

Rilevamento e modellazione 3D del teatro antico di Palazzolo Acreide. Problematiche nell'elaborazione e gestione dei dati laser-scanning

Fabio Di Salvo, Mauro Lo Brutto, Paola Meli, Pietro Orlando, Benedetto Villa

DICA, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze Ed. 8, 90128 Palermo
E-mail {fabio.disalvo, lobrutto, paola.meli, pietro.orlando, bevilla}@unipa.it

Riassunto

Le procedure per la realizzazione di modelli 3D di beni culturali ad alta risoluzione richiedono in genere sia fasi di rilievo impegnative sia operazioni di elaborazione ed *editing* dei dati spesso assai onerose dal punto di vista computazionale ed operativo. In particolare, il numero enormemente elevato di punti che deriva dalla fase di acquisizione comporta in fase di elaborazione talune criticità, dovute alla difficile gestione sia del modello a “nuvola di punti” sia del modello a superficie (*mesh*). Diventa quindi fondamentale procedere ad una fase di riduzione e semplificazione dei dati che non comporti però una perdita nel livello di dettaglio. Tali problematiche sono state affrontate durante le operazioni di rilevamento del teatro antico del sito archeologico di Palazzolo Acreide (SR), finalizzato alla realizzazione di un modello 3D fotorealistico. Durante le varie fasi del lavoro sono state testate e verificate differenti procedure di triangolazione e decimazione di superfici, in modo da ottenere un prodotto facilmente gestibile per la generazione di ulteriori elaborati 2D e 3D, sotto forma di profili, sezioni e modelli *texturizzati* navigabili.

Abstract

The achievement of high resolution 3D digital models of cultural heritage usually needs both demanding survey operations and data processing procedures often very onerous from computational point of view. Particularly, the huge number of points deriving from data acquisition by laser-scanning techniques brings some problems during data processing, due to the difficult management of the point clouds model and the surface model obtained from the first. Then it is necessary to reduce and simplify acquired data, without losing any information.

These subjects were tackled during the survey operations of the ancient theatre of the archaeological site at Palazzolo Acreide (SR), directed to the achievement of a 3D rendered model. During the stages of data processing different triangle meshing and decimation procedures were tested, so that a model, more easily manageable, was obtained to produce further 2D and 3D digital drawings (plans, sections, navigable textured models), useful to the study, analysis and fruition, through web too, of the archaeological site.

Introduzione

Con il crescente sviluppo delle metodologie e delle strumentazioni nell'ambito del rilievo e della restituzione grafica è possibile ottenere elaborati bidimensionali e tridimensionali sempre più accurati, che diventano una base insostituibile per la documentazione, la conservazione e la valorizzazione di un qualsiasi bene, sia esso architettonico, archeologico o ambientale (Girardi et al., 2007).

Tra le varie tecniche quelle laser-scanning risultano le più avanzate per documentare monumenti ed edifici difficilmente rilevabili con tecniche tradizionali, spesso per la complessità e l'articolata forma geometrica (Giuffrida et al., 2005).

I sistemi laser scanner producono come risultato della sessione di misura un insieme di coordinate tridimensionali, riferite ad un sistema di riferimento intrinseco allo strumento, che definiscono quella che generalmente viene indicata con il termine "nuvola di punti", la quale descrive, con un livello di dettaglio variabile in funzione dei parametri di scansione, la superficie esterna dell'oggetto rilevato. Le "nuvole di punti" così ottenute vengono elaborate con software dedicati attraverso operazioni di filtraggio e/o ricampionamento allo scopo di migliorare il dato 3D eliminando il rumore della scansione, i punti non significativi, i punti posizionati in maniera errata, ecc.

Sebbene tale tecnologia consenta di ridurre i tempi di acquisizione, le fasi successive di processamento dati e modellazione presentano diverse problematiche, che spesso aumentano i tempi di elaborazione. Una delle criticità maggiori riguarda la riduzione della mole di dati che spesso non è possibile realizzare interamente attraverso tecniche automatiche di filtraggio. Infatti, il numero troppo elevato di dati prodotto dallo strumento spesso rende difficoltose la visualizzazione e la gestione dell'intero modello, soprattutto se non si dispone di *hardware* e *software* in grado di gestire grossi file.

