

---

## Studi e ricostruzioni del Tempio G di Selinunte

FABRIZIO AGNELLO, MARCO CARELLA, FEDERICO MARIA GIAMMUSSO

L'immane cumulo di macerie che, in assenza di un'attribuzione certa, viene denominato Tempio "G", giace prossimo ai resti dei templi "E" ed "F" sulla collina orientale di Selinunte, un'area sacra extraurbana limitrofa al porto della città. Fondata nel 650 a.C. da coloni megarresi, la città di Selinunte segna l'estremità occidentale del mondo greco; sita al confine con i territori controllati dai cartaginesi, è stata inevitabilmente coinvolta in ripetute guerre, fino al totale annientamento nel 250 a.C.. Il crollo del tempio G non è documentato dalle fonti, ma l'esame dei resti ha indotto gli studiosi ad ipotizzare che la distruzione sia stata causata da un evento sismico di incerta datazione. Nonostante i lavori di costruzione fossero durati più di 100 anni (530-409 a.C.), al momento del crollo il Tempio non era ancora stato completato. La lunga durata dei lavori e la condizione di "non-finito" fanno del tempio G un ottimo terreno di studio per indagare l'evoluzione dello stile dorico e le tecniche costruttive del cantiere greco.

Ciò che resta del tempio è lo stilobate, sepolto da una collina costituita dall'accumulo dei blocchi di pietra che ne costituiscono le strutture in elevato. Il rilievo e la ricollocazione virtuale dei blocchi del tempio ha da sempre incontrato due ostacoli: la frammentarietà dei blocchi visibili e l'inaccessibilità dei blocchi sepolti all'interno del cumulo di macerie (Figg. 1-2-3).

L'idea di utilizzare la tecnologia laser scanning per una documentazione pun-

tuale per lo studio sistematico dei blocchi visibili e per la loro classificazione è nata dalla sinergia tra docenti dell'Università di Palermo e del Politecnico di Catalogna. Nell'estate del 2005 un gruppo di allievi e ricercatori delle due università ha promosso un workshop finalizzato al rilievo del tempio, al quale hanno partecipato con impegno e passione alcuni allievi delle scuole italiane di dottorato in rilievo e rappresentazione dell'architettura<sup>1</sup>. Al termine dei lavori sono state acquisite circa 32 scansioni del tempio ed è stata realizzata una poligonale topografica che circonda l'area studiata (Fig. 4); circa la metà delle scansioni laser sono state acquisite con l'ausilio di un cestello elevatore, ancorato al suolo per mezzo di funi al fine di limitare al massimo i movimenti e le vibrazioni della piattaforma. Al termine delle operazioni di registrazione e ottimizzazione delle scansioni è stata generata una nuvola composta da circa 64 mln di punti (Fig. 5). Ulteriori scansioni sono state acquisite negli anni dal 2007 al 2010 in occasione della redazione di tesi di laurea discusse presso la Facoltà di Architettura di Palermo<sup>2</sup>.

Gli studi sul tempio G sono ben lontani da una conclusione<sup>3</sup>; molti interrogativi rimangono tutt'oggi aperti e nuove campagne di rilievo dovranno essere realizzate per indagare le molte questioni ancora insolite. In assenza di elementi che consentano una ricostruzione generale dell'assetto del tempio, gli studi sono stati concentrati su alcune parti di esso; in questa sede sono

presentati gli esiti di due ricerche sulla ricostruzione della cornice ionica e del peristilio, che hanno condotto alla loro ricostruzione virtuale basata sul riconoscimento dei frammenti e la loro ricollocazione virtuale. Viene infine presentata un'applicazione per la visualizzazione dei modelli ricostruttivi e l'accesso ad informazioni ad essi collegate.

La lunga durata dei lavori di costruzione fa del tempio G una perfetta metafora degli studi avviati nel 2005. Sappiamo che il protrarsi del cantiere per oltre 100 anni ha fatto sì che in corso d'opera fossero recepiti i mutamenti introdotti dall'evoluzione dello stile dorico; accade così che le colonne della fronte est, costruite nelle fasi iniziali, abbiano forma diversa da quelle più tarde della fronte ovest. Allo stesso modo, nel lungo periodo che va dal 2005 a oggi, gli strumenti per il rilievo e la rappresentazione digitale hanno subito una sensibile evoluzione; le scansioni acquisite nel 2005, per dimensione, risoluzione e qualità, appaiono obsolete rispetto a quelle acquisite nel 2009, ed ancor più inadeguate se confrontate a quelle prodotte dagli strumenti di ultima generazione; le difficoltà di gestione e visualizzazione di una nuvola da 64 mln di punti sono paragonabili oggi a quelle di elaborazione di una nuvola di dimensioni dieci volte superiori; l'evoluzione della fotogrammetria digitale e la rapida evoluzione e diffusione dei droni rendono infine accessibile l'esecuzione di un rilievo dall'alto, che nel 2005 appariva proibitivo.

