IL LASER SCANNER PER IL RILEVAMENTO DELLE OPERE ARCHEOLOGICHE. LE TERME DELL'INDIRIZZO A CATANIA.

Alessia GIUFFRIDA (*), Mariangela LIUZZO (*), Cettina SANTAGATI (*),
Luigi ANDREOZZI (*)

(*) Università di Catania, Fac. di Ingegneria, Dip. di Architettura e Urbanistica, Lab. di Fotogrammetria Architettonica e Rilievo, Viale A. Doria n 6, 95125 Catania, Italia, tel: 095-7382525, fax: 095-330309, *e-mail*: labfgmr@dau.unict.it

Riassunto

Il sistema a scansione laser 3D risulta oggi la metodologia di rilevamento più avanzata per la documentazione, la catalogazione, il monitoraggio e la diagnosi di organismi architettonici anche complessi.

L'uso della tecnologia ad alta precisione, supportata da *softwares* dedicati, consente, mediante l'assemblaggio di singole scansioni in un unico sistema di riferimento, di creare un modello tridimensionale dell'intero oggetto. La possibilità di esplorare la spazialità del modello e di studiarlo alle varie scale di dettaglio rende agevole la scelta di opportune elaborazioni successive sia di tipo tradizionale alla Monge (piante, prospetti, profili e sezioni) sia mediante il passaggio dalla nuvola di punti ad un modello continuo, per l'acquisizione di informazioni di tipo materico e di degrado, ottenute tramite "spalmatura" di immagini fotografiche sulla *mesh*.

Per queste peculiarità il sistema consente un approccio innovativo, dal potenziale tuttora non del tutto esplorato, nel rilevamento archeologico, dove i sistemi tradizionali si scontrano con maggiori difficoltà e limiti.

Il presente studio ha l'obiettivo di verificare le potenzialità del laser scanner nel rilevamento delle Terme Romane dell'Indirizzo in Catania, complesso di grande interesse per l'articolazione spaziale e per le condizioni di sostanziale integrità in cui si conserva.

Abstract

3D laser scanner technology actually is the most advanced surveying methodology to document, monitor and diagnose architectural complex objects.

The use of a high precision technology instrument, supported by suitable softwares, allows to realize the whole building's three-dimensional model by assembling single scansions into one reference system. The opportunity of exploring object's spatiality and of studying the three-dimensional model through several scales of detail allows to carry out different kinds of elaborations: extracting plans, prospects, profiles and sections at different heights and in appropriate parts of the model; turning the discreet model (cloud points) into a continuous one; projecting the photographic image on the mesh model in order to acquire material and pathology's information.

Thanks to its peculiarities, this methodology has great potentialities in archaeological survey, not yet explored, whereas traditional systems have more difficulties and limits.

The aim of the present essay is to verify laser scanner's potentialities in surveying the so called "Terme dell'Indirizzo", a building of great interest for its spatial complexity and the substantial integrity's conditions of its rooms.

L'istanza culturale, oggi più che mai sentita, di salvaguardare l'ingente Patrimonio di beni artistici, architettonici ed archeologici ha da tempo portato allo sviluppo di strumenti di ricerca innovativi, atti alla documentazione, alla catalogazione e alla conoscenza, intesi quale presupposto base di tutela.

Nell'ambito del rilevamento, attualmente, il sistema a scansione laser 3D, combinando in modo ottimale alta precisione e buona versatilità e garantendo, dunque, sia un'elevata e controllata qualità del rilevamento sia l'ottimizzazione dei tempi di lavoro, si impone all'attenzione quale strumento di grandi potenzialità. La possibilità di realizzare, a partire dalle nuvole di punti, modelli tridimensionali digitali di alta precisione consente, infatti, l'agevole monitoraggio e diagnosi di organismi anche complessi (per l'articolata conformazione geometrico-formale e per le condizioni logistiche ed ambientali sfavorevoli), la loro conservazione in banche dati, la creazione di musei virtuali, il restauro digitale e la ricostruzione di modelli reali mediante lavorazione o formatura laser.