Il rilievo del teatro antico del sito archeologico di Palazzolo Acreide (SR), effettuato nell'ambito di una convenzione stipulata tra UniNetLab (Sistema di Laboratori d'Ateneo dell'Università di Palermo) e il Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro della Regione Sicilia, ha costituito un interessante banco di prova per ottenere oltre a elaborati tradizionali, come sezioni e piante, anche un modello 3D da scansione laser con un elevato livello di dettaglio (risoluzione di 2 cm).

Nello studio sono state analizzate e affrontate le difficoltà riscontrate nella gestione di dati provenienti da laser scanner. In particolare, il numero enormemente elevato di punti in fase di elaborazione ha mostrato talune criticità, dovute alla difficile gestione sia del modello a nuvola di punti sia del modello a superficie (*mesh*) derivato dal primo, con l'esigenza, dunque, di procedere alla semplificazione dei dati. A tale proposito sono state testate e verificate differenti procedure di triangolazione e decimazione di superfici per la generazione di ulteriori elaborati 2D e 3D, con l'obiettivo di controllarne la precisione in relazione a determinate scale di rappresentazione (nello studio condotto si sono considerati elaborati fino alla scala 1:20).

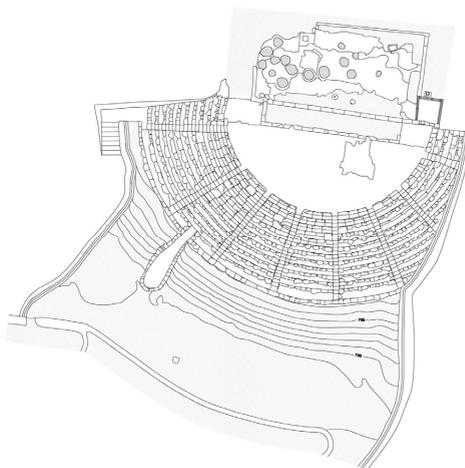
Descrizione del sito

Il teatro greco si trova all'interno della zona archeologica di *Akrai*, colonia greca fondata dai siracusani nel 664 a.c., estesa su un pianoro di circa 35 ettari, a circa 770 m dal livello del mare, tra la valle dell'Anapo a nord e quella del Tellaro a sud.

Il teatro, di modeste dimensioni (poteva contenere circa 600 spettatori), fu portato alla luce nel 1824 da Gabriele Iudica e costituisce il più rilevante monumento di *Akrai*. Esso non è scavato nella roccia ma poggia su un pendio naturale ed è delimitato da due muri di sostegno che determinano lo sviluppo dei gradini nei cunei laterali della cavea (Fig. 1).



Figura 1 – Il teatro antico di Akrai. In alto la cavea, a destra la planimetria dell'area.



Quest'ultima è costituita da 9 cunei e 12 gradini separati da 8 scale. Nella parte alta del settimo cuneo vi è una stretta galleria che collegava il teatro con il *bouleuterion*. L'orchestra, spazio in cui durante le rappresentazioni teatrali si muoveva il coro, è di forma semi-circolare e la scena, anziché sorgere al limite dell'area circolare, è molto più avanzata, con la parte frontale proprio sul diametro dell'orchestra.

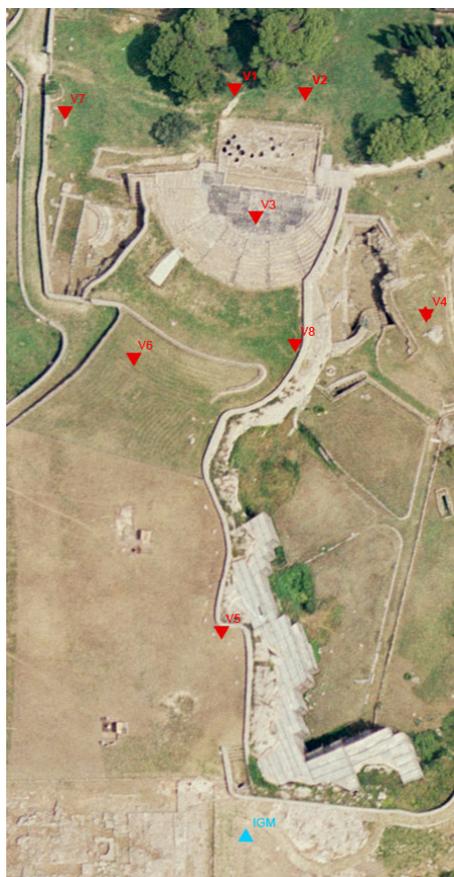


Figura 2 – Vertici della rete d'inquadramento.

