

LA CARTOGRAFIA NELLA VALORIZZAZIONE DEI BENI NATURALI E CULTURALI: LE APPLICAZIONI LASER SCANNER 3D

CARTOGRAPHY IN THE EXPLOITATION OF NATURAL AND CULTURAL HERITAGE: 3D LASER SCANNER APPLICATIONS

Antonio Acito*, Michele Lupo, Gianfranco Vincenzo Pandiscia*****

Riassunto

La presente proposta è relativa all'utilizzo dei rilievi Laser Scanner 3D per la valorizzazione dei beni culturali e naturali.

Alla base di ogni intervento volto alla valorizzazione dei beni culturali e naturali è fondamentale che ci sia un percorso di conoscenza che non sia solo storico-artistico come accade spesso, ma anche attraverso la conoscenza accurata delle sue caratteristiche (posizione, forma, geometria, materia e colore), dettagli fondamentali per tutelare e valorizzare il patrimonio. La tecnologia del laser scanner 3D consente di ottenere risultati di eccellente qualità in tempi relativamente brevi e di intervenire in ambienti complessi laddove altre tecniche mostrano numerosi limiti. L'innovativa metodologia di rilievo rivela la sua efficacia non solo nell'acquisizione e restituzione dei dati, ma soprattutto nella rappresentazione cartografica.

Rispetto alle altre tecniche, il rilievo non è parziale ma completo e oggettivo: tutto ciò che è presente nel range di azione del laser scanner 3D viene rilevato senza alcuna distinzione. Il suo impiego risulta, pertanto, essenziale per rilevare e acquisire informazioni su beni particolarmente articolati ed irregolari, su parti inaccessibili o comunque non facilmente raggiungibili (notevoli altezze, presenza di asperità, ecc.), su elementi delicati, evitandone il contatto diretto.

In questa nota sono riportati alcuni esempi applicativi della metodologia laser scanner 3D ed il beneficio delle relative informazioni cartografiche attraverso il rilievo di alcuni importanti beni culturali di grande valenza architettonica, storica e naturale quali il, gli ipogei di piazza della città di Matera e di un tratto del torrente Gravina di Matera che intaglia formazioni coerenti determinando suggestivi paesaggi.

Abstract

The present paper deals with the use of the 3D Laser Scanner in the development of natural and cultural resources.

Any intervention pointed to the development of natural and cultural resources needs to learn, besides the fundamental historical and artistic knowledge, some of their

* Responsabile Tecnico AESSE PROGETTI, Matera, antonio.acito@aesseprogetti.it

** geol. ing. Pomarico (MT), michel.lupo@alice.it

*** geol. Matera (MT), gpandiscia@libero.it

characteristics such as location, form, geometrical aspects, material properties and colour, all features that must be considered basic for both the safeguard and the development of the resource itself. The 3D Laser Scanner technology enables to obtain in a short time excellent results and to be active in particular environments where other techniques result to be rather limited. This technique is particularly effective not only in the acquisition and rendering processes, but also in cartographic representation of data.

Compared to other technique, the 3D Laser Scanning is complete and objective: everything that is in the activity range of the used instrument is completely registered without any distinction. Ultimately, its use results to be absolutely necessary to survey and collect information in case of quite irregular and articulated structures, of very difficult or completely inaccessible parts and of fragile elements, avoiding the direct contact. Some examples of the use of the 3D Laser Scanner technique are here quoted emphasizing the advantages of the cartographic information as result from the survey of some important cultural resources relevant from architectural, historical and natural points of view, in particular: the Santuario della Palomba, the Vittorio Veneto Square in Matera hypogees, and a part of the Gravina di Matera, a torrent deeply incised in limestones rocks that creates striking sceneries.

I. Il Laser Scanner 3D

La sua apparizione in Italia risale al 1996. Sebbene sia una tecnica di rilievo recente, costituisce oggi, grazie all'evoluzione della tecnologia, un valido riferimento nella rappresentazione cartografica dei beni culturali e naturali. Importanti applicazioni di questa tecnica metodologica sono presenti già nel 2006 presso l'Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Architettura, Pianificazione ed Infrastrutture di Trasporti. Nello stesso anno, con ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 18 agosto, n. 3541 "Disposizioni urgenti per la messa in sicurezza della Domus Aurea" di Roma, la metodologia Laser Scanner 3D viene utilizzata, insieme ad altre tecniche, per un rilievo plano-altimetrico con acquisizione a nuvola dei punti e conseguente restituzione dei dati. Nel 2011 l'utilizzo del Laser Scanner 3D è parte integrante di tecniche di rilievo del Ministero per i Beni e le Attività Culturali in un contesto di innovazione tecnologica e di nuove frontiere di rappresentazione cartografica.