La stessa incompiutezza del Tempio G appare una metafora dello studio dell'architettura condotto con i metodi del rilievo e della rappresentazione, per via del carattere iterativo del rilievo, che dalle prime acquisizioni basate sulla ricognizione di studi precedenti conduce alle fasi di rappresentazione, nelle quali emergono interrogativi che sollecitano inevitabili approfondimenti.

Potremmo dire Il rilievo termina quando si esegue la rappresentazione di ciò che è stato misurato; il disegno (o modello 3D) fissa, cristallizza il patrimonio di conoscenza acquisito e lo consegna ai futuri studiosi. È quindi un dovere giungere a una conclusione, ancorché parziale e provvisoria dei propri studi, pur nella piena consapevolezza che tale decisione impone la drammatica riduzione della complessità del problema che ci si trova ad analizzare.

Lo studio del tempio G ha evidenziato un'altra delle peculiarità del rilievo dell'architettura: la sua interdisciplinarietà. Sappiamo che il rilievo utilizza studi precedenti e saperi diversi come base imprescindibile per la sua corretta esecuzione e che un buon rilevatore deve saper acquisire le misure in modo corretto, ma soprattutto deve sapere "cosa" rilevare. Nel processo di rappresentazione emergono spesso, a fianco delle molte conferme degli esiti di studi precedenti, significative contraddizioni che aprono nuovi punti di vista e prospettive di ricerca. Nel caso in esame la collaborazione di un archeologo esperto in tecniche costruttive di età antica<sup>4</sup> ha permesso di 'vedere' piccole tracce scolpite sulla pietra, ignorate in gran parte dei precedenti studi sul tempio e nelle fasi iniziali del rilievo; tali tracce, come risulta evidente nei paragrafi dedicati alla ricostruzione del peristilio, hanno condizionato in modo decisivo il processo di interpretazione dei pezzi e la loro ricollocazione virtuale. L'interdisciplinarietà ha ovviamente carattere biunivoco e richiede una costante collaborazione fra gli studiosi; a titolo esemplificativo, ricorderemo che dai primi studi sull'anastilosi di una colonna, condotti dopo il workshop del 2005<sup>5</sup>, è emerso che anche le colonne non scanalate del tempio G avessero un'entasi; tale osservazione, consentita dalla puntuale documentazione offerta dallo scanner laser, contraddiceva in modo palese la diffusa convinzione che

l'entasi venisse applicata solo al momento della scanalatura della colonna.

La prima fase di lavoro di studio è stata dedicata all'analisi dei rilievi e dei disegni del tempio prodotti tra la seconda metà del XVIII secolo e la prima metà del XX. In questo periodo le prime ipotesi ricostruttive, condotte sulle rovine parzialmente sepolte dalla sabbia, vennero progressivamente corrette fino a determinare l'assetto planimetrico; il tempio G era uno pseudodiptero che misurava allo stilobate circa 110\*50m; aveva 8 colonne sui lati corti, 17 sui lati lunghi, cella ipetrale divisa longitudinalmente in tre parti da due file di 10 colonne, con pronao prostilo e opistodomo in antis<sup>6</sup> (Fig. 6).

La ricca documentazione grafica prodotta in quasi due secoli è costituita da disegni che possono essere classificati in tre gruppi: al primo appartengono i disegni nei quali le rovine del tempio sono parte integrante di un paesaggio naturale imponente, sotto un cielo incumbente affollato da nubi; tali immagini aderiscono pienamente ai canoni estetici del tempo, nei quali le dimensioni estetiche del Pittoresco e del Sublime convergevano nell'esaltazione nostalgica della perduta grandezza del mondo antico (Figg. 7-8). Ai disegni del secondo gruppo appartengono i disegni 'bidimensionali' in proiezione parallela ortogonale, restituiti da rilievi *in situ* o copiati da altri disegni; a questo gruppo appartengono le piante del tempio, le ricostruzioni degli alzati e le sezioni verticali. Si tratta di disegni dal forte carattere oggettivo, nei quali nulla o poco è concesso alla qualità estetica o evocativa dell'immagine; tali disegni documentano in modo evidente la competenza e la professionalità degli studiosi, che con rilievi diretti riuscivano ad ottenere risultati di notevole precisione. Al terzo gruppo appartengono infine i disegni di "ricostruzione", nei quali il tempio o il contesto urbano vengono rappresentati