A questo rapido progresso delle tecniche raramente è sinora corrisposta un'effettiva ricaduta pratica nella gestione della tutela degli oggetti di interesse artistico e culturale, restando la maggior parte delle esperienze relegate al campo della ricerca. In particolare non sono state sinora sfruttate appieno le potenzialità del sistema in un ambito, quello del rilevamento dei beni archeologici, che, per le peculiarità degli oggetti e le finalità di studio, è estremamente oneroso, a volte non esaustivo, se affrontato con gli strumenti tradizionali.

I manufatti archeologici, infatti, sono spesso caratterizzati da geometrie fortemente irregolari, discontinue, incomplete e ciò rende difficoltosa l'individuazione di elementi puntuali di riferimento per un rilievo geometrico e la scelta di elaborati grafici bidimensionali atti a rappresentarne la complessa spazialità. In campo archeologico è, inoltre, fondamentale la conoscenza della matericità dei singoli elementi che costituiscono la tessitura delle murature a vista, nonché degli elementi che puntualmente presentano discontinuità e degradi.

Partendo da queste premesse, è stato affrontato con il laser scanner il rilevamento delle Terme romane dell'Indirizzo, articolato complesso dalle

Figura - 1 Vista del lato sud delle Terme dell'Indirizzo di Catania

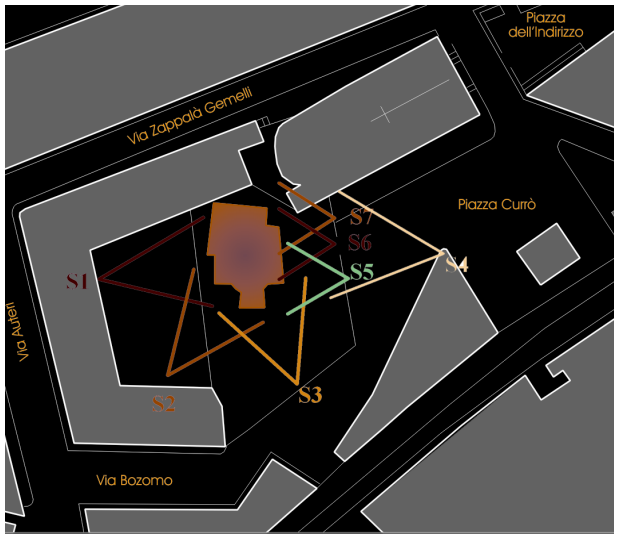

Figura - 2 Progetto di ripresa dell'esterno

Figura - 3 Progetto di ripresa dell'interno

massicce murature in pietra lavica, ubicato nel cuore del centro storico di Catania e parzialmente incorporato nelle strutture dell'antico Convento di S. Maria dell'Indirizzo.
L'attenta analisi delle peculiarità del sito e della conformazione dell'oggetto è stata fondamentale nella redazione del progetto di ripresa, effettuato su eidotipi di riferimento, scegliendo stazioni poste sia all'interno che all'esterno del complesso, in maniera tale da garantire la copertura totale nel rilievo. Particolare attenzione, nella scelta dei punti stazione, è stata posta sulle eventuali zone d'ombra, generate dai corpi interposti tra lo scanner e l'oggetto d'interesse, e sulla necessità di avere opportune sovrapposizioni tra scansioni contigue, anche al confine tra interno ed esterno, con il fine di agganciare tra di loro, in più punti ed in modo preciso, differenti parti di rilievo. Le scelte sono state fortemente vincolate anche dalle caratteristiche del laser scanner utilizzato, Leica Cyrax 2500, particolarmente indicato per il rilievo a distanza di edifici di grande dimensione, in quanto consente campi di presa sino ad una distanza di 100-150 m, con alto range di precisione (+/- 4 mm, e precisione angolare 60 microrad) ma con campo di scansione limitato a 40° sia in orizzontale che in verticale.
Per rilievo dell'esterno sono occorse 7 stazioni ed un totale di 8 riprese, realizzate seguendo il perimetro dell'edificio, a differenti quote e distanze, in modo da avere una ripresa dell'intero complesso termale, anche dall'alto, e aumentare il dettaglio di alcune parti, soprattutto in corrispondenza dei varchi d'ingresso, utili all'unione con le scansioni interne.
Più elaborato il progetto di ripresa dell'interno, costituito da una sequenza di circa dieci ambienti di modeste dimensioni, tra i quali, di notevole interesse, la sala di impianto ottagonale coperta da volta emisferica, del *Calidarium*. L'articolazione formale e le dimensioni degli ambienti, congiuntamente al limitato campo di azione dello scanner, hanno reso necessario prevedere una fitta maglia di punti stazione, tale da consentire più prese, generali e di dettaglio in corrispondenza di elementi architettonici particolarmente significativi, con il fine di non tralasciare alcuna parte dell'edificio ed individuare riferimenti ben riconoscibili per la ricomposizione delle varie parti.
Nel rilievo del *Calidarium*, in particolare, le 16 riprese previste sono state effettuate a raggiera, spostando lo strumento lungo tutti lati dell'ottagono ed eseguendo più scansioni per ogni stazione, in modo da coprire in verticale l'intera altezza degli ambienti e rilevare anche le pareti laterali dei tre *Clipei*, che si innestano sui lati sud, est ed ovest. Un'ulteriore scansione, iposcopica e baricentrica, ha completato il rilievo con il dettaglio dell'intera volta di copertura.
Più semplice la ripresa nel *Tepidarium*, dove, sfruttando lo sviluppo rettangolare dell'ambiente, si è scelto di posizionare lo scanner ai due estremi dell'asse longitudinale, mentre nell'attiguo *Laconicum*, di forma pressoché quadrata e piccole dimensioni, è stato necessario rivolgere lo scanner anche verso le pareti laterali, realizzando in totale 6 punti stazione e 10 scansioni.
Data la mole di dati metrici acquisiti (34 scansioni, 24.000.000 di punti in totale), il passaggio successivo, di ricomposizione di tutte le nuvole di punti, interne ed esterne in un unico modello, riferito ad un opportuno sistema di riferimento, è risultato piuttosto oneroso.