Per l'accurata qualità delle informazioni, trova applicazione in vari settori tecnici: da quello ambientale (rilievo di aree naturali, cave e discariche) a quello archeologico, architettonico, geologico e ingegneristico.

La tecnologia del Laser Scanner 3D consente, tramite un raggio laser generato ed inviato direttamente dallo strumento, di acquisire digitalmente posizione e forma di oggetti secondo le tre dimensioni dello spazio attraverso le coordinate x, y e z aventi come origine del sistema di riferimento proprio la posizione dello scanner. Le differenti caratteristiche dei materiali rilevati sono evidenziate da un valore di riflettanza tipico degli stessi, identificato da un parametro cromatico RGB acquisibile con una fotocamera digitale incorporata allo strumento di rilevazione o anche esterna ad esso.

Il grado di dettaglio della rappresentazione grafica scaturisce dall'impostazione dei parametri di risoluzione per l'acquisizione dei dati, dalla quale dipende la discretizzazione geometrica dell'oggetto rilevato.

Rispetto ad altre tecniche di rilievo, quella del Laser Scanner 3D non ha carattere soggettivo, non vengono cioè prescelti solo alcuni punti caratteristici dell'oggetto da rilevare, ma oggettivo, riferendosi a tutto quanto è presente nel campo d'azione del segnale inviato dallo strumento. Questa applicazione si rivela particolarmente adatta per il rilievo e la rappresentazione spaziale di manufatti particolarmente complessi, fragili o sensibili al contatto, e di ambienti difficilmente documentabili, per la loro complessità o estrema irregolarità, o difficilmente raggiungibili o addirittura inaccessibili.

Il rilievo procede attraverso una serie di scansioni, ognuna delle quali produce una nuvola di punti che descrive parzialmente l'oggetto. Per una completa rappresentazione grafica dell'oggetto si pianificano diverse scansioni secondo angolature che consentano una adeguata sovrapposizione delle diverse immagini ottenute. Le registrazioni prodotte sono riferite ad una rete di target fortemente riflettenti e posizionati strategicamente sulla superficie dell'oggetto in osservazione. Qualora la particolare conformazione del sito non consenta il posizionamento di un numero sufficiente di target, i riferimenti ripiegano su punti caratteristici naturali quali spigoli, punte, fessure, buchi e qualsiasi altro elemento fisso possa essere presente entro l'ambito di interesse. Tali riferimenti vengono a loro volta ancorati, attraverso un rilievo topografico di alta precisione, alla rete di inquadramento che permette di assegnare a ciascun target le coordinate riferite al sistema prescelto.

Da quanto detto si desume che, per l'applicazione del sistema di rilevamento laser scanner 3D, si rende necessario il riferimento al metodo di rilevamento di tipo tradizionale a mezzo di stazione totale elettronica, per l'individuazione topografica dei target, e il rilievo satellitare GPS che consenta l'inquadramento cartografico del luogo.

Il modello tridimensionale, derivato dalla nuvola di punti, consente di effettuare varie operazioni tecniche:

- ottenere in automatico da qualsiasi piano di sezione e di proiezione, gli elaborati tradizionali, piante, prospetti ed innumerevoli sezioni, assonometrie e prospettive;
- "affettare" il modello tridimensionale secondo piani prescelti, consentire innumerevoli indagini, interrogazioni sull'oggetto del rilievo soprattutto in situazioni critiche, ottenere uno stato di fatto di alta precisione, più difficilmente ricavabili con metodologie di rilievo di tipo tradizionale;
- redigere fotopiani digitali applicando la documentazione fotografica direttamente sul modello, con una resa grafica eccellente;
- elaborare il modello matematico per la costruzione della mesh o l'applicazione della texture, fino alla navigazione virtuale.

