

## **La condivisione in streaming via web di un sito archeologico rilevato con laser scanner**

Lorenzo Cavallari (\*), Tiziana Chiamone (\*\*), Massimo Dierna (\*\*), Cristian Mantelli (\*\*),  
Roberto Paderni (\*\*), Giorgio Paolo Maria Vassena (\*\*)

(\*) Gexcel srl, Via Branze 43, 25123 Brescia, lorenzo.cavallari@gexcel.it

(\*\*) Università degli Studi di Brescia, Dip. di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente,  
Via Branze 43, 25123 Brescia, giorgio.vassena@ing.unibs.it

### **Riassunto**

L'articolo descrive l'approccio al rilevamento, trattamento dati e diffusione dei risultati via internet di uno dei più importanti siti archeologici al mondo, il sito di Cafarnao, posto sul lago di Tiberiade in Terra Santa. In particolare vengono descritte le operazioni di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, il successivo trattamento dati e l'innovativa diffusione del modello tridimensionale a nuvola di punti via rete.

### **Abstract**

The paper describes the approach to the 3D survey of one of the most important archeological site in the world, the Cafarnaum village, situated on the Lake of Tiberiade in Holy Land. In particular the 3D survey using terrestrial laser scanner, the data treatment and the sharing of the point cloud via web are detailed.

### **1. Introduzione**

Il sito archeologico di Cafarnao (vedi figura 1), sulle sponde del lago di Tiberiade in Terra Santa rappresenta uno dei più importanti siti archeologici dell'intero pianeta. All'intero di tale sito, infatti, i frati archeologi della Custodia di Terra Santa (in particolare padre Virgilio Corbo e Padre Stanislao Loffreda) hanno ritrovato quello che senza ombra di dubbio è l'antico abitato di Cafarnao dove Gesù fece base per la propria predicazione. In particolare, all'interno del sito, sono stati portati alla luce la casa di San Pietro che ospitò Gesù Cristo, con i successivi strati archeologici fino alla basilica a base ottagonale bizantina, parte del villaggio di Cafarnao e l'antica sinagoga (V secolo). Il sito, apparentemente abbandonato a causa di un sisma distruttivo, è ora visitabile e oggetto di culto da parte di numerosi pellegrini.

L'ordine dei Frati Minori (conosciuti come Francescani) della Custodia di Terra Santa, che dall'inizio del XIII secolo curano i siti sacri in "Terra Santa", hanno permesso ai ricercatori dell'Università degli Studi di Brescia, grazie ad un accordo quadro con l'azienda spin off dell'Università, Gexcel srl, di accedere al sito e di eseguire il successivo trattamento dati.

Oltre alle modalità di rilievo, complesse a causa del numero elevatissimo di scansioni tridimensionali con laser scanner effettuate, l'articolo descrive le modalità di trattamento dati ed infine, primo esempio al mondo, la distribuzione via web della nuvola di punti rilevata.

La figura 1 mostra i tre settori del sito archeologico che sono stati oggetti di rilievo. A sinistra la sinagoga; al centro una porzione dell'antico villaggio; a destra la casa di Pietro (ora sormontata dalla basilica costruita in epoca contemporanea avente anche funzione di protezione dello scavo medesimo).

## 1. La strumentazione impiegata

La strumentazione impiegata per il rilevamento è stata costituita da uno strumento FARO Focus<sup>3D</sup>. Tale sensore effettua la misura analizzando la fase del segnale, ha una portata di misura della



Figura 1. La pianta del sito archeologico di Cafarnao. A sinistra: la Sinagoga del V secolo; Al centro: parte del villaggio; A destra: la casa di San Pietro (pianta fornita dalla Custodia di Terra Santa).

distanza nominale compreso tra 60 cm e 120 metri, con un'accuratezza nella misura di distanza dell'ordine di  $\pm 2\text{mm}$  a 25 metri e una risoluzione angolare pari a  $0,009^\circ$ . Il campo visivo verticale è pari a  $305^\circ$ , il campo visivo orizzontale è pari a  $360^\circ$  e la velocità di acquisizione dei punti è pari a 976.000 punti/sec. Lo strumento è caratterizzato da una memoria interna per l'immagazzinamento del dato misurato; i parametri di scansione possono essere regolati tramite un display touch screen integrato nello strumento (non richiede dunque l'impiego di un computer portatile in campagna per l'impostazione delle attività di rilevamento). Il peso particolarmente contenuto, pari a 5 kg (inclusa la batteria interna), ne permette un agile impiego sul campo richiedendo per la messa in stazione un semplice treppiede fotografico (e non un ingombrante treppiede topografico).