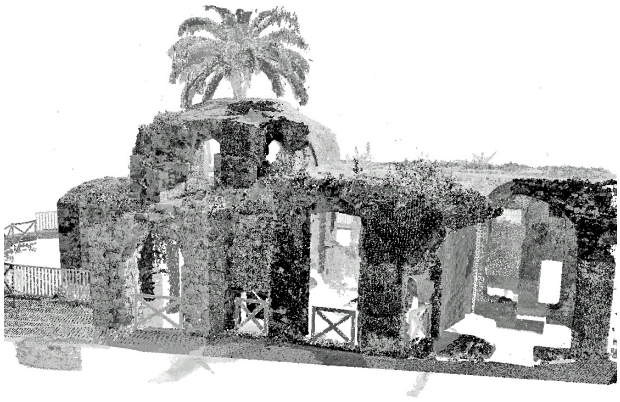

Figura 4 – Vista del modello 3d completo

Figura 5 – Particolare della copertura del Calidarium

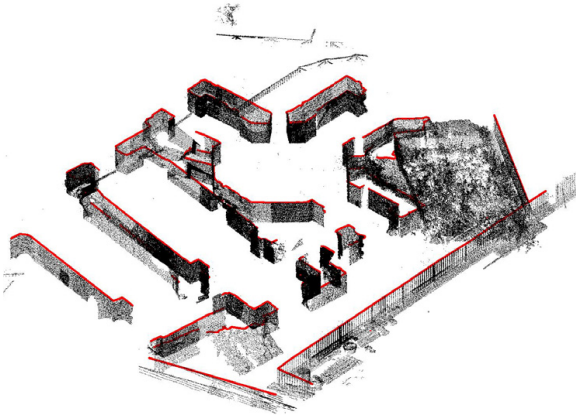

Figura - 6 Sezione orizzontale a quota 5.50 m

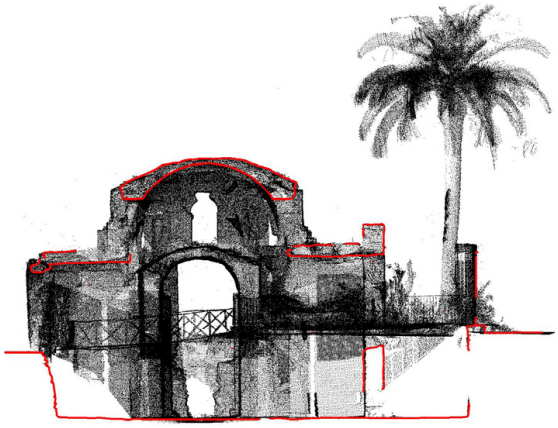

Figura - 7 Sezione trasversale

A causa dell'impossibilità di inserire sul manufatto dei target riflettenti, che fossero acquisiti dallo scanner in fase di ripresa, successivamente automaticamente riconosciuti, ed eventualmente rilevati topograficamente, le operazioni di allineamento e registrazione manuale delle singole coppie di scansioni hanno, infatti, comportato una notevole e dispendiosa mole di lavoro per la collimazione dei punti omologhi. La difficoltà di trovare ben definiti ed opportunamente distribuiti nello spazio punti notevoli di riferimento, ad esempio spigoli di aperture o elementi aggettanti, in assenza di elementi di decoro (quali capitelli o cornicioni), su una muratura in pietrame lavico, è stata superata grazie all'elevata densità di punti acquisiti, che fornendo una definizione di dettaglio (con passo medio di 5 mm), ha reso possibili le operazioni di collimazione.
Operativamente, al fine di ottenere una migliore compensazione dell'errore, si è proceduto, laddove possibile, con il metodo della poligonazione, ovvero agganciando ogni scansione alla precedente e alla successiva, sia in verticale che in orizzontale. Anche i parametri di calcolo (*subsample percenting,* numero di iterazioni, *max search distance*) sono stati ottimizzati al fine di ridurre al minimo l'errore di allineamento tra le scansioni, che mediamente si è mantenuto intorno ai 7/8 mm e in alcuni casi si è rivelato inferiore al passo di scansione (4 mm).

Figura - 8 Sezione con piano verticale passante lungo una delle diagonali della pianta ottagonale del Calidarium

