

# IL RILIEVO LASER 3D DA PIATTAFORMA AEREA IN ARCHEOLOGIA

## ANALISI PREPARATORIA LIDAR FW SUL PROMONTORIO DEI TEMPLI DELLO SCOGLIETTO

di Matteo Colombini, Amedeo Ebolese, Alessandro Sebastiani



Figura 1 - Vista aerea del Promontorio dello Scoglietto all'interno del Parco Regionale della Maremma (GR).

Partendo da un'analisi prettamente archeologica del sito dei templi dello Scoglietto, nella quale si delinea il contesto sul quale si è deciso di operare con metodo LiDAR-FW, si illustrerà questa tecnologia fornendo le linee della strategia di elaborazione della point-cloud di punti laser che sarà utilizzata nella fase di estrazione ed elaborazione del DTM del sito.

L'area dei templi dello Scoglietto è situata su di un basso rilievo collinare (20 m sul livello del mare) posto sulla propaggine settentrionale dei Monti dell'Uccellina, all'interno del Parco Regionale della Maremma. Il sito fu individuato casualmente nel corso del 2003, quando due guardie del Parco rinvennero in maniera fortuita un'epigrafe recante l'attestazione del culto di *Diana Umbronensis* da parte di uno schiavo di nome *Dyonisius* della famiglia ostiense degli *Haterii* (Ciacci 2009; Cygielman 2004; Cygielman 2007; Chirico, Colombini, Cygielman, Sebastiani 2009). Dal 2009 sono in corso campagne di scavo archeologico estensive al fine di poter riportare alla luce l'antica area religiosa: le indagini si pongono come obiettivo di comprendere il periodo della romanizzazione dell'Etruria meridionale e il suo impatto nel paesaggio in termini politici, sociali ed economici dal III secolo a.C. sino alle soglie del Medioevo (VI secolo d.C.) (Chirico, Colombini, Cygielman, Sebastiani 2010). A seguito di due anni di ricerca è già possibile tracciare un quadro interessante delle vicende insediative del sito grazie anche alla scoperta di oltre 650 m<sup>2</sup> di strutture murarie pertinenti all'antico santuario.

#### ARCHEOLOGIA E REMOTE SENSING: MOTIVAZIONI, PROSPETTIVE

Dall'analisi storica la presenza antropica risulta quasi continuativa per svariate centinaia di anni. Resta, però, una certa incompletezza in questo quadro, imputabile alla dislocazione spaziale dei due siti su una superficie molto vasta, una parte della quale soggetta alle esondazioni del fiume Ombrone, per cui progettare una *survey* con le sole tecniche usuali dello scavo archeologico richiederebbe risorse (economiche, umane) non indifferenti, superiori alle potenzialità dei singoli gruppi di ricerca. Ancora, il Progetto Alberese è volto allo studio dei processi economici durante il periodo di romanizzazione dell'Etruria meridionale, ma solo pochi spiragli risultano aperti sul Tirreno e le interazioni terra/mare, il continente liquido (Braudel 2005) tanto amato dal viaggiatore romano del IV d.C. Nazario (Celuzza 2011) e tanto importante dagli albori della civiltà ad oggi (Janni 1996).

Questi nodi dell'indagine sul paesaggio storico sono utilmente sciolti ricorrendo al *Remote Sensing* (RS), che non solo consente ricostruzioni ad altissima risoluzione da cui estrarre importanti informazioni su diverse scale, da quella dello scavo fino alla regionale e creando quelle correlazioni territoriali che possono ridurre l'errore descritto, ma,

*Dal periodo della romanizzazione al primo impero (III sec. a.C. - I sec. a.C.)*

Le tracce più antiche del santuario risalgono nel corso del II secolo - I secolo a.C., quando l'area dovette essere interessata da un primo impianto religioso: ne sono testimoni alcuni frammenti di ceramica in vernice nera e a pareti sottili recanti iscrizioni con lettere etrusche. Al momento in cui scriviamo mancano però strutture edili di riferimento e l'unica attestazione è data dai reperti mobili.

*Il periodo primo imperiale (I sec. a.C. - II sec. d.C.)*

Durante il regno di Augusto si registra una prima costruzione cultuale nella forma di un thesaurus localizzato in prossimità del pendio occidentale. La struttura si presenta a pianta rettangolare con esedra trapezoidale sul perimetro N, l'orientamento è precisamente N-S e l'edificio conserva le tracce di almeno tre grandi fasi edilizie riassumibili in: 1) la costruzione dell'edificio; 2) restringimento della parete occidentale con la creazione di un nuovo perimetro addossato al precedente; 3) costruzione di due panchine a 'L' contro i perimetri est ed ovest. A questo edificio bisogna aggiungere una seconda struttura, conservatasi solo a livello di fondazione di un perimetro, ed individuata a meridione, distante circa 30m dal thesaurus. Si tratta di una muratura in blocchi di calcare appena sbazzati e legati da calce forte, con identico orientamento N-S e intercettata dalla costruzione del tempio di età severiana (vedi *infra*). Proprio quest'ultimo sembrerebbe essere costruito al di sopra di un livello di crollo, forse pertinente ad una struttura databile in questo periodo: lo strato di macerie è stato intercettato a circa 1.70 m di profondità rispetto al piano di calpestio di III secolo d.C. e conservava frammenti di intonaco dipinto di rosso ma nessun reperto ceramico datante.