La tecnica di rilevamento di precisione mediante Laser Scanner 3D presenta, rispetto alle tecniche di rilievo e restituzione tradizionale, vantaggi sostanziali:

- alta velocità di rilievo (acquisizione da 4000 a 50000 punti/sec);
- dettaglio di rilievo con risoluzione di griglia 2x2 mm;
- rilievo di oggetti con geometria molto complessa;
- rilievo di tipo non invasivo;
- rilievo di tipo oggettivo;
- generazione di elaborati in tempi relativamente brevi (piante, sezioni, prospetti).

3. Il rilievo del Santuario della Palomba (Matera)

Nata forse da una grotta preesistente sulla quale vi era già posto l'affresco della Vergine col Bambino, il Santuario di Santa Maria della Palomba è nata ufficialmente nella seconda metà del XVI secolo. Si trova a pochi chilometri di distanza dalla città di Matera, capoluogo d'arte e di storia della Basilicata (Fig. 1).

Su questa chiesa c'è però un alone di mistero e di leggenda che fa risalire l'affresco presente all'interno della basilica al XIII e al XIV secolo.

Nel 1579, infatti, dopo i festeggiamenti avvenuti per la festa della Visitazione della Vergine, la figura della Madonna



Fig. 1 – Santuario di Santa Maria della Palomba su mappa, fonte Google Maps.

avrebbe iniziato ad infondere il suo bene, compiendo miracoli nei confronti dei malati del luogo, che si ritrovarono guariti dopo poco tempo. Molti di questi fedeli ringraziarono la Madre di Gesù, lasciando delle offerte in denaro, che furono prese e utilizzate per avviare i lavori di costruzione della chiesa-santuario dedicata appunto alla Presentazione della Madonna.

La chiesa presenta un campanile a vela posizionato di fianco alla struttura e un portone con sopra la rappresentazione scultorea della *Sacra Famiglia*, opera riconducibile ad un artista di Matera.

Il rilievo e la rappresentazione del Santuario della Palomba quale atto conoscitivo del patrimonio architettonico da conservare, preservare e restaurare è un esempio significativo per sperimentare i più recenti strumenti nel campo della documentazione, della forma e del colore e per studiare delle forme di rappresentazione alternative o complementari a quelle tradizionali al fine di costruire un sistema di documentazione e conoscenza mirato e strutturato in funzione delle caratteristiche dell'opera rilevata. Conoscere non è solo documentare da un punto di vista storico-artistico, ma anche determinare con la massima accuratezza le caratteristiche di posizione, forma, geometria, materia e colore, in quanto ogni dettaglio può risultare fondamentale nella successiva definizione dell'intervento di restauro. Diventa fondamentale, per la sua rappresentazione, nel caso in cui l'opera possa aver subito fenomeni di degrado tali da necessitare di interventi conservativi oltre che della normale manutenzione, l'elaborazione tridimensionale realizzabile attraverso lo sviluppo dei dati 3D acquisiti con Laser Scanner.

Per l'esecuzione del rilievo è stato utilizzato il laser scanner HDS3000 della Leica.

Per coprire tutta la superficie del rilievo sono stati acquisiti un totale di 151.967.274 (milioni di punti) dai punti di presa (n. 26 ScanStation) posizionati come in figura 2.



Fig. 2 – Posizione geospaziale dei punti di presa (ScanStation) necessari a coprire l'oggetto del rilievo. Il rilievo con tale tecnologia ha permesso di ottenere pianta e prospetto (Fig. 3) della Chiesa.

Il rilievo con tale tecnologia ha permesso di ottenere pianta e prospetto (Fig. 3) della Chiesa della Palomba, nonché un modello tridimensionale (Fig. 4) in cui è possibile muoversi, navigare e interrogare ogni punto acquisito. Per questo sito, non è nota la presenza di elaborati cartografici acquisiti con altre tecniche.

