

Uno sguardo geografico dall'alto: sperimentazione di un sistema scalabile per la ricognizione aerea del paesaggio mediante piattaforme low-cost

Gianluca Casagrande

GREAL – Università Europea di Roma, Via degli Aldobrandeschi 190 – 00163 – Roma
+39-06-665431 – gianluca.casagrande@greal.eu

Riassunto

Lo sviluppo delle tecnologie di telerilevamento e di informazione geografica rende possibile teorizzare e sperimentare un sistema integrato per ricognizione geografica che preveda l'impiego di sensori aviotrasportati, complementariamente, su velivoli leggeri con equipaggio e su piattaforme a pilotaggio remoto. Il principale punto di forza dell'integrazione fra le due tipologie di piattaforma è che un sistema così concepito può essere impiegato entro un unico workflow di acquisizione, elaborazione e rappresentazione dei dati, potenziando largamente le prospettive di indagine in alcuni studi geografici. Questo documento riassume le conclusioni di una sperimentazione condotta in tal senso, fra il 2009 e il 2013 presso l'Università Europea di Roma.

Abstract

The current development of remote sensing and geographic information technologies allows to design and test an integrated system for airborne geographic surveying. Such system could be implemented by the parallel use of light aircraft and micro-UAVs. The main strength of this approach is that both manned and unmanned components could be used within the same workflow for data acquisition, processing and presentation. This paper summarizes the results of a research program conducted on the aforementioned topic by the European University of Rome through the period 2009-2013.

In molte zone dell'Europa, l'evoluzione storica ha creato un paesaggio "stratificato". In tali aree, gli oggetti e gli spazi sopravvissuti da precedenti fasi cronologiche hanno influenzato in vari modi lo sviluppo dei luoghi abitati. Il risultato è spesso un paesaggio composito, in cui elementi naturali ed antropici risalenti ad epoche diverse coesistono in un *continuum* intimamente connesso. Il corretto riconoscimento degli *asset* materiali presenti su un territorio, e la loro valorizzazione secondo modalità appropriate, può risultare in un notevole beneficio delle aree coinvolte. Una condizione necessaria per il raggiungimento di questo risultato, nondimeno, è una valida comprensione di come le componenti ambientali, storiche e funzionali di pregio in un territorio possano essere valorizzate in modo integrato, così da sviluppare il loro potenziale specifico e complessivo. Perché una tale integrazione possa essere progettata, il geografo ha bisogno di poter "leggere" in dettaglio come i luoghi siano plasmati e "percepiti" dai loro abitanti. Molte informazioni in tal senso possono essere raccolte dall'esame di come il paesaggio sia stato fisicamente organizzato, dal momento che la "reificazione" può indurre "simbolizzazione" e "strutturazione" degli spazi, venendone a sua volta condizionata. Il processo è notoriamente iterativo attraverso le epoche e la sua comprensione richiede tanto lo studio delle fonti storiche quanto il ricavare una adeguata "fotografia" della presente configurazione. La ricerca geografica può ovviamente avvalersi delle tecniche di documentazione e di ricognizione tradizionali, sviluppate entro le metodologie della geografia umana. Si va tuttavia riscoprendo (attraverso nuove tecnologie *low-cost* e *open-source*) il potere

descrittivo della ricognizione aerea per acquisire conoscenza geografica sullo status corrente di una certa area. Abbiamo sviluppato un *framework* metodologico, a orientamento geografico, per applicare la ricognizione aerea a diverse scale mediante l'uso integrato di velivoli con equipaggio e di mezzi volanti senza persone a bordo (UAV). Tale metodologia può generare, in tempi ragionevoli e ad un costo sorprendentemente basso, una quantità di dati sufficiente a sostenere il geografo nel processo iniziale di identificare gli *asset* potenziali ed eventuali criticità di un paesaggio, a beneficio di tutti. Il *framework* è stato sottoposto a verifica mediante un sistema-prototipo durante una ricerca svoltasi nell'arco di tre anni; è oggi pronto per un *deployment* totale o parziale in applicazioni operative. La metodologia elaborata aveva lo scopo di rispondere, il più efficacemente possibile, ad un quesito tanto semplice in teoria quanto foriero di complicazioni in pratica: quanta e quale conoscenza geografica sia possibile effettivamente ricavare, grazie alle nuove tecnologie disponibili, dall'analisi mirata delle fonti materiali del paesaggio. Che formula concettuale proporre per la ricognizione?