Oltre al thesaurus e alle evidenze prima citate, nel corso del primo periodo imperiale si assiste alla realizzazione di un complesso santuarioale, di supporto alle attività religiose svoltesi sul promontorio. Anche questa struttura sembra essere interessata da almeno tre fasi edilizie: se l'interpretazione delle fasi costruttive corrispondesse ad una crescita di interesse rivolta verso l'area dei templi dello Scoglietto, allora il santuario, composto per ora di circa sette vani, sarebbe il risultato di questa politica evergetica e di favoritismo di un luogo di culto collocato lungo il confine ideale tra il territorio dell'*ager Rusellanus* con quello *Hebanus* e *Cosanus*. Il santuario si configura come un'ampia zona edificata a pianta rettangolare con una piccola aula absidata sul versante settentrionale e pavimentata in mosaico in bicromia nera e bianca. Almeno cinque ambienti sono da considerarsi elitari e di supporto alle attività culturali, mentre due vani, seminterrati e pavimentati con un semplice battuto in terra potrebbero rappresentare zona di stoccaggio di derrate alimentari e/o vani funzionali secondari.

*Dall'età severiana al IV secolo d.C.*

Il santuario di Diana, con il suo thesaurus e forse altre strutture ancora non identificate in pianta sembra conoscere una fase di declino tra la metà e la fine del II secolo d.C.; questo potrebbe coincidere con l'estesa crisi della provincia italiana, principalmente riassumibile in una contrazione della produzione viti-vinicola e un sorpasso delle province periferiche della Spagna e dell'Africa maghrebina come centri di produzione e esportazione di vino e olio.

Scoglietto, dopo una fase di abbandono conobbe un nuovo periodo edilizio, con la costruzione di un grande tempio *in antis* recinto da *temenos* (Chirico, Colombini, Cygielman, Sebastiani 2010). L'edificio di culto presenta una pianta rettangolare con abside semicircolare posta nel perimetro terminale meridionale e una piazza in *opus spicatum* sul fronte settentrionale. La struttura rimase in uso sino almeno alla metà del IV secolo d.C., quando, parzialmente abbandonata e crollata, ospitò la sepoltura di un uomo con una moneta di Costantino II o Costanzo II ai suoi piedi, databile nel corso del 348 d.C.; il continuo afflusso di monete sino agli anni '80 del IV secolo fa presupporre come il luogo rimase impresso nella memoria della popolazione locale e di transito lungo le rotte di cabotaggio del Tirreno tardo-romano. Proprio in questi anni, però, si registra una distruzione sistematica del tempio, con crolli volontari di importanti blocchi di murature rinvenuti in più parti dello scavo. Non risulta azzardato ipotizzare che questo evento si relazioni all'emanazione dell'Editto di Tessalonica del 380 d.C. con il quale si sanciva la conversione dei luoghi di culto pagani a chiese paleocristiane o la loro demolizione.

*Il periodo tardoantico*

All'inizio del V secolo d.C. si assiste ad una conversione d'uso del sito dello Scoglietto (Chirico, Sebastiani 2010a; Chirico, Sebastiani 2010b). Sulle rovine del tempio oramai distrutto si installò, infatti, una capanna circolare del tipo *grubenhausern*, di circa 5m di diametro. La nuova struttura sfruttava il taglio semicircolare dell'abside del tempio severiano, mentre un profondo taglio diagonale fu effettuato sulla massicciata della pavimentazione al fine di completare la pianta della capanna e costruire una strada di accesso.

Quest'ultima era costituita da pietrame di medie e piccole dimensioni, risultante dei crolli e della massicciata disfatta, legato da semplice argilla. La strada conduceva direttamente alla capanna, costruita in pisé grazie ad una intelaiatura di assi verticali. I reperti ceramici rinvenuti al suo interno confermano una datazione tra il V e la prima metà del VI secolo d.C.; l'edificio fu soggetto ad un violento incendio che ha lasciato pesanti tracce nei contesti di crollo e di disfacimento degli elevati in argilla.

