

Rilievi close range a supporto di indagini sub superficiali

Ivan Arezzini (*), Lorenzo Capineri (*), Pierluigi Falorni (*)
Valentina Bonora (**), Daniele Ostuni (**)

(*) Dipartimento Ingegneria dell'Informazione, Università degli Studi di Firenze Tel. 055 4796376, Fax 0554796516
(**) Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale Università degli Studi di Firenze. Tel. 0554796212, Fax0554796494

Abstract

The analysis tools that use proximity sensors constantly improve in features and performance and now they are more affordable for new applications in many different ways. The current work concerns about the surveys methods implemented to collect 3d mesh data for the development of an holographic radar robotic platform designed for sub-surface investigations. This hardware-software project is carried out by the Dipartimento Ingegneria dell'Informazione and the Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale (GeCo Lab., directed by prof. G. Tucci). We are now studying different approaches for acquiring multi-scale high-definition digital elevation models useful in demining operations, which involve necessarily only non-invasive techniques.

Introduzione

Gli strumenti di analisi che utilizzano sensori di vario tipo migliorano costantemente in caratteristiche e prestazioni e risultano attualmente più accessibili che in passato, sia per i costi di acquisto, sia per l'ampia possibilità di gestione, circostanza che ha offerto l'opportunità di nuovi sviluppi applicativi in molte discipline scientifiche. Già da tempo, in occasione di alcune importanti operazioni di scavi archeologici e restauri, era emersa nel nostro gruppo di lavoro la necessità di correlare con precisione dati fotogrammetrici e modelli di punti laser scanner a specifiche indagini termografiche, di fluorescenza ai raggi x e georadar, ad esempio per l'individuazione di strutture metalliche all'interno di statue o per l'individuazione di scheletri fossili sepolti o anche per la diagnostica di patologie edilizie con l'individuazione di problemi all'interno di costruzioni complesse. Il carattere di questa indagine attualmente in corso assume una funzione un po' diversa rispetto alle precedenti esperienze: le metodologie di rilievo per acquisire dati close-range ad alta definizione tipo Dense Digital Elevation Model (DDEM) sono state in questa occasione utilizzate nella fase progettuale di sviluppo di una piattaforma radar olografica robotizzata, concepita per indagini sub-superficiali, in un progetto di sviluppo hardware-software portato avanti già da alcuni anni dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Firenze.

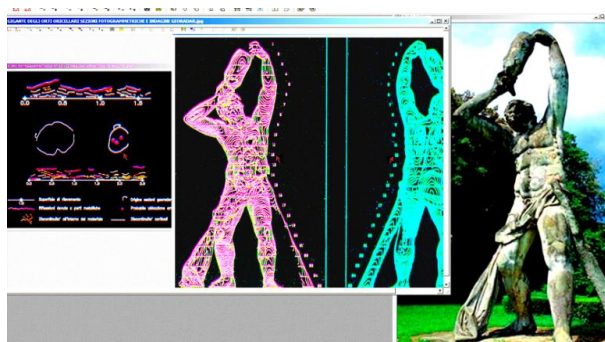


Figura 1 - Georadar armatura interna e correlazione fotogrammetrica – Il Gigante degli orti Oricellari del Novelli.

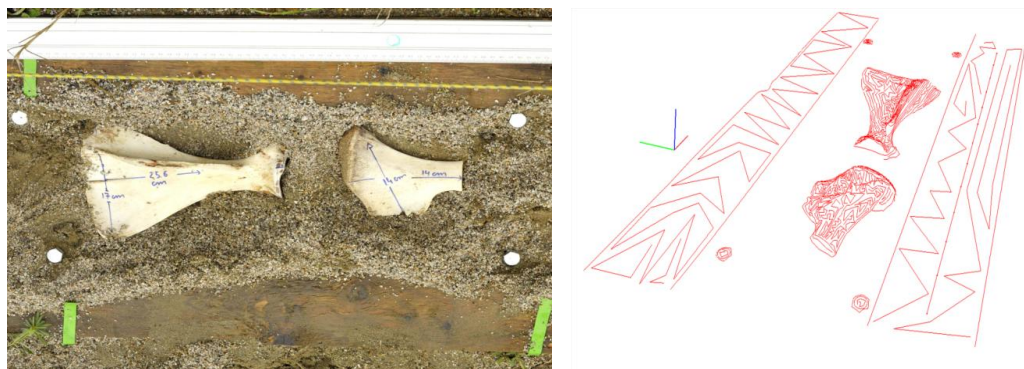


Figura 2 – A sinistra un'immagine della ripresa fotogrammetrica sviluppata per un test di rilevamento di ossa; a destra nella restituzione appaiono anche i 4 target metallici utilizzati per riferimento alle scansioni sub superficiali



