso avvenuto nei decenni centrali del XIV secolo in riferimento alla penetrazione della città di Firenze in quest'area del contado (Cimarri 2003).

L'area interessata dalle indagini archeologiche, fin qui eseguite, corrisponde all'estensione meridionale del castello (realizzata nella prima metà del XII secolo) e comprende parte della cinta muraria con un accesso sul lato sud, alcuni ambienti di servizio alle mura, parte del cassero con torre, cisterna e pozzo.

IL PROGETTO DI RICERCA

Obiettivi del progetto erano la realizzazione di una copertura fotografica dell'area di scavo del sito, utile a creare una mappatura di dettaglio ed una contestualizzazione visiva di tipo georeferenziato delle entità presenti al suolo. Inoltre la generazione di modelli stereoscopici e 3D dello scavo archeologico, derivati dall'elaborazione di nuvole di punti in grado di restituire fedelmente le strutture nelle loro componenti piano-altimetriche, sui quali fosse possibile effettuare misurazioni metriche di precisione.

Come primo step operativo è stata pianificata, in laboratorio, la campagna di rilievo impostando due differenti piani di volo per il drone (a 35 e 50 m di altezza) al fine di elaborare, nella fase di *post-processing*, dati ripresi a quote diverse.

PARAMETRI DEI VOLI

Modalità di volo Autonomo:

Quota di volo 20 m 35 m 50 m

Overlap 70%

Sidelap 50%

Ground Sample Distance (mm) 6,35 (20m); 11,10 (35m); 15,86 (50m)

Ground coverage per image (m2) 565 (20m); 1730 (35m); 3531 (50m)

Scale 1:100 1:200

Modalità di volo manuale:

Note Panoramic photos Video footage

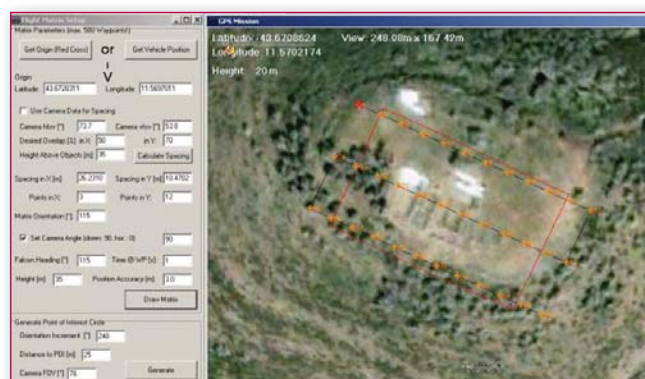


Fig. 2 - Realizzazione dei piani di volo a 35m, le crocette numerate indicano la posizione ed il numero degli scatti fotografici.



Fig. 3 - Strumentazione UAV Falcon 8 della ditta tedesca Asc Tec.

In fase di campagna si è prima provveduto al posizionamento su tutta l'area di interesse di un numero sufficiente di *marker* a terra (fig.6) ed al loro rilievo tramite GPS (*Global Positioning System*) in modalità *stop-and-go* con una permanenza di 2 minuti su ciascun punto per l'acquisizione.

Sono stati poi effettuati quattro voli, con differenti scopi [le riprese sono state realizzate utilizzando il modello di multirobot AscTec Falcon 8 (www.asctec.de) di proprietà della Società Geographike srl, con fotocamera Sony NEX-5N a ottica fissa 24 mm].

Nel primo volo sono state realizzate le riprese fotografiche precedentemente stabilite a 35 e 50 m; nel secondo le riprese sono state eseguite ad una quota inferiore (20 m). Nel terzo volo sono state eseguite fotografie "panoramiche" dell'intera zona, mentre il quarto è stato dedicato alle riprese video. A seconda della finalità di ciascun volo si è scelto di procedere all'acquisizione delle immagini con differenti modalità, di conseguenza le immagini utili per il rilievo fotogrammetrico sono state acquisite tramite volo automatico preimpostato (piani di volo con tempo di stazionamento sul punto di un secondo), reso possibile grazie al sistema GPS integrato nella strumentazione; mentre le fotografie panoramiche ed i video sono state eseguiti tra-



Fig. 4 - Operazioni di rilievo



Fig. 5 - Creazione della geometria in Agisoft PhotoScan.



Fig. 6 - Posizionamento marker a terra

mite volo a vista e *hovering* (stazionamento in volo a quote stabilite) senza tempo di scatto preimpostato. Con questa modalità è infatti possibile scattare foto osservando l'inquadratura da terra, in modo da poter avere il controllo reale del ricoprimento e del soggetto inquadrato.