Sicuramente, anzitutto, la visione dall'alto. I geografi conoscono da sempre le potenzialità dello sguardo dall'alto, e lo hanno utilizzato da molto prima che l'umanità scoprisse il modo per volare (Dorrian 2007, Aber et al 2010). Una visione dall'alto di tipo rigorosamente orientato alla spazialità e alla traduzione cartografica, si ha ovviamente nella visione zenitale. Sempre per tradizione, invece, si tende a considerare la visione obliqua meno utile per certe forme di rappresentazione. Essa è sicuramente molto più valida ai fini di una comprensione qualitativa; ai fini, cioè, di una lettura non solo interpretativa dello *spazio* ma anche interpretativa del *luogo*; in grado quindi di portare alcuni elementi della nostra conoscenza ad un maggior livello di complessità. In entrambe le prospettive (zenitale e obliqua) ricaviamo informazioni sul tipo di insediamento in rapporto agli spazi circostanti; nel primo caso, però, la conoscenza ricavata è per certi aspetti più ristretta, sia spazialmente che qualitativamente, perché manca la visione di alcuni elementi di valutazione– e quindi di giudizio – che invece troviamo nel secondo caso.

Riprendendo la nota distinzione enunciata da Adalberto Vallega, viene da chiedersi se sia possibile immaginare un sistema di ricognizione aeroportata ugualmente utile verso una conoscenza del territorio basata sia sulla “grammatica umanistica”, sia su quella “razionalista” della geografia (Vallega 2004).

Che caratteristiche dovrebbe avere questo sistema? Innanzitutto, dovrebbe essere facilmente scalabile in modo da poter essere usato per una “lettura d'insieme” ma, anche, per una “visione puntuale” del territorio esaminato. Dovrebbe, possibilmente, essere in grado di colmare il “gap” nel profilo di acquisizione che rimane fra la ricognizione *airborne* di tipo tradizionale (che ormai è in consolidata continuità con il telerilevamento satellitare), e la ricognizione a terra tipica della geografia di campagna. Non è solo una questione di guardare da più o meno in alto; o del guardare “orizzontalmente” in contrasto con un guardare “verticalmente”: si tratta di creare un sistema che fornisca almeno in teoria gli stessi gradi di libertà nella scelta del “punto di vista”: da terra, in volo a bassissima quota, in volo a quota più alta. Un sistema cioè che avvicini fisicamente il geografo, nei limiti del possibile, a quello sguardo completamente libero sul piano spaziale che costituisce una sua prerogativa teorica. Inoltre, ciò dovrebbe essere consentito entro un *workflow* unificato nonostante l'inevitabile differenziazione degli strumenti di ricognizione. In questo modo, l'acquisizione del dato, la sua elaborazione e la preparazione dei materiali per una successiva rappresentazione possono svilupparsi concettualmente secondo lo stesso schema; da ciò sarebbe quindi possibile ricavare risultati relativamente omogenei¹.

