

Ricostruire e comunicare il paesaggio storico. Archeologia, rilievo aerofotogrammetrico tramite SAPR, Virtual Landscaping

Pauline Deguy¹, Silvia Leporatti¹, Silvia Pulice², Andrea Vanni Desideri¹

¹Università Degli Studi di Firenze, Dip. SAGAS, via S. Gallo, 10, 50129, 055 2757962

²LIBRA srl

Introduzione

Si presentano in questa sede i risultati di un progetto orientato all'analisi dell'impatto di fenomeni storici sul territorio e alla comunicazione delle trasformazioni del paesaggio nella sua diacronia. La metodologia adottata coniuga la ricerca geo-storica e archeologica ai più aggiornati strumenti di acquisizione e restituzione 3D. Tale approccio multidisciplinare prevede l'uso di dati provenienti da fonti cartografiche, iconografiche e storiche, l'analisi archeologica in contesti diversi e a diversa scala (dal singolo sito alla scala territoriale) e l'uso sinergico di strumenti di rilievo (SAPR, rilievo fotogrammetrico 3D), di modellazione, di analisi e di visualizzazione (GIS, rendering 3D, virtual landscaping). Il prodotto finale costituisce di per sé una base conoscitiva caratterizzata da diacronia e interoperabilità utilizzabile per una comunicazione ottimale delle trasformazioni del paesaggio storico. L'utilizzo di rendering 3D e il virtual landscaping, infatti, sono in grado di produrre contenuti scientificamente corretti ed una comunicazione efficace ed immediata di quei risultati.

Metodologie per la ricostruzione del Paesaggio storico

1. Archeologia 'leggera' per il paesaggio

Le diverse metodologie dell'archeologia 'leggera', settori diagnostici dal carattere non invasivo capaci di procedere nella ricerca in modo convergente e complementare rispetto ad altre fonti di informazioni - prospezioni geofisiche, ricognizioni di superficie e territoriali, analisi del costruito- trovano nel quadro delle ricerche su scala territoriale un ambito di applicazione particolarmente proficuo.

Le prospezioni geofisiche consentono di acquisire ed interpretare alcune proprietà costitutive del terreno indagato sfruttando le risposte delle diverse componenti del sottosuolo con l'integrazione di diversi metodi (Georadar, tomografie elettriche e di resistività ERT). Nel caso specifico, se impiegate in modo integrato (fonti storiche, topografia antica, emergenze, saggi di scavo), possono fornire quell'insieme sistematico di informazioni, sulle preesistenze fisiche ed antropiche di un dato contesto (territorio o ambiente urbano). Queste metodologie hanno raggiunto un livello di precisione e risoluzione che da un lato permettono indagini autoconsistenti senza scavo diretto, dall'altro, in un contesto di risorse contenute, possono contribuire ad aumentare

l'efficacia degli approcci archeologici basati su metodologie non-invasive (archeologia 'leggera').

L'analisi archeologica degli elevati applicata allo studio del territorio consente, assieme alle altre fonti di informazione, di tracciare le fasi di trasformazione del contesto in oggetto (dal sito ad un areale più o meno ampio) scelto come indicativo di un certo fenomeno storico. Il costruito storico, infatti, se analizzato con metodo archeologico, consente di mettere a fuoco il collegamento fra il manufatto nelle diverse forme assunte nel tempo ai fattori che ne hanno determinato la 'storia' (edificazione, distruzione, ricostruzione, conversione funzionale ecc.). In sostanza si tratta di mettere in evidenza il nesso fra le diverse fasi della vita del manufatto edilizio in oggetto e il contesto storico che di volta in volta ne ha determinato la realizzazione e le successive trasformazioni, fino alla forma attuale. Gli attori in campo sono dunque i gruppi sociali entro i quali nasce e si trasforma nel tempo il manufatto: i committenti/fruitori e tutti i gruppi umani legati al ciclo produttivo dell'edilizia, da quello dei produttori-mercanti delle materie prime alla manodopera specializzata del cantiere. In questo quadro il costruito storico letto con metodo archeologico attraverso tutte queste componenti (le fasi costruttive e i relativi fattori di produzione, dalle materie prime alla tecnologia, fino alle trasformazioni formali e funzionali), costituisce una chiave di lettura della società che lo ha prodotto, che lo ha trasformato, che lo ha mantenuto oppure ne ha determinato la fine.