Tutte le operazioni di acquisizione sono state condotte nell'arco di una giornata di campagna evidenziando la rapidità di esecuzione ed il ridottissimo impegno logistico di tale strumentazione.

La successiva fase di *post-processing* dei dati ha seguito due filoni concettualmente simili, ma allo stesso tempo molto diversi.

Inizialmente è stato eseguito un processo di elaborazione basato su piattaforma *software low-cost* (*Agisoft PhotoScan*) (www.agisoft.ru) che ha portato, mediante l'utilizzo di un unico programma, alla creazione di una nuvola di punti georeferenziata e scalata, ad un modello 3D, ad una ortofoto e ad un DEM dell'area di interesse.

Il *software*, infatti, utilizza algoritmi robusti che consentono di orientare i fotogrammi che, nel caso specifico, erano stati ottenuti osservando i principi fotogrammetrici. Le operazioni di processamento sono completamente automatiche e l'operatore deve occuparsi solamente di impostare i parametri legati alla qualità dei prodotti desiderati.

In una seconda fase è stato tentato lo stesso percorso tramite l'utilizzo di *software open-source* quali *Pyton Photogrammetry Toolbox* (184.106.205.13/arcteam/ppt.php) per l'orientamento dei fotogrammi e la realizzazione della nuvola di punti, *Sfm_Georef* (www.lancs.ac.uk/staff/jamesm/software/sfm_georef.htm) per la georeferenziazione e il ridimensionamento della nuvola e *Meshlab* (meshlab.sourceforge.net/) per la creazione del modello tridimensionale.

A conclusione dei due percorsi di elaborazione seguiti, è sembrato doveroso mettere a confronto i diversi risultati ottenuti per accertare l'affidabilità dei dati prodotti e per verificare analogie/differenze tra gli strumenti utilizzati.

Per i prodotti Agisoft Photoscan, data l'elevata presenza di GCP utilizzati, è stato possibile determinare lo scarto quadratico medio (*RMSE-Root Mean Square Error*) tra le misure di precisione effettuate con il GPS e quelle ottenute tramite le elaborazioni del programma che è risultato veramente esiguo, inferiore ai 3cm.

Ground Control						
Markers	X/East	Y/North	Z/Altitude	Error (m)	Projections	Error (pix)
point 31	1707223.407000	4838609.466000	905.046000	0.005292	7	0.579
point 32	1707244.184000	4838606.946000	903.327000	0.010776	11	0.819
point 33	1707252.251000	4838620.620000	906.119000	0.019348	7	0.308
point 34	1707253.580000	4838631.009000	908.663000	0.070664	7	0.288
point 4	1707171.636000	4838623.427000	898.568000	0.010084	6	0.576
point 5	1707174.233000	4838646.632000	910.529000	0.026705	4	0.619
point 6	1707188.436000	4838653.194000	913.969000	0.006450	5	0.926
point 7	1707173.647000	4838662.548000	913.645000	0.017232	1	0.000
point 8	1707183.068000	4838673.975000	913.216000	0.030989	2	0.097
point 9	1707195.985000	4838679.087000	913.019000	0.015260	3	0.538
Total Error				0.027902		0.659

Fig. 7 - RMSE in Agisoft Photoscan; immagini a35 m



Fig. 8 - Visualizzazione in ArcGIS di: ortofoto Agisoft Photoscan, file dei GCP, geometria Meshlab.



Fig. 9 - Risultato del processo di creazione della mesh su Meshlab.

A differenza dei prodotti commerciali precedenti, la verifica di affidabilità dei risultati ottenuti tramite soluzioni *open-source* è risultata molto più complessa e, in certi casi, impossibile.

Per verificare l'avvenuta georeferenziazione del modello si è reso necessario importare il prodotto in *ArcGIS*. Qui però è stato possibile visualizzare soltanto il *file* 2D (in formato *dxf*) esportato da *Meshlab*, a causa della perdita delle informazioni utili alle misurazioni come il colore ed i dettagli della geometria. Di questo prodotto è stato possibile constatare solamente l'avvenuta georeferenziazione (*SfM_georef*), della quale non è stato comunque possibile accertare la precisione.

Una volta giunti a dover testare i risultati ottenuti tramite il solo utilizzo di programmi *open-source*, è emerso chiaramente che non sarebbe stato possibile alcun *test* a causa del cattivo risultato ottenuto nella creazione della nuvola di punti georeferenziata e scalata con *SfM_georef*. Non appena la nuvola di punti è stata importata all'interno di *Meshlab*, si sono infatti notate incongruenze nell'omogeneità della stessa che, una volta creata la *mesh*, hanno restituito un pessimo risultato visivo, assolutamente inutilizzabile per le misurazioni.