Un terzo elemento importante è il fatto che il sistema realizzato debba svilupparsi intorno a criteri di implementazione quanto più possibile *open-source* e *low-cost*. Entrambi sono infatti necessari per una più ampia accessibilità delle tecniche. La ripetibilità delle ricognizioni – che dall'accessibilità

¹ Una discussione di alcuni aspetti legati allo sviluppo di una metodologia geografica di questo tipo nelle applicazioni a scenari post-emergenziali si ritrova in Pesaresi et al. 2013. Per considerazioni metodologiche applicate invece allo studio del paesaggio storico si rimanda, invece, a Musson et al. 2005, pp. 15-58.

deriva - consente di osservare nel tempo, entro lo stesso *framework* di procedura, l'evoluzione della territorializzazione studiata; quanto più la tecnologia è accessibile, tanto più la periodicità della ricognizione può tenere conto non delle necessità operative, ma piuttosto dell'opportunità metodologica. La maggiore diffusione, inoltre, che discende da una maggiore accessibilità delle tecnologie, ha poi l'effetto di consentire una più ampia collaborazione fra gruppi di ricerca.

Negli ultimi tre anni, all'Università Europea di Roma è stata condotta una campagna estensiva di test per verificare un prototipo.



Figura 1. La stessa procedura di rilevamento fotogrammetrico, eseguita a quote diverse da aereo (a sinistra) e con micro-drone (a destra), consente di produrre con le stesse tecniche di elaborazione modelli 3-D a scala più ampia nel primo caso e maggiormente ravvicinata nel secondo. Benché gestibili attraverso gli stessi apparati informatici, le due riprese corrispondono a due livelli di analisi concettualmente diversi dal punto di vista geografico. Il modello a sinistra si riferisce ad un gruppo di strutture lungo il Porto Canale di Paola, quello a destra al Mausoleo di Lucilio Peto a Roma. Entrambi presentano le condizioni attuali di strutture risalenti all'età romana.

Al fine di ottenere le funzionalità sopra descritte, Il prototipo sviluppa la combinazione, in realtà, di due sottosistemi complementari.

Le due componenti prevedono, rispettivamente, una piattaforma volante con persone a bordo, assimilabile ad un aeromobile leggero (UFL – *Ultralight Flying Laboratory*) e una senza persone a bordo, assimilabile alla categoria di macchine chiamate “micro-droni” (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*).

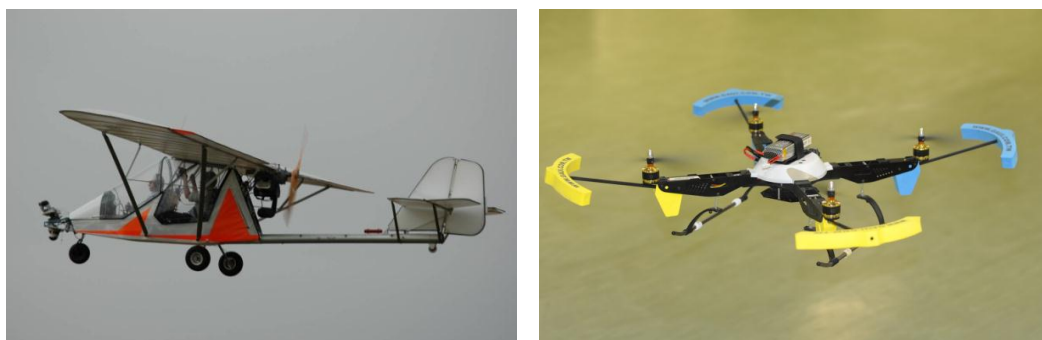


Figura 2. Le piattaforme volanti su cui si è prevalentemente effettuata la sperimentazione del sistema sono stati l'ultraleggero biposto Firefox 503 (UFL, a sinistra) e il quadricottero radiocomandato GAUI330XS (UAV, a destra).

Alla prima categoria di piattaforma si possono ricondurre, a seconda degli scenari tecnici e giuridici nei diversi paesi di applicazione, velivoli leggeri o ultraleggeri²; alla seconda categoria possono ascrivere i mezzi a pilotaggio remoto di massa al decollo inferiore o uguale a 20 kg.

In entrambi i casi le piattaforme dovranno essere scelte tenendo presenti – fatti salvi, naturalmente, i requisiti previsti dalle normative vigenti - alcuni criteri fondamentali dal punto di vista delle soluzioni tecniche.

