Elaborazioni topografiche e di nuvole di punti con l'utilizzo del software Strato®

Il rilievo integrato del castello di Melfi

*Giuseppe Furfaro**

Il castello di Melfi (PZ) sorge su un colle vulcanico nella parte settentrionale del Vulture ed è un monumento della Basilicata di proprietà dello Stato italiano tra i più importanti castelli medievali del sud Italia. La sua fondazione risale al periodo normanno e il castello ha subito notevoli modifiche nel corso del tempo, soprattutto in epoca angioina e aragonese. E' caratterizzato da una pianta a poligono irregolare rafforzata da ben dieci torri di cui sette rettangolari e tre pentagonali.
Il castello di Melfi è dotato di quattro ingressi, di cui solo uno è tuttora agibile. Il Museo, ubicato nel castello, ospita reperti riferibili agli avvenimenti storici del Vulture ad iniziare dal Neolitico fino all'avvento dei romani (III sec. a.C.).
I cortili e gli ambienti rilevati non sono aree attualmente utilizzate per l'esposizione museale e alcune, come la Torre di Marcangione, sono oggetto di ristrutturazione.

Figura 1 - Il castello di Melfi

Figura 2 - L'ingresso al castello

Scopo del lavoro descritto nel presente articolo è stato quello di eseguire dei rilievi e indagini specialistiche del castello di Melfi (Figure 1 e 2), finalizzati alla redazione di un progetto definitivo occorrente per un appalto integrato [1] da porre a base di gara. Il lavoro si è svolto su una superficie di circa 5.000 m².
Eseguita una accurata ricognizione dei luoghi è emersa subito l'impossibilità di utilizzare strumentazione satellitare per la scarsa disponibilità di ampie zone aperte.
Per questo motivo è stato necessario utilizzare attrezzatura topografica tradizionale e un laser scanner.
La prima per eseguire delle poligonali che facessero da rete di inquadramento per tutte le attività topografiche e la seconda per il rilievo delle facciate, degli interni (cortili, stanze, ecc.) e per le realizzazione di un modello tridimensionale del castello.

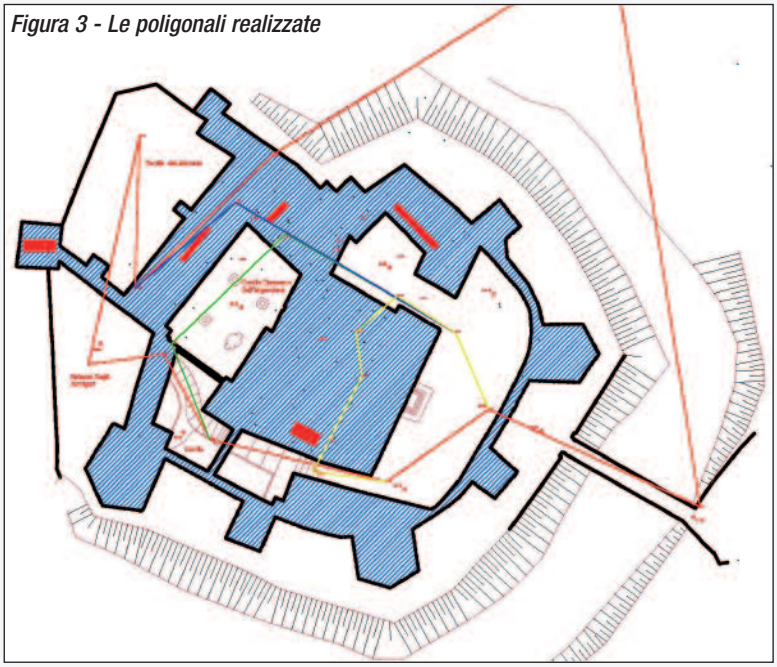
La strumentazione utilizzata e la modalità di esecuzione dei rilievi

La strumentazione topografica utilizzata consiste in una stazione totale motorizzata LEICA TCRP 1201 con precisioni angolari 1" (0,3 mgon), distanze 2 mm+2 ppm, distanziometro laser con puntatore visibile per le misure senza riflettore, portata 700 m, precisione 5 mm+2 ppm, puntamento automatico ATR e funzione PowerSearch, abbinata ad una coppia di kit poligonale formata da basetta adattatore con piombo laser, miniprisma di precisione con treppiedi.