Particolarmente interessante di tale strumento è la presenza di una camera digitale coassiale al raggio di misura del laser, che permette di associare ad ogni punto tridimensionale misurato un valore di colore RGB. D'altro canto la risoluzione di 70 megapixel è elevata, ma la regolazione automatica della luminosità (unica per ogni scansione) può in certi casi non fornire una qualità dell'immagine ottima e dunque richiedere degli aggiustamenti tramite programmi di fotoritocco.

A riguardo della scelta della strumentazione si osserva che la leggerezza dello strumento rende estremamente agevoli le operazioni di scansione, coadiuvate dalla presenza di un compensatore interno in grado di misurare la direzione della verticale.

Il fatto che l'immagine acquisita dallo strumento risulti coassiale al raggio *laser* di misura, semplifica le operazioni di trattamento dati e di acquisizione, eliminando alla radice i problemi di coassialità tra raggio laser e immagine acquisita.

## 2. Progettazione ed esecuzione delle operazioni di rilevamento

L'obiettivo del rilevamento era di realizzare un rilievo tridimensionale estremamente dettagliato dell'intero settore del sito archeologico mostrato in figura 1, con una densità di punti dell'ordine di un punto ogni 2-3 mm. L'estrema irregolarità del sito, in particolare delle murature a sacco che compongono sia la casa di San Pietro che il settore di villaggio antico posto tra quest'ultima e la sinagoga del V secolo, ha imposto un approccio che prevedesse un numero assai elevato di scansioni. In tal modo si è potuto essere certi di andare a mappare l'intera superficie delle murature

(vedi figura 2) e delle pavimentazioni. Tale progetto di rilievo prevedeva, e così è stato fatto, di operare con risoluzioni di scansione di valore medio, considerata la distanza tra strumento e superficie rilevata generalmente dell'ordine di 2-3 metri al massimo. In ogni modo la risoluzione delle scansioni è stata mantenuta variabile, caso per caso, in modo da garantire una densità del rilievo dell'ordine già citato.



Figura 2.: Un'immagine che mostra l'estrema articolazione del sito archeologico.

Le operazioni di scansione e di pre-allineamento (eseguite contestualmente alla fase di acquisizione), hanno richiesto la permanenza sul campo di due operatori per 30 giorni complessivi. Dal punto di vista procedurale le scansioni venivano pianificate sia in funzione di una totale copertura del sito archeologico, ma tenendo in conto di mantenere una elevata sovrapposizione tra scansioni adiacenti sia l'orario di acquisizione (in modo che le acquisizioni fotografiche - effettuate dallo strumento successivamente alla scansione tridimensionale - non venissero effettuate in condizioni critiche di illuminazione).

Una volta conclusa la giornata di acquisizione sul campo, si provvedeva nelle ore serali o il giorno successivo al pre-allineamento tra scansioni, effettuato individuando 3 punti comuni tra scansioni adiacenti. Tale elaborazione è stata effettuata impiegando in primo luogo il programma FARO SCENE ed in cascata il software *JRC 3D Reconstructor*® sviluppato dall'azienda Gexcel, spin off dell'Università di Brescia e partner del progetto.

### 3. Trattamento dei dati rilevati

Il dato acquisito dal sensore laser scanner (composto dalla scansione tridimensionale e dalla sequenza di immagini digitali) è stato in primo luogo trasferito su una *work station*, dotata di processore a 64 bit e scheda grafica basata su processore NVIDIA GeForce. Per il primo trattamento dati, consistente nella verifica della qualità e in un primo filtraggio del dato, si è impiegato il *software* FARO SCENE fornito dal costruttore del *laser scanner* e dato contestualmente allo strumento di misura. Il passaggio successivo ha visto impiegare un'apposita APP di *JRC 3D Reconstructor*® che fa apparire una icona all'interno di FARO SCENE e che permette di trascinare con efficienza e rapidità nel software *JRC 3D Reconstructor*® le scansioni scaricate dal sensore Focus<sup>3D</sup>.

L'impiego dell' "APP" di Gexcel in ambiente FARO SCENE, ha rappresentato il primo test della prima APP prodotta da un'azienda per FARO, seguendo la nuova filosofia di FARO che prevede

che il proprio software si colleghi a programmi esterni tramite un approccio ad applicativi in stile e filosofia di una *applet*. In particolare una volta conclusa l'intera unione e gestione delle scansioni (come illustrato in seguito), è stato possibile ripopolare con le scansioni l'archivio web-Share di FARO, impiegando come formato di interscambio dati il formato E57.

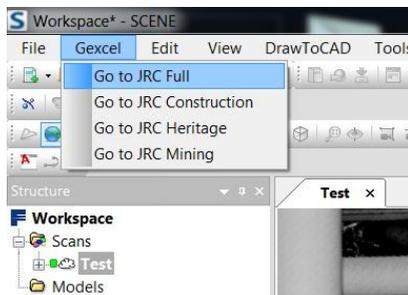


Figura 3. Come appare la App di JRC 3D Reconstructor® all'interno di FARO SCENE.