Figura 3 - A sinistra test di scansione predisposto in ambiente terreno simulato; a destra fase operativa della scansione olografica effettuata su fossili affioranti al Parco dei dinosauri sui monti Lavini

L'attuale fase di studio interdipartimentale si è avvalsa di specifiche operazioni di rilievo impiegate per la verifica dei dati provenienti da un prototipo di radar olografico sviluppato per indagini sub-superficiali, con particolare riferimento alle problematiche connesse alle operazioni di sminamento che richiedono necessariamente un interfacciamento operativo non invasivo di tutte le tecniche coinvolte.

La piattaforma radar olografica utilizzata per questa indagine è caratterizzata da tempi di allestimento e acquisizione piuttosto rapidi che ne permettono l'impiego in diversi contesti applicativi; in particolare risulta risolutiva là dove una normale scansione con strumenti manuali convenzionali è sconsigliata per l'incertezza nell'acquisire un tracciamento parallelo e lineare della fase di scansione oppure perché difficilmente attuabile per asperità del terreno o per altri motivi logistici come nel caso di valutazioni di strutture interessate da terremoti o altri stress meccanici.

Ovviamente la possibilità di rilevare oggetti sepolti anche a basso contrasto dielettrico risulta poi determinante per la rivelazione di mine antipersona in plastica ma anche nei casi di danneggiamenti a strutture in legno imputabili all'azione di insetti xilofagi o a carie fungine.

Breve descrizione del sistema olografico.

La piattaforma robotizzata per indagini sub-superficiali in oggetto è dotata di un radar olografico a microonde tipo RASCAN 4/4000 a 4 GHz in grado di produrre immagini ad alta risoluzione

spaziale rappresentative della volumetria di oggetti sepolti a bassa profondità (max. 20 cm in funzione del contrasto dielettrico e dell'attenuazione del terreno) comunicante con una stazione notebook via bluetooth.

La piattaforma è stata concepita per essere in grado di effettuare in modo automatico e programmabile scansioni olografiche ed è progettata per operare anche su vaste aree, con tempi di scansione e set-up ridotti e minimi errori di posizionamento.

Il robot addetto al movimento è un rover a guida differenziale, nel quale la direzione e il movimento sono entrambi determinati dalla velocità delle due ruote anteriori, mentre posteriormente sono collocati due ruotini pivottanti; è presente a bordo un apposito controller che può essere programmato per coprire una traiettoria a linea spezzata secondo percorsi predefiniti che evitano ostacoli di varia natura eventualmente presenti.

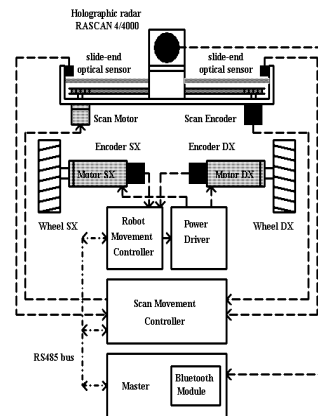


Figura 4 - Radar olografico in scansione e schema a blocchi della piattaforma

Descrizione del setup fotogrammetrico

I rilievi fotogrammetrici sono stati realizzati con una fotocamera digitale Nikon D700, munita di obiettivo 50 mm calibrato in laboratorio con la ghiera bloccata alla distanza di minimo focamento. Le immagini stereo fotogrammetriche in oggetto sono state poi riprese in modalità close-range alla distanza di minimo focamento risultata di poco inferiore al metro; gli orientamenti assoluti delle stereo-coppie realizzate risultano caratterizzati da un s.q.m di 1 millimetro. Le sopra citate fasi di calibrazione, orientamento dei modelli e le successive operazioni di restituzione ed elaborazione del DDEM sono state effettuate in ambiente Micromap-GeoIN.