Durante la fase di osservazione dei modelli tridimensionali, si è inoltre notato come le riprese effettuate dal Drone, in maniera esclusivamente zenitale, non risultino idonee per la visualizzazione 3D dei prospetti delle murature. Nonostante i potenti algoritmi interni, infatti, i *software* utilizzati non sono stati in grado di creare una nuvola di punti densa sui prospetti, proprio per l'assenza di immagini oblique e tale mancanza ha reso impossibile la ricostruzione corretta della geometria di questi che, è stata quindi interpolata arbitrariamente.



Fig. 10 - Ortofoto creata da Agisoft PhotoScan

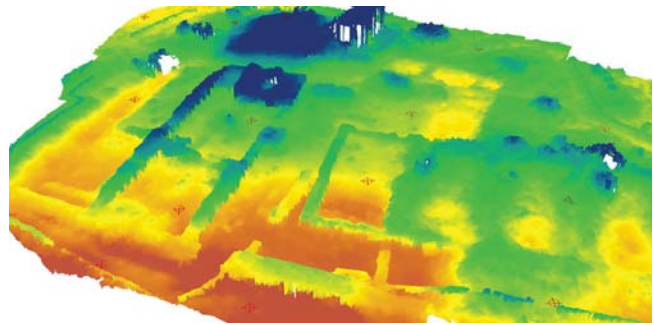


Fig. 11 - DEM creato da Agisoft PhotoScan

Per futuri rilievi di aree archeologiche con tecnologia UAV, si riterrebbe opportuno dotarsi di piani di volo obliqui, dai quali possano essere recuperate le informazioni utili sui prospetti delle murature, oppure, procedere ad un rilievo fotogrammetrico di prossimità delle strutture che, grazie alla presenza di punti di riferimento riconoscibili in tutti i fotogrammi (da drone e da terra), possano sopperire alle lacune prodotte dalle immagini zenitali.

CONCLUSIONI

Le attuali tecniche di rilievo digitale tridimensionale (fotogrammetria e laser scanner) sono caratterizzate da un livello di complessità decisamente superiore alla maggior parte dei metodi di rilievo diretto attualmente utilizzati nel campo archeologico. Questa difficoltà, legata principalmente all'utilizzo e alla gestione delle informazioni 3D, è però compensata dalla grande potenzialità di queste tecniche che permettono di ottenere informazioni geometriche e colorimetriche molto più complete di quelle accessibili attraverso le tradizionali tecniche di rilievo, con tempistiche decisamente inferiori e con un grado di accuratezza decisamente superiore.

Nel caso di studio sul castello di Poggio alla Regina, la possibilità di avvalersi di un sistema di strumentazione UAV ha reso possibile, grazie alla facile trasportabilità della strumentazione, un rilievo di grande dettaglio (di ultima generazione) che altrimenti sarebbe stato estremamente difficile da ottenere.

L'esigua logistica ed i ridotti tempi di acquisizione dati hanno consentito di effettuare il rilievo in una sola giornata di campagna, permettendo di eseguire il grosso delle elaborazioni in laboratorio in fase di *post-processing*.

I risultati ottenuti hanno permesso di ottenere una importante documentazione fotografica dello stato di conservazione del sito, ma anche tutta una serie di prodotti (DEM, ortofoto, modello 3D) utilissimi per poter effettuare misurazioni di precisione su tutta l'area, andando così ad integrare le misure ottenute tramite altre tipologie di rilievo.

Le caratteristiche peculiari della tecnica (*image based*) insieme con quelle strutturali della strumentazione UAV (facile trasportabilità, brevi tempi di acquisizione, costi ridotti, alta precisione dei risultati) hanno in definitiva dimostrato la versatilità e l'affidabilità di questa tipologia di rilievo in ambito archeologico, i cui risultati possono essere oggi come oggi del tutto paragonati a quelli ottenuti tramite laser scanner terrestri, caratterizzato sicuramente da brevi tempi di acquisizione e alto grado di accuratezza, ma anche da costi esorbitanti, difficoltà oggettive nell'effettuare le scansioni, se non in condizioni ottimali, e lunghi tempi di elaborazione dati.



Fig. 12 - Particolare del modello tridimensionale realizzato con Agisoft PhotoScan.