nel loro "originario" assetto; ciò che accomuna questi disegni a quelli del primo gruppo è la forza emotiva ed evocativa; la rappresentazione in entrambi i casi si scosta dalla realtà e la sostituisce; è difficile oggi pensare di poter osservare le rovine di Selinunte nella loro effettiva consistenza senza cercare in esse la grandezza evocata nei disegni di ricostruzione. Il passaggio, che conduce dall'esaltazione della rovina e del frammento alla celebrazione della grandezza originaria degli edifici e dei luoghi, è testimoniato dalla scarsa caratterizzazione del paesaggio e del cielo sovrastante, che assumono il ruolo di sfondo neutrale.

Fra le ricostruzioni del tempio G emergono, per profondità di analisi e qualità dei disegni, quelle redatte dalle coppie di studiosi Hittorff, Zanth (1870) e Hulot, Fougères (1910). In entrambi i casi ai disegni in proiezione ortogonale, che documentano piante, sezioni costruttive ed alzati dei fronti, si accompagnano prospettive nelle quali gli ambienti o gli scenari urbani o paesaggistici sono ricostruiti nella loro compiutezza, frutto quasi sempre di invenzione, e pertanto capaci di suscitare emozione ed interesse. La prospettiva dell'interno della cella di Hittorff e Zanth (Fig. 9), la pianta della città (Fig. 10) e ancora la prospettiva aerea dal mare (Fig. 11) di Hulot-Fougères evocano Selinunte così come probabilmente non è mai stata e costituiscono un efficace alternativa alla vera Selinunte, di cui non conosceremo mai le fattezze.

#### *La cornice ionica nel tempio G di Selinunte*

Fra le rovine del Tempio G sono state rintracciate alcune parti che gli studiosi attribuiscono ad una cornice ionica modanata, posta presumibilmente nella parte sommitale dei muri della cella (Fig. 12). Benché il tempio G sia dorico, alcuni

blocchi decorati con modanature ioniche a dentelli (Fig. 13) e profili a gola rovescia (Fig. 14), che gli archeologi hanno identificato come parti di una cornice, sono tutt'oggi rinvenibili *in situ* nell'area del *naos*. Elementi dorici e ionici venivano spesso combinati negli edifici della Grecia occidentale; Shoe (1952) osserva che nei templi siciliani tali modanature erano quasi sempre sovradimensionate.

Negli studi concernenti l'area del *naos*, fra i temi dibattuti emerge quello relativo alla forma e alla collocazione della cornice in oggetto; le ipotesi ricostruttive formulate tra XIX e XX secolo mostrano significative incongruenze.

La cornice era composta da due blocchi sovrapposti, caratterizzati rispettivamente da una modanatura a gola rovescia e da una modanatura a dentelli.

Hittorff e Zanth (1870) per primi identificano i frammenti della cornice nel corso del loro viaggio in Sicilia del 1823; Hittorff descrive i blocchi rilevati *in situ* con modanature a dentelli e gola rovescia ed elabora l'ipotesi secondo cui in origine la cornice ionica era posta sulla parte sommitale dei muri longitudinali della cella ed era rivolta verso l'interno; fornisce inoltre una completa descrizione degli elementi che la compongono; i disegni di Zanth raffigurano il blocco con dentelli posto al di sopra del blocco modanato con gola rovescia (Fig. 15).

Serradifalco (1834), in totale disaccordo con Hittorff, pone il blocco con dentelli al di sotto del blocco a gola rovescia e l'intera cornice ionica nel colonnato interno della cella, fra il primo ed il secondo ordine di colonne (Fig. 17).

Koldewey e Puchstein (1899) menzionano la cornice nella monografia dedicata ai templi greci nell'Italia meridionale; essi tuttavia, forse a causa del poco tempo disponibile, si limitarono a fornire una breve

descrizione dei blocchi senza formulare alcuna ipotesi ricostruttiva.

