

IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO IN ARCHEOLOGIA – proposte

A cura di Marco di Lieto e Dario Della Mora

Premessa

Negli ultimi due decenni la rivoluzione informatica, ha prodotto enormi passi avanti nelle possibilità di documentazione grafica delle evidenze messe in luce dagli scavi archeologici e delle entità strutturali presenti nei complessi monumentali. Si è sviluppata una vera e propria disciplina scientifica, nota come Archeologia informatica¹ che utilizza un ampio spettro di applicazioni tecnologiche sempre più complesse ed ha visto consolidarsi nuove procedure finalizzate alla ottimizzazione delle risorse disponibili, per estrarre il massimo del potenziale informativo da ogni tipo di evidenza archeologica e/o monumentale visibile o rinvenuta sugli scavi.

PROPOSTE PER IL RILIEVO ARCHEOLOGICO

- **A - realizzazione di sistema topografico a coordinate locali finalizzato all'utilizzo della stazione totale e successive elaborazioni in ambiente CAD con materializzazione di punti fissi sul terreno:**

All'interno di ogni area dello scavo archeologico viene creato un sistema locale a punti fissi, materializzato sul terreno mediante basi cementate contenenti chiodi topografici, che consente l'utilizzo quotidiano della stazione totale in modalità stazione libera. Tale modalità scioglie dall'obbligo di posizionare la stazione totale necessariamente su un picchetto, consentendo di misurare da qualunque posizione purché siano visibili almeno due punti di riferimento (**fig. 1**). Le misure così effettuate, realizzate per ogni esigenza di documentazione, non vengono più lette e disegnate punto per punto ma salvate automaticamente nella memoria interna della stazione totale, automaticamente posizionate nel sistema di riferimento locale e poi trasferite su PC e gestite tramite software CAD²

(Attività previste: progettazione del sistema, materializzazione dei punti fissi, misure con stazione totale di alta precisione, elaborazioni delle misure e trasferimento in ambiente CAD);

¹ Si pensi alla nascita di riviste scientifiche dedicate a tali tematiche come: *Archeologia e Calcolatori* o ai convegni internazionali annuali del *Computer Applications in Archaeology*, o alle numerose monografie dedicate alle varie tematiche di questa nuova disciplina. Tra le tante M. Forte, *Archeologia: percorsi virtuali nelle civiltà scomparse*, Milano, 1996 ha costituito una delle prime monografie scientifiche ad introdurre le nuove tematiche nella ricerca archeologica ufficiale.

² Per una dettagliata disamina delle tecniche di documentazione grafica archeologica mediante stazione totale e CAD, si veda: M. Di Lieto, *Documentazione archeologica ed applicazioni tecnologiche*, in M. Osanna e M. M. Sica, *Torre di Satriano I, il santuario lucano*, Venosa 2005, pp. 473-476 e figg. 1-7.

- **B Georeferenziazione del sistema locale a punti fissi mediante GPS differenziale**

Considerando la realizzazione dei sistemi topografici a coordinate locali (punto A), è possibile georeferenziare ciascun sistema locale garantendone la messa in rapporto reciproco ed il dialogo con qualunque base cartografica. Tale attività sarà svolta mediante la misurazione tramite coppia di rilevatori GPS topografici (**fig. 2**) di almeno 3 punti fissi di ogni sistema topografico realizzato, in modo da riportare in coordinate geografiche (Coordinate WGS84; Coordinate Gauss-Boaga; Quota ellissoidica) ciascun sistema a coordinate locali. In tal modo ogni punto fisso collocato diverrà, un caposaldo utilizzabile per i lavori in atto ma anche utilizzabile per qualunque attività futura di rilievo e documentazione grafica nell'area.

(Archeologo topografo; coppia di ricevitori GPS topografici in modalità differenziale)

- **C - rilievi fotogrammetrici stereoscopici per la documentazione orizzontale e verticale di stratigrafie o elementi strutturali:**

Per documentare evidenze archeologiche note, oppure le fasi di scavo archeologico o di restauro strutturale e di altre lavorazioni, potranno essere realizzate riprese di coppie stereoscopiche con finalità di rilievo fotogrammetrico³. È noto infatti come l'utilizzo di riprese fotografiche, realizzate da due punti perpendicolari al terreno su cui si trova l'oggetto da rappresentare e posizionati in modo tale che gli assi ottici della fotocamera siano tra essi paralleli e che le due foto abbiano una sovrapposizione di almeno il 50%, consenta l'esecuzione di calcoli in grado di eliminare le distorsioni e le deformazioni prospettiche, realizzando una rappresentazione geometricamente corretta. In particolare mediante il calcolo dell'angolo di parallasse si è in grado di ricavare anche le differenze di quota degli oggetti rappresentati nelle riprese fotografiche.

Tali tecniche largamente utilizzate, un tempo con strumentazione analogica e oggi mediante elaborazioni digitali⁴, sono alla base delle realizzazioni cartografiche fotogrammetriche e di numerose altre applicazioni nel campo del rilievo, ma sono state a lungo legate alla necessità di realizzazione attraverso parametri molto rigidi, che ne hanno reso costoso e poco versatile l'utilizzo.

Negli ultimissimi anni sono stati sviluppati nuovi software in grado di gestire anche coppie di immagini non perfettamente assiali ed orizzontali, che hanno aperto la strada ad utilizzi più duttili e meno dispendiosi⁵. L'utilizzo di tali software che sfruttano algoritmi proprietari unito alla presenza di punti di controllo a terra misurati mediante stazione totale, consente di

³ Riguardo alle tecniche di fotogrammetria un'introduzione chiara, sintetica e comprensibile anche ai non addetti ai lavori, insieme ad un inquadramento generale sull'evoluzione storica di metodi e strumenti si trova in F. Piccarreta, G. Ceraudo, *Manuale di aerofotografia archeologica*, Bari 2000, pp. 55-72. Per una disamina più approfondita delle problematiche di dettaglio, ancora valido resta il volume di A. Daddabbo, *Il rilievo stereofotogrammetrico*, Bari 1983.

⁴ Un quadro dettagliato degli attuali sviluppi nelle tecniche di fotogrammetria digitale si trova ora in: T. Luhmann, *Close Range Photogrammetry. Principles, Methods and Applications*, Caithness 2006; W. Linder, *Digital Photogrammetry. A Practical Course*, Berlin-Heidelberg 2009.