Il modello tridimensionale completo così ottenuto ha costituito una "copia" dell'oggetto reale, una documentazione fedele ed accurata, che ha consentito l'analisi ed il controllo, nonché la misurazione e la valutazione delle caratteristiche dimensionali di tutte le parti del complesso termale.
Esso inoltre ha fornito la base per lo sviluppo di elaborazioni sia di tipo tradizionale (consentendo l'estrazione di profili per piante, prospetti e sezioni, scelti a differenti quote ed in opportune parti del modello a seconda della finalità dello studio) sia di tipo tridimensionale (*mesh*, ortofoto), che offrono il vantaggio ulteriore dell'immediatezza comunicativa anche per i non addetti ai lavori.
Al fine di descrivere in modo esaustivo con elaborati tradizionali la conformazione geometrica del complesso termale, si è utilizzato un applicativo (*Cloudworks* della *Leica Geosystem*) che consente, operando in ambiente CAD, di gestire agevolmente la visualizzazione dell'insieme di nuvole di punti e l'estrazione di profili secondo piani definiti dall'operatore. Sono stati, così, selezionati 7 profili di sezione con piani orizzontali, ad intervalli di un metro circa, al fine di ottenere la conformazione planimetrica ai diversi livelli (dentro e fuori terra) e 3 profili di sezione verticali, realizzati lungo piani ritenuti più significativi.
Un ulteriore approfondimento è stato condotto nello studio dell'ambiente ottagono del *Calidarium* concluso in alto da una cupola. La sezione con il piano verticale passante lungo una delle diagonali dell'ottagono si è rivelata fondamentale per lo studio della matrice geometrica della cupola, rendendo possibile l'individuazione dell'andamento della curvatura della superficie e della variazione della stessa nella porzione di raccordo tra l'impianto ottagonale inferiore e quello circolare superiore.
Una restituzione della cupola per curve di livello è stata ottenuta sezionando la nuvola di punti con 14 piani orizzontali, ad un passo di 20 cm. Lavorando in ambiente CAD è stato, così, possibile condurre delle verifiche puntuali sulle variazioni di curvatura, sulle irregolarità, sugli avvallamenti, quantificando, in termini di centimetri, i cedimenti localizzati, le deformazioni, tutte testimonianze, da interpretare, degli eventi che nel tempo si sono succeduti sulla struttura.
Sempre col fine di indagare la spazialità delle terme catanesi, adoperando gli strumenti interpretativi più opportuni, è stato fondamentale il passaggio dalle nuvole di punti, costituenti un modello discreto dell'oggetto reale di non facile gestione, ad un modello continuo ancora tridimensionale, ottenuto dalla triangolazione di punti limitrofi delle singole nuvole e dall'unione delle stesse.
Il *software* utilizzato, *Reconstructor* della Inn.tec, ha permesso di impostare e variare all'interno del modello stesso in modo critico i parametri che gestiscono le dimensioni delle maglie triangolari, in modo da mediare in maniera opportuna tra la necessità di ottenere una superficie "semplificata" e l'esigenza di non perdere il dettaglio della conformazione materica dei singoli conci in pietra lavica.