All'interno di JRC 3D Reconstructor® le scansioni sono state preallineate e in seguito unite impiegando l'algoritmo ICP presente nel software ottenendo i seguenti risultati per ognuno dei tre settori:

Settore rilevato	Scarto minimo	Scarto massimo	Scarto medio
Casa di S. Pietro	1,0 mm	2,2 mm	1,2 mm
Villaggio	0,9 mm	3,7 mm	2,5 mm
Sinagoga	1,0 mm	3,2 mm	1,7 mm

Tabella 1. I risultati dell'applicazione dell'algoritmo ICP tra scansioni adiacenti.

Al fine di verificare e migliorare la qualità dell'allineamento, si è testato il nuovo algoritmo di bundle adjustment applicato alle nuvole, presente in JRC 3D Reconstructor®. Tale algoritmo ha permesso di ben operare fino ad un limite di circa 20 scansioni in media risoluzione. Oltre tale numero di scansioni i tempi di calcolo si sono allungati in modo tale da rendere inapplicabile l'applicazione di tale algoritmo, per lo meno nella configurazione attuale di implementazione.

In totale sono state acquisite 289 scansioni e, al fine di ridurre le dimensioni della nuvola di punti si è in primo luogo realizzata, dopo l'allineamento, un'operazione di *editing* sulle nuvole strutturate, al fine di minimizzare le zone di sovrapposizione tra scansioni adiacenti. Per ciò che riguarda la qualità delle immagini si è operata una equalizzazione delle immagini impiegando programmi di *editing* grafico.



Figura 4. Il modello a nuvola di punti della sinagoga senza correzioni alle immagini.

Il modello a nuvola di punti che impiega il dato senza correzioni radiometriche (vedi figura 4) è stato notevolmente migliorato ottenendo il risultato di figura 5.

Le nuvole sono state dunque destrutturate, sottocampionate e trasferite nell'ambiente *gexcel R<sup>3</sup>*®, che permette la gestione di nuvole di punti senza limite di dimensioni (vedi figura 6). Questo processo ha permesso di creare un modello tridimensionale a nuvola di punti, gestibile su singolo computer, con fluidità e con una qualità della immagine incrementabile grazie alla funzione *Pull-Push*.

Tale funzione permette di gestire opportunamente le dimensioni dei punti colorati della nuvola di punti e la loro interazione, in modo da realizzare una visualizzazione che ha una qualità assai prossima a quella ottenibile realizzando una mesh e proiettando su tale superficie l'immagine fotografica in alta risoluzione (approccio classico realizzato in *JRC 3D Reconstructor*®).



Figura 5. Il modello a nuvola di punti della sinagoga dopo le correzioni alle immagini tramite programmi di editing digitale di immagini.

L'intero modello tridimensionale a nuvola di punti a conclusione della elaborazione è risultato composto da 600 milioni di punti colorati e gestiti dal software *gexcel R<sup>3</sup>*® in alta risoluzione.

All'interno del software è possibile tramite il modulo *gexcel R<sup>3</sup> solid image*® estrarre ortofoto ad alta risoluzione (vedi figura 7) ma anche file in formato proprietario importabili in Autocad® 12. Grazie ad un *plug in* sviluppato da Gexcel, tale ortofoto (immagine solida) importata in Autocad® associa ad ogni pixel dell'immagine il contenuto geometrico tridimensionale.

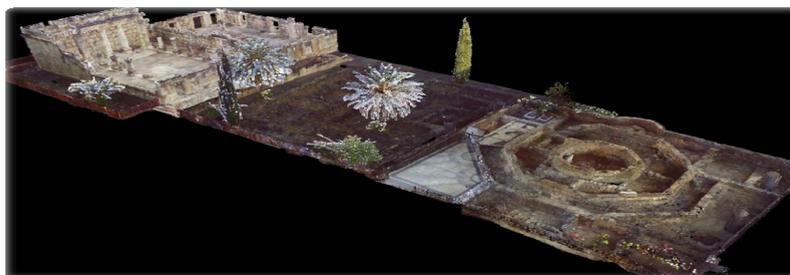


Figura 6. Immagine dell'intero modello tridimensionale del sito archeologico.

E' dunque possibile operare su un file bidimensionale, caratterizzato però da informazioni tridimensionali. L'estrazione di quote, profili, sezioni diventa dunque assai semplice e intuitiva, non richiedendo all'operatore CAD elevate capacità di lavoro in CAD tridimensionale e aprendo l'utilizzo di tale soluzioni anche a utenti non specializzati nel disegno CAD.