Il teatro, in età romano-imperiale, subì delle modifiche con la costruzione di una nuova scena più avanzata di circa 2 metri che ridusse lo spazio dell'orchestra. In quello stesso periodo si pavimentò l'area dell'orchestra con lastre levigate in pietra, ancora in situ, e si edificò un chioschetto di cui rimane il basamento in pietra. In epoca bizantina, su un'area ricadente su una porzione della scena venne impiantato un edificio per la lavorazione del grano, come testimoniato dal ritrovamento di grosse macine e dalla presenza di una gran quantità di silos.

Le operazioni di rilevamento

Il rilievo del teatro di Akrai è stato effettuato secondo diverse fasi operative e con l'integrazione di differenti tecniche (topografiche, GPS, laser-scanning, fotogrammetriche). In una prima fase è stata materializzata e rilevata, con una stazione totale Leica 1105, avente un'accuratezza sulle misure angolari di ± 1.5 mgon e sulle distanze di $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$, una rete d'inquadramento composta da 8 vertici. La rete è stata calcolata intrinsecamente rispetto ad un sistema locale di riferimento; i valori degli s.q.m. sono risultati tutti contenuti entro ± 5 mm per le coordinate planimetriche, e ± 2 mm per la quota). Successivamente la rete è stata inquadrata nel sistema cartografico UTM-ED50, collegando tre vertici con il vertice IGM95 273902 (Palazzolo Acreide), ubicato all'interno del parco archeologico, tramite un rilievo GPS rapido-

statico (Fig. 2). La rete d'inquadratura è stata utilizzata per il rilievo dei target laser, dei punti di appoggio fotogrammetrico e di punti di dettaglio utili per le successive fasi di rappresentazione.

Per l'acquisizione della superficie del teatro è stato utilizzato un laser scanner a tempo di volo Mensi GS200 caratterizzato da una portata variabile da 2 a 200 metri e una risoluzione minima di 32 μ rad (pari a 3 mm a 100 m). Complessivamente sono state eseguite 18 scansioni da differenti punti di stazione; per le scansioni della gradinata si è utilizzato un ponteggio, in modo da posizionare lo strumento ad una quota più elevata rispetto al piano di campagna ed evitare quindi gran parte delle zone d'ombra in corrispondenza dei gradini più alti. In fase di acquisizione, le scansioni sono state impostate con una risoluzione di 1 cm a 10 metri; inoltre, si è cercato di ottenere un'elevata percentuale di sovrapposizione tra scansioni effettuate da punti stazione differenti. In totale sono stati acquisiti circa 30 milioni di punti. Per unire le varie scansioni e riferirle ad un unico sistema di riferimento sono stati utilizzati target piani retro-riflettenti in dotazione allo strumento; per ogni scansione sono stati acquisiti almeno 4 target.

I muri esterni sul lato est e sul lato ovest del teatro sono stati rilevati con l'impiego di tecniche fotogrammetriche. È stato utilizzato il sistema ZScan della Menci Software che prevede l'esecuzione di una sequenza di tre foto tramite una barra calibrata e la successiva elaborazione automatica per la generazione automatica di una "nuvola di punti" dell'oggetto fotografato, con una densità ed un livello di dettaglio molto prossimi a quelli ottenuti con le scansioni laser. Sono state eseguite 7 triplette per ogni lato, da una distanza variabile da 10 m a 20 m circa. Le immagini sono state orientate utilizzando le coordinate di alcuni target fotogrammetrici preventivamente materializzati e posizionati in modo opportuno. In questo modo è stato possibile ottenere i dati di misura nello stesso sistema di riferimento del rilievo laser. Le immagini sono state elaborate per ottenere "nuvole di punti" con risoluzione di 1 cm. Tali parti sono state quindi assemblate al modello laser precedentemente realizzato, per ottenere un modello 3D completo (Fig. 3).



Figura 3 – Modello a “nuvola di punti”.

Processamento dati

Per l'elaborazione dei dati possono essere usate differenti strategie in rapporto alla tipologia del dato, alla complessità dell'oggetto e al risultato che si vuole ottenere (Bitelli, 2002). Anche nell'ambito del rilievo archeologico esistono diversi metodi di ricostruzione della superficie dell'oggetto a partire dalla "nuvola di punti" ottenuta. Il primo metodo consiste nella creazione di un modello triangolato (*mesh*); il secondo prevede l'estrazione di sezioni e la generazione di superfici attraverso interpolazione (González Aguilera et al., 2007).