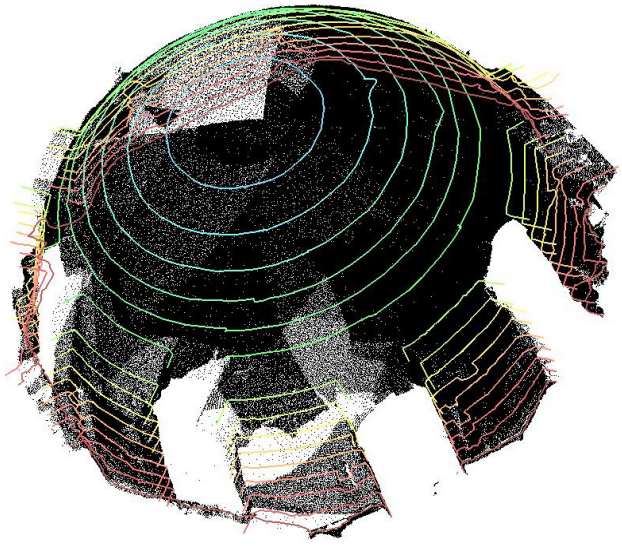

Figura – 9 Restituzione per curve di livello della cupola del Calidarium

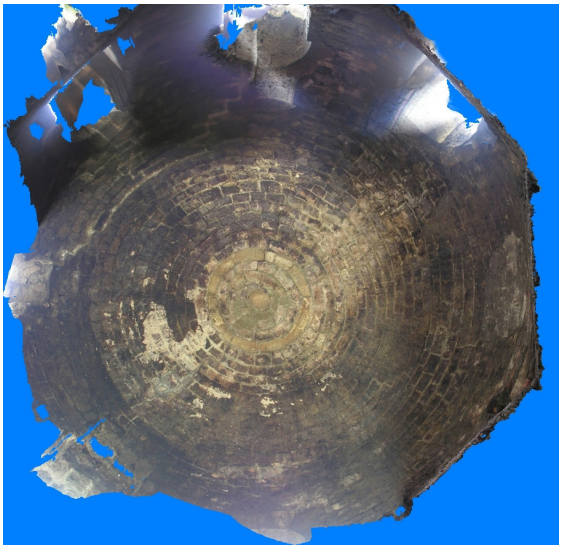

Figura - 10 Ortofoto della volta emisferica del Calidarium

Ciò ha consentito di esplorare la spazialità, anche complessa (soprattutto nell'articolazione degli ambienti interni), delle Terme da diversi punti di vista, scegliendo la modalità di visualizzazione del modello più opportuna in funzione dell'analisi da effettuare (*wireframe*, *flat* e *textured)*, di analizzare alle differenti scale i particolari ed i singoli dettagli costruttivi, di calcolare aree e distanze in qualsivoglia porzione di superficie tridimensionale.
L'acquisizione di informazioni di tipo materico, cromatico e di degrado è stata conseguita tramite la "spalmatura" delle immagini fotografiche sulle rispettive nuvole di punti, collimando sulle stesse un certo numero di punti omologhi ben distribuiti e visibili, e la successiva applicazione dell'immagine ottenuta sul modello continuo della *mesh*, per sfruttare al massimo la risoluzione delle fotografie scattate dai relativi punti stazione.
La possibilità di riproiettare il modello *texturizzato* su piani opportunamente scelti, ottenendo delle ortofoto metricamente precise, ha costituito, infine, un efficace strumento di integrazione di dati materici e costruttivi nei tutt'oggi indispensabili elaborati di rilievo bidimensionale di tipo tradizionale alla Monge.
