

# Rilievo e rappresentazione di monumenti attraverso nuove tecnologie

di Fabrizio Cantelmi

**D**a pochi anni nel campo del rilevamento architettonico-archeologico si è affacciata una nuova metodologia di acquisizione dei dati dimensionali, morfologici, strutturali e colorimetrici tramite laser scanner 3D. Tale sistema è basato sul principio dell'impiego di una sorgente luminosa che opera nello spettro visibile (dall'infrarosso all'ultravioletto), con una potenza luminosa variabile in funzione dell'applicazione e della distanza operativa. I laser scanner consentono di esplorare lo spazio e di acquisire le coordinate dei punti intercettati dal raggio in modo automatico, giungendo alla costruzione del modello digitale 3D dei manufatti oggetto di rilievo. Tale metodologia ha portato una nuova cultura nel campo del rilevamento; infatti, mentre la selezione dei punti da rilevare, necessaria per giungere alla costruzione del modello, era in passato preliminare all'acquisizione delle misure, oggi viene rimandata ad un secondo momento. Di seguito viene presentata, inoltre, un'applicazione condotta dalla Geogrà s.r.l. di acquisizione in forma 3D di una situazione articolata e complessa a carattere archeologico (rilievo del Teatro greco di Siracusa), che esemplifica il potenziale di un laser scanner basato sulla tecnologia *time of fly* capace di fornire una nuvola di punti rapidamente e con alta precisione.

## Rilievo, architettonico e archeologico

L'operazione di rilievo di un manufatto e la successiva restituzione grafica non è certo una conquista moderna. Tralasciando le testimonianze dell'epoca greco-romana, l'impiego cosciente del rilievo lo possiamo rintracciare già nel cosiddetto *Taccuino* di Villard de Honnecourt (attivo intorno alla metà del XIII secolo) e certo il Rinascimento ne fu il periodo più fecondo per l'imponente massa di disegni volti a documentare, attraverso piante, prospetti, sezioni e particolari architettonici, gli

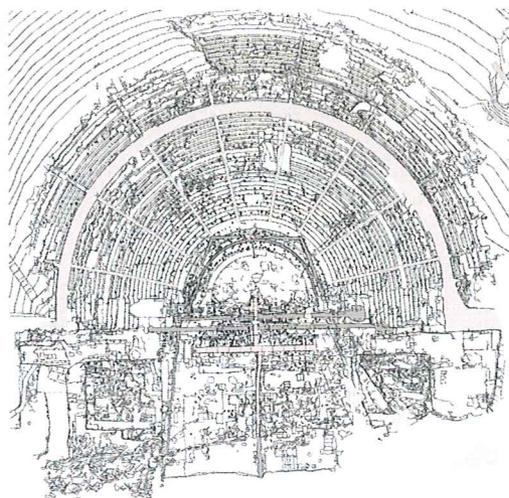


Figura 1 - Teatro greco di Siracusa, restituzione in pianta

edifici antichi che da sempre punteggiano le città ed il territorio dell'Italia. Tuttavia le operazioni di rilievo e la conseguente graficizzazione costituivano prevalentemente un documento di base per elaborazioni progettuali successive, esercitando su di esso un lavoro di astrazione per il quale tendevano ad essere cancellate le peculiarità degli edifici antichi non indispensabili ai fini prevalentemente compositivi, inducendo ad integrare mentalmente e quindi graficamente, le parti mancanti (di geometria, di integrità della forma, di simmetria ecc.). Nell'Ottocento è possibile avvertire ancora tale presenza astrattiva nei rilievi prodotti soprattutto per illustrare trattati ed enciclopedie. È in questo secolo che i rilievi degli archeologi mostrano, invece, una maggiore aderenza all'oggetto reale, forse perché trattando per lo più di manufatti allo stato di rudere subiscono meno degli architetti la cogenza delle categorie dell'integrità, della forma regolare, della simmetria. Nel Novecento le categorie della pura visibilità e della pura forma impedirono l'affermarsi di un rilievo sempre più fedele alla realtà e bisognerà attendere le rivendicazioni sorte all'interno degli architetti restauratori (Giovannoni, Sanpaolesi) per avere prodotti il più possibili aderenti allo stato dei monumenti.