⁵ I software commerciali più utilizzati sono: Photomodeler della ditta Eos Systems, la famiglia dei software Zscan della ditta Mencisoftware ed il programma Image Master della ditta Topcon.

elaborare le coppie stereoscopiche realizzate mediante drone o aste fotogrammetriche (**fig. 3**) e di ricavare un modello tridimensionale ad alta densità dell'oggetto che si vuole rappresentare (**figg. 4-6-12**). Tale modello viene letteralmente vestito con textures (**figg. 5-7-8-14**), ricavate dalle riprese fotografiche e può essere utilizzato come modello in sé, costituendo una riproduzione tridimensionale di alta qualità, o per produrre ortofoto di dettaglio degli oggetti ripresi (**figg. 15-16**) che possono essere a loro volta inseriti all'interno di file CAD ed utilizzati come base per la realizzazione di rilievi bidimensionali. Tale tecnica si presta alla realizzazione di modelli 3D ad alta precisione dello stato di fatto ed alla realizzazione di planimetrie, prospetti, sezioni, ecc.

(Attività previste: riprese di coppie stereoscopiche mediante asta fotogrammetrica attrezzata, misure dei targets mediante stazione totale, elaborazioni mediante software professionale di fotogrammetria stereoscopica, integrazione in ambiente CAD – sessioni giornaliere di rilievo comprensive delle successive elaborazioni)

- **D - riprese aeree a bassa quota mediante sistema teleguidato su “drone”**

Potranno saranno realizzate riprese fotografiche aeree a bassa quota mediante l'utilizzo di un nuovo strumento sperimentale: un drone a sei eliche (**figg. 9-10**) Si tratta di un piccolo velivolo teleguidato, provvisto di evoluti sistemi elettronici di supporto quali altimetro, giroscopio, sistema di navigazione GPS e sistema di telemetria, controllato da terra mediante un radiocomando ed in grado di portare in volo una fotocamera professionale da 24 Mega Pixel dotata di obiettivi calibrati e di sistema di compensazione dell'assetto orizzontale o una videocamera ad alta definizione. Tramite comunicazione radio, lo strumento in volo invia in tempo reale all'operatore a terra, su un monitor portatile collegato al radiocomando, il segnale video con le immagini che vengono riprese in quel momento e riceve gli input per effettuare gli scatti fotografici voluti. Il drone può raggiungere un'altezza massima di 250 m, e volare anche in presenza di vento ed è caratterizzato da una agilità di manovra che lo rende utilizzabile anche in presenza di alberi, palazzi, ecc. Lo strumento è stato realizzato a partire da un kit di base presente sul mercato, cui sono state aggiunte una serie di soluzioni tecniche auto-costruite. Si tratta perciò di un prototipo, che ha però già dimostrato un'ottima operatività⁶.

La funzione primaria di questo strumento è di rendere possibili riprese fotografiche aeree a bassa quota, dando accesso a punti di vista altrimenti non raggiungibili, ed in particolare di realizzare con relativa facilità riprese fotografiche zenitali (**fig. 11**). Si può ben comprendere come uno strumento del genere superi largamente le possibilità offerte dall'utilizzo dei sistemi con palloni aerostatici in termini di prestazioni, costi e versatilità di impiego. Il suo vero punto di forza è però costituito dalla possibilità di effettuare riprese di coppie stereoscopiche (**fig. 12**) o di strisciate allineate di foto, con finalità di rilievo fotogrammetrico⁷ come spiegato nel punto precedente.

(Attività previste: riprese mediante drone teleguidato di fotografie aeree a bassa quota o di coppie stereoscopiche, misure dei targets mediante stazione totale, elaborazioni mediante software professionale di fotogrammetria stereoscopica, integrazione in ambiente CAD - 5 sessioni giornaliere di volo comprensive delle successive elaborazioni)

- **E - Rilievo 3D mediante foto-modellazione da prese fotografiche convergenti.**

Una nuova più evoluta metodologia di rilievo, basata sui principi della fotogrammetria, offre la possibilità di aumentare ulteriormente il dettaglio della documentazione grafica per le stratigrafie archeologiche o per gli elementi strutturali dei complessi monumentali.

⁶ Fino all'ottobre 2013 tale strumentazione è stata utilizzata con successo, per voli sperimentali o per attività professionale, in oltre trenta sessioni di volo ed in particolare sui siti archeologici di *Scolacium* (Cz), Taureana di Palmi (Rc), Isola di Capo Rizzuto (Kr), Rionero in Vulture - loc. Torre degli Embrici (Pz), Marsico Vetere - loc. Barricelle (Pz), - Tito (Pz), Torre di Satriano- Cerveteri (Rm), Vigna Marini - Pantelleria (Tp), Acropoli - Bari, San Pietro e Santa Scolastica, Biccari (Fg), Loc Serra di Cristo.

⁷ Riguardo alle tecniche di fotogrammetria un'introduzione chiara, sintetica e comprensibile anche ai non addetti ai lavori, insieme ad un inquadramento generale sull'evoluzione storica di metodi e strumenti si trova in F. Piccaretta, G. Ceraudo, *Manuale di aerofotografia archeologica*, Bari 2000, pp. 55-72. Per una disamina più approfondita delle problematiche di dettaglio, ancora valido resta il volume di A. Daddabbo, *Il rilievo stereofotogrammetrico*, Bari 1983.

Si tratta di una tecnica che grazie a nuovi software, che riescono a sfruttare le più ampie capacità di calcolo dei moderni computer, superano il principio della coppia stereoscopica e riescono ad elaborare in contemporanea i dati spaziali di decine di riprese fotografiche realizzate da tutti i possibili punti di vista, dettagliando tutti i lati di un oggetto⁸. In tal modo è possibile creare un modello TIN di alta precisione che documenti non soltanto di una faccia dell'oggetto/strato archeologico/struttura, ma la sua piena tridimensionalità. **(figg. 18-29)**

Tale tecnica, più complessa nella fase sul campo e nelle post-elaborazioni rispetto alla fotogrammetria stereoscopica, si adatta molto bene alla documentazione particolare di entità altamente rilevanti all'interno di uno scavo archeologico, o per il rilievo 3D di elementi strutturali di forma particolarmente complessa, con esiti comparabili a quanto prodotto mediante l'utilizzo di laser-scanner o altri strumenti di misura 3D.

La nuova metodologia si può adattare, a seconda delle dimensioni e delle caratteristiche dell'entità da rilevare a riprese manuali, mediante asta fotogrammetrica attrezzata o mediante drone teleguidato.