In questo caso si è optato di realizzare un modello interamente a *mesh* poiché più adatto per una rappresentazione realistica delle forme del teatro.

L'elaborazione dei dati rilevati con tecniche laser-scanning è stata condotta con i software *RealWorks* e *Geomagic Studio* ed è stata articolata nelle seguenti fasi:

- delimitazione dell'area utile per la modellazione del teatro in ogni singola scansione ed eliminazione delle parti non pertinenti (zone esterne, alberi, staccionate, ecc.);
- georeferenziazione delle scansioni nel sistema UTM-ED50, mediante i target retro-riflettenti;
- registrazione globale di tutte le scansioni per minimizzare eventuali errori residui del processo di georeferenziazione;
- unione delle scansioni, filtraggio dei punti per ridurre il "rumore" ed eliminare eventuali punti marginali, ricampionamento con un passo uniforme di 1 cm;
- suddivisione della nuvola di punti in tre parti omogenee (scena, gradinate e terrapieno superiore) per la successiva creazione delle *mesh*; tale fase è stata necessaria per ridurre i tempi di elaborazione a causa dell'elevatissimo numero di punti;
- generazione ed *editing* delle *mesh*. Per ogni singola parte della nuvola di punti del teatro è stata prodotta una superficie a forma di *mesh* triangolare. Sulle *mesh* sono stati applicati dei filtri per eliminare in maniera automatica le incongruenze geometriche e chiudere i "buchi"; in alcuni casi, per risolvere tale problema, è stato necessario intervenire con tecniche manuali;
- unione delle singole parti e produzione del modello 3D complessivo a superfici (*mesh*) ad alta risoluzione;
- produzione di un nuovo modello a superfici *mesh* a risoluzione più bassa (pari al 20% del modello di partenza), ottenuto dal precedente modello a *mesh* con decimazione a priorità di curvatura; tale superficie è stata utilizzata per la creazione del modello 3D texturizzato;
- trasformazione del modello a bassa risoluzione nel formato *VRML* (*Virtual Reality Model Language*), adatto per la visualizzazione e la navigazione virtuale;
- estrazione di curve piane orizzontali (curve di livello) e verticali (profili) mediante piani di sezione e realizzazione della planimetria della zona del teatro alla scala 1:100.

Comparazione delle procedure di modellazione

In fase di elaborazione dati sono state sperimentate diverse metodologie e differenti parametri di modellazione al fine ottenere dati facilmente gestibili. Avendo operato con distinte procedure, anche in funzione della suddivisione in tre porzioni dell'area del teatro, si è deciso in seguito di confrontare i metodi adottati in modo da valutarne la precisione.

Il confronto è stato condotto su una porzione limitata, comprendente parte della gradinata e della pavimentazione inferiore del teatro (costituita da 2.803.705 punti), in modo da lavorare con file più gestibili, senza per questo rinunciare alla rigorosità della procedura di verifica (Fig. 4). Nella parte della gradinata, che è l'area caratterizzata dai dettagli architettonici più significativi, sono state riscontrate alcune criticità, con presenza di "rumore" e ridondanza di dati, in relazione anche a zone d'ombra e alla presenza di vegetazione.

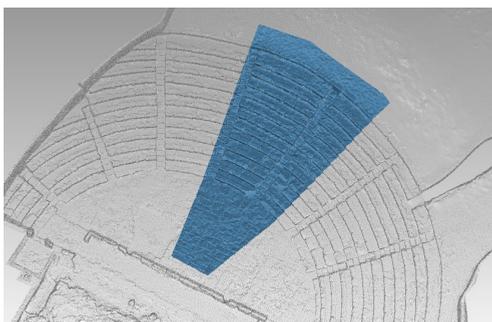


Figura 4 – Porzione di teatro considerata ai fini delle verifiche.

Le verifiche svolte sono state le seguenti:

- A) confronto qualitativo e comparazione analitica tra *mesh* ricavate dalla medesima “nuvola di punti” ma con distinte procedure di triangolazione;
- B) comparazione analitica tra una *mesh* ad alta risoluzione e le sue derivate a differenti percentuali di decimazione.