Hulot e Fougères (1910) sono gli ultimi a menzionare la cornice Ionica del tempio G, riproponendo di fatto le ipotesi di Hittorff (fig. 16). Gli studi successivi sul tempio G non affrontano più il tema la cornice; essa non verrà inclusa nemmeno nell'accurato catalogo delle modanature nella Grecia occidentale redatto dell'archeologa americana Lucy Taxis Shoe (1952).

Dall'esame dei contributi sulla cornice ionica del tempio G emergono due importanti interrogativi: il primo riguarda la posizione della cornice all'interno del tempio; il secondo, la mutua posizione e l'orientamento dei due blocchi che la componevano.

La complessità delle rovine ha imposto il ricorso ad una attenta analisi archeologica dei frammenti, ed in particolare delle tracce di lavorazione dei blocchi e dei riferimenti utilizzati dalle maestranze durante la costruzione del tempio, destinati ad essere rimosse nelle fasi terminali della costruzione. La presenza di tali riferimenti, dovuta alla incompiutezza del tempio, ha rivestito un ruolo fondamentale nel processo di anastilosi virtuale. Roland Martin (2003) ricorda che lo studio dei processi di costruzione va condotto attraverso una attenta analisi dei blocchi; Malacrino (2009) propone una accurata rassegna delle tecniche costruttive di età greca ed una classificazione delle tracce utilizzate per consentire il posizionamento dei blocchi o per preservarne gli spigoli durante la posa in opera.

Il tempio G offre un vasto campionario di tali tracce, che gli archeologi definiscono "superfici non finite"; nel processo di ricostruzione virtuale un ruolo fondamentale è stato svolto dalla lettura ed interpretazione delle "superfici di sacrificio"<sup>7</sup> e di quelle "di riferimento"<sup>8</sup>.

La ricostruzione virtuale della cornice ionica è stata elaborata in cinque fasi: analisi archeologica degli elementi individuati; acquisizione dei dati metrici; analisi geometrica degli elementi rilevati; formulazione delle ipotesi ricostruttive; elaborazione del modello tridimensionale.

La lettura archeologica è stata prevalentemente condotta sul campo, attraverso l'osservazione diretta delle superfici non finite rinvenute nei blocchi. L'indagine è stata ristretta allo studio di due elementi modanati adiacenti, che giacciono sulla sommità di un cumulo di blocchi presumibilmente appartenente al muro settentrionale della cella, in una zona prossima al *naiskos* della cella (Fig. 18).

L'individuazione e lo studio delle superfici non finite dei due blocchi della cornice ha fornito importanti informazioni per il loro riposizionamento, consentendo l'individuazione dei piani di posa e di attesa e la definizione di un'ipotesi circa il loro posizionamento.

L'acquisizione dei dati metrici è stata eseguita attraverso la combinazione di metodi di modellazione tridimensionale *range-based* e *image-based*<sup>9</sup>; il laser scanner<sup>10</sup> è stato utilizzato per il rilievo dell'area della cella, ad integrazione delle nuvole di punti acquisite nel 2005; il rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato per aumentare la risoluzione della nuvola di punti degli elementi appartenenti alla cornice. Al fine di estrarre una nuvola di punti dettagliata delle parti visibili dei blocchi, sono state acquisite diverse immagini fotografiche, facendo compiere alla camera un giro completo intorno al blocco; le prese sono state suddivise in coppie stereoscopiche<sup>11</sup>.

La definizione dei modelli geometrici dei singoli elementi ha consentito di validare, mediante il confronto dimensionale, le ipotesi emerse durante l'analisi archeologica.

L'analisi geometrica degli elementi, eseguita con un software per l'elaborazione di scansioni laser<sup>12</sup>, è stata eseguita attraverso il seguente processo: orientamento secondo piani di riferimento corrispondenti ai piani di posa o di attesa; rotazione del blocco intorno all'asse "z" per assegnare alle facce laterali la medesima giacitura dei piani coordinati; estrazione e ridisegno di sezioni piane caratteristiche.

Le sezioni piane ridisegnate sono state utilizzate per la costruzione del modello geometrico tridimensionale; al fine di verificare l'accuratezza del modello, è stato valutato lo scarto fra le sue superfici e la nuvola di punti rilevata (Fig. 19).

In generale il tempio G presenta un duplice problema interpretativo, poiché è un edificio al tempo stesso incompiuto e diruto. Si impongono pertanto due distinti progetti di ricostruzione: l'anastilosi virtuale della configurazione del tempio incompiuto prima del crollo; la ricostruzione virtuale della configurazione che il tempio avrebbe assunto se i lavori di costruzione fossero stati completati.