Significativamente, i criteri sono gli stessi per entrambe le tipologie di piattaforma:

1. *Disponibilità immediata*. Ciò implica quanto più possibile l'utilizzo di prodotti disponibili sul mercato generalista; l'utilizzo di *hardware* e *software open source*; la rinuncia – nei limiti del possibile – all'impiego di soluzioni tecnologiche proprietarie; la ricerca della semplicità tecnica nel maggior grado possibile.

2. *Portabilità*. Essa si ottiene in primo luogo con l'impiego del maggior numero possibile di soluzioni che aderiscano a *standard* codificati o almeno de-facto; in secondo luogo, con l'adozione di formati quanto più possibile diffusi sia nell'acquisizione dei dati che nell'immagazzinamento dell'informazione.

3. *Estensibilità*. Essa richiede la progettazione delle configurazioni strumentali tenendo a mente anzitutto la modularità e la necessità che tanto i sistemi quanto i profili operativi siano organizzati in modo da poter subire modifiche senza che da questo discendano difficoltà insormontabili.

4. *Standardizzazione del workflow*. I dati raccolti, cioè, e i loro processi di elaborazione devono poter essere unificati, centralizzandoli in una unità di elaborazione a terra secondo procedure di acquisizione, elaborazione e gestione del dato che risultino, se non equivalenti, almeno sostanzialmente omogenee tra le diverse componenti del sistema.

Piattaforma UFL

Per l'UFL, data la natura puramente sperimentale e la totale assenza di applicazioni commerciali per il sistema, si è proceduto utilizzando un velivolo ultraleggero scelto solo sulla base di criteri strutturali e funzionali. Il modello utilizzato è stato il Firefox 503, costruito dalla Eurofly S.r.l. di Tezze sul Brenta (VI); si tratta di un diffuso “tubi e tela” da addestramento iniziale. Al fine di consentire la trasformazione in “laboratorio volante”, la casa costruttrice ha aggiunto alla struttura di serie un elemento, cioè un traliccio portastrumenti, allungando la fusoliera in corrispondenza del muso. Il portastrumenti è stato dotato di una piastra e di un meccanismo elettromeccanico di brandeggio su due assi (trasversale e verticale). Sul portastrumenti, con un appropriato sistema multiplo di arresto e sospensione, vengono fissati, a seconda degli scopi della sperimentazione, sensori di vario tipo. I dati raccolti sono geolocalizzati o georiferiti, a seconda delle configurazioni, e immagazzinati su uno o due computer di bordo a seconda della logica di acquisizione / elaborazione. Il tipo di piattaforma, benché sottoposta a vari limiti giuridici rispetto alle possibilità di utilizzo operativo nello scenario italiano, presenta caratteristiche di versatilità e adattabilità non comuni, che la rendono particolarmente idonea alla sperimentazione in diverse tipologie di ricognizione e con varie configurazioni strumentali. Qualora alcune di queste dovessero definire una applicabilità commerciale, si dovrebbe prevedere una “ingegnerizzazione” su piattaforme tecnicamente e giuridicamente idonee al lavoro aereo. Un sistema di *downlink* informatizzato consente di rimandare a terra dati e informazioni. Nelle configurazioni più sofisticate si ha la

² La sigla e il concetto di Ultralight Flying Lab (UFL), come descritti in questo documento, sono una nostra categorizzazione; a questo tipo di configurazione tecnica, tuttavia, appartengono molte macchine da ricognizione ambientale o geografica di cui risulta l'impiego da una disamina della letteratura. Velivoli assimilabili a piattaforme UFL secondo l'accezione qui impiegata, realizzati concettualmente con velivoli ultraleggeri (microlight, very light e ultralight aircraft) si ritrovano, ad esempio, in Graham 1988; Pivnicka, Kemper 2004; Dare 2005a, 2005b; Li, Hongbo, Kemper 2008. Questo tipo di applicazione, in cui il mezzo volante è dotato di specifici equipaggiamenti per la ricognizione si distingue da altre in cui il velivolo è utilizzato prevalentemente come trasportatore di osservatori (si vedano Rallo 1978, Ceraudo 2008).