Con la metà del VI secolo si esaurisce l'occupazione del promontorio dello Scoglietto, eccezion fatta se si ricordano tre frammenti di *Sparse Glazed Ware* rinvenuti negli strati di humus e di almeno una moneta databile nel corso dell'età rinascimentale.

non richiedendo alcuna attività di scavo, aggira molte delle problematiche connesse agli aspetti logistici ed al *timing* della ricerca geoarcheologica, con le ripercussioni anche economiche facilmente immaginabili.

Attueremo, quindi, una campagna di prospezione con tecnica elettromagnetica non invasiva, e fin da subito esplicitamente orientata e alla ricerca pura e alla conservazione dei beni archeologici.

Prima di entrare nel merito del progetto di ricerca, è bene far notare che poiché un modello digitale delle altezze può risultare dall'incrocio di dati ottenuti con strumenti e tecniche diverse, saremo anche interessati allo studio delle correlazioni tra dataset afferenti a metodologie di misura eterogenee: quindi, se il contributo principale di questo lavoro sarà l'impiego di un'innovativa tecnologia LiDAR su piattaforma aerea come metodologia per l'individuazione di anomalie di interesse archeologico, impiegheremo anche le consolidate metodologie di analisi di immagini satellitari multi-banda (Lasaponara 2008) per la ricostruzione del contesto geomorfologico del territorio e delle dinamiche (paleo-)ambientali della valle del fiume Ombrone, il cui stato di attività è testimoniato dalle periodiche esondazioni e dalla progradazione della pianura costiera.

### RECONNAISSANCE ARCHEOLOGICA NEL REMOTE SENSING: I SISTEMI LIDAR-FW

Storicamente, l'osservazione della presenza di ombre e variazioni tonali nel suolo alle scale tipiche del paesaggio storico è stata motivo dell'introduzione della fotografia aerea ai fini della *reconnaissance* archeologica, nelle sue varianti verticale e obliqua, e allo stesso tempo limite delle stesse tecniche. Infatti, per ottenere un buon prodotto, la fotografia aerea deve essere acquisita in presenza di particolari condizioni: dopo periodi di pioggia, quando le differenze tra gli orizzonti diventano più evidenti; oppure, quando il sole è basso sull'orizzonte e le ombre marcate (Devereux 2005). Di conseguenza, ci si aspetta, a ragione, che la nostra conoscenza del paesaggio storico sia migliorata quando il sito investigato giace in corrispondenza di aree coltivate piuttosto che in aree boschive o foreste.

Il LiDAR o *Airborne Laser Scanning* (ALS) trova applicazione in archeologia in quanto il lavoro di investigazione di un sito archeologico o del paesaggio coinvolge la descrizione della sua topografia. I dati ricavati da ALS hanno la potenzialità di estendere l'analisi ben oltre l'orizzonte della fotogrammetria aerea. In particolare, in situazioni ostili come siti in aree boschive o estreme come per le situazioni marine/lacustri.

L'ALS è una tecnica di Remote Sensing attivo, che fornisce misure dirette delle distanze (o *range*) tra il laser scanner e la topografia terrestre.

Il sistema laser emette un impulso elettromagnetico iniziale

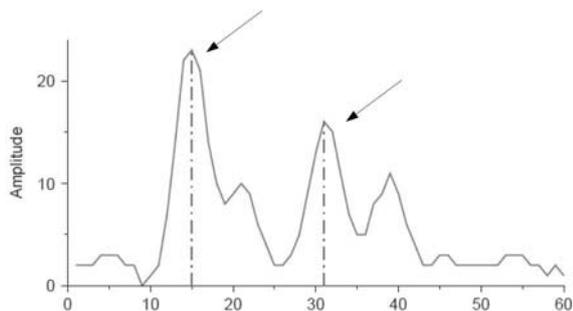


Figura 2 - Esempio di forma d'onda LFW misurata con strumento RIEGL LMS-Q560. Le frecce indicano gli impulsi di ritorno riconosciuti nel segnale. (Fonte: Chauve 2007).

### PROGETTO ARCHEOLOGICO ALBERESE

Il Progetto Archeologico Alberese nasce nel 2009 da un accordo di ricerca tra la Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana, l'Ente Parco Regionale della Maremma e l'Azienda Regionale Agricola di Alberese, in collaborazione con la Proloco Alborensis. Le ricerche promosse nell'area di Alberese, una piccola frazione del comune di Grosseto, cercano di rispondere ad alcuni interrogativi storiografici riguardanti la romanizzazione dell'Etruria meridionale. In particolare, attraverso lo scavo del porto di cabotaggio di Roselle collegato alla mansio ad Umbonem e dell'Area templare dello Scoglietto si indagheranno i contesti e i modelli economici che si alternarono nel periodo imperiale sino all'epoca tardoantica. I siti scelti permettono, inoltre, di poter collegare tra di loro i dati provenienti dagli scavi con quelli conosciuti per insediamenti urbani come Roselle e Vetulonia, fornendo quindi un quadro esaustivo delle dinamiche insediative nel territorio alla foce del fiume Ombrone. Il Progetto Archeologico Alberese si avvale, inoltre, dello studio specialistico di archeologi professionisti provenienti da tutta l'Europa, permettendo una visione mediterranea dei contesti di scavo ed un collegamento diretto ai più moderni dibattiti storiografici sulla formazione dei paesaggi romani e post-romani.

