

FRANCO FINOTTI, ARNALDO MARIA TONELLI, GIACOMO VIANINI,  
ROBERTO TOLDO & FABIANA ZANDONAI

## INDAGINI PROPEDEUTICHE ALLO SCAVO ARCHEOMETRICO: TECNICHE DI TELERILEVAMENTO E DI MODELLAZIONE 3D

ABSTRACT - FINOTTI F., TONELLI A.M., VIANINI G., TOLDO R. & ZANDONAI F., 2015  
- Propaedeutic, non destructive, in site investigations for the archeometric research: remote sensing and 3D modelling.

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 265, 2015, ser. IX, vol. V, B: 51-65.

Among the geophysical prospecting techniques remote sensing gives some contributions in the field of archaeological research both yielding data on large areas, where remnants of anthropic settlements could be, and in the detailed analysis of selected zones. Disomogeneities in the sub-soil thickness can be indirectly revealed through the effect inducted at the soil surface. Main vector of information is the humidity of the soil which, on the long term, has impact on the vegetation cover (grass) and around the 24 h on the surface temperature field. Electrical resistivity and constant dielectric field are thus analysed interpreting local detailed profiles of geoelectrical and georadar surveys. Examples are shown, ranging from the exploitation of existing images to the proper use of multispectral imagery planned and "ad hoc" realized. This synthetic presentation follows the results of multitemporal campaign performed on the experimental area "Sperimentarea" realized by Fondazione MCR Rovereto in the recent past, with processings performed applying the 3D modelling software 3DF Zephyr Pro.

KEY WORDS - Remote sensing, 3d modelling, Image-based modelling, Structure from motion, Multiview stereo.

RIASSUNTO - FINOTTI F., TONELLI A., VIANINI G., TOLDO R. & ZANDONAI F., 2015 - Indagini propedeutiche allo scavo archeometrico: tecniche di telerilevamento e di modellazione 3D.

Nel campo della geofisica di prospezione non invasiva, il telerilevamento apporta contributi sia acquisendo dati su aree estese, dove potrebbero esservi state le condizioni per l'esistenza di strutture antropiche o altro, che analizzando nel dettaglio siti preselezionati. Disomogeneità nella massa del primo sottosuolo vengono rivelate dai risentimenti indotti in superficie. Il vettore di base delle informazioni è il campo dell'umidità che, nel lungo termine, ha impatto sulla densità della copertura erbosa e, nell'arco del giorno, sulla capacità termica del primo sottosuolo e sui valori di costante dielettrica e resistività. Viene presentata una rassegna di procedure su rilievi da vettore aereo a partire da immagini esistenti in pancromatico, colore,

falso colore, multispettrale e date indicazioni per progetti di rilievo multibanda da realizzare. Questa sintesi segue alle indicazioni ottenute all'area sperimentale della Fondazione MCR. Inoltre si presentano alcune interessanti applicazioni di modellazione tridimensionale a partire da immagini fotografiche per il rilievo e la documentazione in ambito archeologico, tramite l'utilizzo del software 3DF Zephyr Pro che integra fotogrammetria digitale e Computer Vision.

PAROLE CHIAVE - Telerilevamento, Modellazione 3D, Fotomodellazione, Structure from motion.

## IL TELERILEVAMENTO IN ARCHEOMETRIA

### *Introduzione*

Strutture di origine antropica e, in generale, disomogeneità presenti nel primo sottosuolo, tendono a indurre risentimenti in superficie, rivelabili con tecniche di telerilevamento. Vettore della indiretta informazione è l'umidità del terreno che nel medio termine (da una settimana in avanti) ha impatto sulla risposta spettrale della copertura erbosa e, nell'arco del giorno, sul campo della temperatura alla superficie del suolo. La coltre erbosa riflette nel visibile (indicativamente nell'intervallo da 0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ ) e nell'infrarosso prossimo (intorno 0.75÷0.85  $\mu\text{m}$ ) in modo diverso in corrispondenza di un maggiore o minore spessore del terreno vegetale. Lo stesso si osserva nel campo della temperatura dove, da un lato, la differente capacità termica del terreno, e dall'altro l'effetto dei fenomeni di evapo-traspirazione, provocano anomalie locali rilevabili con la termografia:

- la vegetazione riflette con intensità modulata dalla umidità stabile del suolo che la sostiene;
- il campo di temperatura alla superficie del terreno risente sia dei fenomeni di evapo-traspirazione che della capacità termica del primo sottosuolo.

Questi aspetti risultano di primo interesse anche per ricerche archeologiche preliminari e speditive su aree estese (Fig. 1). Fra le indagini non distruttive, il telerilevamento (TONELLI, 2000a), da differenti piattaforme di acquisizione (satellite, aereo, postazione terrestre) apporta dati sullo stato fisico-vegetativo della coltre erbosa e sul campo termico alla superficie del suolo, importanti per l'interpretazione finalizzata alla individuazione di aree di potenziale interesse archeologico (TONELLI, 2000b). Nel dettaglio vengono analizzate informazioni che coprono il campo del telerilevamento passivo (riflettività multibanda, termografia) e attivo (radar).