2. Aerofotogrammetria 3D con l'uso di SAPR

La fotogrammetria con SAPR (sistema aeromobile a pilotaggio remoto) rientra nelle innovazioni tecnologiche più avanzate degli ultimi anni in questo settore. Il rilievo aerofotogrammetrico esiste già da molto tempo, ma i rilievi con droni hanno aperto nuovi scenari, in quanto con essi è possibile avvicinarsi alla struttura da rilevare e stazionare in un punto preciso. Inoltre si può accedere ad aree difficilmente raggiungibili scattando immagini dettagliate ad alta definizione in modo più veloce rispetto ai metodi standard ed ad un costo più contenuto. Ciascun velivolo può essere dotato di sensori specifici che consentono di personalizzare il rilievo che si desidera condurre (RGB-visibile, infrarosso-termico, multispettrale, ecc).

La aerofotogrammetria con drone consente di avere informazioni metriche di edifici partendo dall'elaborazione di due o più fotografie scattate da punti di vista differenti, in modo da ricreare la dimensione, la posizione e l'orientamento dell'edificio. Le immagini vengono poi elaborate grazie a software professionali in grado di rilevare punti omologhi che consentiranno di allineare i fotogrammi. Sarà quindi possibile generare una nuvola di punti, cioè un insieme di punti che hanno la caratteristica di essere posizionati tramite coordinate con valori precisi a loro associati. Usando l'immagine ottenuta tramite la nuvola dei punti, si potranno poi elaborare i prodotti digitali finali. I formati di esportazione sono molteplici, si possono estrapolare file obj, pdf, kmz, geoTIFF, dwg, shp e altri.

Per il tipo di performance che è in grado di ottenere, la fotogrammetria tramite SAPR è utilizzata in moltissimi campi tra i quali la topografia, l'ingegneria, l'architettura, l'archeologia e la geologia. Per questo tipo di rilievi si utilizzano droni che hanno la possibilità di integrazione con sensori specifici, quali ad

esempio le termocamere, in grado di ottenere mappe di temperatura delle superfici esposte. La termografia è un metodo di rilevazione della temperatura superficiale non distruttivo e senza contatto. Essa sfrutta la capacità di ogni corpo che si trovi ad una temperatura superiore allo zero assoluto ($0\text{ K} = -273,16\text{ °C}$) di emettere radiazioni infrarosse. La termocamera misura i raggi infrarossi che riceve nel proprio campo visivo e, in base ad essi, tenendo conto della correlazione esistente tra la temperatura di un corpo e l'intensità dei raggi IR che emette, calcola la temperatura. Le eventuali disequaglianze di temperature (delta termico) indicano criticità all'interno dell'oggetto indagato. Vengono quindi generate delle mappe in scala di grigio o in falsi colori, rappresentativi delle zone in cui questi delta termici sono presenti. La termografia è quindi usata per rilevare diversi parametri essenziali per l'integrità strutturale dei fabbricati, come perdite o infiltrazioni di liquidi, distaccamenti o crepe sotto la superficie, oppure dispersioni di calore a causa di mancati o inefficienti isolamenti. Inoltre la termografia può essere usata nel restauro per individuare eventuali strutture sottostanti allo stato di intonaco senza dover intervenire in modo distruttivo sulla copertura o per riportare alla luce eventuali opere (soprattutto porte e finestre) che a occhio nudo non appaiono a causa di coperture successive. La diversa temperatura che l'acqua mantiene anche quando penetra dentro una costruzione crea forti delta termici e, dunque, con la termografia è possibile individuare eventuali infiltrazioni o perdite all'interno di pareti andando così a intervenire solo nell'area interessata risparmiando tempo, materiali e manodopera.

Anche nel settore dell'archeologia e dei beni culturali, l'utilizzo di SAPR per il rilievo aerofotogrammetrico abbinato all'uso di sensori specifici, come ad esempio la termocamera, rappresenta una vera e propria rivoluzione. La possibilità di effettuare rilievi 3D di beni storico-culturali in modo più veloce, più economico, più pratico e più rispettoso per l'ambiente rispetto al rilievo con aereo o elicottero, garantendo risultati di grande affidabilità, rappresenta un enorme vantaggio nelle attività di monitoraggio e di valorizzazione del patrimonio presente sul nostro territorio.

Di particolare utilità in campo archeologico è l'uso della termocamera montata su drone per individuare differenze termiche, umidità e copertura vegetale che caratterizzano l'area da indagare così da individuare eventuali resti o strutture sepolte, altrimenti non visibili ad occhio nudo.