(Fonte: [www.progettoalberese.it](http://www.progettoalberese.it))

che, fisicamente, prima di tornare al sensore (fotodiode) incontra molti bersagli di dimensioni lineari, posizione rispetto al sensore e natura differenti. Ogni bersaglio dà luogo ad una riflessione che viene registrata come un impulso (Fig. 2) dal LiDAR-FullWaveform (LFW): il risultato finale è una ricostruzione del sito con un'enorme perdita di informazione che, però, possiamo tentare di minimizzare attraverso un accorto processing dei dati ed opportune tecniche statistiche.

Nei sistemi laser scanning la realtà è mappata in una nuvola di punti. I punti sono, a loro volta, terne di coordinate spaziali, dalle quali, infine, vengono estratte le informazioni richieste dal modello.

I sistemi ALS acquisiscono in generale diverse *strip* del sito da investigare che, grazie ad un'accorta progettazione del volo, possono essere sovrapposte. Il risultato finale è una nube di punti estremamente densa, che in alcuni casi può

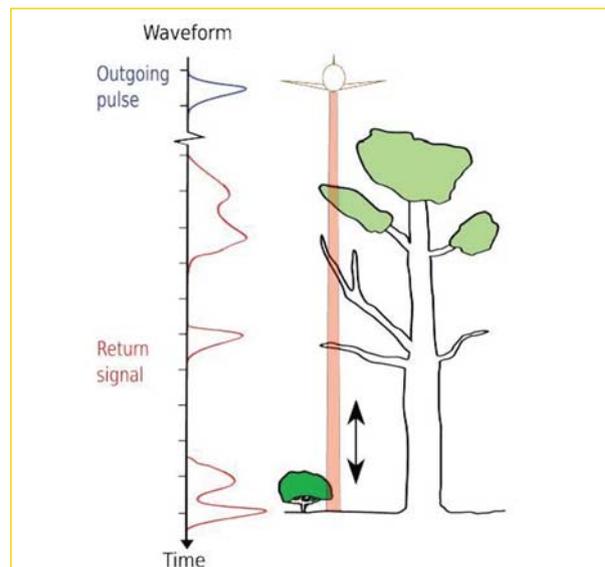


Figura 3 - Rappresentazione schematica del funzionamento del LiDAR-ALS. L'impulso laser (in nero) incontra molti bersagli lungo il suo cammino, responsabili della forma d'onda del segnale di ritorno (in rosso). Il ritardo temporale di un picco nella forma d'onda equivale al range del bersaglio, mentre larghezza e intensità del picco sono connessi con le proprietà fisiche del bersaglio (forma, materiale, ecc.).

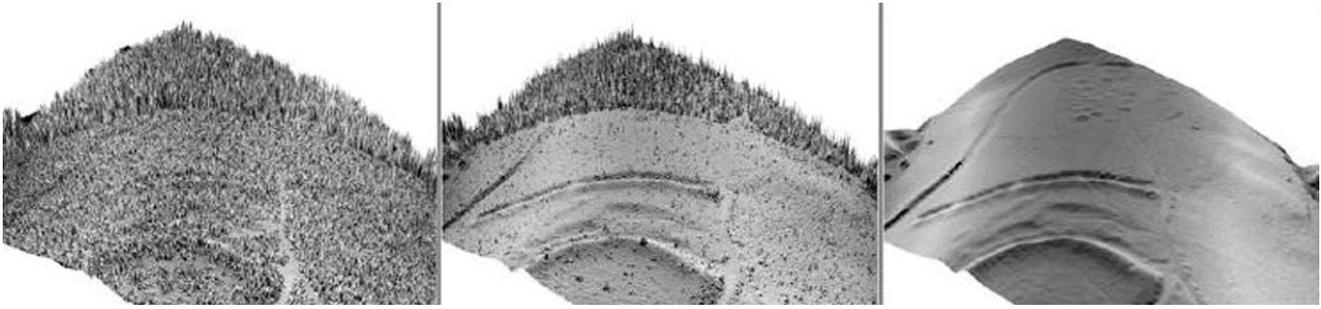


Figura 4 - Esempio del contributo apportato dal LiDAR alla ricerca archeologica in area boschiva. Nel DSM da first pulse (sinistra, vedi testo), l'identificazione dei punti che non appartengono alla superficie topografica è poco efficiente (si nota la presenza di parte della volta del bosco e della bassa vegetazione in primo piano). Il DSM migliora notevolmente (centro) utilizzando i dati last pulse anche non filtrati: permangono punti spuri (ad esempio: rimbalzi sui fusti degli alberi) che, infine, l'analisi supervisionata da LFW (destra) riesce ad eliminare (si notano strutture maggiormente contrastate, e l'assenza di contributo dalla regione boschiva. (Fonte: Doneus 2006).