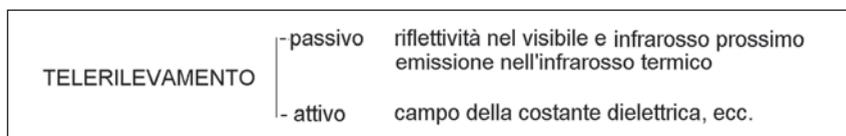


Fig. 1 - Contributo del telerilevamento alla analisi preventiva di zone di possibile interesse archeologico.

### *Indicatori di disomogeneità e loro utilizzo*

#### *A) La copertura erbosa*

La coltre erbosa, analizzata come indicatore di disomogeneità nel primo sottosuolo, mostra intensità della riflessione nel rosso e infrarosso prossimo influenzate dall'umidità, persistente, del terreno Fig. 2. A maggiore umidità tende a corrispondere maggiore biomassa. A sua volta l'andamento della biomassa della copertura erbosa mostra andamento coerente con la differenza fra riflessione nell'infrarosso prossimo **irf** e nel rosso **r** (o, anche, nella regione del blu).

La riflettività della copertura erbosa è legata al suo stato fisico-vegetativo. Le variazioni si osservano nell'intervallo del verde e, in modo più accentuato, nell'infrarosso prossimo. Lo stato fisico dipende, fra l'altro, dall'umidità del terreno che, a sua volta, risente della presenza di pieni e vuoti nel primo spessore del sottosuolo. L'analisi della risposta spettrale della coltre erbosa è un mezzo utile per le indagini sul primo sottosuolo, Fig. 3.

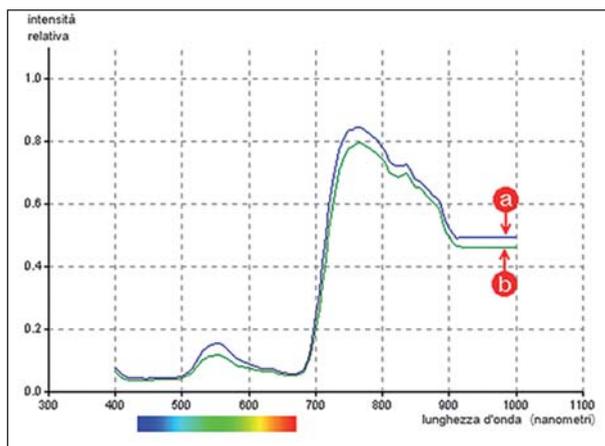


Fig. 2 - Andamento, in termini di intensità relativa, della riflettività della coltre erbosa in condizioni normali (a) e di leggera alterazione (b). La variazione di riflettività, nei due casi, è appena percepibile nelle regioni del blu e del rosso mentre è esaltata nella regione del verde e dell'infrarosso prossimo.

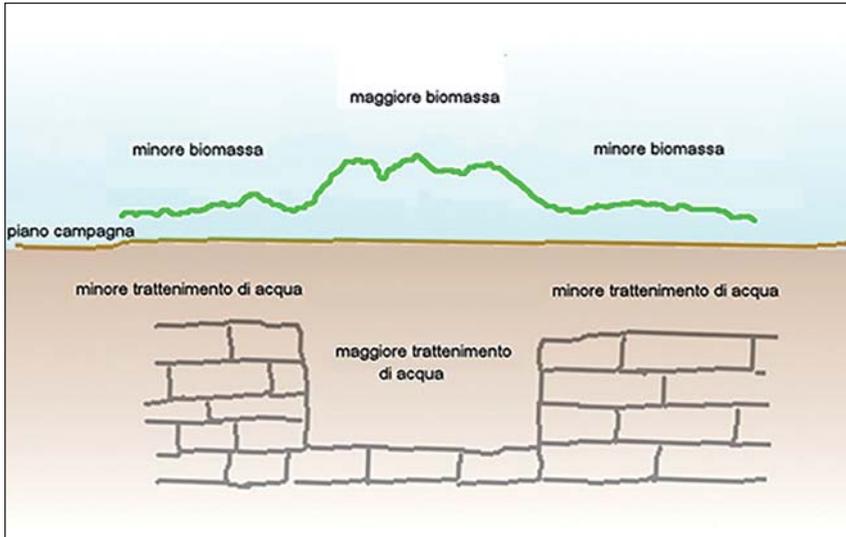


Fig. 3 - Schema del risentimento della copertura erbosa provocato dalla presenza di un manufatto sepolto cui si associa una variazione dello spessore di suolo.