trasmissione in tempo quasi reale di immagini video HD mediante modem *wireless* a banda elevata; nella configurazione più semplice si utilizza solo un modem USB standard che utilizzi il normale traffico dati lungo la rete telefonica cellulare, per l'invio in differita di immagini o dati, e per l'eventuale scambio di informazioni con operatori a terra.

Una piattaforma UFL organizzata nei termini sopra descritti consente varie tipologie di ricognizione aerofotografica, da quello più semplice, con brandeggio libero delle camere, a quelli più complessi nel settore di impiego, tra cui ricognizione in bande diverse dalla luce visibile e applicazioni cartografiche / fotogrammetriche.

Queste ultime sono state, in particolare, oggetto di una serie di *test* condotti *ad hoc*, per verificare le capacità del sistema, in considerazione della recente disponibilità di fotocamere commerciali di buon livello qualitativo e del nuovo avvento di *software* per l'analisi e il rilievo fotogrammetrico. Una prima serie di *test* è stata effettuata presso il Porto Canale di Paola in forza di una sperimentazione congiunta con un gruppo di lavoro dell'Ente Parco Nazionale del Circeo.

Tra le caratteristiche che rendono particolarmente idoneo il sistema UFL alla ricognizione geografica, non bisogna dimenticare, a margine, l'autonomia relativamente elevata; nel caso di una macchina "minimale" come il Firefox 503, essa si aggira in un tempo di volo di circa 2h30', teoricamente quindi nell'ordine dei 200 km a 90 km/h di media. Per un'idea del potenziale di questo semplice fatto rispetto alla ricognizione territoriale, basti pensare che con un obiettivo di focale 50mm a orientamento nadirale, da una quota di 500 ft sul terreno, ogni scatto copre un'area di circa 3000 mq.

Piattaforma UAV

Se la piattaforma UFL può considerarsi elemento di *overview* e di osservazione complessiva su aree relativamente ampie (con potenziale maggior dettaglio e maggiore ripetibilità di ricognizione rispetto al rilevamento satellitare o aeroportato ad alta quota), la piattaforma UAV costituisce elemento di ricognizione puntuale, in grado di fornire dati a grandissima scala, al vero e proprio confine tra geografia e urbanistica/architettura o ingegneria civile. Non a caso, questo tipo di mezzo si diffonde con sorprendente ampiezza tra archeologi e studiosi dell'heritage, oltre che fra gli studiosi nel campo dell'ambiente e delle scienze naturali. Col nome di UAV, o più popolarmente "droni", si definisce (in modo assai generico, per la verità) un'ampia famiglia di macchine che vanno da pochi grammi di peso a diverse tonnellate. Nella categoria micro-drone, generalmente definita fra 0 e 20 kg di peso massimo, si trovano dirigibili, piccoli elicotteri, aerei, multirotori³. In questo caso sono le piattaforme ad ala rotante (elicotteri e multirotori) che sembrano diffondersi con maggior successo, e la ragione è appunto nella loro notevole agilità, particolarmente utile proprio quando dall'osservazione dall'alto si ritiene di dover passare all'osservazione sempre aerea ma fortemente ravvicinata. Una macchina del genere può muoversi con molta libertà verticalmente, orizzontalmente, avanti o indietro; analogamente all'UFL, può raccogliere dati e inviarli a terra in tempo reale o in differita a seconda delle configurazioni e delle opportunità.