1) - Si chiama così quando un appalto contempla l'integrazione di più interventi, comunque combinati, da realizzare nello stesso sito.

Tutte le poligonali sono state eseguite a centramento forzato eseguendo due strati per le letture angolari (questo perché i lati sono molto corti e sarebbe stato inutile aumentare il numero degli strati) e misurando le distanze quattro volte: due sul dritto e due sul capovolto di ogni Strato®.
Siccome il lavoro si è svolto su un'area protetta dalla Sovraintendenza delle Belle Arti, i vertici sono stati materializzati mediante piccola incisione su pavimentazione e marcatura con matita per non lasciare tracce su un monumento di così elevato interesse artistico.
Il tempo impiegato per il rilievo delle poligonali è stato di due giorni lavorativi con l'impiego di tre operatori.
In particolare sono state realizzate tre poligonali (Figura 3): la poligonale 1 chiusa su se stessa è composta da dieci lati con uno sviluppo complessivo di 418,939 m e presenta un errore di chiusura di 0,003 m; la poligonale 2 è vincolata sui vertici 1 ed 8 della poligonale 1, è composta da quattro lati con uno viluppo complessivo 100,237 m ed è caratterizzata da un errore chiusura di 0,005 m; la poligonale 3 è vincolata sui vertici 2 ed 1 della poligonale 1, ha sei lati con uno sviluppo complessivo 80,239 m ed un errore chiusura di 0,001 m.

Figura 3 - Le poligonali realizzate



L'esecuzione dei calcoli

I calcoli sono stati eseguiti con il programma Strato® della Carazzai Srl. E' un software, interamente italiano, dedicato alla topografia e alla progettazione stradale e ferroviaria. E' composto da 12 moduli differenti che interagiscono fra loro.
In particolare il modulo topografico di Strato® "Libretti di Campagna", permette oltre allo scarico dei dati direttamente dalla stazione totale con il calcolo delle riduzioni degli strati misurati anche compensazioni geodetiche e topografiche sia con metodi empirici che rigorosi ai minimi quadrati, ecc. (Figura 3).
Come prima operazione è stato eseguito il calcolo e la compensazione della poligonale 1. Successivamente sono state calcolate e compensate le altre due poligonali, tenendo fermi i valori delle coordinate compensate dei vertici sui quali sono state appoggiate.
Dai vertici delle poligonali sono stati lanciati 31 vertici isolati necessari per la celerimensura e, per controllo, 20 di questi vertici isolati sono stati battuti da due vertici della poligonale e presentano uno scarto massimo di 0,007 m.

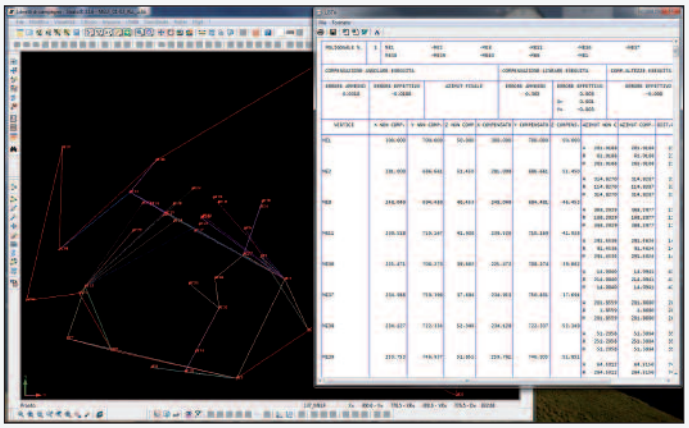


Figura 4 - Il modulo "Libretti di campagna" di Strato®

Un totale di 141 target B/N, distribuiti sull'intera area da rilevare sia in parti interne che esterne del castello, sono stati rilevati e utilizzati successivamente per l'elaborazione della nuvola di punti.