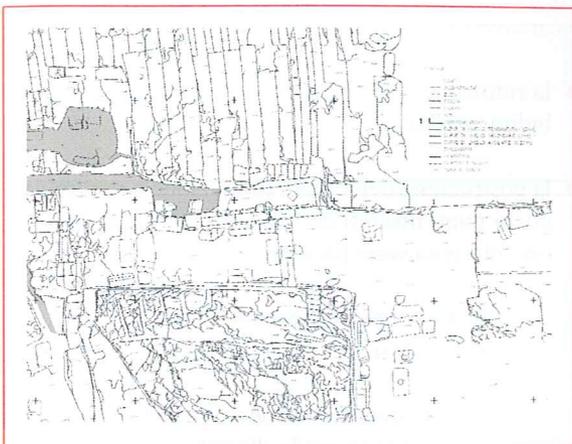


Figura 2 - Teatro greco di Siracusa, restituzione in pianta di un particolare

### Il rilevamento come processo di memorizzazione ed analisi dell'esistente: confronto tra le metodologie

Il nostro sistema di prendere possesso dei manufatti architettonici, come di tutto lo spazio che ci circonda, è essenzialmente un modo visuale e percettivo in cui spazio e tempo vengono restituiti come sistemi continui e iconici. Tale percezione è, dunque, il nostro modo primario di impossessarci delle cose che ci circondano e la lettura che ne facciamo consiste, essenzialmente, in un'operazione di rinvio di quanto si è percepito a quel contesto di immagini, di cose concrete che appartengono alla memoria storica dell'individuo osservatore, ossia all'esperienza logica e psicologica del soggetto stesso che partecipa a strutturare la realtà recepita. A fronte di questa esperienza reale e quotidiana, i modi che sono stati codificati dalla pratica architettonica per registrare e restituire i dati inerenti alla realtà costruita suggeriscono una procedura che astrae dal nostro modo quotidiano di prendere possesso delle cose. Infatti, sia il metodo rappresentativo consueto per i disegni realizzati su un foglio di carta che la stessa fotografia (ambidue sempre su supporti bidimensionali), sono sistemi che presentano una astrazione marcata rispetto alla percezione: si riproduce, attraverso le operazioni di proiezione e sezione, un mondo prospettico tridimensionale e dinamico in un sistema statico e bidimensionale. Il

### Teatro greco di Siracusa

Situato in quello che attualmente è il Parco monumentale della Neapoli, il teatro, databile al III sec. a.C., è tagliato nella roccia con elegantissimi dettagli architettonici. Del tutto mancante è la parte alta della cavea come l'edificio scenico, demoliti nel XVI secolo dagli spagnoli per riutilizzarne il materiale edilizio nella costruzione dei bastioni di difesa dell'isola di Ortigia.

### Committente

Istituto Nazionale del Dramma Antico-Fondazione ONLUS; Progetto della Soprintendenza Beni Culturali ed Ambientali di Siracusa, Servizio II – ARCHEOLOGICO – Unità Operativa XIII

### Dati di rilievo

*(Rilievo eseguito da Geogrà s.r.l. (MN))*

Da posizioni naturali sopraelevate e tramite l'utilizzo di impalcature semovibili, sono state utilizzate 38 posizioni di scansione con un totale di 139 punti di presa; in analogia a quanto si è sempre eseguito per le campagne di rilievo stereofotogrammetrico, è stato redatto un progetto di presa per poter valutare a priori le posizioni utili affinché si creasse omogeneità nella densità di punti e per limitare le zone d'ombra; la densità dei punti di base è stata di 1x1 centimetri, per raggiungere, con le sovrapposizioni di scansioni, 0,8 x 0,8 centimetri, rilevando un totale di circa 110.000.000 di punti. La riduzione delle coordinate spaziali (rilevate con il laser scanner) in sistema locale è stato effettuato rilevando mediante strumentazione topografica (*Leica TC1201*) le 257 mire utilizzate nelle fasi di scansione, sono state altresì utilizzate 14 sfere calibrate in teflon per creare ulteriori punti fissi di rototraslazione.