raggiungere e superare i 100pts/m<sup>2</sup> (Mallet 2009). L'accuratezza delle misure altimetriche e planimetriche da ALS è molto alta (rispettivamente: <0.1m, <0.4cm).

Dal 2004 è disponibile una nuova generazione di sistemi chiamati *LiDAR full-waveform* (Wagner 2006). Mentre i sistemi convenzionali riescono a registrare, in tempo reale, fino a quattro distinte eco da bersagli multipli, a parità di condizioni i sistemi LFW registrano invece l'intera forma d'onda del segnale di ritorno per singolo impulso emesso. Così, gli ALS-FW restituiscono nuvole di punti con una densità di 8pts/m<sup>2</sup>, che si riducono a 3-5pts/m<sup>2</sup> al termine della fase di processamento del dataset.

### L'ANALISI

La degradazione della densità è imputabile a diversi fattori, soprattutto l'errore di calibrazione e di georeferenziazione del sito (Doneus, Mallet 2009), nonché le decisioni ed i metodi che costituiscono la fase di processamento della forma d'onda e della nuvola di punti.

Il segnale di ritorno o forma d'onda, per ciascun impulso laser, è in generale una serie temporale di impulsi (Fig. 2). I lidar convenzionali registrano solo la prima e l'ultima eco dell'impulso laser, rispettivamente associate al bersaglio più vicino all'ALS ed a quello più lontano (tecnica *first/last pulse*), senza nessuna informazione sugli stati intermedi.

I sistemi multi-eco migliorano la situazione globale, ma sono i sistemi LFW ad essere davvero promettenti (Fig. 4): registrando anche la larghezza e l'intensità per tutti gli impulsi di ritorno, i FLW si prestano all'analisi di ulteriori proprietà fisiche degli oggetti inclusi nel cono di diffrazione, che possono così essere distinti più efficacemente durante l'analisi della forma d'onda (Chauve 2007).

In generale, i metodi di analisi si differenziano per il modello di forma d'onda (Fig. 2). Nei sistemi FLW, è modellata come una sovrapposizione di curve gaussiane e l'analisi o *processing* procede cercando le correlazioni con un segnale di riferimento, che rappresenta l'impulso laser iniziale. Nella fase di processing si distinguono due blocchi di operazioni: all'insieme delle procedure che forniscono la nuvola di punti (meno studiato), sulle quali si innesta il lavoro presentato, seguono la fase di *clustering ed enhancement* (più sviluppata). L'ultimo blocco di operazioni è supervisionato secondo la prescrizione di essere predittivo per propositi archeologici: lo stato dell'arte dimostra già che, in conseguenza della maggiore quantità di informazione fisica registrata dai sistemi LFW, la resa della separazione dei punti della point-cloud in classi di punti *in/off-ground* è più efficiente che in altri sistemi LiDAR. Un esempio è fornito dal caso di studio archeologico reale in figura 3: mentre sono subito evidenti i miglioramenti apportati dalla tecnica LFW (pannello sinistro) rispetto alla tecnica *first/last pulse* (pan-

nelli centrale e destro), notiamo l'efficienza nell'eliminazione di falsi risultati e l'attenuazione delle alte frequenze spaziali nell'immagine LFW, in altri termini la sottrazione della zona boschiva e l'attenuazione della vegetazione bassa e densa. In Figura 5, invece, sono riassunti gli attuali contributi del LFW in campo batimetrico: attualmente inquadri come analisi delle dinamiche sedimentarie, la tecnica risulta promettente entro i 40 m di profondità. Anche se la risoluzione è scarsa, si notano già strutture (in questo caso, geologiche).

Benché promettenti, le applicazioni del LFW in ambito archeologico sono scarse e frammentarie, e poco studiate sono le procedure di riduzione del dato registrato a nuvola di punti. I sistemi LFW aprono a metodi di analisi più elastici ed ottimizzati per il tipo di ricerca in atto (in questo caso, archeologica). La struttura fisica dei bersagli, il metodo e gli strumenti di analisi stessi concorrono alla degradazione del segnale registrato dal sensore LFW. Il problema fondamentale del processing è, quindi, la ricostruzione della forma d'onda del segnale LFW: per fare questo, è necessario trattare il rumore per riconoscere i picchi realmente associati alle eco, e fornire una stima dei parametri del modello di riduzione del dato digitalizzato dal sistema LiDAR.