I rilievi con il laser scanner

Lo strumento laser scanner utilizzato, FARO Focus 3D, presenta delle particolari caratteristiche che lo hanno reso praticamente adatto allo svolgimento del rilievo in questione (Figura 4).
Le caratteristiche tecniche principali del laser scanner FARO Focus 3D sono:

- tecnica di rilievo a differenza di fase, che consente una estrema velocità nel rilievo raggiungendo una velocità massima pari a 976.000 punti/s ed una distanza massima rilevabile in condizioni ottimali pari a 120 m che in condizioni di utilizzo normali si riduce a circa 60 m;
- una buona precisione nella determinazione delle coordinate di ciascun punto rilevato, nell'ordine di alcuni millimetri, a seconda delle caratteristiche dell'oggetto rilevato (tipo di materiale dell'oggetto), delle modalità logistiche di rilievo (distanza dello strumento dall'oggetto rilevato) e della tecnica di scansione utilizzata (numero di medie per ciascun punto rilevato, utilizzate per la riduzione dell'errore);
- fotocamera ad alta risoluzione integrata nello strumento collocata coassialmente all'emettitore laser in modo da eliminare l'effetto parallasse tra nuvola di punti ed acquisizione fotografica per l'attribuzione del colore (valore RGB) al punto;

Figura 5 - Il Laser scanner, stazione totale e target

- ampio campo di acquisizione, 305° verticali per 360° orizzontali;
- inclinometro integrato con ampio range di utilizzo pari a ± 5°, il quale consente di correggere l'inclinazione dello strumento in fase di acquisizione;
- ridotte dimensioni dello strumento con peso di 5 kg e sistema di gestione integrato tramite pannello a colori touchscreen.

Durante le operazioni di rilievo sono state eseguite 174 scansioni laser scanner per un totale di circa quattro miliardi di punti acquisiti.
Per l'allineamento delle scansioni e loro georeferenziazione sono stati utilizzati appositi target sia di tipo radiometrico, scacchiere B/N, che di tipo geometrico, sfere, i quali hanno consentito l'allineamento delle scansioni in un unico sistema di riferimento.
I target rilevati per via topografica, hanno consentito anche un miglior allineamento e posizionamento globale delle singole scansioni.
Per l'esecuzione del rilevo si è tenuta una risoluzione della nuvola di punti finale di circa 5 mm, in modo da ottenere una nuvola di punti sufficientemente densa per produrre ortofoto ed elaborati grafici derivati aventi scala nominale pari a 1:100/1:50.
Per questa attività di campagna sono stati necessari cinque giorni lavorativi, mentre per l'elaborazione dei dati e la produzione dei documenti richiesti sono state impegnate tre persone per circa un mese.

L'elaborazione delle scansioni del laser scanner

I dati salvati all'interno della scheda SD che viene utilizzata dallo strumento per il salvataggio dei file sono stati copiati all'interno della memoria del PC.
I file delle scansioni sono stati importati all'interno del software FARO Scene dove si è proceduto alla fase di allineamento delle scansioni.
Si è deciso di collimare manualmente i target B/N e le sfere tramite la modalità di visualizzazione quickview per ciascuna scansione, che permette di navigare la singola acquisizione laser con modalità panoramica visualizzandone la sola riflettanza in scala di grigi.
Il software Faro Scene provvede automaticamente al riconoscimento dei target e piani omologhi ed ad associare i target acquisiti dal laser con le coordinate dei target rilevati per via topografica.
Terminata la fase di allineamento e controllata la qualità generale della georeferenziazione del rilievo laser scanner si è proceduto ad applicare il colore (RGB) acquisito dalla fotocamera interna dello strumento, che grazie alla calibrazione fotogrammetrica ed alla coassialità con l'emettitore laser, permette di ottenere una precisione nell'attribuzione del colore al singolo punto migliore del pixel ottenendo così una colorazione precisa ed omogenea della nuvola di punti.
La nuvola di punti, esportata dal software Scene in formato .XYZ, è stata importata nel modulo "planimetrie e assi" del software Strato® con il comando "apri coordinate Laser Scanner". Tale modulo riesce ad importare e gestire oltre 3 miliardi di punti. Sono state individuate le posizioni geometriche delle sezioni e sono poi state estratte delle porzioni di nuvola, aventi spessore adeguato, necessarie alla vettorializzazione della sezione stessa. Il modulo permette di esportare la sezione sia in formato ASCII (.dxf e .csv) tale da essere lavorato in ambiente CAD, che esportato nel modulo "Sezioni in Galleria" permette la visualizzazione e la stampa. Per l'elaborazione finale, dalla quale estrarre ortofoto e sezioni dalla nuvola di punti laser scanner, si è utilizzato anche il software JRC Reconstructor, che importa le nuvole di punti con informazione del colore. Si è poi proceduto alla definizione dei piani di sezione e alla proiezione delle singole ortofoto.
Per queste ultime, definito il piano, orizzontale o verticale, delle sezioni si imposta la profondità, intesa come distanza dal piano. Definita quindi la geometria di proiezione è necessario stabilire il parametro metrico