⁸ Sulla tecnica di rilievo fotogrammetrico 3D da prese convergenti, si è recentemente tenuto presso Università di Bologna, Dipartimento di Storia Culture Civiltà (DiSCi) il convegno: DOCUMENTARE L'ARCHEOLOGIA 3.0 - Fotogrammetria e laser scanner di nuova generazione. Dal rilievo archeologico alle soluzioni di realtà aumentata. 23 aprile 2013.



Figura 1. Misure mediante stazione totale in modalità "stazione libera".



Figura 2. Misura mediante GPS topografico in modalità differenziale di uno dei capisaldi di un sistema locale a punti fissi.



FIG. 3: Rilievo archeologico mediante asta fotogrammetrica attrezzata

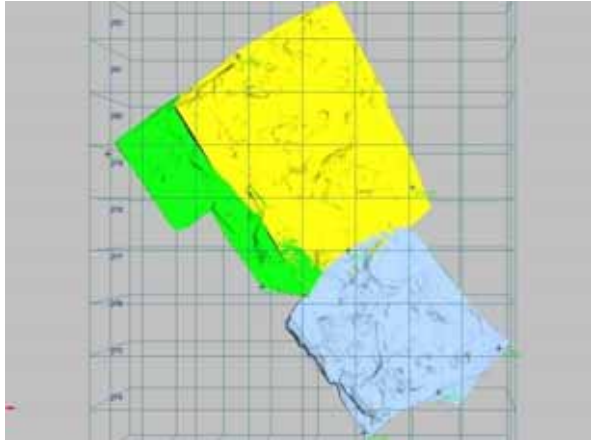


FIG. 4: Modello TIN generato dalla elaborazione di tre coppie stereoscopiche riprese mediante asta attrezzata– Visione zenitale



FIG. 5: Modello TIN generato dalla elaborazione di tre coppie stereoscopiche riprese mediante asta attrezzata e vestito di texture fotografiche– Visione zenitale

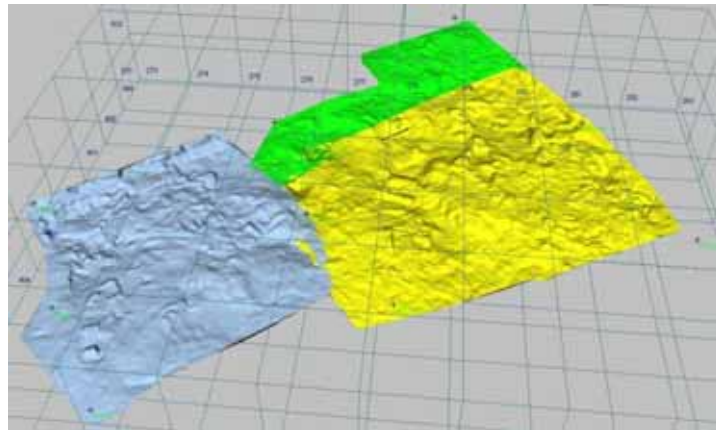


FIG. 6: Modello TIN generato dalla elaborazione di tre coppie stereoscopiche riprese mediante asta attrezzata – Visione obliqua

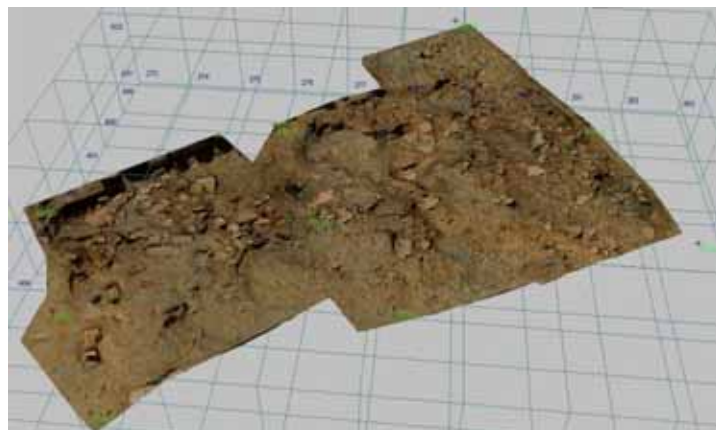


FIG. 7: Modello TIN generato dalla elaborazione di tre coppie stereoscopiche riprese mediante asta attrezzata e vestito di texture fotografiche– Visione obliqua



FIG. 8: Rilievo Fotogrammetrico. Ortofoto generata dalla elaborazione di sei coppie stereoscopiche riprese mediante asta attrezzata e creazione di modello TIN vestito di texture fotografiche
Bari Santa Scolastica 2013 - area del bastione- Prospetto



FIG. 9: Drone teleguidato con sistema di ripresa fotografica aerea



FIG. 10: Drone teleguidato con sistema di ripresa fotografica aerea in fase di decollo



FIG.11: Ripresa fotografica di un'area di scavo archeologico realizzata mediante drone teleguidato da una quota di 90m circa



FIG. 12: Coppia stereoscopica di un'area di scavo archeologico realizzata mediante drone teleguidato da una quota di 90m circa