Le ipotesi ricostruttive vengono quindi formulate tenendo in considerazione la posizione di caduta relativa e assoluta di ogni elemento, l'interpretazione delle superfici di riferimento e il confronto dimensionale degli elementi.

La posizione di caduta degli elementi e il confronto dimensionale con i resti dei muri longitudinali suggeriscono l'appartenenza dei blocchi della cornice ai muri della cella, ma non chiariscono il loro mutuo posizionamento, che è stato ipotizzato sulla scorta dell'analisi delle superfici non finite.

In particolare, dall'esame della faccia con la bugna di sollevamento (opposta alla faccia modanata) del blocco con dentelli (Fig. 20) è emersa la presenza di superfici di riferimento e di superfici di protezione. La superficie di riferimento è costituita da

una fascia orizzontale incassata con una profondità di circa 2 cm, che corre per tutta la lunghezza del margine inferiore come guida per l'esatto allineamento del blocco sul piano di attesa del filare sottostante; le superfici di protezione sono costituite da due fasce verticali poste alle estremità della faccia del blocco, larghe 4,5 cm e con un aggetto pari a circa 1,5 cm (Fig. 22).

Nel blocco con gola rovescia (Fig. 21), la faccia posteriore presenta solamente la bugna di sollevamento; l'assenza di superfici di riferimento conduce ad ipotizzare che la faccia posteriore del blocco non fosse allineata con quella sottostante. A differenza del blocco con dentelli, la superficie di protezione consiste in questo caso in un ispessimento costante della gola rovescia in corrispondenza dei bordi di contatto con i blocchi adiacenti, realizzata per preservarne gli spigoli durante le fasi di posizionamento. L'esame della faccia superiore del blocco rivela infine, in corrispondenza della fascia soprastante la modanatura, la presenza di una superficie ribassata di pochi millimetri dal piano di attesa del blocco; si tratta probabilmente una superficie di scarico, la cui funzione era quella di preservare la parte superiore della gola rovescia da carichi di contatto trasmessi dal blocco soprastante (Fig. 23).

L'esame delle superfici di riferimento e di protezione ha permesso di ricostruire il posizionamento relativo dei due blocchi prima del crollo: la superficie di scarico del blocco a gola rovescia suggerisce la presenza di un blocco sovrastante; escludendo la possibilità di una ripresa del muro della cella in una condizione di aggetto, si può ipotizzare che il blocco sovrastante sia proprio il blocco a dentelli; la presenza in entrambi i blocchi delle bugne di sollevamento nelle facce opposte a quelle modanate conferma l'ipotesi appena avanzata. Si è quindi proceduto ad allineare il bordo superiore della gola rovescia con il piano

interno dei dentelli; tale allineamento porta la faccia posteriore del blocco a gola rovescia in una condizione di aggetto rispetto a quella del blocco a dentelli. Dal rilievo dei blocchi dei muri della cella risulta uno spessore inferiore a quello di entrambi i blocchi della cornice; è stato ipotizzato in questa sede che la faccia posteriore del blocco superiore a dentelli fosse allineata ad una delle due facce del muro; il blocco inferiore a gola rovescia, secondo questa ipotesi, doveva aggettare rispetto ad entrambe le facce del muro della cella. L'assenza di superfici di riferimento sul piano di posa del blocco a dentelli sembra avallare tale ipotesi (Fig. 24).

L'ipotesi formulata in questa sede trova conferma negli studi di Hittorff, che aveva correttamente individuato la relazione reciproca tra i due blocchi, benché con piccoli scostamenti imputabili alla minore accuratezza degli strumenti utilizzati per la misura. (vedi Fig. 15)

Hittorff rivolge le superfici modanate verso l'interno della cella, ma alla luce degli studi finora eseguiti non riteniamo possibile avallare o smentire tale ipotesi; appare invece più debole la proposta di ricostruzione della cornice formulata da Serradifalco. In una sezione di dettaglio di Hulot e Fougères viene infine riproposta l'ipotesi di Hittorff, con una significativa differenza relativa all'aggetto della faccia anteriore del blocco a gola rovescia rispetto al piano del muro della cella (vedi fig. 16); tale ipotesi è stata confermata in questo studio.