Le verifiche sono state effettuate per mezzo di algoritmi di analisi che forniscono scostamenti e deviazioni tra entità geometriche nello spazio tramite il software *Geomagic Qualify*.

Verifica A

Sono stati applicati due distinti metodi di triangolazione a partire dalla stessa “nuvola di punti” e prodotte due diverse *mesh* (denominate per le finalità dello studio *mesh 1* e *mesh 2*). Il primo metodo, adottato originariamente all’intera gradinata, prevede l’elaborazione di una *mesh* ad alta risoluzione senza impostazione di alcun limite numerico relativo né al numero massimo di triangoli ottenibili né alla spaziatura punti. La superficie prodotta, per la sola porzione di gradinata oggetto della verifica, è costituita da 5.520.951 triangoli. Il secondo metodo prevede, invece, l’impostazione di una spaziatura punti pari a 2 cm (risoluzione richiesta dalla committenza) e l’ottenimento di una superficie di 1.247.772 triangoli. Per entrambe è stato applicato un filtro rumore a priorità di curvatura.

Essendo state generate direttamente da una stessa “nuvola di punti”, le due superfici presentano numerosi “buchi”, triangoli fluttuanti e *spikes*, soprattutto nelle aree a maggiore concentrazione di vegetazione.

Da una prima osservazione le due superfici, per quanto differiscano in risoluzione e dimensione dei rispettivi file, presentano un grado di dettaglio del tutto soddisfacente. Infatti i particolari architettonici meglio definiti sono assolutamente paragonabili ed inoltre non vi sono difformità sostanziali né in corrispondenza degli spigoli né sulle facce dei gradini. Le differenze maggiori riguardano invece forma, dimensione e concentrazione dei “buchi”, oltre a evidenti criticità in quelle aree dove il dato di partenza è sensibilmente più rumoroso.

Il numero di “buchi” sulle due superfici non differisce di molto (728 nella prima, 748 nella seconda); ciononostante, da un semplice accostamento si nota che le dimensioni e i contorni sono dissimili, sebbene molti di essi siano presenti nelle stesse aree (Fig. 5a). Ad una prima osservazione risulta che la *mesh 2*, con passo di 2 cm, si comporta meglio nella definizione dei vuoti: infatti in alcune zone, come ad esempio nella pavimentazione inferiore (Fig. 5b), il numero di “buchi” risulta sensibilmente inferiore rispetto alla *mesh 1*.

Il risultato più interessante, tuttavia, riguarda il modo in cui le due procedure testate si comportano nei confronti di aree più rumorose, dove, nonostante alla “nuvola di punti” di partenza siano stati applicati specifici filtri per l’eliminazione di *outliers*, la presenza eccessiva di punti doppi e disconnessi ha generato triangoli con andamento spaziale irregolare, triangoli sconnessi fra loro e

normali invertite (Fig. 5c). In questo caso il comportamento della prima superficie è nettamente migliore, poiché la scelta iniziale di mantenere una risoluzione elevata ha prodotto, in molte delle aree con presenza di vegetazione, superfici perfettamente chiuse seppur leggermente più rumorose. Di contro, la seconda *mesh* mostra nelle stesse aree una triangolazione più imprecisa accompagnata da numerosi vuoti dal contorno irregolare, i quali risulterebbero difficilmente chiudibili senza una consistente fase di *editing* manuale.

In generale si deduce che un campionamento più denso porta sicuramente ad un dato più uniforme, ma presenta l'inconveniente di un numero più elevato di “buchi” piccoli e sparsi, dovuti alla presenza di numerosi punti ridondanti; mentre un campionamento a risoluzione inferiore (nel nostro caso una spaziatura di 2 cm), nonostante consenta l'eliminazione di piccole lacune, presenta maggiori criticità nelle aree con dato più rumoroso.