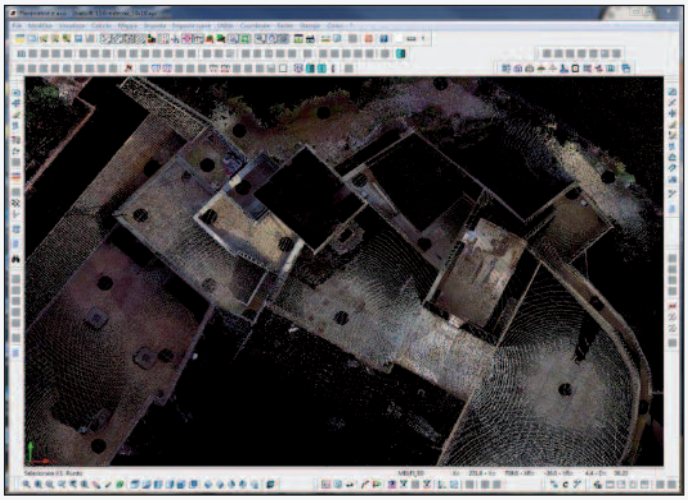


Figura 6 - La planimetria della nuvola di punti

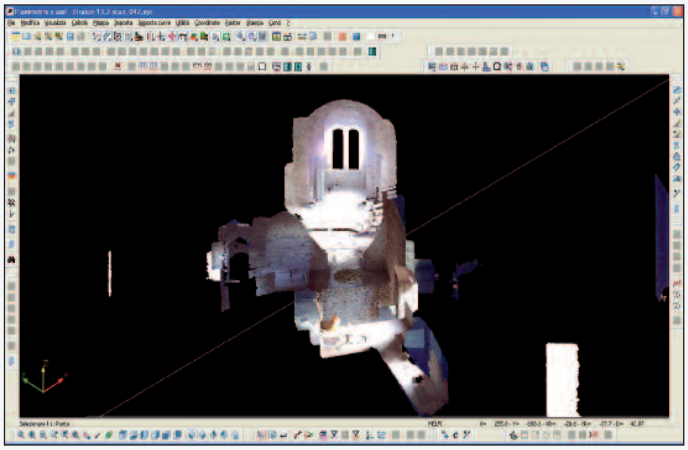


Figura 7 - Una vista tridimensionale

dell'ortofoto impostando la dimensione del pixel. Per il rilevo in questione le ortofoto sono state generate con una risoluzione pari a 5 mm/pixel.
Le ortofoto così generate ed esportate in formato tiff, assieme ai file ancillari, sono state importate in ambiente CAD attraverso l'applicativo PointCloud della Kubit che permette la disposizione automatica dell'ortofoto nell'ambiente di lavoro cad georeferenziata nello stesso sistema di riferimento utilizzato nelle scansioni laser scanner e di conseguenza nelle sezioni delle nuvole di punti.

La redazione degli elaborati

Per la redazione dei classici elaborati grafici: piante prospetti e sezioni, alla scala nominale 1:100 ed 1:50 sono state utilizzate le ortofoto generate da nuvola di punti laser scanner colorata, attraverso le immagini ad alta risoluzione acquisite dal laser scanner contestualmente alla nuvola di punti (Figura 5).
Grazie al corretto posizionamento dell'orto-immagine per la redazione delle sezioni grafiche nelle quali è da rappresentarsi anche la parte prospiciente il piano di sezione, è sufficiente definire l'UCS relativo al piano stesso con asse Z perpendicolare in modo da poter così digitalizzare tutte le parti necessarie alla rappresentazione dell'oggetto architettonico.
Anche per i prospetti è stato sufficiente definire un UCS relativo al piano di proiezione dell'orto-immagine in modo da poter restituire tutte le parti da rappresentare nella corretta posizione e scala metrica.
Parte del castello e nello specifico i due cortili bassi (spiazzo degli Armigeri, posta a quota 39,60 m e il Cortile Stallaggio, posto a quota 50,80 m) e l'interno della Locale Cisterna (quota 42,00 m), per