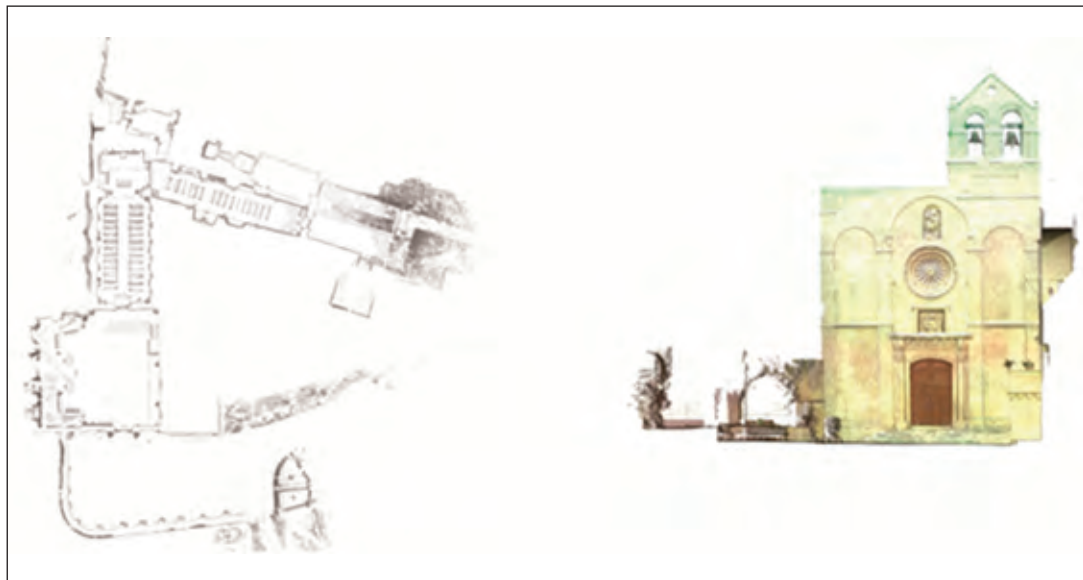


Fig. 3 – Pianta e prospetto della Chiesa della Palomba.

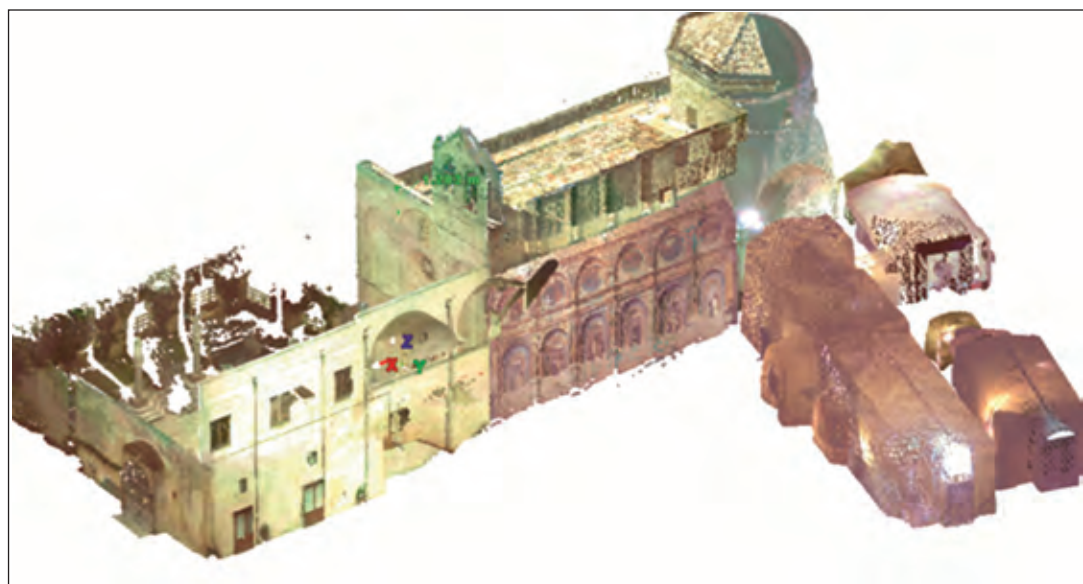


Fig. 4 – Unione delle nuvole di punti rilevate mediante laser scanner.
Nuvola di punti "colorata" con il valore RGB delle immagini orientate.

Con riferimento al modello 3D è stato possibile elaborare assonometrie (Fig. 5) e sezioni longitudinali della Chiesa della Palomba, con misure degli spessori fra la volta e il terreno esterno retrostante (Fig. 6), ed uno spaccato assonometrico sia della Chiesa che dei locali ad essa annessi (Fig. 7).



Fig.5 – Assonometria e sezione della Chiesa rupestre della Palomba.