La sperimentazione condotta presso il GREAL si è mossa in due direzioni: da un lato verificare il potenziale delle piattaforme micro-UAV in quella che è la loro più tipica modalità di impiego civile (appunto l'osservazione ravvicinata o la ripresa di aree relativamente piccole); dall'altra si è cercato di verificarne le capacità di resa informativa a paragone con la piattaforma UFL. I risultati sono stati alquanto promettenti. In primo luogo, si è riscontrata una discreta potenzialità di "interscambio" di sensori fra UFL e UAV. Benché infatti nella gran parte delle ricognizioni UAV si sia utilizzato un modello di micro-drone dalla capacità di sollevamento modesta, si è accertato che macchine poco più grandi riescono a sollevare 2,5-4 kg di carico utile netto. Questo permetterebbe, teoricamente, di utilizzare sui droni le stesse apparecchiature di ripresa utilizzate sull'UFL, rendendo perfettamente intercambiabili anche i dati e le procedure di analisi.

³ Alla categoria degli UAV non vengono generalmente associate alcune piattaforme volanti utilizzate anche per ricerca scientifica, quali gli aquiloni o i palloni frenati (si veda, ad esempio, Oberthür et al. 2007). Gli involucri di ripresa sono frequentemente gli stessi degli UAV ma i profili pratici di impiego si presentano ovviamente assai diversi.

Un drone vola solitamente più basso di un mezzo aereo con persone a bordo e può stazionare a lungo su una certa posizione, o spostarsi per ricavare migliori inquadrature. È quindi in grado di ricavare informazioni di assai difficile acquisizione con mezzi aerei tradizionali, benché appunto su aree di ampiezza più limitata. Tuttavia anche da un drone possiamo ricavare immagini oblique e zenitali, nella luce visibile o in altre bande dello spettro elettromagnetico. Tanto nel caso della piattaforma UFL come in quello della piattaforma UAV i dati possono essere acquisiti con sistemi simili, essere elaborati in base a processi analoghi; possono, infine, produrre una rappresentazione derivata dagli stessi algoritmi.

Questa si rivela essere la più importante caratteristica del sistema integrato: che, cioè, con le stesse fotocamere, le stesse procedure di elaborazione, gli stessi *software* è possibile lavorare su dati grezzi acquisiti a scale e “prospettive visuali” diverse.

Conclusioni

Le prove effettuate indicano, da un lato, la concreta possibilità di implementare un sistema di ricognizione basato sull'integrazione di due distinte componenti, UFL e UAV; dall'altro, dimostrano il notevole ventaglio di applicazioni nelle quali un sistema così concepito potrebbe essere impiegato a fini di ricognizione geografica. L'ipotesi di lavoro è fornire ai geografi strumenti accessibili e flessibili, ma abbastanza potenti, per allargare la loro capacità di osservazione del territorio. Da un tale potenziamento, discende la possibilità di documentare e interpretare, naturalmente, le connotazioni materiali del paesaggio. Discende, inoltre, la possibilità di identificare quella miriade di elementi fisici che costituiscono i referenti attraverso cui una comunità marca il proprio vivere nel territorio. Fra questi “referenti fisici”, che la ricognizione aerofotografica può individuare con opportune tecniche e metodologie, rientrano anche quei fondamentali marcatori simbolici attraverso cui una comunità definisce cosa stringere a sé, mantenere o abbandonare della propria identità culturale e storica.

Riferimenti bibliografici

Aber J.S., Marzolf I., Ries J. (2010) *Small-format Aerial Photography: Principles, Techniques and Geoscience Applications*, Elsevier, Amsterdam.

Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Giulio Tonolo F., Marenchino, D., Piras M., (2008) “Low cost UAV for post-disaster assessment”, *ISPRS Archives*, XXXVII, pp. 1373-1380.

Casagrande G., Masetti C., (2013) “L'impiego delle fonti cartografiche storiche e delle immagini aeree oblique nello studio delle dinamiche territoriali del Litorale Laziale Settentrionale”, *Atti del Quarto Simposio Internazionale – Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura – Livorno, 12-13-14 giugno 2012*, Firenze, CNR-IBIMET, pp.601-608.