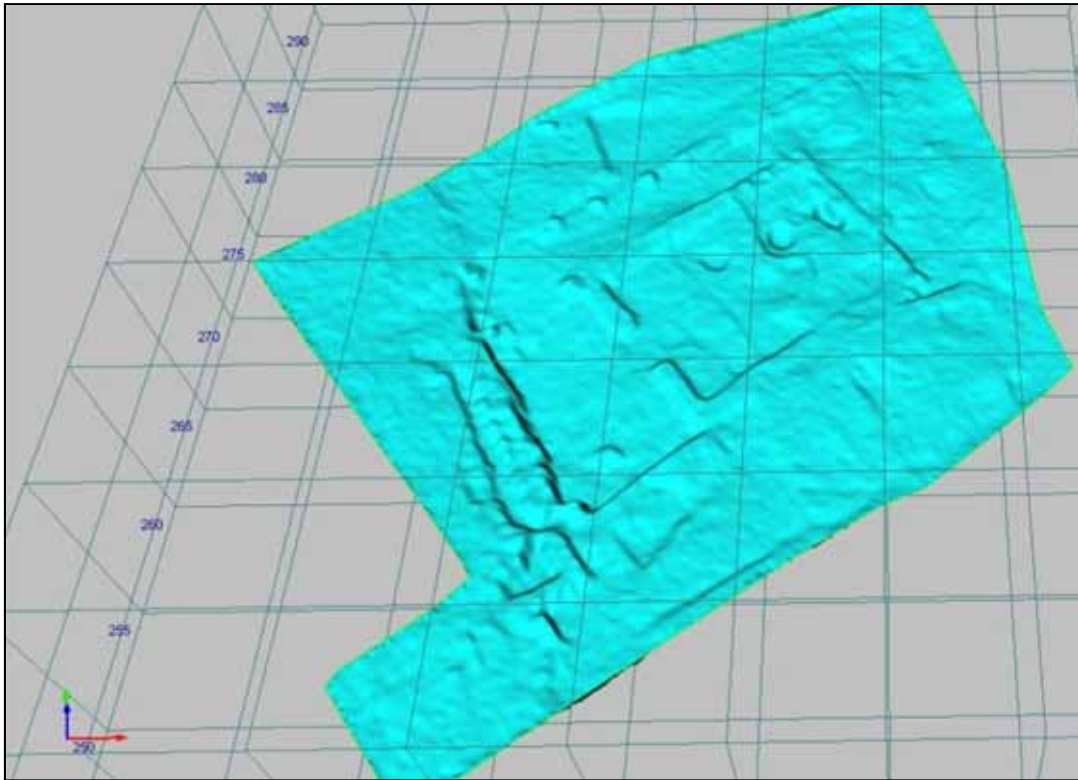


FIG. 13: Modello TIN ad alta precisione di un'area di scavo archeologico realizzata mediante elaborazione della coppia stereoscopica

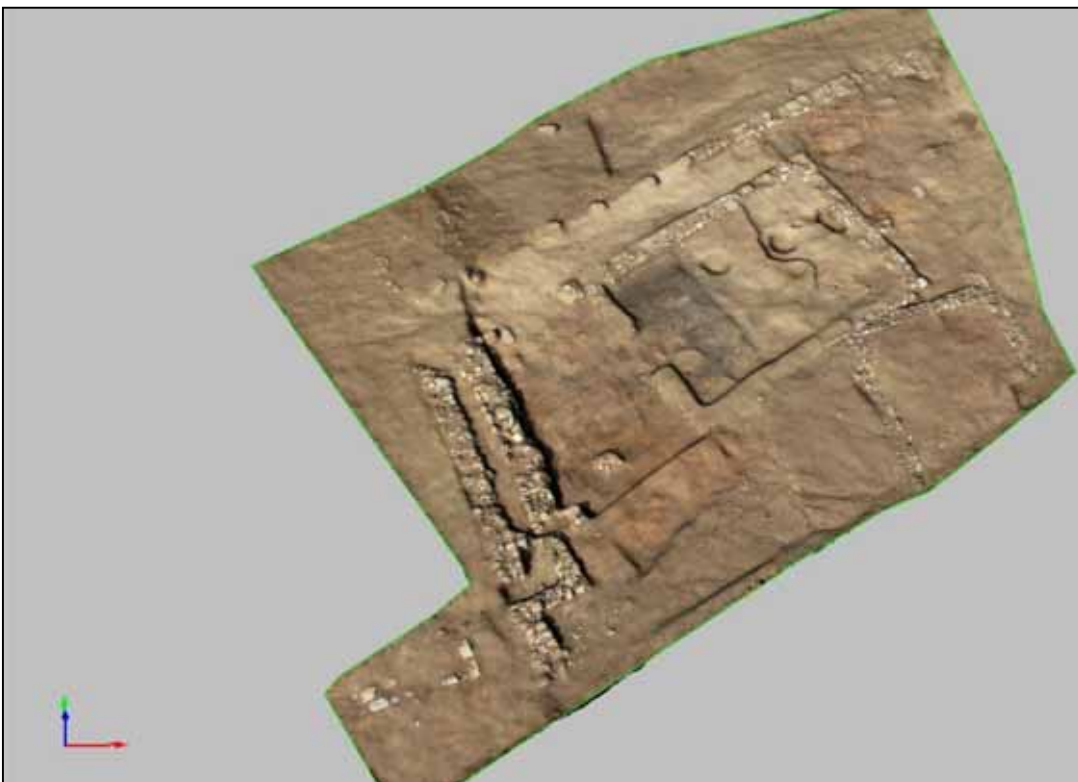


FIG. 14: Modello TIN ad alta precisione vestito di textures fotografiche di un'area di scavo archeologico realizzata mediante elaborazione della coppia stereoscopica



FIG. 15: Ortofoto generata dal modello TIN ad alta precisione di un'area di scavo archeologico realizzata mediante elaborazione della coppia stereoscopica



FIG. 16: Ortofoto generata dal modello TIN ad alta precisione di un'area di scavo archeologico realizzata mediante elaborazione della coppia stereoscopica, inserita in ambiente CAD e sovrapposta al rilievo archeologico realizzato mediante stazione totale e CAD