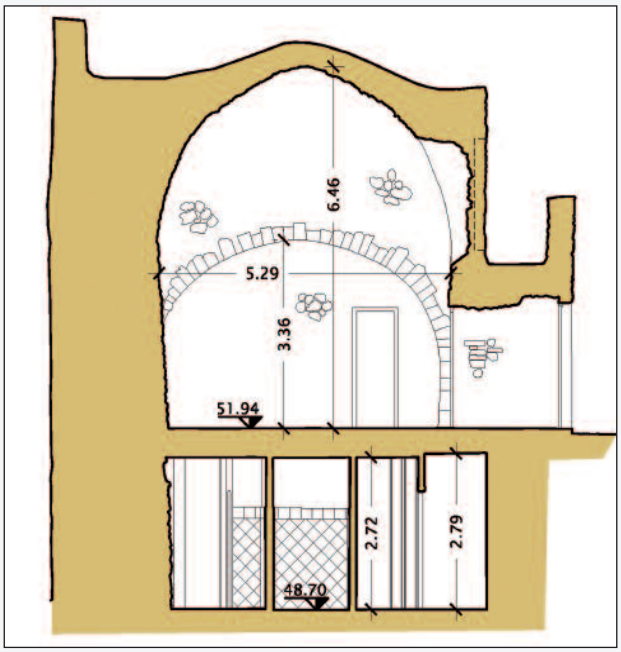


Figure 8A e 8B - La sezione 17 (8A) e l'ortofoto (8B) dell'ex corpo di guardia

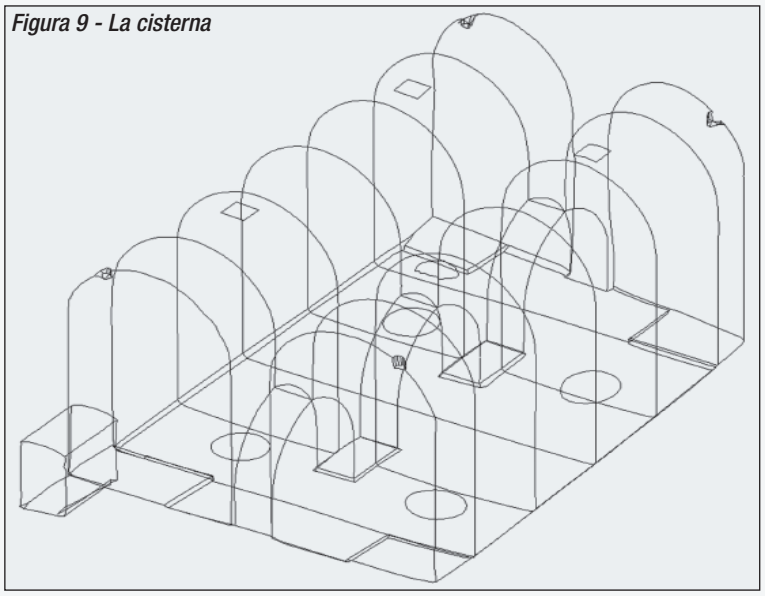


Figura 9 - La cisterna

Figura 10 - La pianta a quota 60 m della torre Marcangione

un totale di circa 1.000 m², sono stati rappresentati in 3D in ambiente CAD a fil di ferro (Figura 6).
Infine sono state eseguite sei piante a diverse quote poiché molte pareti risultavano inclinate (un esempio è riportato nella Figura 7)

Conclusioni

Questo lavoro è stato particolarmente interessante perché ha permesso di utilizzare, per il rilievo, tecniche integrate che si sono completate a vicenda senza creare problemi di compatibilità. Anche i vari programmi impiegati per la restituzione si sono dimostrati efficienti e di facile utilizzo. Tra questi merita una particolare menzione il software Strato® della Carazzai Srl. ■

** Libero Professionista e Responsabile Tecnico della Società di Topografia Srl*

BIBLIOGRAFIA

[1]. Laura Baratin e Vittorio Grassi – Topografia: teoria, applicazioni, esercizi, Ed. Pitagora.
[2]. Principi di laser scanning 3D – Bartolucci Daniele, Ed. Flaccovio.

RINGRAZIAMENTI

Per il presente lavoro hanno collaborato, oltre l'intera struttura della Società di Topografia srl di Brindisi, anche il geom. Walter Laurenti dello Studio Tecnico RPM e l'ing. Carlo Alberto Bozzi, Libero professionista e consulente.