Casagrande G. (2011) *Ricognizione del territorio e del paesaggio. Una ricerca sperimentale basata su immagini oblique a bassa quota*, IF Press, Morolo.

Casagrande G., Salvatori F. (2011), *Geografia e prospezioni territoriali con micro-droni. Resoconto di una ricerca sperimentale a fini di ricerca archeologica*, IF Press, Morolo.

Dorrian M., (2007) “The aerial view: notes for a cultural history”, *Strates*, 13.

Guidi F., (1978) *Fotogrammetria, Fotointerpretazione, Telerilevamento*, Istituto Geografico Militare, Firenze.

Ceraudo G., (2008) “Aerial Archeology in Italy. Recent Research and Future Prospects. The Contribution of the LABTAF at the University of Salento”, in *Archeologia Aerea III*, pp. 219-233.

Dare P.M. (2005) "The Use of Small Environmental Research Aircraft (SERA's) for Remote Sensing Applications", *International Journal of Geoinformatics*, 1, 3, pp.19-26 (Dare 2005a).

Dare P.M., (2005) *An Innovative System for Low Cost Airborne Video Imaging*, 2005. www.gisdevelopment.net/technology/ip/paulpf.htm, (last access October 2nd, 2013). (Dare 2005b).

Eisenbeiss, H., Lambers K., Sauerbier M., Li Z., (2005) "Photogrammetric Documentation of an Archaeological Site (Palpa, Peru) Using an Autonomous Model Helicopter" *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXIV-5/C34, pp. 238-243.

Graham R.W. (1988) "Small format aerial surveys from light and microlight aircraft", in *Photogrammetric Record*, 12, 71, pp. 561-573.

Haala, N., Cramer, M., Weimer, F., Trittler, M., (2011) "Performance test on UAV-based photogrammetric data collection" *ISPRS Archives*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.

<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/7/2011/isprarchives-XXXVIII-1-C22-7-2011.pdf>. last access October 2nd, 2013.

Li C., Hongbo L., Kemper G., (2008) "Monitoring Urban Development of Small Chinese Cities Using Innovative Aerial Surveying Technologies", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, B7, pp. 1667-1674.

Morgan J.L., Gergel S.E., Coops N.C., (2010) "Aerial Photography: a rapidly evolving tool for ecological management", *BioScience*, 60, 1 pp. 47-59.

Musson C., Palmer R., Campana S., (2005) *In Volo nel Passato. Aerofotografia e Cartografia Archeologica*, All'Insegna del Giglio, Firenze.

Oberthür T., Cock J., Andersson M.S., Naranjo R.N., Castaneda D., Blair M. (2007) "Acquisition of Low Altitude Digital Imagery for Local Monitoring and Management of Genetic Resources", *Computers and Electronics in Agriculture* 58, pp. 60-77

Pesaresi C., Casagrande G., Morri R. (2013), "Testing Geographical Methodology and Tools for the Study of Territories Damaged by Earthquakes. The Case of L'Aquila and Other Localities Three Years after the April 6th 2009 Event" *International Journal of Geosciences*, 4:1-10.

Pivnicka F., Kemper G., (2004) "GIS Goes Aerial for RS-Data Acquisition" in XX ISPRS 2004, Istanbul, www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm2/papers/98.pdf, last access October 2nd, 2013.

Rallo G., (1978) *L'impiego del mezzo aereo nelle operazioni di censimento degli uccelli acquatici in zone umide*, Libreria Naturalistica, Bologna.

Scholtz, A., Kaschwich, C., Krüger, A., Kufieta, K., Schnetter, P., Wilkens, C. S., Krüger T., Vörsman, P., (2011). "Development of a new multi-purpose uas for scientific application". *ISPRS Archives*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland. http://www.geometh.ethz.ch/uav_g/proceedings/scholtz. Last access October 5th, 2013.

Vallega A. (2004), *Le Grammatiche della Geografia*, Patron, Bologna.