Figura 3 - Teatro greco di Siracusa, sezione prospettica con texture bianco/nero





Figura 4 - Teatro greco di Siracusa, immagine in pianta delle nuvole di punti ottenute da scansione 3D

reale, poi, viene sempre riportato per quantità discrete e discontinue, ma in ogni caso in forma tale per cui le parti mancanti e interpretate occupano sempre una parte preponderante sul dato oggettivo rilevato. Fino ai giorni nostri questo modello figurativo è stato il sistema al quale ricondurre ogni rappresentazione del reale per poterne tenere

memoria e applicarvi analisi tematiche. Tale sistema è caratterizzato essenzialmente da tre tipi di ipotesi:

- ◆ la riduzione del campo tridimensionale a campo bidimensionale
- ◆ la costruzione della rappresentazione a partire da pochi punti discreti dell'intero sistema continuo per interpolazione (di solito lineare)
- ◆ la ricomposizione dell'insieme per schemi compositivi fissi

Il reale viene, quindi, trasmesso per episodi atti a ricostituire, sempre in modo discreto e per proiezione parallela, l'intero complesso, ancora attraverso processi mentali interpolativi, ripristinando in forma continua una discontinuità. Le testimonianze del passato rimangono così memorizzate in modo sommario, spesso del tutto inefficace quando occorre averne una esaustiva conoscenza.

Lo spazio dell'architettura virtuale, disegnato tramite elaboratore elettronico, è uno spazio diverso da quello tracciato sul foglio. Infatti, nel disegno il segno e la linea, in qualità di tracciato continuo, sono le condizioni di base di un metodo traspositivo in cui sono raccordati ideale e reale, quali proprietà