FIG. 17: Fotografia aerea zenitale a bassa quota eseguita con drone teleguidato

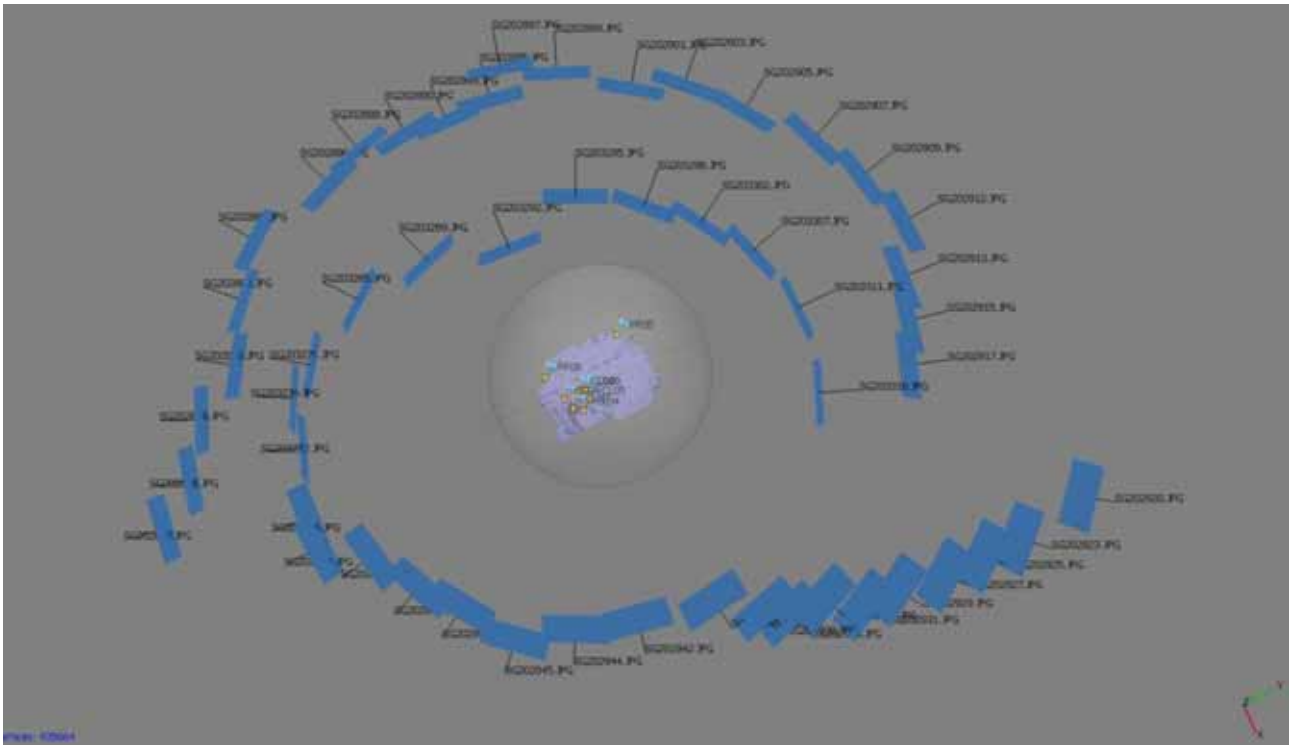


FIG. 18: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti. Schema delle prese fotografiche e dei punti di controllo

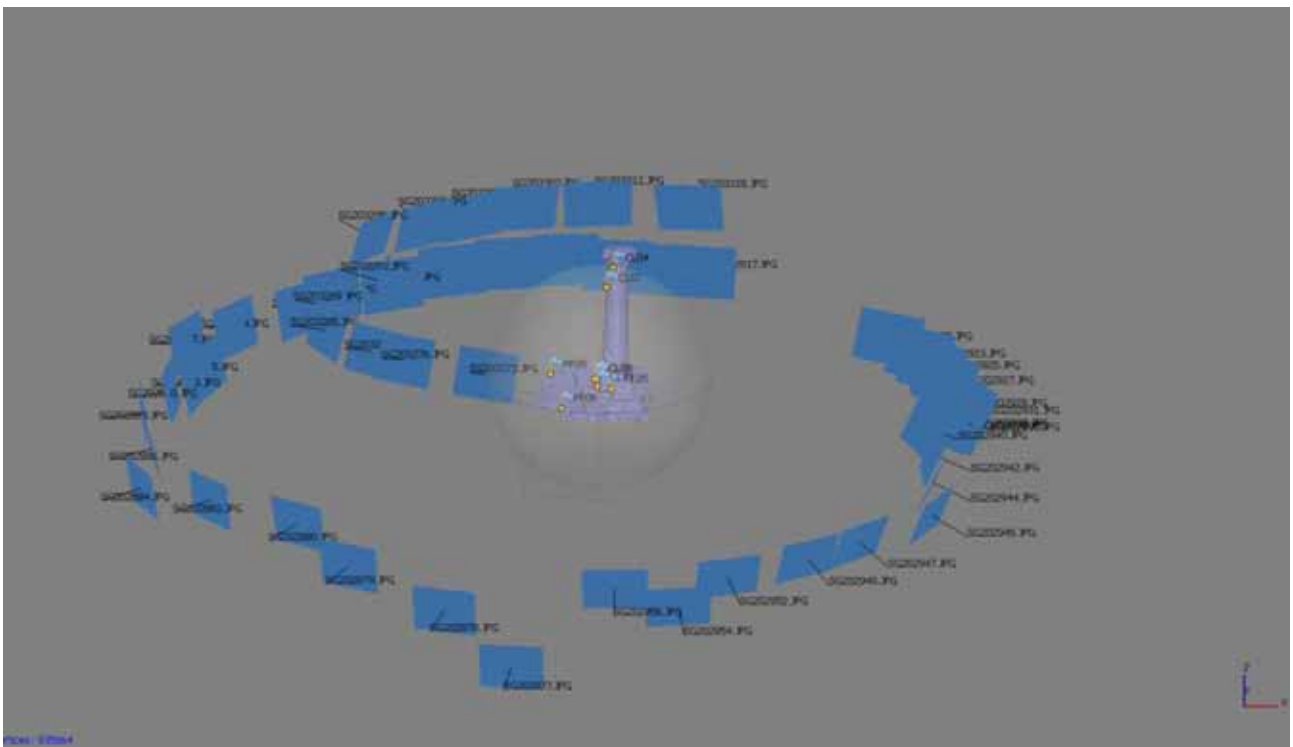


FIG. 19: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti. Schema delle prese fotografiche e dei punti di controllo

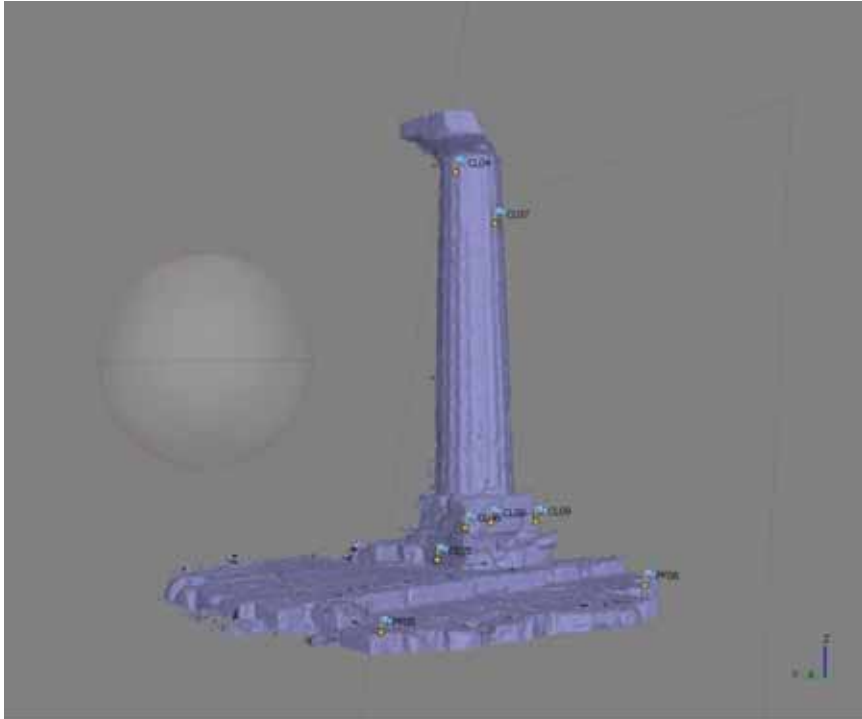


FIG. 20: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo (modello ancora non ripulito)