Prove sul campo

Nella prima fase di studio, per validare il funzionamento del radar olografico e verificarne i limiti di applicazione nell'individuazione e analisi di oggetti sepolti a bassa profondità, sono state effettuate dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione numerose scansioni in ambienti simulati con suoli di vario tipo; una fase di studio impegnativa agevolata dalla possibilità operativa di un immediato controllo delle acquisizioni.

Validati i limiti del sensore utilizzato, sono stati eseguiti alcuni test per simulare operativamente il ritrovamento di due simulanti plastici di piccole mine antipersona con diametro di 60 mm, sepolti alla profondità tipica d'uso, in genere compresa tra 2 cm e 5 cm. (fig 5)

La rivelazione di oggetti come quelli selezionati rappresenta un obiettivo difficile da raggiungere sia per le ridotte dimensioni, sia per lo specifico contrasto dielettrico oggetto/terreno per sua natura molto basso. La posizione dei due simulanti plastici di mina e la configurazione del terreno sono

state preventivamente rilevate con un rilievo fotogrammetrico ripreso prima della completa sepoltura.

Per creare un sistema di riferimento comune alle diverse metodologie (fotogrammetria e olografia radar) sono stati posizionati appositi target costituiti da oggetti metallici di forma nota.

Per simulare condizioni operative simili alla realtà, a interrimento avvenuto è stato osservato un periodo di naturale stabilizzazione del terreno per alcune settimane; è stato poi effettuato poi un altro rilievo fotogrammetrico della medesima zona in modo tale da poter acquisire anche il modello tridimensionale del terreno sovrastante le mine, al fine di ottenere una configurazione completa mine/terreno per poi verificare metricamente le scansioni olografiche.



Figura 5 - Esempio di mine campione in plastica prima dell'interrimento

Dopo la sepoltura i target metallici, posizionati e registrati nella preventiva indagine fotogrammetrica, come previsto sono stati rilevati chiaramente anche dalle scansioni sub superficiali. La restituzione fotogrammetrica dei simulanti e le successive elaborazioni vettoriali del terreno sovrastante sono rappresentate con un modello mesh 3d interpolato a maglia regolare di 5x5 mm elaborato in ambiente Micromap; in fig. 6 sono rappresentate la posizione degli oggetti sepolti e la configurazione del terreno sovrastante in un punto di vista a profilo laterale che evidenzia il piano relativo dei due oggetti plastici non parallelo alla superficie del terreno.

I rilievi fotogrammetrici mettono in evidenza le irregolarità della superficie del terreno di ricopertura delle mine, superficie modificata intenzionalmente per il test; questa configurazione, insieme alla stessa disposizione spaziale non regolarmente orientata dei simulanti, induce nel sensore radar interazioni ed elementi di disturbo; inevitabilmente queste interferenze si sommano alle informazioni sub superficiali attribuibili agli oggetti sepolti inducendo variazioni di intensità nell'immagine del contrasto dielettrico e rendendo di fatto più complessa l'interpretazione finale dell'immagine, tuttavia come appare nel test olografico in fig. 7 la piattaforma registra in modo leggibile le impronte radar dei simulanti plastici utilizzati nel test (aree più chiare indicate da cerchi), mettendo in evidenza la capacità del radar olografico di distinguere oggetti sepolti anche in situazioni non ottimali di basso contrasto dielettrico.

Dal confronto con la restituzione fotogrammetrica si evidenzia inoltre che l'impronta radar registra una dimensione leggermente maggiore di quella reale nella rappresentazione dei simulanti di mina. L'onda elettromagnetica nel pur breve percorso subisce un allargamento del fascio generato dall'antenna; in passato abbiamo osservato un fenomeno simile prodotto da cause diverse nella correlazione metrica sviluppata per radiografie di opere d'arte in legno; in questi casi la proiezione dei contorni degli oggetti in scena appare progressivamente espansa dal punto di emissione del fascio irradiante.