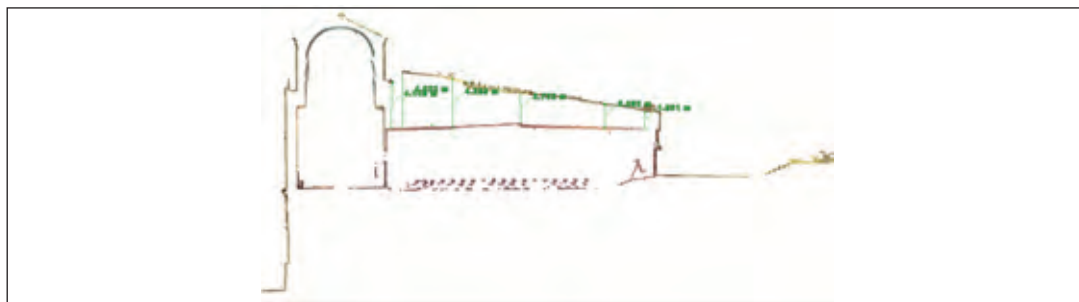


Fig. 6 – Sezione longitudinale della Chiesa rupestre con le misure degli spessori tra la volta e il terreno esterno retrostante- Spaccato assonometrico della Chiesa della Palomba, della Chiesa rupestre e dei locali annessi.

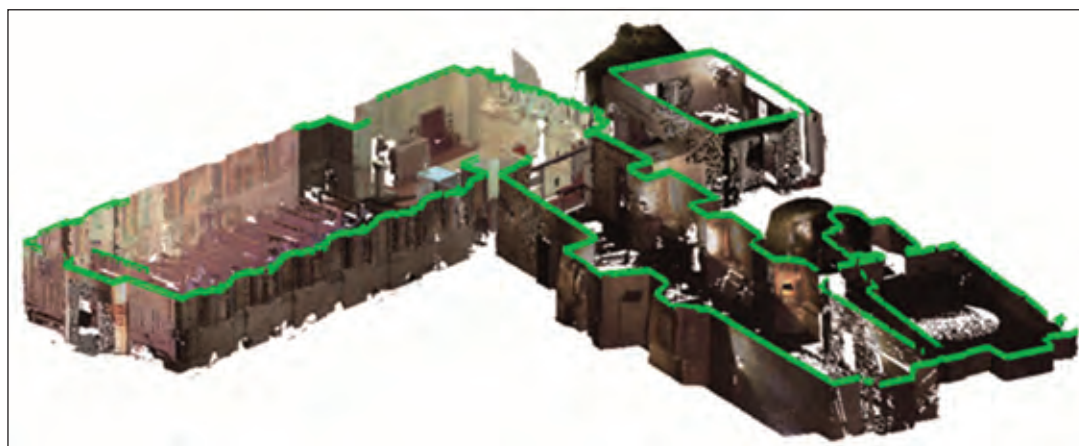


Fig. 7 – Spaccato assonometrico della Chiesa della Palomba, della Chiesa rupestre e dei locali annessi.

Per la realizzazione del modello 3D si procede:

1) con l'unione delle nuvole di punti.

Procedura esecutiva: individuazione di un unico sistema di riferimento ed allineamento delle singole scansioni mediante l'individuazione di punti omologhi presenti su coppie di nuvole e unione complessiva delle scansioni ed ottimizzazione del modello con verifica dell'errore medio.

2) con l'elaborazione delle nuvole di punti.

Procedura esecutiva:

- tracciamento di profili di sezione orizzontali dell'intero complesso della Palomba;
- tracciamento di profili di sezione verticali della Chiesa rupestre della Palomba;
- tracciamento di piani di sezione all'interno della Chiesa rupestre in corrispondenza dell'affresco da monitorare;
- realizzazione delle mesh relative alle singole nuvole di punti e loro unione;
- proiezione delle immagini fotografiche sulle nuvole di punti;
- applicazione delle texture al modello tridimensionale.

3) Calibrazione fotografica e mappatura (texture mapping).