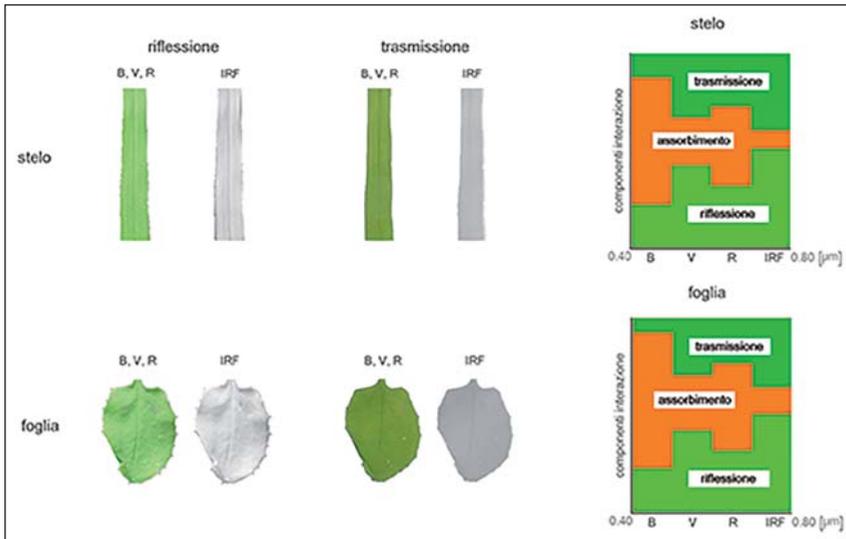


Fig. 4 - In figura è sviluppato un esempio frutto di prove reali su campioni di steli e foglie di prato. Si noti come riflessione e trasmissione abbiano fra loro un andamento simmetrico. Sperimentato che, per una singola foglia, la trasmittanza (frazione trasmessa) è proporzionale alla riflettanza (frazione riflessa), l'andamento proporzionale e speculare di riflessione e trasmissione nel visibile e infrarosso prossimo comporta che con l'aumento dei piani fogliari, quindi con l'aumento della biomassa, aumenti il divario fra riflessione complessiva nell'infrarosso prossimo e nel rosso.

Questa osservazione sperimentale ha suggerito la formulazione, fra altre possibili, di un indice di densità della vegetazione come indice di densità dell'apparato fogliare **idaf**, nella forma di:

$$\mathbf{idaf} = (\text{irf-r})/(\text{irf+r})$$

Quanto detto è esemplificato nell'immagine di Fig. 4 dove si illustrano i risultati di misure in riflessione e trasmissione su due campioni prelevati da una coltre erbosa dopo giorni di pioggia, mediando la risposta su intervalli spettrali di 0.1 micrometri (100 nanometri). Riflessione e trasmissione hanno andamento simile, minimo nella regione del blu e rosso, elevato nella regione del verde e massimo nella regione dell'infrarosso prossimo. I dati rilevati conseguono alla scelta dello spettro della luce solare (con picco intorno 0.56  $\mu\text{m}$ ) e della media dei valori su 0.1  $\mu\text{m}$ . La variazione di ampiezza in riflessione e trasmissione è evidente, per superfici vegetate, nella loro simmetria.

Affinché i dati raccolti nella comune pratica di campagna siano significativi in termini di rappresentatività della situazione sepolta e apporto di informazioni ad essa inerenti, è bene eseguire il rilievo in condizioni meteorologiche opportune, in primo luogo evitando il periodo della fioritura e la presenza di rugiada. Inoltre in fase di analisi del dato bisogna sempre tener conto che il campo di distribuzione della biomassa è influenzato da differenti fattori; fra questi anche l'effetto lasciato da intense scariche elettriche. È importante dunque considerare bene tutti gli elementi al contorno.

Di seguito si presentano esempi di applicazioni sul campo, il primo (Figg. 5 e 6) nell'area test della Fondazione Museo Civico (FINOTTI *et al.*, 2003; FINOTTI *et al.* 2005) dove sono stati realizzati e interrati dei target "ad hoc" per la taratura e messa a punto di strumentazioni geofisiche, il secondo (Fig. 7) che riguarda un caso reale di ricerca di tracce archeologiche in zona montana (VANNI DESIDERI *et al.*, 2007). Si riporta in particolare un saggio di riprese multispettrali da vettore aereo:

- sintesi di rosso, verde, blu;
- sintesi di infrarosso prossimo, rosso, verde;
- confronto per rapporto fra intensità della riflessione nell'infrarosso prossimo e nel visibile;
- interpretazione dei dati.

B) *La distribuzione della temperatura sulla superficie del terreno: transitorio di riscaldamento e di raffreddamento*

L'andamento della temperatura sulla superficie del terreno dipende da vari fattori, quali l'irraggiamento solare e la risposta termica del suolo.