3. Il virtual landscaping

Come utilizzata in questo progetto, la metodologia per creare una rappresentazione virtuale del paesaggio storico si sviluppa in vari livelli.

Il primo, riguarda il terreno come base sulla quale viene creato il paesaggio. Quando si tratta di un paesaggio esteso, affinché il risultato della ricostruzione si avvicini il più possibile ad una immagine realistica, occorre un modello digitale del terreno (DTM) dell'area in oggetto. Più il DTM sarà preciso e più il paesaggio sarà realistico.

Il secondo livello tratta delle parti edificate che devono essere rappresentate. Gli edifici vanno costruiti con un'accuratezza variabile in funzione della scala da usare. Nel caso della ricostruzione di una città, bisogna portare più attenzione all'accuratezza dei dettagli delle strutture, in particolare dei materiali in uso durante l'epoca scelta. In questa fase, oltre agli edifici, vengono scelti e creati

oggetti vari, vegetazione, animali e figure umane utili alla vestizione della scena in un tale periodo.

L'ultimo passaggio è la parte di renderizzazione nella quale al DTM vengono incorporati tutti gli elementi ricostruiti. In un programma di rendering si aggiungono i fattori ambientale tra i quali le ombre proiettate dalla luce del sole ad una data ora del giorno ed i parametri meteorologici, come ad esempio il vento che passa attraverso le foglie degli alberi oppure le precipitazioni in una data stagione dell'anno. Questo processo fornisce al modello un aspetto finale estremamente realistico, indispensabile per ottenere un ambiente immersivo e comparabile ad una realtà nella quale il pubblico può facilmente immedesimarsi.

Dalla ricerca alla comunicazione: il caso di Semifonte-Petrognano in Valdelsa

La storia di un paesaggio rurale di grande bellezza e tipicamente toscano, l'area compresa tra Firenze e Siena, è al centro di un progetto di ricerca "Semifonte in Valdelsa 'città' degli Alberti" che affronta il tema delle trasformazioni territoriali nella lunga durata (XII-XVI secolo) attraverso metodologie geo-archeologiche non invasive.

Semifonte, centro di nuova fondazione dei conti Alberti in un territorio conteso, fra XII e XIII secolo dalle città –prima fra tutte, Firenze- di cui non è mai stata trovata traccia dopo la sua distruzione, si presenta come un caso studio eccellente per la messa in campo di un programma di diagnostica non invasiva del sepolto allo scopo di individuarne l'esatta ubicazione. Le superfici dell'areale che circonda la cappella di San Michele a Semifonte, oggi occupate interamente da vigneti e campi coltivati, sono state oggetto di voli con SAPR equipaggiato di sensore a infrarosso termico. Il differenziale termico prodotto da strutture sepolte compare infatti nei termogrammi, segnalando l'eventuale presenza di resti di edifici sul sito della città distrutta di Semifonte (1177-1202).

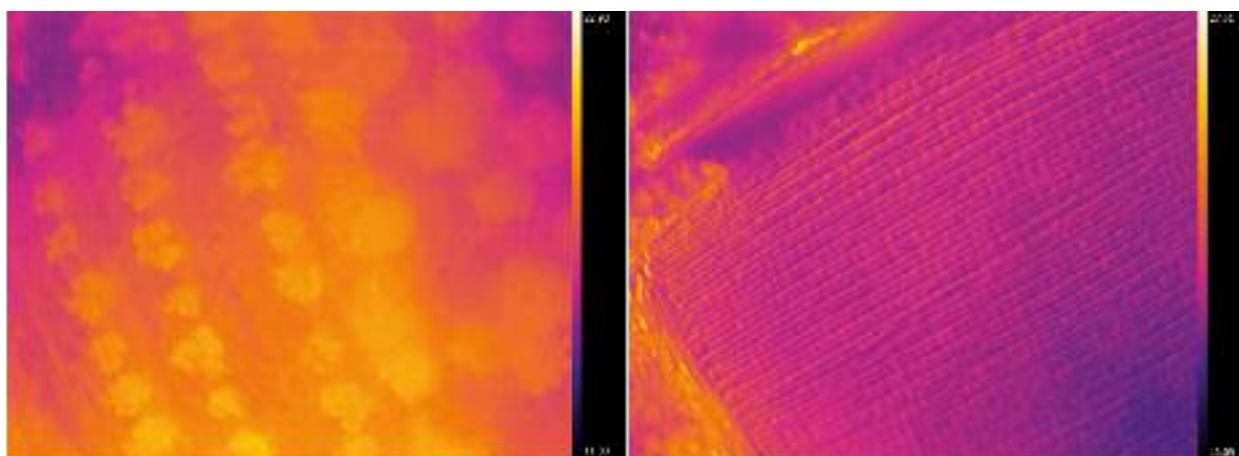


Figura 1: Immagini rilevata con sensore infrarosso termico da SAPR per la ricerca di strutture sepolte nell'area di Petrognano-Semifonte (Barberino-Tavarnelle)