La fase di calibrazione fotografica e di mappatura (texturing, fase mostrata in Fig. 8) conclude la fase di restituzione e consiste principalmente nell'ancoraggio delle foto digitali sul modello tridimensionale, utiliz-

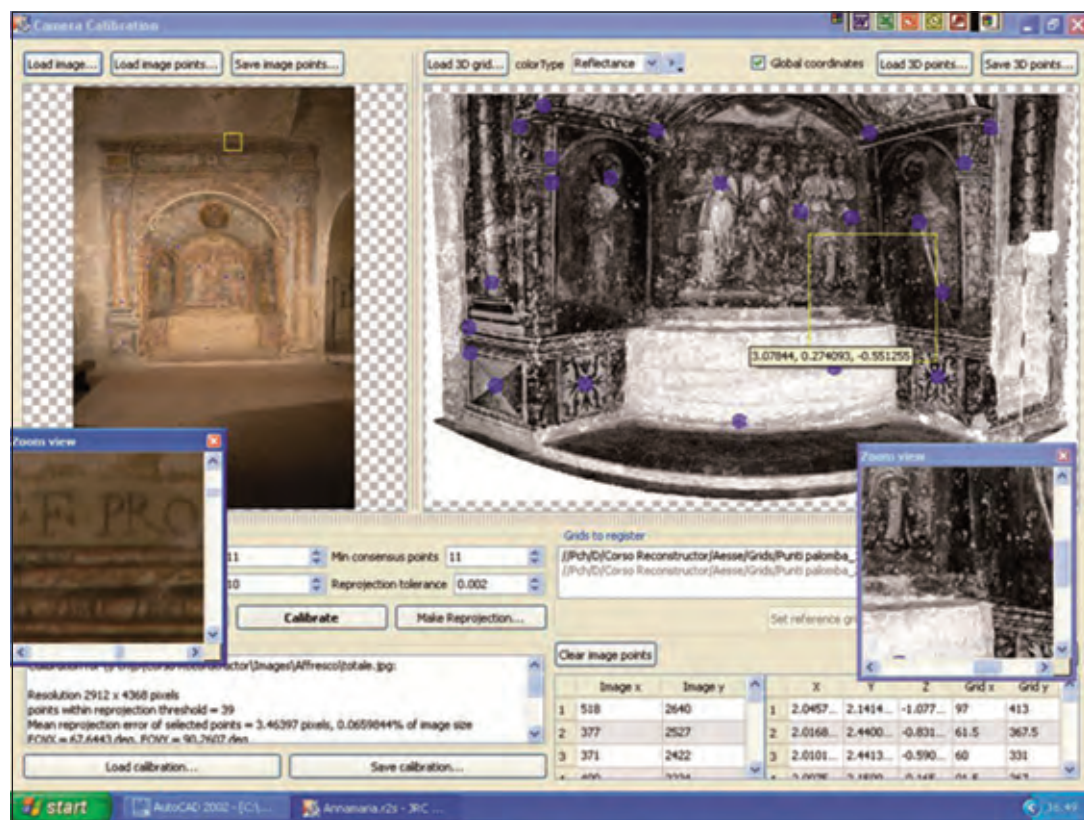


Fig. 8 – Fase di calibrazione fotografica.

zando particolari parametri ed elaborati algoritmi di calcolo che permettono una completa copertura fotografica e cartografica 3D del monumento rilevato. È possibile muoversi direttamente all'interno o all'esterno dell'oggetto rilevato, in un ambiente tridimensionale completamente autogestito. Allontanarsi e avvicinarsi ad un oggetto, godere di punti di osservazione inediti, analizzarne i dettagli e richiedere in tempo reale informazioni di qualsiasi genere e forma (fotografie, schede tecniche, documenti audiovisivi, disegni tecnici, relazioni di indagini non invasive), sono le caratteristiche salienti di uno strumento e di una procedura capaci di rispondere alle più svariate esigenze e a molteplici possibilità di utilizzo.

La Fig. 9 mostra un esempio di proiezione fotografica di un affresco sul modello 3D.



Fig. 9 – Proiezione fotografica sul modello tridimensionale.



Fig. 10 – Ipogei di piazza Vittorio Veneto su mappa, fonte Google Maps.

È possibile, attraverso una corretta pianificazione, monitorare lo stato di conservazione e successive trasformazioni dell'affresco, dimostrando come il metodo di rilievo laser costituisca, non solo un eccezionale mezzo di conoscenza, ma anche uno strumento indispensabile per rispondere alle esigenze di tutela del patrimonio artistico e monumentale nazionale.