Fig. 5 - Indagini di telerilevamento sul prato che ospita l'Area Test messa a punto nel 2004 dalla Fondazione Museo Civico su una zona resa disponibile dal Comune di Rovereto (Bosco della Città, ex vivaio comunale). Si noti come dalla semplice immagine nel visibile si rilevi la presenza di una serie di anomalie, quelle legate ai target sepolti sono però visibili solo ad un occhio allenato mentre sono ben leggibili le sagome di forma circolare (identificate sulla base planimetrica sottostante con pallini neri) dovute a scariche elettriche (fulmini).

Le superfici irraggiate assorbono energia (il sole irradia con un massimo intorno a 0.52 micrometri) trasformandola in calore. Lo scambio di calore del terreno con l'ambiente esterno può dare indicazioni utili sulle disomogeneità nel primo sottosuolo (Fig. 8). A pari assorbimento di energia dall'irraggiamento solare, il primo spessore di terreno si riscalda in modo differente per la diversa capacità termica. Rilievi attuati prima di mezzogiorno (ora solare) permettono da un lato di riprendere utilmente nel visibile e infrarosso prossimo e, dall'altro, di acquisire informazioni sul riscaldamento del terreno. Le masse a maggiore capacità termica e/o a maggiore contenuto

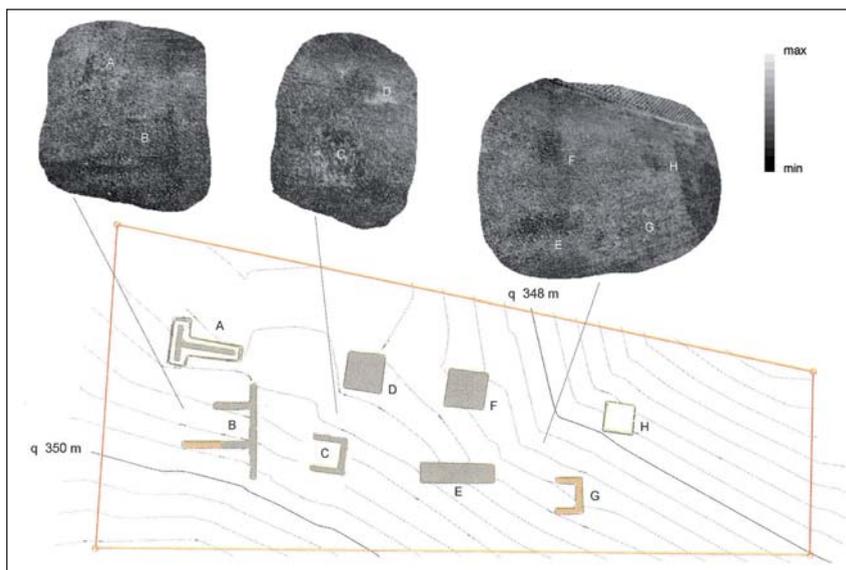


Fig. 6 - Indagine, sul prato che ospita l'Area Test, per mezzo dell'elaborazione di una ripresa, da vettore aereo, in infrarosso prossimo (irf) e rosso (r). Il campo della differenza normalizzata  $(irf-r)/(irf+r)$ , che descrive la densità della copertura del manto erboso, è espresso in toni di grigio. Sono così evidenziati i risentimenti sul manto erboso indotti dai target sepolti.

di acqua, per fenomeni di evapo-traspirazione sulle superfici vegetate e di inerzia termica sul suolo scoperto inducono un campo della temperatura in superficie che risente delle disomogeneità nella massa del primo sottosuolo.

Nel transitorio termico di riscaldamento, ad iniziare dal campo termico residuo al termine della notte fino ad un dato istante della mattina, la temperatura alla superficie del terreno aumenta maggiormente dove la massa del primo sottosuolo ha minore capacità termica, quindi, a pari calore specifico  $c$ , dove la densità di massa  $m$  è minore. Si può quindi definire:

$$\text{energia assorbita} = c m \Delta T$$

dove l'energia assorbita a pari irraggiamento solare è proporzionale alla coalbedo,  $A_0$ ,

- e:  $c$  indica il calore specifico della massa del primo sottosuolo
- $m$  indica la densità di massa (media) del primo sottosuolo
- $\Delta T$  descrive l'incremento di temperatura  $T$  rispetto alla temperatura iniziale

Reso in sintesi, il transitorio crescente è descritto da:

$$A_0 \text{ (coalbedo)} = c m \Delta T$$

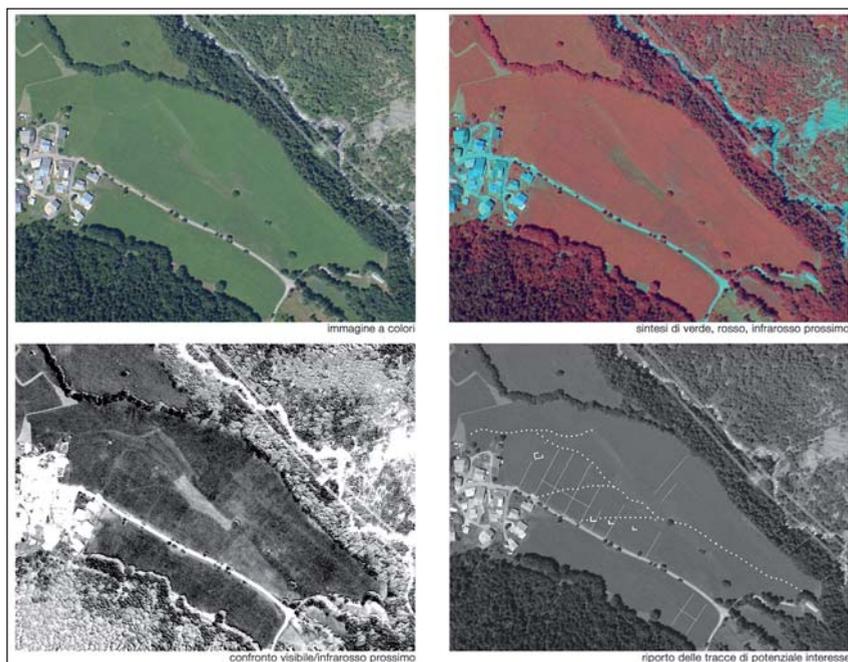


Fig. 7 - Alcuni assemblaggi (da sinistra a destra e dall'alto in basso: visibile; sintesi del verde, rosso, infrarosso prossimo; confronto visibile e infrarosso prossimo; immagine in scala di grigi con riporto delle tracce di interesse) di immagini relative ad un'indagine di telerilevamento condotta in una zona montana di interesse archeologico. Grazie all'acquisizione di immagini in bande spettrali diverse è stato possibile evidenziare anomalie di varia natura, in particolare tracce di un'antica viabilità.

Dopo il tramonto, il terreno si raffredda per irraggiamento e convezione. Il campo termico sulla superficie del terreno varia nel tempo con diversa celerità: maggiore dove il primo sottosuolo ha bassa capacità termica e vi sono fenomeni di evapo-traspirazione intensi, minore su terreni non inerbiti e di alta capacità termica (Fig. 9).

### C) *Analisi del terreno scoperto: il caso della luminescenza indotta*

In qualche particolare situazione può essere interessante esaminare il terreno scoperto alla ricerca di possibili fenomeni di luminescenza. Su terreni recentemente arati potrebbero venire alla luce tracce di masse estranee con risposta spettrale particolare dovuta al contributo della luminescenza indotta dall'irraggiamento ultravioletto. Per evidenziare questi fenomeni occorre paragonare immagini rilevate nel visibile in ore diverse, sfruttando la composizione dell'irraggiamento solare. Su caposaldi predisposti viene

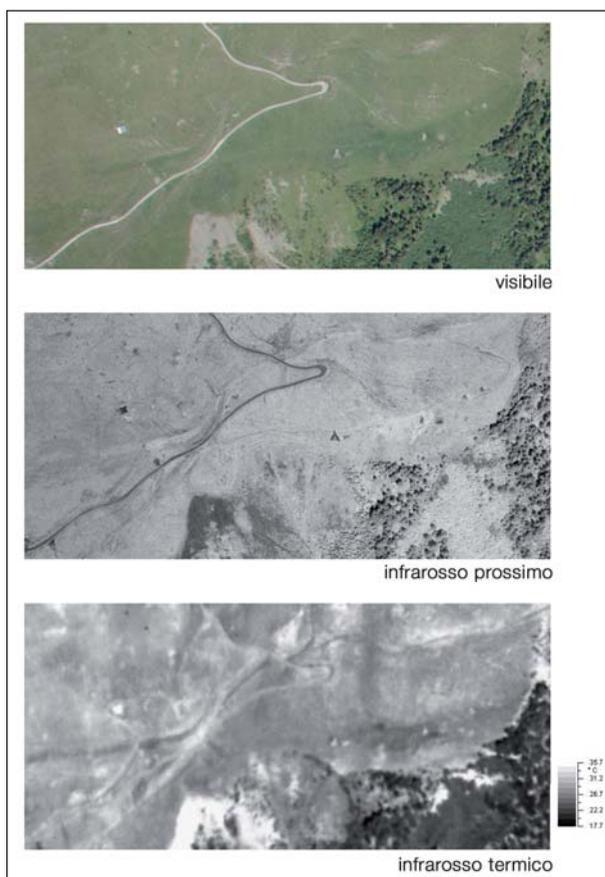


Fig. 8 - Dall'alto in basso immagini dello stesso luogo ripreso nel visibile (immagine di riferimento), infrarosso prossimo, infrarosso termico (campo della temperatura).

imposta la medesima risposta spettrale nel visibile al variare dell'irraggiamento solare. Il contributo percentuale dell'ultravioletto al variare dello spessore di atmosfera attraversato varia in maniera significativa rispetto alle componenti del blu, verde e rosso. Imponendo la medesima risposta di riflettività nel visibile in tempi diversi si possono ottenere informazioni su eventuali fenomeni di luminescenza indotta (TONELLI, 2000a; FINOTTI *et al.* 2009).