La metodologia (in fase di studio) che si intende implementare perseguirà questo obiettivo attraverso lo studio teorico, e successivo test sul sito del Progetto Alberese, di un filtro statistico che restituisce una stima dei parametri del modello di forma d'onda ottimizzata nel senso del rapporto segnale/rumore.

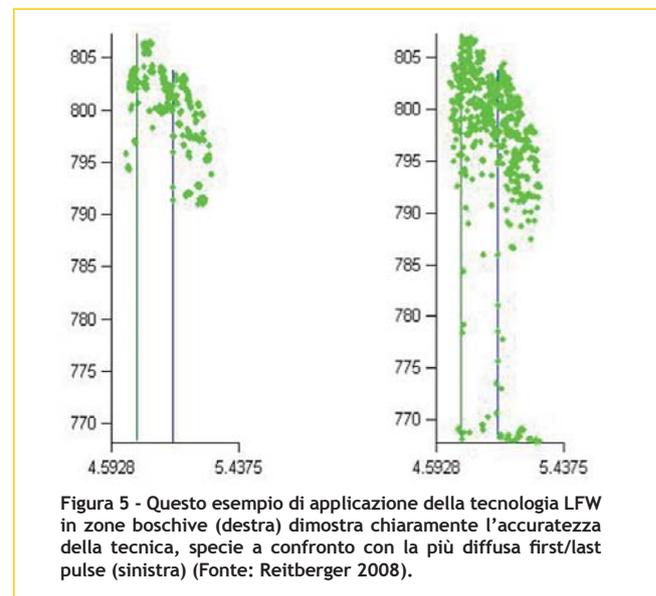


Figura 5 - Questo esempio di applicazione della tecnologia LFW in zone boschive (destra) dimostra chiaramente l'accuratezza della tecnica, specie a confronto con la più diffusa *first/last pulse* (sinistra) (Fonte: Reitberger 2008).