4. Il rilievo degli Ipogei di Piazza Vittorio Veneto (Matera)

Gli ipogei di Piazza Vittorio Veneto rappresentano il “cuore nascosto” dell'antica città di Matera. Celati alla fine del '700 al termine dei lavori di costruzione del Monastero dell'Annunziata, sono tornati alla luce con i lavori della Piazza Vittorio Veneto nel 1994, in pieno centro città (Fig. 10).

La comunità ha capito che la valorizzazione dei suoi beni storici rappresenta per Matera un obbligo ed una opportunità.

La città dei Sassi Patrimonio Unesco, trova negli Ipogei il suo punto di accoglienza primario per rappresentare in sintesi la sua architettura scavata, le sue più spettacolari cisterne per la raccolta dell'acqua, le chiese rupestri affrescate, i palmenti e le residue torri e mura di difesa.

Per l'esecuzione del rilievo è stato utilizzato il laser scanner HDS3000 della Leica.

Per coprire tutta la superficie del rilievo sono stati acquisiti un totale di 71.178.306 (milioni di punti) dai punti di presa (n. 62 ScanStation) posizionati come in Fig. 11.



Fig. 11 – Posizione geospaziale dei punti di presa (ScanStation) necessari a coprire l'oggetto del rilievo.



Fig. 12 – Nuvola di punti con caratteristiche cromatiche (RGB): vista di Piazza Vittorio Veneto e degli Ipogei.

Tra gli elaborati generati, in Fig. 12 è mostrato il modello 3D che consente di vedere la collocazione degli ambienti nello spazio, di misurare gli strati delle pareti di “tufo” (calcarenite) che distanziano i tre livelli di ipogei sovrapposti e lo spessore delle mura. È chiaro che tale immagine è “statica”, nel senso che ferma un momento di navigazione virtuale nel modello 3D in un punto voluto per vedere alcune determinate caratteristiche piuttosto che altre, che possono a loro volta essere ricavate scegliendo altre viste sempre all’interno di un modello tridimensionale.

Il sistema permette inoltre di ottenere viste RGB in modalità silhouette (Fig. 13), riproduzione grafica bidimensionale del contorno di un oggetto o di ogni altra figura rappresentabile.



Fig. 13 – Nuvola di punti in visualizzazione modalità Silhouette (RGB): vista parte Ipogei.

5. Il rilievo di un tratto del Torrente Gravina di Matera

In Puglia e in Basilicata, parte del territorio si caratterizza per la presenza di gravine, ovvero solchi profondi dalle pareti subverticali ed incassate nelle rocce calcaree, scavate da corsi d’acqua, attualmente effimeri, presenti sul versante jonico delle Murge.

La Gravina di Matera, in particolare, nasce dalla confluenza nei pressi della città dei torrenti Gravina di Matera e Jesce, provenienti, rispettivamente, da Altamura e da Santeramo. L’effetto visivo è di particolare suggestione: si presenta, infatti, come una profonda incisione dalle pareti scoscese, alte decine di metri dal fondo valle, lungo le quali è possibile osservare la successione delle rocce formatesi durante l’evoluzione geologica dell’area. Tutto il Torrente Gravina si presenta come un’area ad alta vocazione naturalistica, e una parte del torrente Gravina è parte integrante del Parco della Murgia Materana.

Per l’esecuzione del rilievo è stato utilizzato il laser scanner RIEGL VZ-400.

Per coprire tutta la superficie del rilievo sono stati acquisiti un totale di 55.350.841 (milioni di punti) dai punti di presa (n. 4 ScanStation) posizionati come in figura 14.

La Fig. 15 mostra la nuvola di punti con le loro caratteristiche cromatiche RGB estratta dalla navigazione nel modello tridimensionale. La Fig. 16 riporta per la stessa area la tradizionale foto terrestre sulla quale non è possibile eseguire alcun tipo di misura in automatico.

In Fig. 17 è rappresentata una sezione trasversale prospettica del torrente Gravina, in cui il dato RGB è sovrapposto alla nuvola di punti.