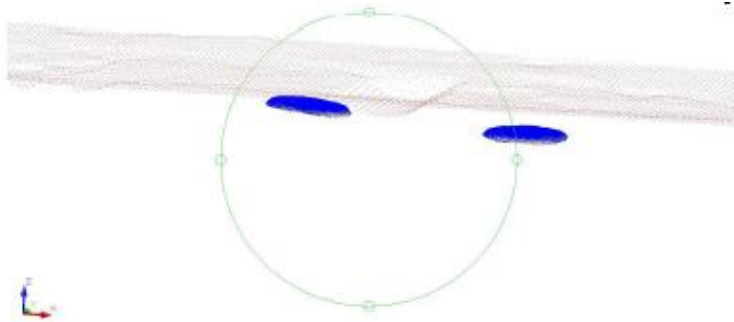


Figura 6 - Restituzione fotogrammetrica 3d mesh in prospettiva laterale delle mine interrato a terreno stabilizzato

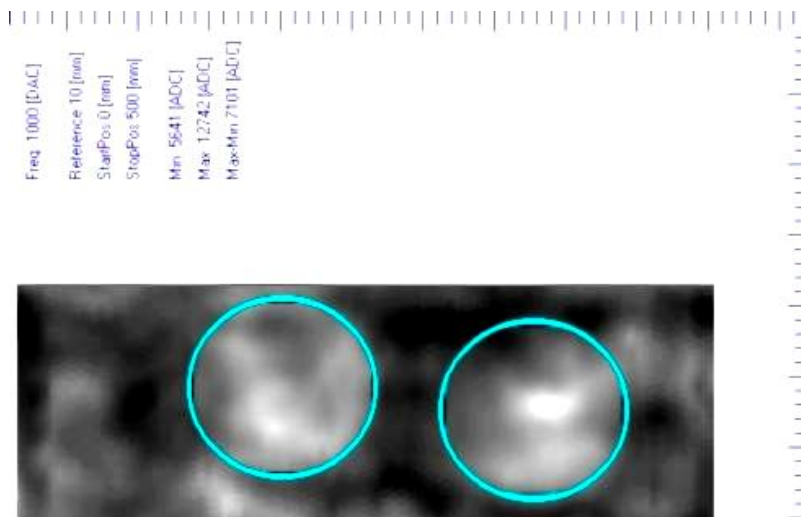


Figura 7 - Mappa olografica; l'area circolare indica la posizione delle mine sepolte

Rilievo esteso dell'area di indagine effettuato da droni UAV.

Il progetto prevede il funzionamento autonomo del robot su vari tipi di terreno ed è attualmente in atto una fase di sperimentazione di un nuovo prototipo di motrice della piattaforma dotata di più evolute prestazioni motorie. Si tratta di un rover a quattro motori indipendenti; lo sviluppo di questa piattaforma prevede anche l'adozione di un sensore per misurare istante per istante la distanza dalla superficie del terreno e un sistema di guida gps assistita. La successiva fase di sperimentazione richiede quindi di operare su un'area più estesa del test illustrato in precedenza. Nella zona individuata per i nuovi test saranno effettuati due voli, il primo con un drone ad ala fissa (Fly-Top

Microgeo), a una quota di volo più elevata, ed un secondo con un sistema multirottore, a quota inferiore (Aeromax 600 Microgeo). Questi velivoli a pilotaggio semi automatico e/o remoto noti come UAV, un tempo molto costosi e impiegati quasi esclusivamente per applicazioni militari, sono attualmente utilizzati anche nell'ambito dei rilievi close-range sul territorio e cresce costantemente il numero delle specifiche applicazioni che vengono sviluppate per acquisire dati in molti settori che affiancano la geomatica come in agronomia, archeologia, ambiente e risorse, gestione delle emergenze, monitoraggio ambientale, ecc.

Le procedure di orientamento saranno elaborate, come per altri progetti già condotti dal gruppo di studio, con Agisoft Photoscan ottimizzando l'inquadramento del rilievo con alcuni punti di controllo di coordinate note. Saranno quindi confrontati i DDEM ottenuti al fine di valutare la risoluzione ottimale funzionale a queste indagini.

Questa sperimentazione è in fase iniziale; i primi risultati a livello di test preliminare sono incoraggianti; per una più approfondita validazione metodologica si procederà a ulteriori verifiche.