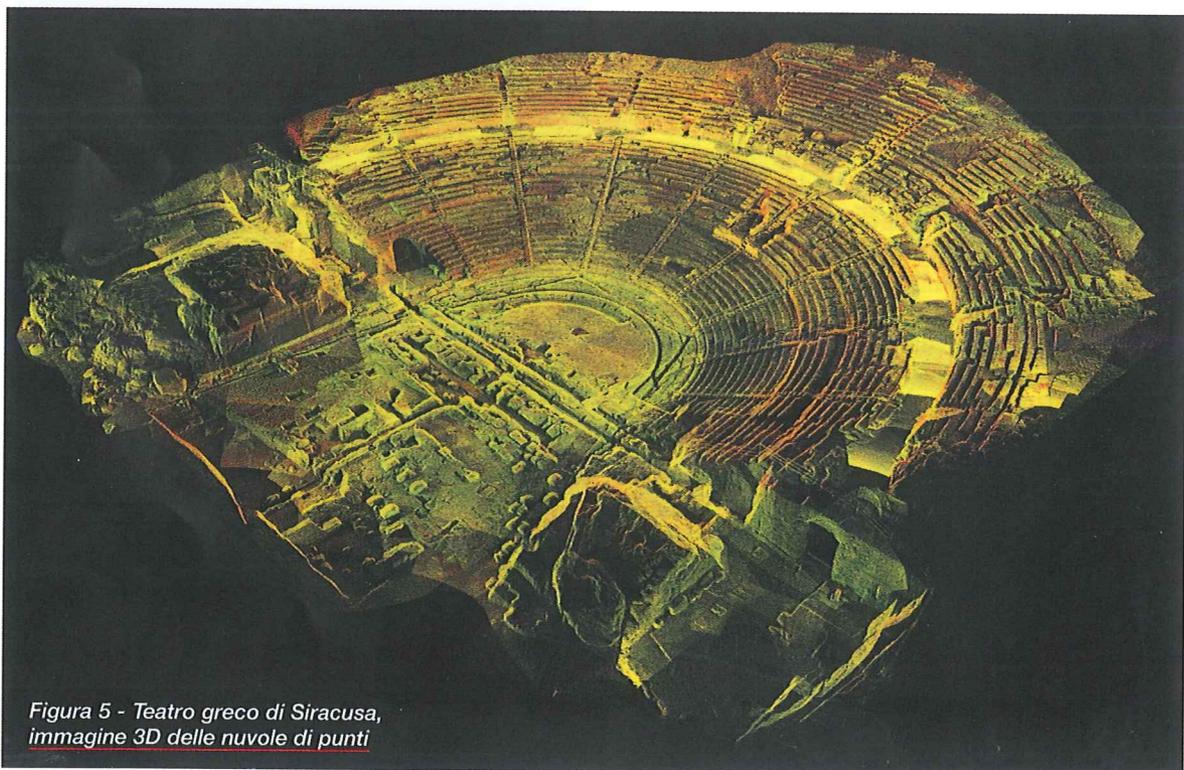


Figura 5 - Teatro greco di Siracusa, immagine 3D delle nuvole di punti

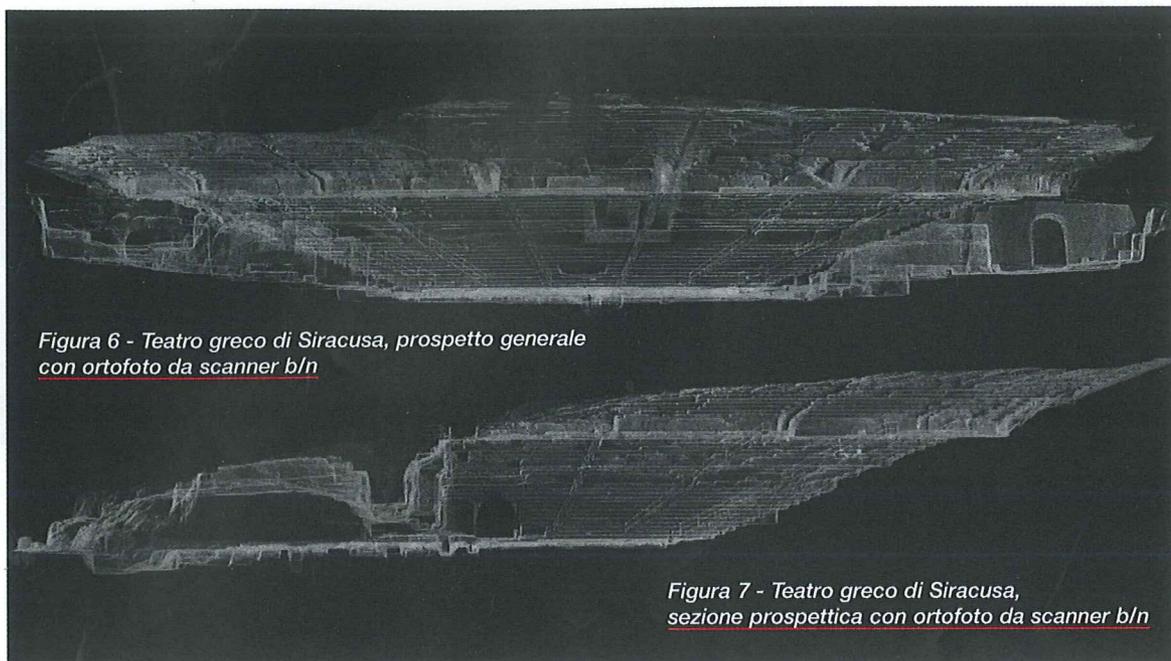


Figura 6 - Teatro greco di Siracusa, prospetto generale con ortofoto da scanner b/n

Figura 7 - Teatro greco di Siracusa, sezione prospettica con ortofoto da scanner b/n

legate intimamente alle capacità di riconoscimento logico dell'osservatore; invece nella rappresentazione con l'elaboratore questa qualità di trasposizione visuale assume un aspetto marginale, giacché ogni disegno non è più prodotto grafico, ma un dato alfanumerico o numerico, codificato in uscita in forma di modello proiettivo, quale uno dei tanti esiti possibili. Può apparire quasi paradossale, ma il modello numerico offre potenzialità di restituzione nella descrizione dell'oggetto rilevato molto più complete e vicine a quelle naturali. Se l'esito tradizionale del rilievo è praticamente inefficace nel ricostruire modelli tridimensionali, il modello procedurale oggi disponibile per registrare la forma reale dell'oggetto passa attraverso la definizione della superficie mediante il rilievo di moltissimi dei suoi punti e la ricostruzione di una seconda forma sovrapponibile ad esso. Ciò è reso possibile dall'acquisizione per nuvole di punti (*points cloud*), ottenute attraverso un raggio laser che si muove ad intervalli regolari lungo linee orizzontali creando una maglia di punti sull'oggetto da rilevare. Il modello restitutivo di questi grandi insiemi di coordinate 3D, dal momento che ogni punto visualizzato e immagazzinato nel file è un punto effettivamente misurato, rappresenta esattamente l'accuratezza del rilievo. L'operazione successiva consisterà nell'eliminazione delle ridondanze e nella necessaria semplificazione ai fini

dell'estrapolazione delle caratteristiche specifiche ricercate per un determinato esito dimensionale (piante, sezioni, prospetti, profili, modelli ecc.), in base alle necessità ed agli obiettivi perseguiti. In questa procedura si può cogliere tutta la novità di questo metodo di acquisizione dei dati di rilievo: la necessità di ben operare su una conoscenza che si fa sempre più ridondante, nella quale occorre saper selezionare ed eliminare, piuttosto che intervenire su un insieme di dati scarso ed incerto, che occorre far diventare omogeneo e coerente.