#### IL RILIEVO 3D NEI CONTESTI ARCHEOLOGICI

##### *Stato dell'arte e finalità*

Sulle potenzialità dei metodi di rilievo tridimensionale in archeologia che sfruttano immagini fotografiche come dato grezzo di partenza si è già

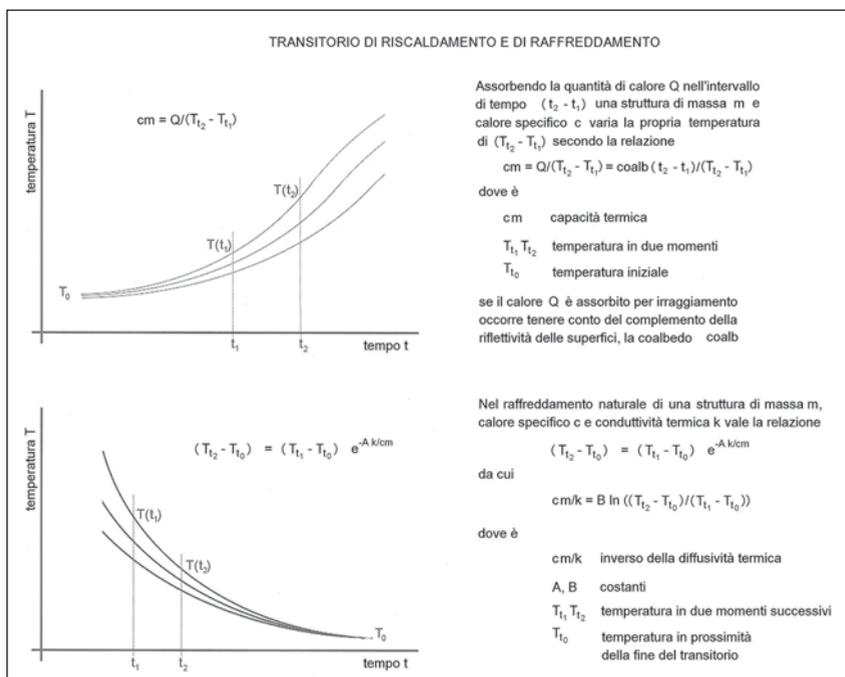


Fig. 9 - La capacità termica del primo spessore di suolo, importante a rivelare disomogeneità (eventualmente riferibili alla presenza di strutture antropiche sepolte), viene descritta nel transitorio di riscaldamento quale rapporto fra calore assorbito dall'irraggiamento solare e variazione della temperatura provocata, e dal transitorio di raffreddamento quando l'insolazione non è più. Operativamente, in molti casi, è attuabile un solo rilievo. Si sceglie, correntemente, un rilievo nel pieno del transitorio di riscaldamento, quindi un rilievo nel visibile, infrarosso prossimo, infrarosso termico in tarda mattina.

dibattuto a lungo in passato (POLLEFEYS *et al.* 2002), e ad oggi esse stanno diventando una pratica comune sempre più richiesta nelle procedure di scavo archeologico non solo per le diverse entità *in situ* (DONEUS *et al.* 2011; D'ANDREA & BARBARINO 2012) ma anche su singoli reperti e manufatti (KOUTSOUDIS & ARNAOUTOGLU 2013; LUIS & MUIR 2014). Diversi studi sono stati dedicati alle valutazioni dell'accuratezza metrica (KOUTSOUDIS *et al.*, 2014) e alla comparazione di modelli 3D derivati dall'utilizzo di sensori passivi, le macchine fotografiche, e sensori attivi, gli strumenti laserscanner, (DE REU *et al.* 2013), gettando così fondamenta scientifiche ancora più solide per questa tecnica di rilievo e documentazione.

In questo lavoro viene offerto un punto di vista che chiarisce ulteriormente le svariate possibilità della registrazione tridimensionale in ambito archeologico con la metodologia definita *image-based*, attraverso l'utilizzo

del pacchetto software 3DF Zephyr (3Dflow Srl). Tale procedura si distingue non solo per una riduzione delle tempistiche di rilievo sul campo, e di documentazione in laboratorio, ma anche per la possibilità di estrapolare dal modello 3D molteplici informazioni, come ad esempio ortofoto, modelli digitali del terreno, aree, volumi e sezioni.

## METODOLOGIA

### *Tecnologia Software*

L'utilizzo del pacchetto software 3DF Zephyr, sviluppato dalla *software house* italiana 3Dflow, è stato testato nella versione 1.6 dell'applicativo su elementi eterogenei in quanto a dimensioni, forma e condizioni di operatività. 3DF Zephyr raggiunge l'obiettivo finale della descrizione tridimensionale di una scena reale portando a compimento quattro diverse fasi di lavoro (Fig. 10).