Ai margini dell'areale di Semifonte, il piccolo abitato rurale di Petrognano conserva oggi un considerevole numero di case-torri che sono state oggetto di uno specifico programma di archeologia degli elevati. Si tratta di torri con

funzione abitativa realizzate prevalentemente in conci di arenaria locale che si caratterizzano per la pianta quadrata di ridotte dimensioni e per un significativo sviluppo verticale. L'accesso al piano terra, sempre centrato rispetto all'asse del prospetto principale, è costantemente realizzato in pietra secondo criteri costruttivi e tecnologici che ne fanno l'elemento distintivo di tutte le torri analizzate, ovvero l'arco ogivale particolarmente accentuato. Il portale monumentale, sempre in fase con il cantiere di costruzione, costituisce un vero e proprio *marker* dell'edilizia civile 'semifontese' e consente di proporre una datazione delle torri di Petrognano alla prima metà del Duecento, pochi decenni dopo la distruzione di Semifonte.

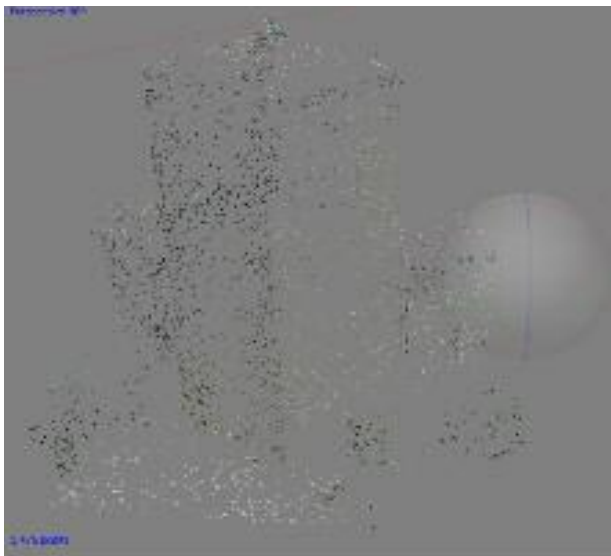


Figura 2: Nuvola di punti (tie points)
Torre di Petrognano-Semifonte
(Barberino-Tavarnelle)

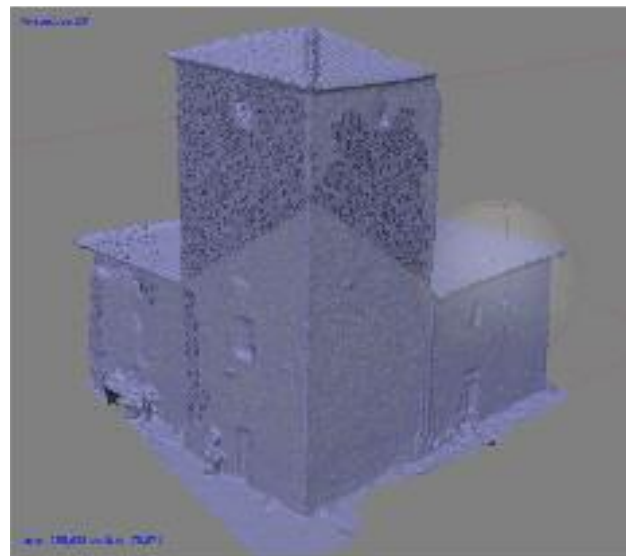


Figura 3: Modello 3D Torre di Petrognano-Semifonte
(Barberino-Tavarnelle)



Figura 4: Modello 3D texturizzato
Torre di Petrognano-Semifonte
(Barberino-Tavarnelle)