#### *Ricostruzione del peristilio e della trabeazione*

Lo studio sulla peristasi si è concentrato sul fronte sud del tempio ed in particolare su due ambiti di significativa importanza per il buono stato di conservazione dei reperti. In corrispondenza dell'angolo sud-est sono stati riconosciuti un

capitello e frammenti del fregio in buono stato di conservazione (Fig. 25); nella parte mediana del fronte sud sono presenti quattro colonne di cui è ancora riconoscibile la successione dei rocchi, frammenti della trabeazione e un elemento del *geison* (Fig. 26).

Nel corso dei sopralluoghi, dopo aver è proceduto alla individuazione degli elementi appartenenti alla colonna e all'architrave (Fig. 27) è stato eseguito il loro rilievo di dettaglio con metodi laser scanning e fotogrammetrici.

L'anastilosi virtuale del peristilio è stata condotta in due fasi: nella prima è stato individuato il piano di posa dei blocchi ed è stato eseguito l'orientamento secondo i piani orizzontali individuati; nella seconda si è proceduto alla giustapposizione degli elementi. L'anastilosi e la ricostruzione virtuale della peristasi del tempio G è stata preceduta dalla determinazione della dimensione esatta del crepidoma, dell'intercolumnio e della distanza della colonna dal bordo dello stilobate. Le dimensioni del crepidoma sono state ricavate misurando le distanze secondo le normali a due piani verticali corrispondenti ai bordi Ovest ed Est, e quindi fra analoghi piani sui bordi Nord e Sud. Si è così giunti a dimensionare i lati dello stilobate in 112,80 x 50,90 m. L'altezza massima dello stilobate è stata misurata costruendo per interpolazione il piano di riferimento passante per punti riconoscibili della sua superficie orizzontale e misurandone la distanza in più punti rispetto al livello del terreno. L'altezza media rilevata, pari a 1,76 m, risulta congruente con quella ipotizzata da Hulot e Fougères (1,80 m). Le distanze tra la peristasi e il bordo dello stilobate sono state individuate sezionando la nuvola di punti al livello dell'imoscapo; è stata dedotta una distanza media pari a 25 cm, ed una misura media dell'intercolumnio, suscettibile di varia-

zioni probabilmente ascrivibili ai dissesti causati dal crollo, pari a 6,60 m.

La sovrapposizione del modello alla nuvola di punti ha confermato le ipotesi fatte; ripetendo la misura dell'intercolumnio per tutta la lunghezza del fronte, le posizioni ipotizzate sono risultate congruenti con le posizioni delle ulteriori colonne dedotte dalla nuvola di punti (Fig. 28).

L'indagine finalizzata alla restituzione di un modello discreto della colonna è stata effettuata sui rocchi delle quattro colonne nella zona mediana del fronte sud; le nuvole di punti acquisite ad alta risoluzione sono state riferite ai rilievi eseguiti nel 2005 con misure topografiche eseguite dai vertici della poligonale esterna al tempio.

I rocchi delle colonne sono stati isolati dalla nuvola di punti e per ciascuno di essi è stato costruito, per interpolazione di punti, un piano di riferimento corrispondente al piano di attesa; è stata infine eseguita la rototraslazione dei rocchi secondo i piani individuati. Sono state tracciate una serie di sezioni orizzontali poi approssimate a circonferenze; i centri delle circonferenze non appartengono ad una retta verticale; dalla proiezione delle circonferenze su un unico piano orizzontale è stato possibile determinare la retta che passa per le proiezioni dei centri e quindi misurare l'angolo che tale retta forma con una ulteriore retta adottata come riferimento (Fig. 29); tale angolo è stato determinato per ciascun rocchio e le variazioni rilevate fra rocchi consecutivi hanno entità compatibile con la dinamica del sisma. Sono state quindi imposte alle nuvole di punti dei singoli rocchi le rotazioni inverse di valore pari agli angoli misurati. Le nuvole dei singoli rocchi, correttamente orientate, sono state quindi giustapposte secondo i piani di attesa dei blocchi, restituendo così la colonna nella sua interezza (Fig. 30). Il modello del capitello è stato eseguito misurando le dimensioni dell'abaco ed estraendo il

profilo dell'echino dalla nuvola di punti. La costruzione del modello ha evidenziato l'inclinazione dell'asse della colonna, pari ad un valore angolare medio di 1,2 deg, e la presenza dell'entasi; si può quindi ipotizzare che, a differenza di quanto riportato nella letteratura sull'argomento, nel caso del tempio G le correzioni ottiche siano state imposte al fusto, già nello stadio di lavorazione preliminare a quello della scanalatura.