Dopo aver caricato l'insieme di immagini fotografiche acquisite durante il rilievo, la prima fase vede l'impiego di 3DF Samantha (TOLDO *et al.* 2015), algoritmo di *Structure from Motion* in grado di calibrare automaticamente, dunque senza inserire alcuna informazione in merito all'ottica e al sensore utilizzati, i parametri interni ed esterni delle fotocamere. Stabilendo la posizione e l'orientamento di ogni singolo scatto, tale algoritmo può produrre una ricostruzione grezza della scena fotografata sottoforma di nuvola di punti definita "sparsa", dopo aver effettuato l'estrazione o individuazione dei cosiddetti *keypoints* o *features*.

Da qui viene avviata la seconda fase, articolata secondo un processo chiamato *Multiview Stereo* in Computer Vision, in cui l'algoritmo 3DF Stasia (TOLDO *et al.* 2013) genera mappe di profondità sulla base delle informazioni spaziali ricavate durante la prima fase, sfruttando ora ogni singolo pixel di ciascuna immagine, e pertanto senza un procedimento iterativo. Il risultato di questa operazione è una nuvola di punti definita "densa".

3DF Sasha è il terzo e ultimo algoritmo proprietario preposto alla creazione della superficie 3D, o mesh poligonale, che consente appunto il passaggio dall'elemento punto all'elemento poligono preservando al tempo stesso l'andamento di bordi e superfici nette. Proprio sulla superficie realizzata il software andrà poi a creare la texture fotografica direttamente ricavata dalle fotocamere, in quanto la mesh così come le nuvole di punti godono unicamente di un valore RGB medio calcolato su punti e poligoni vicini (Fig. 11).

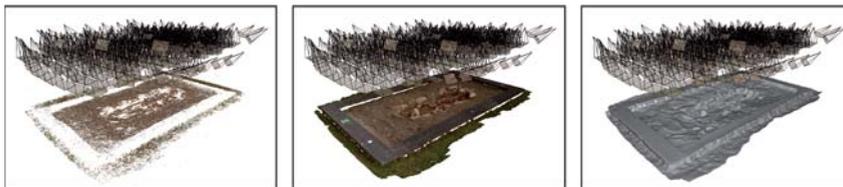


Fig. 10 - Le tre fasi di ricostruzione 3D con il software 3DF Zephyr. Da sinistra verso destra: nuvola sparsa, nuvola densa e superficie poligonale senza dato colore RGB.



Fig. 11 - Dettaglio del modello 3D dello scavo didattico (attività di archeologia sperimentale) della Fondazione Museo Civico di Rovereto a Sperimentarea. Da sinistra verso destra: mesh poligonale con dato colore RGB e modello texturizzato.

### *Acquisizione fotografica*

La raccolta del dato, come in tutte le procedure di rilievo, rappresenta la fase più delicata nella metodologia *image-based*. Nonostante le casistiche siano sempre uniche nel loro genere, è possibile stabilire alcuni metodi universalmente validi per ottenere immagini adatte per il processo di ricostruzione 3D.

Partendo dai sensori, anche se la tipologia di software sopra descritta consente l'utilizzo di ogni macchina fotografica, sia essa reflex, compatta, *mirrorless* o *bridge*, la metodologia ottimale prevede una camera DSLR con sensore APS-C (approssimativamente 25.1 x 16.7 mm) in modo che la dimensione di ogni singolo pixel sia sempre superiore a 3 $\mu$ m.

Anche le ottiche utilizzabili sono numerose per questa tipologia di rilievo, e la loro scelta è inevitabilmente influenzata dalle condizioni ambientali (luce, presenza di ostacoli sulla scena, possibilità di movimenti attorno alla scena, ecc.) e dalle dimensioni del soggetto del rilievo. Tuttavia, le ottiche comprese tra una lunghezza focale di 25mm e 35mm, possibilmente a focale fissa, sono quelle che meno evidenziano gli errori di distorsione radiale e tangenziale.

Volendo oltrepassare il vasto mondo delle tecniche fotografiche per produrre una fotografia correttamente esposta, è necessario soffermarsi sulle modalità di ripresa fotografica, generalmente identificate in due tipi: ad assi convergenti, in cui gli scatti convergono su più o meno lo stesso punto (ad esempio, quando si ruota attorno al soggetto) e ad assi paralleli, in cui gli scatti riprendono diverse porzioni o zone del soggetto (ad esempio nelle riprese fotografiche aeree o da drone).

Per far sì che le immagini possano essere correttamente impiegate dal software di ricostruzione 3D è necessario mantenere, durante la ripresa fotografica, un'abbondante percentuale di sovrapposizione tra uno scatto e l'altro, generalmente del 70%, senza variare la lunghezza focale scelta in fase progettuale e mantenendo gli stessi valori di esposizione per ciascuna immagine.