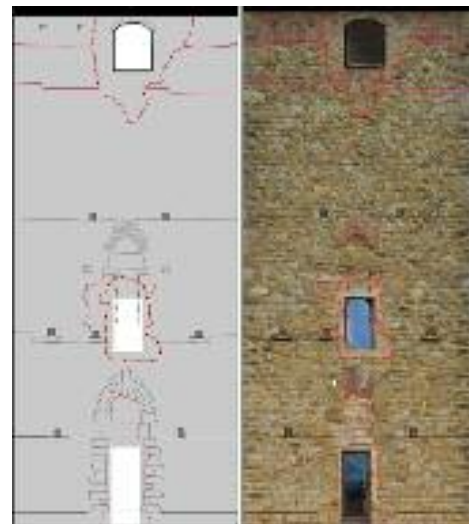


Figura 5: Analisi stratigrafica del prospetto principale su rilievo fotogrammetrico
Torre di Petrognano-Semifonte (Barberino-Tavarnelle)

Petrognano era uno dei villaggi da cui provenivano alcune delle famiglie selezionate per popolare la nuova Semifonte. Le case-torri analizzate con metodo archeologico e databili, nella loro prima fase, ai primi del Duecento, sembrano indicare proprio quella fase di sviluppo del minuscolo abitato di Petrognano avvenuta probabilmente proprio a seguito della diaspora che seguì la distruzione della città di Semifonte e il ritorno dei fuoriusciti ai luoghi di origine.

Le fonti storiche e archeologiche unite alla potenzialità visiva degli strumenti di *virtual landscaping* hanno consentito di ricostruire l'aspetto del villaggio di Petrognano dopo la guerra di Semifonte, che da allora si distingue per la densità di forme abitative le cui caratteristiche francamente urbane esprimevano forse ancora l'estremo spirito d'appartenenza dei fuoriusciti alla distrutta città. Le stesse torri che si vedono oggi inglobate nei casali del borgo di Petrognano e che colpiscono ancora chi passa da quelle contrade.



Figure 6 e 7: Due viste del borgo di Petrognano: oggi, ripresa da drone, e nel 1200 circa ricostruito in un rendering 3D.

Conclusioni

Il lavoro esposto in questo contributo illustra come diverse metodologie di ricerca sviluppate in campi disciplinari completamente diversi possono integrarsi efficacemente in progetti finalizzati allo studio, alla ricostruzione e alla comunicazione del Paesaggio Storico. Questo approccio integrato può essere applicata a vari realtà, dal singolo sito o bene materiale e/o paesaggistico alla scala urbana, fino alla scala territoriale e, grazie all'uso del drone, è particolarmente adatta all'analisi di contesti di difficile accesso.

L'utilizzo combinato di tecniche di rilievo classico e di nuove tecnologie, come in questo caso i SAPR, ha permesso di dare un valore aggiunto al caso di studio. In particolare l'utilizzo di SAPR dotati di sensori di ultima generazione operanti nel visibile, nel termico e nel multispettrale per i rilievi aerofotogrammetrici ha permesso di fornire molteplici risposte e di apportare notevoli vantaggi tra i quali la riduzione di rischio umano e dei costi di intervento per una massimizzazione del risultato finale. Tali ispezioni, in aggiunta alle tecniche fotogrammetriche e alla ricostruzione 3D ricavata da esse, rendono infatti l'output finale del manufatto misurabile e navigabile, mettendo in luce eventuali anomalie e criticità che possano comprometterne la conservazione. L'utilizzo di sensori specifici ad infrarosso termico e multispettrale ha consentito di indagare in modo speditivo tutta la zona che circonda la cappella di San Michele a Semifonte evidenziando anomalie termiche e spettrali dalle quali è stato possibile ricavare informazioni territoriali utili all'individuazione di probabili resti di edifici sotterranei appartenenti alla città interamente rasa al suolo di Semifonte.

I risultati delle ricerche condotte sul caso di studio Semifonte-Petrognano sono stati efficacemente impiegati come base-dati per la redazione di un progetto espositivo realizzato in occasione delle celebrazioni dei 500 anni dalla morte di Leonardo da Vinci (Leonardo2019) che proprio in alcune sue carte ritrasse questo paesaggio. La mostra si sviluppa infatti su due registri: da un lato sono esposte le problematiche più propriamente scientifiche, i metodi impiegati e i risultati raggiunti, dall'altro questi stessi dati sono stati 'trascritti' per la composizione di strumenti di comunicazione visiva (virtual landscaping) utilizzati per narrare la storia delle trasformazioni del paesaggio toscano tra l'epoca delle signorie territoriali, i secoli centrali del Medioevo, e il Rinascimento, appunto l'età di Leonardo, quando il paesaggio raggiunse una fisionomia in gran parte corrispondente a quella attuale.