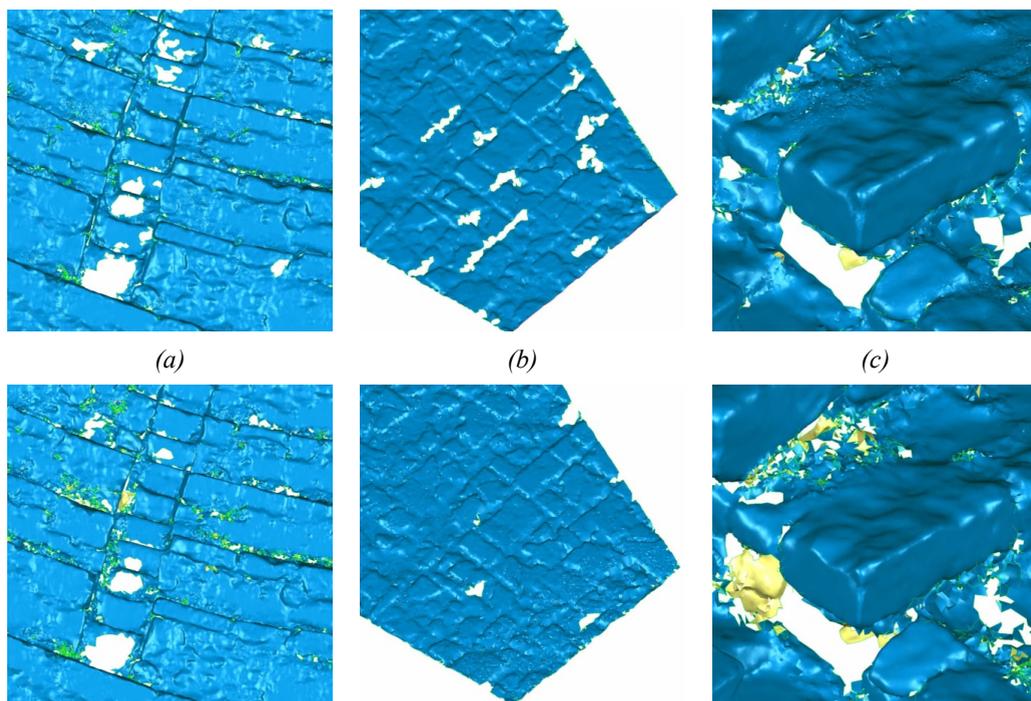


Figura 5 – Confronto tra la “*mesh 1*” (prima riga) e la “*mesh 2*” (seconda riga):
 (a)(b) distribuzione e tipologia dei buchi sulla gradinata e sulla pavimentazione;
 (c) irregolarità nella triangolazione (triangoli sconnessi, spikes, normali invertite).

Le due *mesh* sono state infine analizzate tramite un apposito algoritmo per la valutazione di scostamenti e deviazioni relative. È stato utilizzato nello specifico il comando “Confronto 3D” del software *Geomagic Qualify*, per valutare sia la distribuzione delle deviazioni tra le due superfici, sia gli scarti quadratici medi rispetto a diverse configurazioni geometriche.

Come modello di riferimento si era inizialmente pensato di utilizzare la porzione con 5.520.951 triangoli; tuttavia per facilitare il confronto analitico si è deciso di ricorrere ad una preventiva decimazione della stessa, in modo da ottenere una risoluzione più bassa senza perdita di dettaglio. Infatti una riduzione, anche elevata, del numero di triangoli consente di ridurre i dati in modo significativo e nello stesso tempo non altera il risultato da un punto di vista geometrico e visivo (Kersten, 2010).

Il confronto è stato così effettuato tra un modello di riferimento con 1.838.683 triangoli (*mesh 1* decimata) e un modello test con 1.247.772 triangoli (*mesh 2*). Il calcolo è stato effettuato secondo due distinte condizioni: deviazione 3D e deviazione planare (rispetto al piano xy). In particolare, rispetto alla prima condizione (deviazione 3D), la deviazione standard è pari a $\pm 0,003$ m, mentre rispetto alla seconda (deviazione planare) risulta pari a $\pm 0,006$ m.

I modelli risultanti dal test mostrano la distribuzione delle deviazioni superficiali. Innanzitutto, si nota una distribuzione uniforme tra valori positivi e negativi; inoltre in corrispondenza di spigoli o dettagli significativi, gli scarti sono tutti inferiori a 2 mm, valore di per sé assolutamente accettabile, anche in relazione alla scala di rappresentazione considerata di 1:20.

Come era prevedibile i maggiori scarti sono concentrati nelle aree parzialmente occultate o con presenza di vegetazione, dove il dato laser di partenza presenta parecchio rumore e lacune significative (Fig. 6).