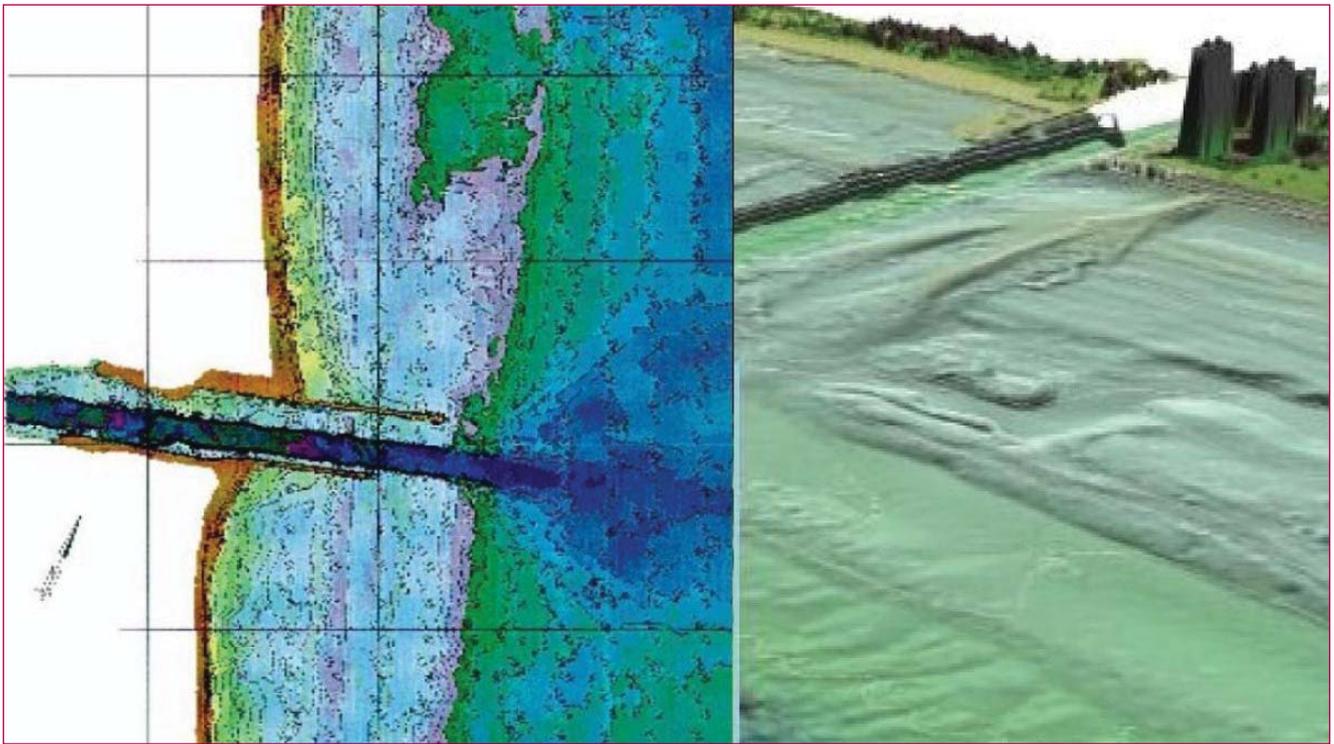


Figura 6 - Esempio del contributo apportato dal LiDAR alla ricerca archeologica in aree sommerse. Destra: DEM di Port Everglades (Florida) ottenuto con il sensore SHOALS-1000T della società Optech (Vaughan, On Canda). Sinistra: ricostruzione da dati SHOALS-FLW del canale di navigazione di Fort Pierce (Florida, USA) (Fonte: Guenther 2000)

Il metodo opera ricercando segnali specifici all'interno della forma d'onda, e da questo ci si aspetta una maggiore eliminazione del rumore ad alta frequenza spaziale (tipico ad esempio delle zone con vegetazione bassa e densa). Infine, la *point-cloud* che risulta dall'applicazione del nostro metodo 1D ad un *gridding* opportuno di punti di campionamento spaziale sul sito, ci aspettiamo di ottenere una prospezione digitale ad altissima risoluzione, con una separazione tra le superfici reali ottimizzata per i fini della ricerca archeologica rispetto ai metodi attualmente disponibili.

Da quest'ultima, infine, ricaveremo le informazioni sul sito (DTM, prospezioni) attraverso l'implementazione di un metodo di Pattern Recognition in tre dimensioni.

Tutte queste fasi del lavoro sono attualmente oggetto di studio intensivo da parte di chi scrive, insieme con l'analisi delle correlazioni con dati afferenti ad altri metodi di misura.

## CONCLUSIONI

A fronte dell'immediatezza dell'intuizione per cui le strutture sepolte danno luogo a cambiamenti significativi nel paesaggio attuale di un territorio, rintracciarne i collegamenti con le strutture del paesaggio storico costituisce invece una sfida notevole ed appassionante, che richiede lo sviluppo di metodi robusti (per mezzo dei quali misurare quei cambiamenti) così come modelli per interpretare i dati in termini di strutture sottostanti. In questo breve articolo, abbiamo voluto presentare una nuova tecnica di telerilevamento LiDAR, o full-waveform, attraverso la quale realizzare questo programma.

Poiché il nostro interesse è esplicitamente rivolto alla ricerca archeologica (ovvero, non nasce come risoluzione di un problema di topografia), abbiamo inizialmente inquadrato storicamente e contestualizzato geomorfologicamente il sito utilizzando gli eccellenti risultati ottenuti dal Proget-

to Alberese sul sito dello Scoglietto (Alberese - Grosseto). Sono, quindi, state fornite le linee guida della prospezione di Remote Sensing con dati satellitari multi-banda, ma focalizzando soprattutto sulla tecnica LiDAR-Fullwaveform.

Attraverso brevi esempi forniti da casi di studio reperibili in letteratura, abbiamo evidenziato come la tecnica LFW trova applicazione in ambito archeologico, specialmente per siti in aree boschive o in presenza di vegetazione bassa e densa, ed in contesti sommersi, ambienti tutti presenti ad Alberese.

Le potenzialità della FLW sono, ancora, alla base della metodologia di analisi che intendiamo seguire. Ci aspettiamo, infine, di poter fornire una prima serie di risultati applicativi della tecnica e del nostro metodo entro breve tempo.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare la Fondazione Monte dei Paschi di Siena per i contributi economici elargiti al Progetto Archeologico Alberese, l'Ente Parco Regionale della Maremma, l'Azienda Regionale Agricola di Alberese, la Regione Toscana, la Provincia di Grosseto e il Comune di Grosseto, i ricercatori dell'istituto IMAA-CNR di Tito Scalo (Potenza - Basilicata) per le utili osservazioni e critiche. Il Progetto Archeologico Alberese è diretto dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana assieme a Elena Chirico, Matteo Colombini e Alessandro Sebastiani.



Figura 7 - Vista aerea del tempio di età severiana a Scoglietto.