FIG. 21: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo con texture (modello ancora non ripulito)

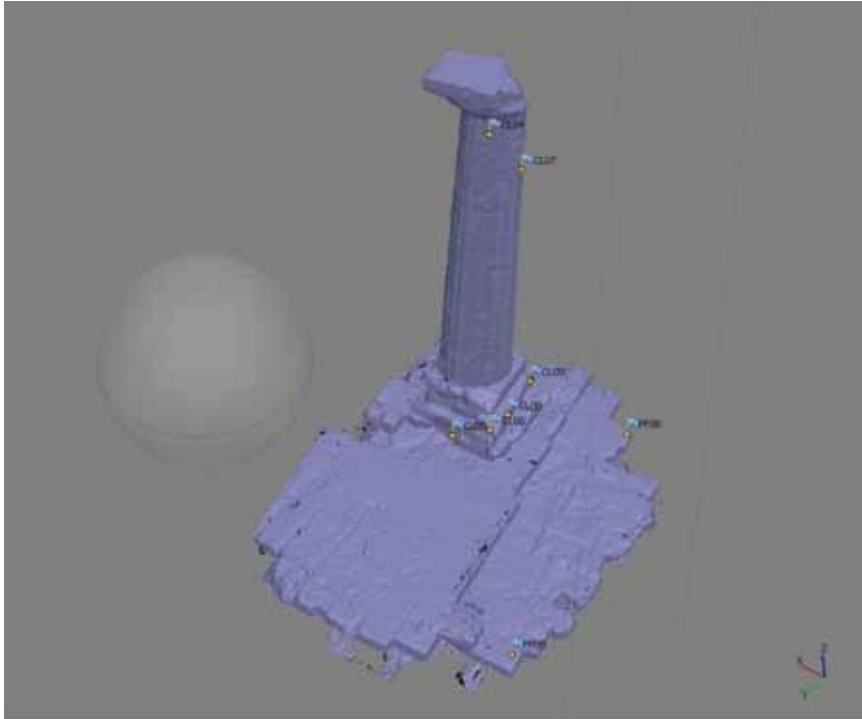


FIG. 22: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo (modello ancora non ripulito)



FIG. 23: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo con texture (modello ancora non ripulito)

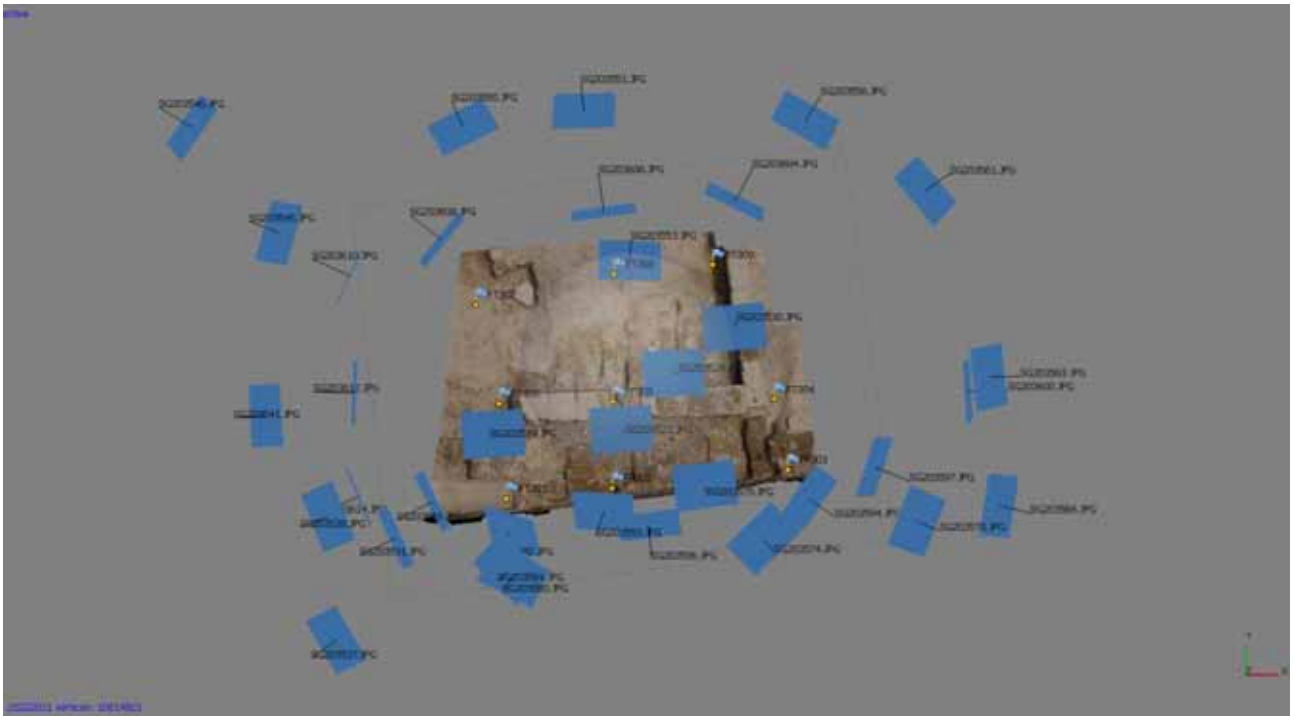


FIG. 24: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti. Schema delle prese fotografiche e dei punti di controllo