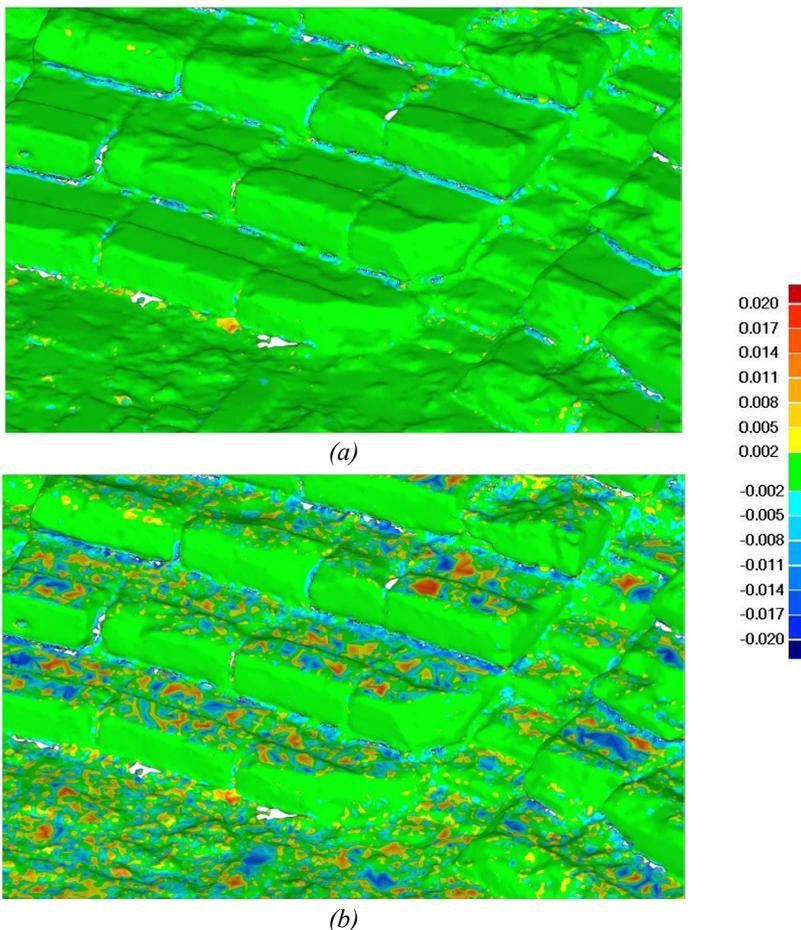


Figura 6 – Modelli risultanti dal confronto 3D effettuato con il software Geomagic Qualify: (a) deviazione 3D; (b) deviazione planare.

Verifica B

L'esigenza di ottenere elaborati di dettaglio 2D e 3D a partire da una *mesh* finale ad alta risoluzione ha comportato, come già detto, un insieme di operazioni di decimazione.

Ai fini della presente analisi sono state effettuate decimazioni a priorità di curvatura sulla stessa porzione di teatro oggetto della verifica precedente, utilizzando come *mesh* di partenza quella con 1.838.683 triangoli e adottando percentuali progressive di riduzione dal 50% al 90%.

I confronti effettuati seguono le due condizioni già impostate nel test precedente, deviazione 3D e deviazione planare, seppur in questo caso il confronto si basa su *mesh* omogenee, ovvero ottenute da decimazioni progressive dello stesso modello. Come era d'attendersi, l'analisi mostra progressivamente valori più alti delle deviazioni standard, seppur non superiori a 1 mm (Tab. 7).

È interessante soffermarsi sull'osservazione delle aree a maggiore curvatura, dove le superfici presentano una concentrazione maggiore di triangoli. Nonostante un'evidente semplificazione dei dettagli, da un punto di vista numerico la deviazione massima risulta inferiore in ogni caso a 3 mm. Poiché le forme complessivamente vengono mantenute si deduce che una decimazione maggiore, oltre a consentire l'ottenimento di file gestibili, risulta altresì utile per una visualizzazione virtuale del modello.

Per tale motivo nel lavoro svolto è stata elaborato un modello texturizzato fotorealistico, partendo da una *mesh* decimata dell'80%.

Modello test	N. triangoli	N. punti analizzati	Deviazione standard
Mesh ridotta del 50%	919.340	457.046	0.000 m
Mesh ridotta del 80%	367.736	182.971	0.001 m
Mesh ridotta del 90%	183.867	91.559	0.001 m

Tabella 7 – Valori comparativi tra la *mesh* di riferimento (1.838.683 triangoli) e le *mesh* decimate.