Il fine dello studio affrontato, di cui sono stati brevemente esposti alcuni risultati parziali, è quello di raggiungere una conoscenza completa dell'organismo complesso che, andando ben oltre la restituzione, per quanto precisa, delle singole superfici rilevate dallo scanner, ma partendo proprio da questa, vuole tentare di rispondere all'istanza maggiore del rilievo, quella di interpretare i vuoti ed i pieni, ovvero lo spazio tridimensionale compreso tra queste superfici e la consistenza delle porzioni di muratura celate in esse.
L'elevato livello di precisione delle analisi effettuate, fondamentale per una corretta e puntuale conoscenza quantitativa e qualitativa della fabbrica, è comunque presupposto base per intraprendere nel tempo ulteriori indagini critiche interdisciplinari, mirate alla ricerca di eventuali matrici modulari a partire dall'unità di misura in uso, il piede romano, all'interpretazione della geometria degli ambienti più complessi, quali la sala ottagonale con volta emisferica del *Calidarium*, alla formulazione di ipotesi sulla stratificazione storica, sui dissesti e le modifiche subite nei secoli da questa interessante opera archeologica.
L'acquisizione con laser scanner dei dati necessari alla documentazione dell'opera archeologica ed alla catalogazione puntuale e datata di tutti i suoi elementi consente anche, se ripetuta periodicamente, un monitoraggio nel tempo del manufatto, con oneri economici e di tempo piuttosto contenuti, che è presupposto basilare per la salvaguardia di un patrimonio archeologico che, in regioni quali la Sicilia, pone gravi e pressanti interrogativi per l'entità ed il numero dei beni da tutelare.

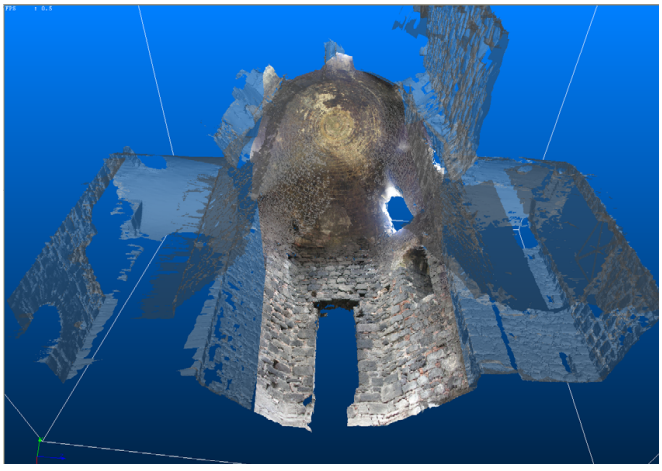

Figura - 11 Porzione del modello texturizzato del Calidarium

Figura - 12. Particolare del modello texturizzato del Calidarium