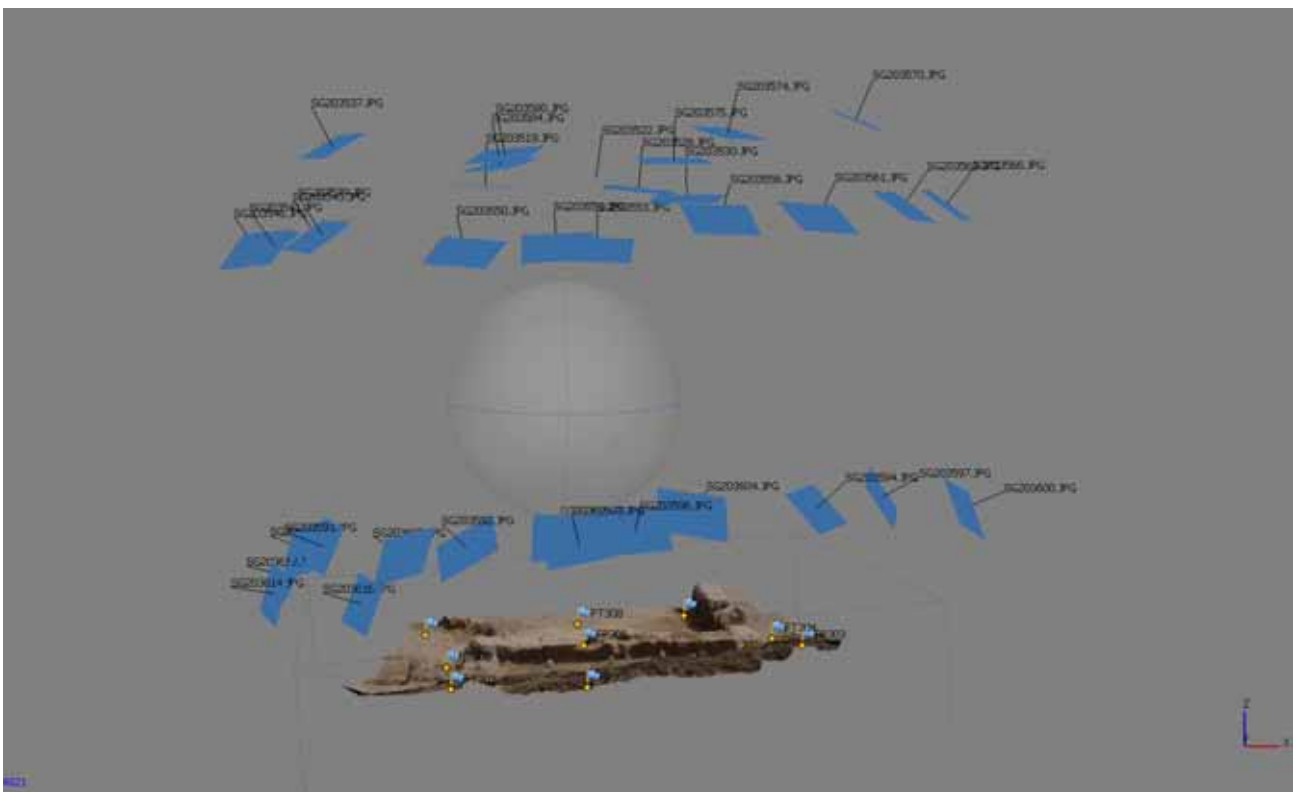


FIG. 25: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti. Schema delle prese fotografiche e dei punti di controllo
Cerveteri (Rm) - Giugno 2013 - Area urbana etrusca, pilastrini votivi