Le immagini seguenti (Fig. 12) riguardano alcuni esempi di rilievi e modellazioni 3D, realizzati dall'equipe dell'OpenLab della Fondazione Museo Civico Rovereto, di beni culturali di vario genere. I modelli metrici ottenuti sono stati riprodotti, nel caso della statua raffigurante la Pudicizia e della mandibola di Gigantopiteco, anche in solido con la stampante 3D uPrint SEplus, disponibile presso l'OpenLab.



Fig. 12 - Da sinistra verso destra, viste parziali del modello 3D (in alcuni casi con i punti di presa identificati dai simboli blu) della lapide a Paolo Orsi, esposta nel cavedio all'ingresso del viale di accesso alla piazza del MART; della statua Pudicitia (1909) di Annibale De Lotto (Collezione MCR); della mandibola di Gigantopiteco (Collezione Paleontologica e Paleoetnologica Giancarlo Ligabue, Museo della biblioteca Intercomunale di Primiero).

## CONCLUSIONI

I metodi di telerilevamento, così come i metodi geofisici in senso lato, e il rilievo per immagini costituiscono strumenti operativi vantaggiosi per l'indagine preliminare e la documentazione di dettaglio nel corso del cantiere di scavo in ambito archeologico.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Marco Nave, Maurizio Battisti e Laura Luzzi, per il supporto al rilievo dello scavo archeologico simulato presente presso Sperimentarea, al Bosco della Città di Rovereto; Andrea Dorighelli, dell'equipe dell'OpenLab, per il rilievo e l'elaborazione di alcuni dei modelli 3D qui presentati.

## BIBLIOGRAFIA

- FINOTTI F., *et al.*, 2003 - L'area test "Bosco della Città", Rovereto (TN). Area Test ideata e realizzata per la sperimentazione di metodologie geofisiche. *Geologia Tecnica & Ambientale*, Aprile-Giugno, 2003, Vol. 2, Consiglio Nazionale dei Geologi (Roma), pp. 21-27.
- FINOTTI F., *et al.*, 2005 - Rilievi multispettrali sull'area test del Museo Civico di Rovereto. *Atti del Workshop in geofisica*, "Ottimizzazione delle misure geofisiche tramite indagini su modelli ridotti e aree test", Rovereto (Trento), 10 dicembre 2004, Edizioni Osiride Rovereto (TN), pp. 35-47.
- FINOTTI F., *et al.*, 2009 - Contributo alla fotointerpretazione di rilievi multitemporali a breve periodo in differenti campi applicativi. *Atti del Workshop in geofisica*, "Metodi geofisici a suffragio della geologia ambientale con particolare attenzione al monitoraggio di siti sensibili", Rovereto (Trento), 5 dicembre 2008, Edizioni Osiride Rovereto (TN), pp. 41-52.
- D'ANDREA A. & BARBARINO M., 2012 - Modellare lo scavo archeologico: esperienze e tecniche a confronto. *Archeologia e Calcolatori*, 23, pp. 229-245.
- DONEUS M., *et al.*, 2011 - From deposit to point cloud - A study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations. *Proceedings of 23<sup>rd</sup> International CIPA Symposium*, 6, pp. 81-88.
- KOUTSOUDIS, A. *et al.*, 2014 - Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15, pp. 73-79.
- KOUTSOUDIS A. & ARNAOUTOGLU F., 2013 - Performance evaluation of a multi-image 3D reconstruction software on a low-feature artefact. *Journal of Archaeological Science*, 40, pp. 4450-4456.
- LUIS J. & MUIR C., 2014 - Evaluating the 3D documentation of an early Christian upright stone with carvings from Scotland with multiples images. *Journal of Archaeological Science*, 46, pp. 311-318.
- POLLEFEYS M., *et al.*, 2002 - 3D Acquisition of Archaeological Heritage from Images. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5/C7), pp. 381-388.
- DE REU J., *et al.*, 2013 - Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), pp. 1108-1121.
- TOLDO R., *et al.*, 2013 - Accurate multiview stereo reconstruction with fast visibility integration and tight disparity bounding. In *III International Workshop 3D ARCH3D on Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architecture*.
- TOLDO R., *et al.*, 2015 - Hierarchical structure-and-motion recovery from uncalibrated images. *Computer Vision and Image Understanding*.

- TONELLI A.M., 2000a - Some operative applications of remote sensing. *Annali di Geofisica*, Vol. 43 n. 6, 2000. Editrice Compositori srl - Bologna (Italy).
- TONELLI A.M., 2000b - Telerilevamento in archeometria. *Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology*. Edited by Marinella Pasquinucci & Frédéric Trément, Oxbow Books Park End Place Oxford OX1 1HN.
- VANNI DESIDERI A., *et al.*, 2007 - Il rilievo dell'ipotetica strada romana del Colle del Piccolo San Bernardo. *Atti del Workshop in geofisica "Geofisica e tecniche di indagine non invasiva applicate agli ambienti estremi"*, Rovereto (Trento), 1 dicembre 2006. Edizioni Osiride, Rovereto (TN).