FlyGeo - FlyTop



AeroMax 600 - Microgeo

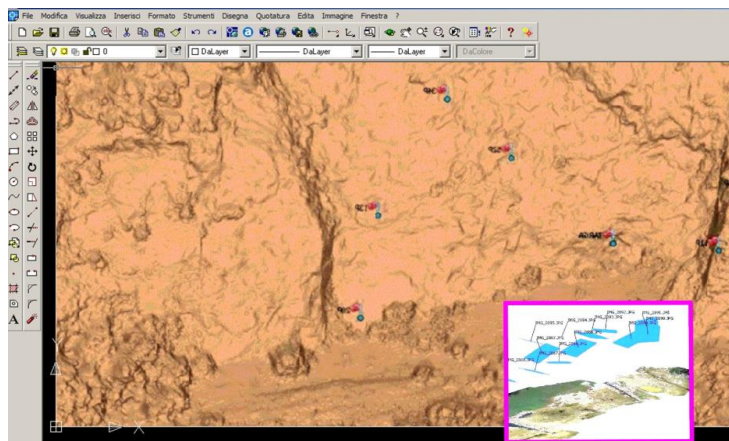


Figura 8 – In alto i due droni utilizzati per un test preliminare DDEM su area estesa

Conclusioni

L'approccio metodologico fotogrammetrico ha permesso una semplice verifica iniziale della qualità dei dati dimensionali ottenuti dalla piattaforma olografica con la correlazione dei differenti sistemi di rilievo e un controllo qualitativo indipendente delle informazioni metriche sub superficiali; è previsto l'utilizzo di questo protocollo anche per i prossimi test riguardanti il nuovo rover a quattro ruote motrici. L'impiego in questo contesto applicativo di piattaforme UAV per le operazioni preliminari di rilievo appare funzionale alla rapida acquisizione di modelli di ampie aree con una risoluzione geometrica adeguata alla fase di programmazione del tracciamento delle scansioni sub

superficiali, in particolare per supportare la progettazione di percorsi del rover compatibili con le pendenze e irregolarità proprie del terreno. La geo referenziazione di queste elaborazioni 3d e la prevista adozione di un sistema di navigazione a bordo del rover permetteranno di integrare sul campo il sistema di scansione e archiviazione della piattaforma sub superficiale con un ulteriore termine di riferimento dei dati acquisiti.

Bibliografia

Tucci, G., Bonora, V., Guardini, N., Piattafome UAV ad ala fissa e rotante per il monitoraggio ambientale, *GEOMedia*, 18, 1/2014, Roma, MediaGEO, 2014, 1128-8132, pp. 24-26, [online: [HTTP://WWW.MEDIAGEO.IT/OJS/INDEX.PHP/GEOMEDIA/ARTICLE/VIEW/780](http://WWW.MEDIAGEO.IT/OJS/INDEX.PHP/GEOMEDIA/ARTICLE/VIEW/780) (03/07/2014)]

Windsor C.G., Capineri L. & Falorni P., 2013 – “A data pair-labelled generalised Hough transform for radar location of buried objects.” *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. PP, issue 99, pp. 1-4

Capineri L., 2012 – “Metodo radar per ispezioni del suolo in profondità e per i rilievi di beni architettonici e degli edifici” - Giornata di studio per la presentazione ufficiale linee guida ASG, 18 Maggio 2012, Aula Magna, Centro di Geotecnologie di San Giovanni Valdarno.
URL.: <http://WWW.associazionegeofisica.org/wordpress/Wp-content/uploads/2012/02/Totale.pdf>

Ivashov S. Razevig V.V, Vasiliev I.A., Zhuravlev A.V., Bechtel T.D. & Capineri L. 2012 “Holographic Subsurface Radar of RASCAN Type: Development and Applications”. *IEEE Journal of Selected Topics in Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 4, pp. 763-777, ISSN: 1939-1404. URL: <http://ieeexplorer.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=5986761>.

Arezzini I., Calzolari M., Lombardi L., Capineri L. & Kansal Y., 2012 “Remotely Controllable Robotic System to Detect Shallow Buried Objects With High Efficiency by Using an Holographic 4 GHz Radar.” *PIERS Proceedings*, 27-30 marzo 2012, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1207-1211.

Berti G., Bonora V., Costantino F., Ostuni D., Sacerdote F. & Tucci G., 2005 “Dem generation With digital photogrammetry and laser scanning.” *CIPA XX International Symposium*, ottobre 2005, Torino.

Tucci G., Bonora V., Sacerdote F., Costantino F. & Ostuni D., 2004 “From the acquisition to the representation: quality evaluation of the close range model.” *Proceedings of ISPRS XX International Congress*, 12-23 Luglio 2004, Istanbul.

Chiaverini I. & Ostuni D., 2001 “Digital photogrammetry applied to geomorphology: Automatic generation of digital terrain models.” *V International Conference in Geomorphology*, 23-28 agosto 2001, Tokyo.