### Il caso campione

La campagna di rilievo del monumento, presentato ad esempio, è stata effettuata dalla ditta Geogrà s.r.l. con la tecnica di rilievo tridimensionale integrata tramite laser scanner 3D *Cyrax 2500* e software *Cyclone™ (Leica HDS 2500)*, previa costituzione di una rete topografica necessaria per georeferenziare le singole scansioni. Questo laser scanner è basato sulla tecnologia TOF (Time of Flight) il cui funzionamento è relativamente semplice: la testa ottica del laser scanner emette un segnale laser che raggiunge l'elemento che si vuole rilevare, una certa quantità di energia del raggio originale viene riflessa verso lo strumento che è predisposto per poter avvertire il segnale. La distanza del punto dallo strumento viene determinata sulla base del tempo impiegato nello svolgimento di tale azione. Il sistema di misurazione dello scanner si basa quindi

sulla conoscenza della distanza del punto e degli angoli zenitali ed azimutali del raggio emesso per determinare l'esatta collocazione spaziale del punto raggiunto che viene rappresentato in uno spazio tridimensionale digitale. Lo strumento è capace di fornire una nuvola di punti (*points cloud*) 3D rapidamente (circa 800/1000 punti/secondo) e con alta precisione (accuratezza di circa 5/6 mm), relativamente alla scala di un monumento (campi di presa 50 x 50 m) e/o di impianto urbano (campi di presa fino a 100-200 m per 40° di angolo di ripresa, con accuratezza leggermente inferiore), inoltre, è particolarmente adatto per scansioni inclinate, situazione frequente in ambito di rilievo archeologico. Questo sistema, infine, permette di associare ad ogni singolo punto rilevato anche un valore di riflettanza in falsi colori, distinguendo a temperatura costante e a distanza costante i diversi materiali che compongono l'oggetto rilevato. Tali valori, che si traducono in variazione cromatica dei punti acquisiti permette di percepire la nuvola dei punti come mappata come per una texture fotorealistica in bianco e nero ad altissima risoluzione, facilitandone la lettura interpretativa. Risulta evidente che è possibile intervenire successivamente sovrapponendo al modello tridimensionale una eventuale mappatura fotografica, acquisita ad alta risoluzione e ortorettificata tramite software, sì da incrementare il valore conoscitivo e rappresentativo del modello. Il valore aggiunto che Geogrà s.r.l. ha saputo proporre è la rappresentazione di piante, di sezioni, di prospetti e di modelli solidi 3D, che esprimono tutta la complessità e le caratteristiche del monumento e che ne costituiscono un'insostituibile base per la mappatura. L'attività di ricerca sviluppata in questi ultimi anni dalla Geogrà è certamente un valido supporto all'utilizzo di questa nuova tecnologia e il risultato ne è la testimonianza.



Figura 8 - Teatro greco di Siracusa, immagine dello scanner CyraX 2500 operante

### Bibliografia

MARINO Luigi, *Il rilievo per il restauro – ricognizioni, misurazioni, accertamenti, restituzioni, elaborazioni*, Milano, Hoepli Editore, 1990.

IPPOLITI Elena, *Rilevare – comprendere, misurare, rappresentare*, Roma, Edizioni Kappa, 2000.

BALZANI Marcello, GAIANI Marco, UCCELLI Federico, SECCIA Leonardo, SANTUOPOLI Nicola, *Morfologia e caratterizzazione colorimetrica e spettrale di elementi architettonici*, in *Disegnare – idee, immagini*, n° 18/19, Roma, Gangemi editore, 1999, pp. 133-142.

DOCCI Mario, GAIANI Marco, MIGLIARI Riccardo, *Una nuova cultura per il rilevamento*, in *Disegnare – idee, immagini*, n° 23, Roma, Gangemi editore, 2001, pp. 37-45.

MEDRI Maura, *Manuale di rilievo archeologico*, Roma-Bari, Editori Laterza, 2003,

BOEHLER Wolfgang, MARBS Andreas (trad. Sergio DEQUAL), *Laser scanner a confronto*, in *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, n. 3, 2005, pp. 71-89.

### Autore

FABRIZIO CANTELMÌ

fabriziocantelmi@inwind.it

# Geogrà

laser scanning 3d  
stereofotogrammetria  
fotogrammetria  
topografia – batimetria  
elaborazioni informatiche

www.geogra.it  
info@geogra.it

via indipendenza, 106  
sermide • mantova • italy  
telefono +39 0386 62628  
telex +39 0386 960248