Figura 7. L'ortofoto in alta risoluzione 8000 pixel x 8000 pixel della casa di Pietro.

Importante sottolineare che l'estrazione dell'ortofoto può avvenire alla risoluzione desiderata, oltre il vincolo della risoluzione gestibile dalla scheda grafica. Infatti, l'estrazione dell'ortofoto viene gestita all'interno di *gexcel R<sup>3</sup>*® tramite la realizzazione di *tiles* che segmentano l'immagine nella fase di generazione e la riallineamento in fase finale.

#### 4. L'inserimento di elementi con colorazione da immagine digitale in alta risoluzione

A conclusione dell'intero processo, si è osservato che la qualità generale del rilievo di uno dei prospetti della sinagoga non presentava le caratteristiche di qualità finale desiderata. In particolare la tessitura di colore risultava poco uniforme e di qualità non soddisfacente. Si è deciso, dunque, di incrementare tale qualità sostituendo il colore originario della camera digitale del Focus con l'informazione proveniente da una camera digitale esterna.

Il processo ha visto operare inizialmente in *JRC 3D Reconstructor*®, dove per il prospetto di figura 8 si è provveduto ad estrarre una superficie a *mesh*.

Le immagini fotografiche in alta risoluzione sono state dunque calibrate e mappate sulla superficie a *mesh*, tramite l'identificazione di 11 punti omologhi tra immagine e modello tridimensionale (vedi figura 9). Conclusa la fase di mappatura e calibrazione delle immagini ad alta risoluzione si è estratta una nuvola di punti virtuale (tramite lo strumento *Virtual Scan*), uniforme e con il colore delle immagini fotografiche in alta risoluzione.



Figura 8: Prospetto della sinagoga a conclusione della prima fase di elaborazione.

Portata nel modello generale a nuvola di punti, tale settore si è integrato perfettamente, fornendo il risultato di figura 10.



- la condivisione via rete del modello tridimensionale, rende finalmente anche il modello 3D visualizzabile e interrogabile dai committenti del lavoro e non solo dall'esperto rilevatore. Fino ad ora, infatti, il rilievo tridimensionale a nuvola di punti rimaneva a disposizione solo dei tecnici topografi. Il dato RAW del rilievo *laser scanner* andava solitamente perso o dimenticato in HD impiegati unicamente nella consegna ufficiale dei lavori. Ora, invece, anche il cliente può visualizzare, interrogare, condividere il dato tridimensionale che viene visualizzato e immagazzinato in modo semplice.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia in primo luogo la Custodia di Terra Santa e in particolare i frati "custodi" del sito di Cafarnao, e tutto il personale della Custodia che ci ha permesso di accedere ai siti descritti. Un ringraziamento all'ATS (Associazione Terra Santa) ed in particolare al dott. Tommaso Saltini, che ha supportato economicamente le spese di permanenza e di viaggio. Un ringraziamento particolare all'ing. Ettore Soranzo (responsabile dell'ufficio tecnico della Custodia di Terra Santa) e alla signora Doni Ferrari (responsabile per la Custodia di Terra Santa dell'attuazione della convenzione quadro tra Custodia e Gexcel srl), per l'infaticabile supporto alle attività dei ricercatori e alle loro innumerevoli esigenze.

Si ringrazia, inoltre, l'azienda FARO, che ha messo a disposizione gratuitamente lo strumento Focus<sup>3D</sup> per l'intero periodo di rilievo.

Si ringrazia, infine, Gexcel srl per avere fornito gratuitamente il *software* di elaborazione dati e avere formato il personale dell'Università degli Studi di Brescia all'uso degli applicativi software JRC 3D Reconstructor e gexcel R<sup>3</sup>.

### **Bibliografia**

Sgrenzaroli M. (2005), "Cultural Heritage 3D Reconstruction Using High Resolution Laser Scanner: New Frontiers Data Processing", *CIPA 2005 XX International Symposium*, Torino, Italy, 26 September – 01 October, 2005.

Vassena G. (in corso di stampa), "Heritage e governance territoriale: esperienze di rilievo 3D nei processi di tutela e valorizzazione dei beni culturali" in Atti del Convegno Annuale dell'Associazione Italiana di Cartografia *La Cartografia nella valorizzazione dei beni naturali e culturali*, Archivio Antico Palazzo del Bò, Padova, 10-11 maggio 2012.

Vassena G., Sgrenzaroli M. (2007), "Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner", *Starrylink Editrice*, Brescia, ISBN: 978-88-89720-73-8 - 2007.

### **Sitografia**

[www.gexcel.it](http://www.gexcel.it)

### **Nota ai lettori**

I lettori che desiderassero fare esperienza diretta della visualizzazione in remoto dell'intero modello di Cafarnao sono pregati di contattare direttamente gli autori del presente articolo.