#### BIBLIOGRAFIA

- Chirico E., Colombini M., Cygielman M., Sebastiani A. 2009, (a cura di) *Dinamiche insediative nel territorio della foce dell'Ombrone. Nuovi dati dagli scavi presso l'area templare dello Scoglietto* in *Notiziario della Soprintendenza ai Beni Archeologici della Toscana* 5, 35-92.
- Chirico E., Sebastiani A. (2010a), *L'occupazione tardoantica del promontorio dello Scoglietto ad Alberese (Gr)* in *Archeologia Medievale* XXXVII, 331-344.
- Chirico E., Sebastiani A. (2010b), *L'insediamento tardoantico sul promontorio dello Scoglietto (Alberese, Grosseto - IT)*, FOLD&R IT-2010-196. [www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2010-196.pdf](http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2010-196.pdf)
- Ciacchi A. (2009), *Acque e luoghi di culto*, in Resti G., *Ombrone. Un fiume tra due terre*, Pisa, Pacini Editore, 24-27.
- Cygielman M. (2004), *Il territorio rosellano in età romana*, in Cygielman M. (a cura di) *La villa romana di Nomadelfia. Aspetti dell'insediamento rurale nel territorio rusellano*, Arcidosso, Edizioni Effigi, 17-21, nota 23.
- Cygielman M. (2007), *Il periodo etrusco e romano*, in Citter C., Arnoldus-Huyzendveld (a cura di) *Archeologia urbana a Grosseto. La città nel contesto geografico della bassa valle dell'Ombrone*, Biblioteca del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti - Sezione archeologica Università di Siena 16, 130-133.
- Braudel F. (2005), *Memorie del Mediterraneo*, Tascabili Bompiani.
- Celuzza M. (2011), *Il De Reditu di Rutilio Namaziano e l'archeologia tardoantica delle coste tirreniche*, in Casi C. (a cura di), *Il mare degli antichi: miti marini e imbarcazioni dalla preistoria al medioevo*, Laurum Editrice (Pitigliano - Gr).
- Janni P. (1996), *Il mare degli antichi*, edizioni Dedalo, Bari.
- Lasaponara R., Masini N., Scardozzi G. (2008), *New perspectives for satellite-based archaeological research in the ancient territory of Hierapolis (Turkey)*, *Adv. Geosci.* 19, 87-96.
- Devereux B. J., Amable G. S., Crow P. e Cliff A.D. (2005), *The potential of airborne LiDAR for detection of archaeological features under woodland canopies*, *Antiquity* 79, 648-660.
- Mallet C., Bretar F. (2009), *Full-waveform topographic lidar: state-of-the-art*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 1-16.
- Doneus M., Briese C. (2006), *Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance*, *International conference on remote sensing in archaeology*, in *From Space To Place. Proceedings of The 2Nd International Conference On Remote Sensing In Archaeology*, Bar International Series, 1568 (2006), 99 - 105.
- Chauve A., Mallet C., Bretar F., Durrieu S., Deseilligny M.P., Puech W. (2007), *Processing full-waveform LiDAR data: modelling raw signals*, [lirmm-00293129v1](http://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00293129/), <http://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00293129/>
- Wagner, W., Ullrich, A., Ducich, V., Melzer, T. and Studnicka, N. (2006), *Gaussian decomposition and calibration of a novel smallfootprint full-waveform digitising airborne laser scanner*, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66, 100-112.
- Reitberger J., Schnorr Cl., Heurich M., Krzystec P., Stilla U. (2008), *Towards 3D mapping of forests: a comparative study with first/last pulse and fullwaveform LIDAR data*, [www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/15\\_ThS-21/03.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/15_ThS-21/03.pdf), [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/15\\_ThS-21/03.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/15_ThS-21/03.pdf).

#### ABSTRACT

##### LiDAR-FullWaveform

The LiDAR-FullWaveform was applied to the archaeological site of the temples of Scoglietto (GR). Starting from a purely archaeological analysis, we decided to work with this technology and we will explain the methodology applied technology.

#### PAROLE CHIAVE

LiDAR, Remote Sensing, archeologia

#### AUTORI

MATTEO COLOMBINI  
DIRETTORE SCIENTIFICO PROGETTO ARCHEOLOGICO ALBERESE

AMEDEO EBOLESE  
PHYSICS GRADUATE, STUDENTE PRESSO LA FAST SCUOLA DI ALTA FORMAZIONE IN APPLICAZIONI SCIENTIFICHE E TECNOLOGICHE ALLA GEOARCHEOLOGIA ([WWW.GEOARCHEOSCHOOL.ORG](http://WWW.GEOARCHEOSCHOOL.ORG)).

ALESSANDRO SEBASTIANI  
DIRETTORE SCIENTIFICO PROGETTO ARCHEOLOGICO ALBERESE  
CONSULTING SCHOLAR  
UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA MUSEUM OF ARCHAEOLOGY AND ANTHROPOLOGY  
3260 SOUTH ST.  
PHILADELPHIA, PA 19104  
ALESSANDRO.SEBASTIANI@GMAIL.COM  
WWW.PROGETTOALBERESE.IT