Terminata la ricostruzione della colonna, si è proceduto alla ricognizione degli elementi appartenenti alla parte inferiore della trabeazione: sono stati identificati tre frammenti di dimensioni compatibili lungo il fronte sud e anche per questi elementi sono state utilizzate le operazioni di rototraslazione necessarie a ricondurre le facce dei blocchi alla stessa giacitura dei piani coordinati. I blocchi sono stati quindi sezionati secondo le tre direzioni principali e le sezioni sono state utilizzate per la costruzione di modelli discreti. Il confronto con blocchi simili è servito a ricomporre la forma ideale dei blocchi, ricomponendone i frammenti e ricostruendo le parti erose o degradate.

Il passo successivo è consistito nello studio della parte sommitale della trabeazione, con la modellazione dei blocchi a *tenia*, *regula* e *guttae*. A questo scopo sono stati utilizzati due frammenti rinvenuti lungo il fronte sud e uno nei pressi del fronte nord. La nuvola di punti è stata come sempre isolata, orientata e sezionata per studiarne forma e dimensione. Uno dei frammenti del fronte sud, non adeguatamente documentato dalle scansioni laser, è stato rilevato tramite *dense-matching* fotogrammetrico con blocco a prese convergenti<sup>13</sup> (Fig. 31).

La nuvola di punti estratta secondo il procedimento fotogrammetrico è stata orientata, sezionata e studiata con i metodi già descritti. Il frammento del fronte nord

(Fig. 32), in ottimo stato di conservazione, è stato rilevato anch'esso tramite procedure fotogrammetriche; i suoi valori dimensionali si sono rivelati congruenti con i frammenti del fronte Sud.

Il triglifo, elemento caratterizzante del fregio dorico, è stato riconosciuto nei pressi delle colonne nella parte centrale del fronte sud. La nuvola di punti della parte frontale del triglifo presentava significative lacune; per questo motivo si è proceduto ad una integrazione con rilievo fotogrammetrico a prese stereoscopiche. La nuvola di punti ottenuta è stata allineata alla precedente individuando punti omologhi e applicando un algoritmo di rifinitura dell'allineamento che minimizza gli scarti fra le nuvole di punti. I dati integrati sono stati quindi elaborati secondo le procedure già descritte ed è stato costruito il modello del triglifo.

Un blocco del *geison* è stato riconosciuto in prossimità della parte centrale del fronte sud. In questo caso il modello è stato realizzato utilizzando un rilievo fotogrammetrico; la geometria del blocco ha suggerito l'esecuzione del raddrizzamento<sup>14</sup> della faccia laterale, utile a ricostruire il profilo da sottoporre ad estrusione; la messa in scala è stata eseguita sulla base di misure desunte dalla scansione laser.

L'ultimo elemento analizzato è un blocco estruso con una faccia che presenta una modanatura a becco di civetta. Pur essendo molto diffuso fra le rovine del tempio, il suo riconoscimento nella scansione laser è risultato difficoltoso a causa delle sue dimensioni notevolmente ridotte. Le nuvole di punti si sono rivelate difficili da orientare e inadatte alla ricerca dei piani di posa, a causa della loro inadeguata risoluzione. Si è scelto, come nel caso precedente, di ricavare il modello attraverso il raddrizzamento della faccia laterale, dimensionato con misure dirette (Fig. 33).



Attraverso la giustapposizione dei modelli discreti dei frammenti riconosciuti è stato possibile giungere all'ipotesi di anastilosi virtuale della peristasi. La ricollocazione di tali frammenti ha permesso di estrarre la sezione costruttiva dell'architrave e del fregio; tale sezione è stata confrontata con il modello digitale del tempio costruito secondo l'ipotesi di Hulot e Fougères (Fig. 34); le lacune emerse dal confronto della sezione dei due modelli hanno sollecitato un'ulteriore indagine sul campo al fine di ritrovare pezzi che corrispondessero alle caratteristiche dimensionali e geometriche degli elementi mancanti. Questa fase ha rappresentato il momento forse più interessante del lavoro, poiché il riconoscimento di tali pezzi, la loro modellazione e ricollocazione, ha consentito di giungere ad un'ipotesi rigorosa della forma della peristasi del tempio (Fig. 35).

#### *Visualizzazione dei modelli di ricostruzione*

La sperimentazione sui metodi per la visualizzazione dei modelli, e per la consultazione delle informazioni emerse nel corso dello studio, è stata condotta attraverso lo sviluppo di applicazioni di realtà aumentata e di realtà virtuale.