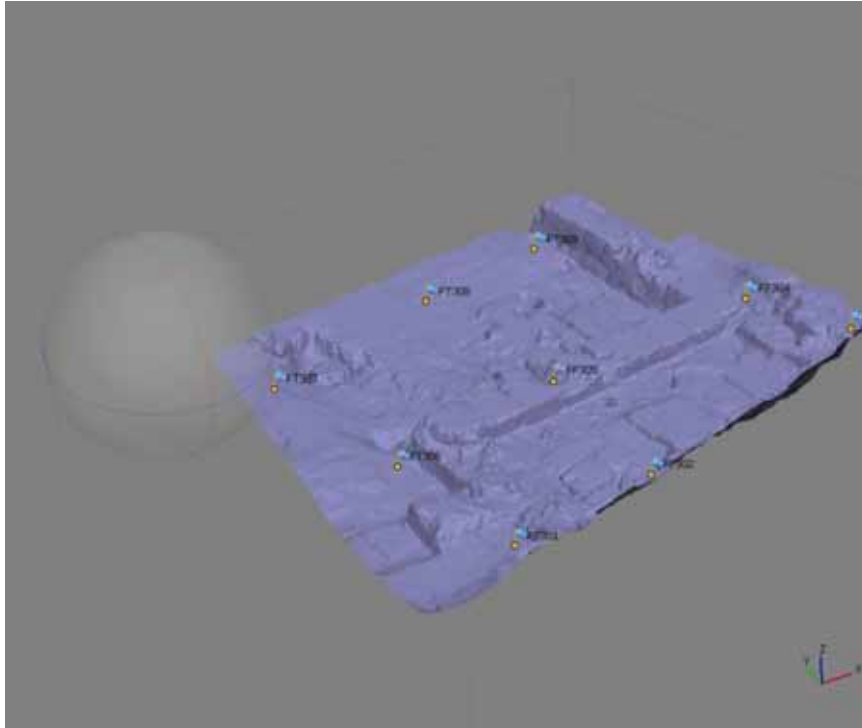


FIG. 26: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo

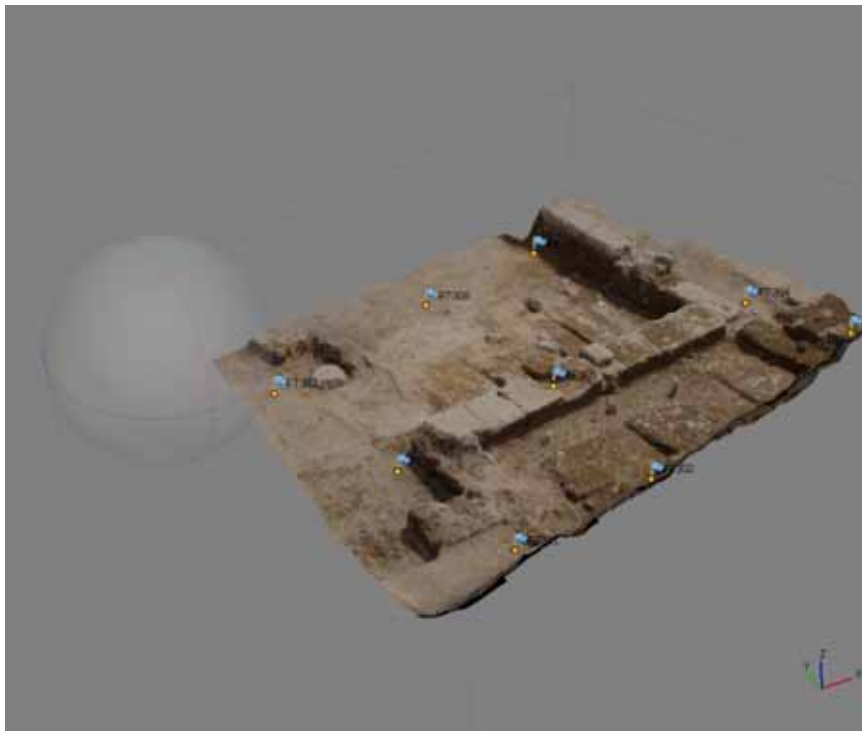


FIG. 27: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo con texture

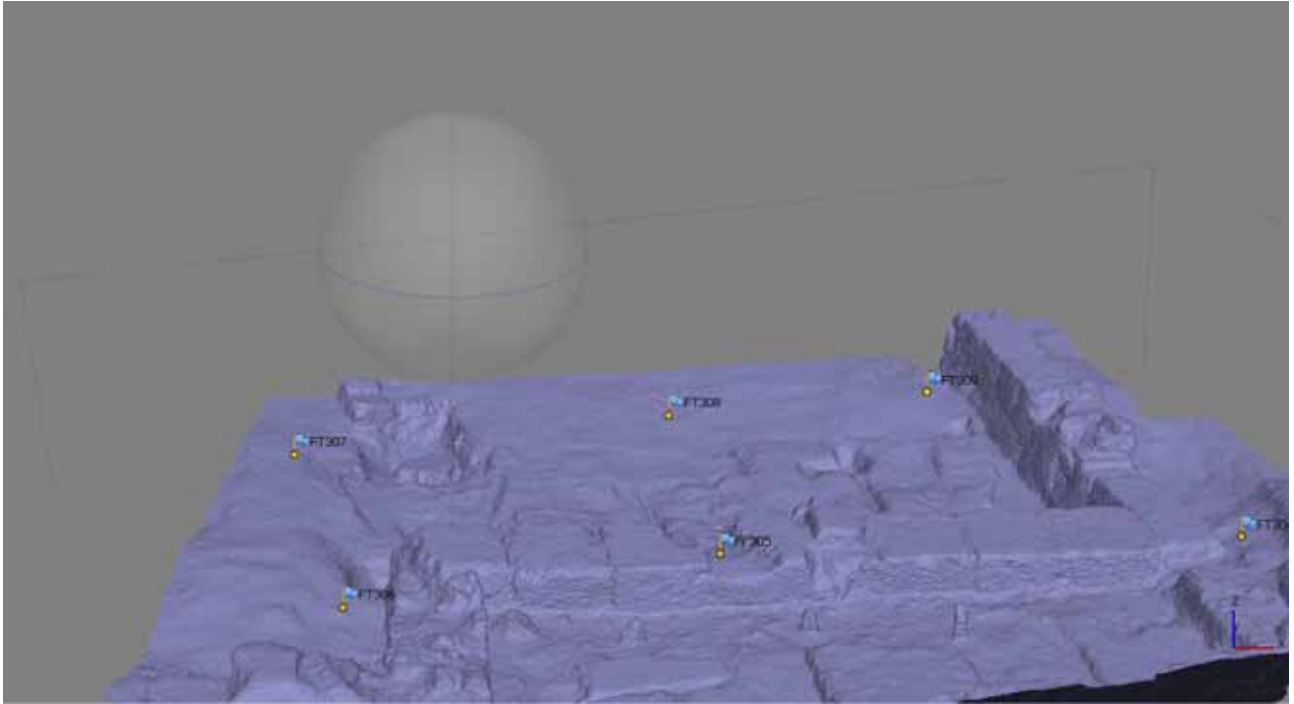


FIG. 28: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo

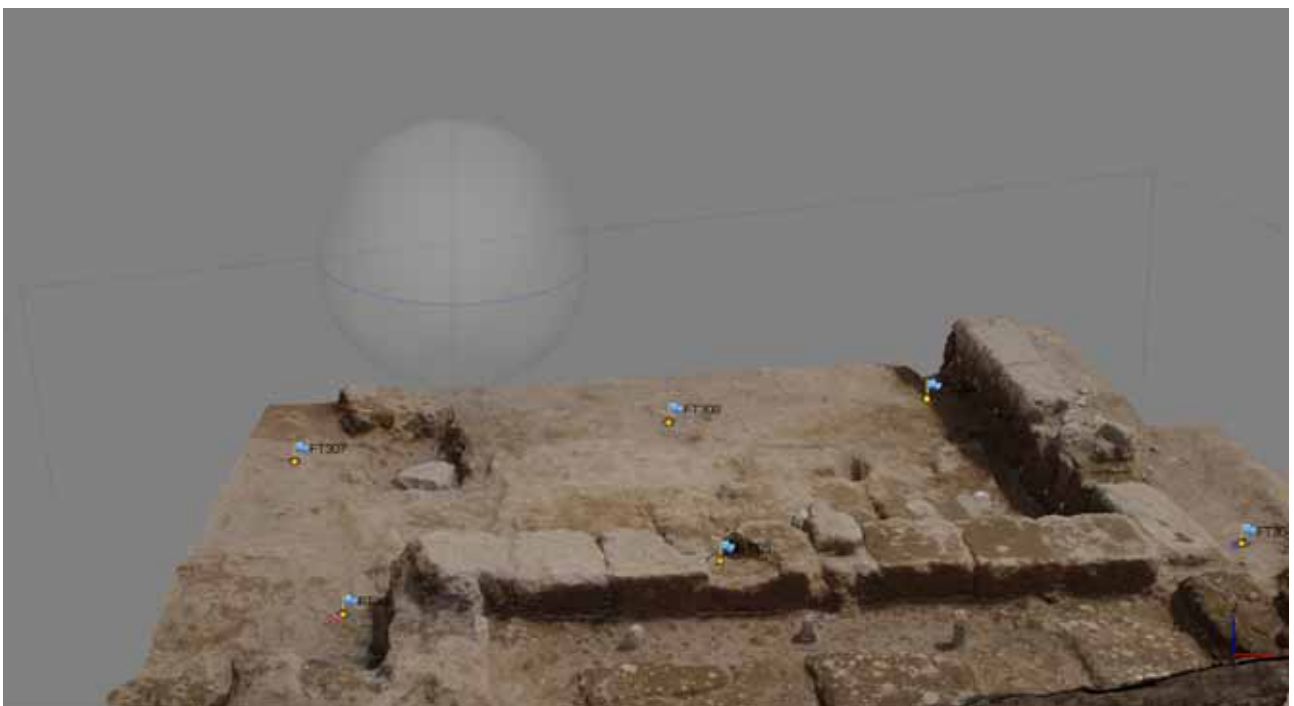


FIG. 29: Modello TIN realizzato con fotogrammetria a prese convergenti.
Vista del modello 3D e dei punti di controllo con texture