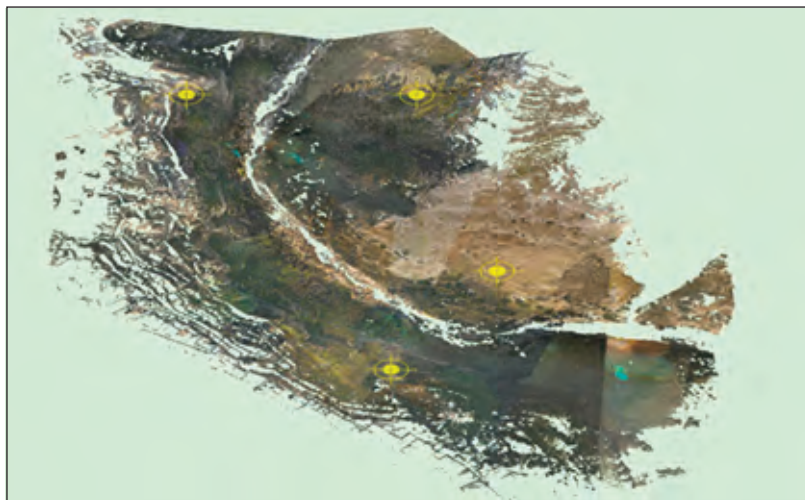


Fig. 14 – Posizione geospaziale dei punti di presa (ScanStation) necessari a coprire l'oggetto del rilievo.



Fig. 15 – Nuvola di punti con caratteristiche cromatiche (RGB): vista Torrente Gravina.



Fig. 16 – Foto: vista Torrente Gravina.

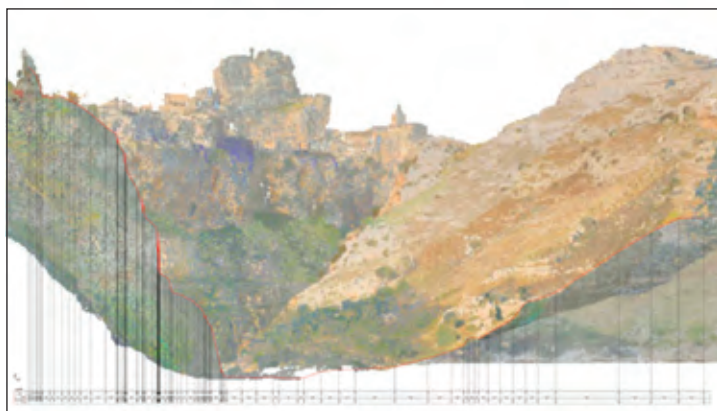


Fig. 17 – Nuvola di punti con caratteristiche cromatiche (RGB): sezione trasversale prospettica Torrente Gravina.

6. Obiettivi di tutela e valorizzazione con tecnologia Laser Scanner 3D

I tre cast presentati e l'introduzione alla tecnologia laser scanner 3D consentono di raggiungere obiettivi di tutela e valorizzazione di aree naturali e beni storici, architettonici, archeologici, culturali, tanto più che tale strumento non realizza solo elaborati statici ma anche tour virtuali con tutta l'informazione cartografica associata, utilizzando appositi software di post-processing, e quindi successiva pianificazione degli interventi e fruizione dei beni.

7. Conclusioni generali

Il lavoro svolto ha avuto lo scopo di presentare, attraverso tre casi test, come il rilievo Laser Scanner 3D consente di avere informazioni cartografiche uniche, che si affiancano e non si sostituiscono a quelle tradizionali, che consentono il recupero, la valorizzazione e la fruizione di beni naturali e culturali.

8. Bibliografia

Convegno Nazionale SIFET, Le nuove frontiere della rappresentazione 3D, Prof. Fulvio RINAUDO, CORSO DI AGGIORNAMENTO "10 ANNI DI LASER SCANNER TERRESTRE", 2006.

DABIT Ricerche, Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento DABIT, "La ricerca e le attività di formazione nel biennio 2005-2006).

Innovazione e Tecnologia:Le nuove frontiere del MiBAC, Lucca 20-22 ottobre 2011.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 18 agosto 2006, n. 3541, "*Disposizioni urgenti per la messa in sicurezza della Domus Aurea*" di Roma.

<http://www.acitoandpartners.it>.

<http://www.lacittadelluomo.it>.

www.leica-geosystems.it/it/Leica-ScanStation-C10_79411.htm.

www.microgeo.it/Laser-Scanner.

<http://www.viaggispirituali.it>.