Oltre ad essere una strategia per la promozione e la valorizzazione del territorio, in quanto risulta essere un efficace strumento di comunicazione utilizzabile in procedure di concertazione e/o per applicazione didattiche e turistiche, il virtual landscaping (insieme ad un geodatabase) consente l'integrazione di fonti diverse permette, in un certo senso, di 'dare vita' alla ricerca trasformando le informazioni acquisite in una forma di realtà virtuale facilmente accessibile a diverse tipologie di pubblico. Questo approccio metodologico innovativo consente quindi di produrre nuovi strumenti di comunicazione della ricerca e un diverso modo di veicolare la conoscenza del territorio alle comunità locali rafforzandone il senso di appartenenza.

Una rinnovata conoscenza dei luoghi in cui quelle comunità si riconoscono può favorire una gestione più consapevole del paesaggio storico: i prodotti

multimediali, infatti, possono essere utilizzati nella promozione di realtà territoriali ricche di storia e paesaggisticamente rilevanti ma poco conosciute, incrementandone l'attrattività nella prospettiva di un turismo responsabile. Inoltre, la modellizzazione del bene e la rappresentazione geometrica delle sue trasformazioni nel tempo può essere utilizzata in un progetto di restauro, conservazione e valorizzazione del bene.

Riferimenti bibliografici

Azzari M., Landi F., (2017) *The identity of the landscape. A geo-historical integrated approach for the analysis of cultural landscape*, Cracow Landscape Monographs, vol. 4, ISBN 978-83-942469-9-0, ISSN 2451-1692

Azzari M. (2010) "Le prospettive e le problematiche d'impiego della cartografia del passato in formato digitale", *Bollettino della Associazione Italiana di Geografia, Atti del convegno AIC La cartografia e la topografia di oggi*, 217-224

Batti M. (2008) "Virtual reality in Geographic Information Systems", in Wilson J.P., Fotheringham A.S. (a cura di), *The Handbook of Geographic Information Science*, Oxford, Blackwell, 317-224

Casagrande G., Sik A., Szabo G. (2018), *Small flying drones. Applications for geographic observation*, Springer, Berlino

Landi F. (2013), *Tra realtà e rappresentazione. Un modello per la valorizzazione dei paesaggi storici dell'isola Palmaria*, Phasar edizioni, Firenze

Landi F. (2014), *L'identità del paesaggio strumenti e procedure di analisi*, Phasar edizioni, Firenze

Roche G. (2012), *La termografia per l'edilizia e l'industria*, Maggioli editore, Rimini

Pirillo P. (a cura di) (2004) *Semifonte in Val d'Elsa e i centri di nuova fondazione dell'Italia medievale. Atti del Convegno nazionale (Barberino Val d'Elsa 12-13 ottobre 2002)*, Leo S. Olschki Editore, Firenze

Pirillo P. Friedmann D. (a cura di) (2004) *Le terre nuove. Atti del seminario internazionale (Firenze, 28-30 gennaio 1999)*, Leo S. Olschki Editore, Firenze

Vanni Desideri A. (2009), "Pratolino (Vaglia, Firenze), Villa Demidoff. Campagna di diagnostica archeologica 2009: prospezioni geofisiche e saggi di scavo nell'area della Villa Medicea di Francesco I" *Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana*, 5: 248-252

Vanni Desideri A., Mauriello P., Cozzolino M., Di Giovanni E. (2012), "Resistivity Tomography in the Park of Pratolino at Vaglia (Florence, Italy)", *Archaeological Prospection* (wileyonlinelibrary.com)

Vanni Desideri A., Vannini G. (2016) "Light archaeology and historical landscape. For the global history of the site of al-Wu'ayra (Petra) in Transjordan", in *Krakow Landscape Monographs 2. Landscape In The Past & Forgotten Landscapes*, Cracow, 195-205

Vanni Desideri A., Vannini G., Leporatti S., Rose D. (c.s.) "Aero-photography and Light Archaeology. Research Strategies and Communication at the Site of al-Wu'ayra (Petra, Jordan)", in *Dagli aerostati ai droni: le immagini aeree in Archeologia* (2° Convegno Internazionale di Archeologia Aerea, Roma, 3-5 febbraio 2016)

Vannini G. (2012), *Archeologia pubblica in Toscana. Un progetto e una proposta*, Firenze University Press, Firenze