Conclusioni

Dallo studio emerge che, soprattutto in ambito archeologico dove vi è una certa interdipendenza tra natura e costruito, geometria e stato di conservazione, non esiste attualmente un criterio univoco di elaborazione dati laser scanner e di modellazione che renda una strategia operativa più adatta rispetto ad un'altra.

Nel processo di restituzione è necessario ricorrere ad un compromesso tra qualità del risultato e ottenimento di elaborati facilmente gestibili e visualizzabili. Inoltre il modello finale dell'oggetto deve rispondere in termini di precisione e di dettaglio alle tolleranze grafiche delle varie scale di rappresentazione che ci si prefigge di realizzare.

Questi fattori, uniti alle ben note problematiche di gestione dei dati laser scanner da parte dei *software* attualmente in circolazione, spingono l'operatore ad intervenire attraverso soluzioni mirate e differenziate, sia mediante il controllo rigoroso dei parametri di triangolazione, sia mediante procedure di decimazione utili alla riduzione dei dati.

I due esempi di triangolazione testati (dalle quali si sono ottenute le *mesh* 1 e 2), così come il confronto analitico effettuato sulle procedure di decimazione, portano ad un risultato assolutamente paragonabile dal punto di vista qualitativo e metrico in quanto come già visto gli scarti sono minimi anche in funzione della scala ipotizzata (1:20).

Tuttavia i ben noti problemi di gestione dei file pongono la questione di quale approccio sia più soddisfacente nell'economia generale del lavoro in modo da ridurre sensibilmente i tempi di processamento. In base a questa considerazione la *mesh* 2, seppur presenti talune criticità nelle aree con dato più rumoroso, costituisce una superficie maggiormente gestibile. La *mesh* 1 invece, per quanto di risoluzione maggiore e con meno irregolarità nella aree più critiche, necessita come visto di un'ulteriore decimazione, poiché la sua elevata risoluzione iniziale risulta incompatibile per una gestione veloce del file.

Quindi la scelta va effettuata considerando i vantaggi che si possono avere utilizzando, ai fini dell'estrazione degli elaborati richiesti, quei modelli in cui ad una riduzione e semplificazione dei dati non corrisponda una perdita del livello di dettaglio.

Riferimenti bibliografici

- Bitelli G. (2002), "Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali", *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA, 5-8 novembre 2002*, Perugia, pp. 16.
- Bornaz L., Rinaudo F. (2004), "Terrestrial laser scanner data processing", *Atti 20º Congresso ISPRS, 12-23 luglio 2004*, Istanbul, pp. 6.
- Girardi S., Cavulli F., Voltolini F., Rizzi A., Remondino F., Pedrotti A., Gonzo L. (2007), "Laser scanner e fotografia digitale per la modellazione e l'analisi di siti archeologici: il caso studio del Riparo Gaban", *Atti 11ª Conferenza Nazionale ASITA, 6-9 novembre 2007*, Torino, pp. 6.
- Giuffrida A., Liuzzo M., Santagati C., Andreozzi L. (2005), "The laser scanner for archaeological survey: Le Terme dell'Indirizzo in Catania", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 26 settembre – 1 ottobre 2005*, Torino, pp. 6.
- González Aguilera D., Gómez Lahoz J., Muñoz Nieto A.L., Herrero Pascual J.S. (2007), "Recording and virtual modeling of Roman villa through laserscanning", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 1-6 ottobre 2007*, Atene, pp. 5.
- Kersten T.P. (2010), "3D Scanning and Modelling of the Bismark Monument by Terrestrial laser scanning for Integration into a 3D City Model of Hamburg", *Digital Heritage, 3rd International Conference EuroMed, Lemessos, Cyprus, November 8-13, 2010. Proceedings*, Ioannides M., Fellner D., Georgopoulos A., Hadjimitsis D. (Eds.), Springer link, Lecture Notes in Computer Science, Volume 6436, pp. 179-192.
- Lo Brutto M., Spera M.G. (2011), "Image-based and range-based 3D modelling of archaeological cultural heritage: the Talamon of the Temple of Olympian Zeus in Agrigento (Italy)", *4º Workshop Internazionale ISPRS, 2-4 marzo 2011*, Trento, pp. 8.
- Nothegger C., Dorninger P., "Automated modeling of surface detail from point clouds of historical objects", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 1-6 ottobre 2007*, Atene, pp. 6.
- Tucci G., Bonora V. (2010), "Il rilievo della Basilica del Santo Sepolcro a Gerusalemme", *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010*, Brescia, pp. 1643-1648.