RINGRAZIAMENTI

I più sinceri ringraziamenti vanno alla Società Geographike di Siena (www.geographike.it) nelle persone dei Dott. Bocci, Volpi, Vissani e Gadenz per aver reso possibile l'effettuazione dello studio e per la messa a disposizione delle competenze e delle strumentazioni ed al Laboratorio di Geotecnologie per l'Archeologia del Centro di Geotecnologie dell'Università degli Studi di Siena, in particolare nella persona del Dott. Bigliardi per la sua grande disponibilità.

RIFERIMENTI

- Bonora V. (2003), *Studio per una metodologia di rilievo in campo archeologico con utilizzo di pallone frenato e fotogrammetria digitale*, in "Atti delle Quarte Giornate Elime, Erice, 2000", Pisa, 71-80
- Dipartimento IUAV per la Ricerca, Unità di Ricerca: Nuove tecnologie per la conoscenza del territorio e dell'ambiente (2011), "City Sensing" e "Near Mapping", 2011, *Microdrone I-UAV piattaforma area leggera a bassa quota per il monitoraggio città ambiente e territorio, rilievi di parchi, infrastrutture, aree industriali, edifici, aree in dissesto idrogeologico, applicazioni tematiche di protezione civile*, pp. 1-63
- Cimarrì V. (2003), *Reggello, il territorio e la sua storia. Luoghi e percorsi medievali*, Poggibonsi, pp. 41-43
- Remondino F., Rizzi A., Agugiaro G., Jimenez B., Menna F.N., Baratti G. (2011), *Rilievi e Modellazione 3D*, in "Atti 15° Conferenza Nazionale ASITA", Reggio di Colorno 15-18 Novembre 2011, 1825-1836
- Russo M., Remondino F., Guidi G. (2011), *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in "Archeologia e Calcolatori 22", Firenze, 169-198
- Vannini G. (2002), *Fortuna e declino di una società feudale valdarnese. Il Poggio della Regina*, Firenze

ABSTRACT

The technological solutions made today available by the disciplines of the modern Geomatics, offer very interesting opportunities in the field of Cultural Heritage survey.

In this study, the archaeological sites surveyed with UAV photogrammetry is the medieval castle of Poggio alla Regina in the town of Pian di Scò (AR), Italy. The objectives of the research were: (I) the production of a photographic coverage of the excavation, useful to create a detailed mapping and a georeferenced visual contextualization of entities to the ground and (II) the generation of 3d models of the area to realized metric measurements.

PAROLE CHIAVE

FOTOGRAMMETRIA; UAV; DOCUMENTAZIONE ARCHEOLOGICA; MODELLO TRIDIMENSIONALE

AUTORI

PAOLA PIANI

P. PIANI@GEOGRAPHIKE.IT

GEOGRAPHIKE SRL

sjmTech
3D Technologies & Multimedia

Soluzioni 3D
per la valorizzazione
dei **Beni Culturali**

Trattamento dati cartografici e laser scanner

Modellazione 3D fotorealistica

Visualizzazione 3D real-time, tour virtuali

Sviluppo applicazioni 3D interattive multiplatforma



www.sjmtch3d.com | info@sjmtch3d.com



Risalita capillare negli immobili di pregio storico-artistico... Sconfiggila per sempre!



Mantova, Palazzo Te - Camera dei Giganti



Ragusa, Duomo di S. Giorgio - Cona del Gagini

Due prestigiosi
casi di completa
e definitiva
risoluzione
del problema
ottenuta con
la tecnologia
Domodry



**Tecnologia elettrofisica a neutralizzazione
di carica* per la deumidificazione muraria**

- Testato scientificamente
- Per qualsiasi tipo di struttura
- Risultati garantiti a vita



Leonardo Solutions srl
Via resegone 48 - 20025 Legnano.
Tel. 0331/454845 Fax 0331/1986803
www.leonardosolutions.it info@leonardosolutions.it



**LEONARDO
SOLUTIONS**

(*) Definizione scientifica della Tecnologia Domodry®, atta a identificare in modo univoco l'originale principio attivo di funzionamento (neutralizzazione di carica) che contraddistingue Domodry® rispetto ad altri sistemi a funzionamento elettrico o magnetico basati su principi diversi. Detto principio è un'esclusiva di Leonardo Solutions Srl e Domodry Srl ed è tutelato dalle norme sulla protezione del diritto d'autore ai sensi dell'art. 5 della legge 22 aprile 1941 n. 633, nonché dalle norme in materia di concorrenza sleale ai sensi dell'art. 2598 c.c.