La realtà aumentata, come noto, è un sistema di grafica interattiva che consente l'inserimento di oggetti virtuali in una scena reale, attraverso l'allineamento della scena reale e di quella virtuale. Il problema fondamentale dell'allineamento è costituito dalla determinazione in tempo reale della posizione dell'osservatore rispetto all'oggetto virtuale, comunemente denominata *tracking*; tale posizione viene determinata abbinando l'oggetto virtuale ad un marker codificato; il software di realtà aumentata interpreta la deformazione prospettica del marker e proietta la

corrispondente immagine prospettica del modello. Possibili applicazioni di realtà aumentata possono essere realizzate *in situ* con HMD<sup>15</sup>, pannelli informativi e marker posti sia all'interno delle sale espositive che lungo il percorso di visita; ulteriori applicazioni potrebbero essere realizzate anche per utenti web, attraverso l'uso di webcam e marker (Fig. 36).

Per la realtà virtuale vengono abitualmente utilizzati software di *real time rendering*, dotati di funzioni che consentono l'esplorazione della scena virtuale. Il vantaggio di questi sistemi, rispetto alle animazioni virtuali, consiste nella libertà di poter scegliere il proprio percorso di navigazione all'interno del modello; il limite risiede ad oggi nella minore qualità delle immagini renderizzate.

La sperimentazione sulla realtà virtuale ha condotto all'elaborazione di un applicativo per la fruizione di contenuti<sup>16</sup>, suddiviso in due aree tematiche: nell'area "informativa" è possibile consultare la galleria di fotografie del sito e i disegni di Selinunte prodotti tra XVIII e XX secolo, visualizzare ed esplorare la nuvola di punti 3D del tempio ed infine accedere ad una pagina interattiva nella quale i frammenti utilizzati per la ricostruzione sono visualizzati all'interno delle rovine e nel modello ricostruttivo. Nella sezione "Virtual Reality" è presentato il modello del tempio G di Selinunte secondo la ricostruzione di Hulot e Fougères, arricchito e commentato sulla scorta degli esiti di questo studio (Fig. 37).

La singolarità dell'applicativo risiede nella possibilità di eseguire la navigazione in tempo reale ed accedere contestualmente a informazioni riguardanti gli elementi architettonici; è possibile inoltre escludere dalla visualizzazione alcune parti del tempio per esplorarne la struttura architettonica. Alle aree di studio del tempio, evidenziate sul modello con appositi

pannelli interattivi, sono state inoltre collegate finestre navigabili in cui è presente la sovrapposizione dei modelli generati con i dati del rilievo (Fig. 38).

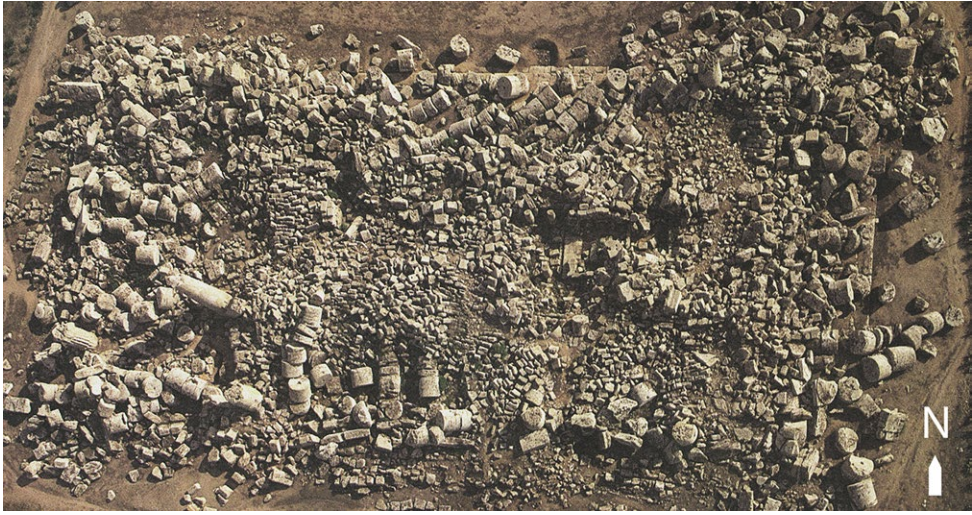
### Note

- 1 Il Workshop su “Tecniche Innovative per il rilevamento dei beni archeologici” si è tenuto a Selinunte dal 20 al 29 giugno del 2005; hanno coordinato le attività Ernesto Redondo, Joaquim Regot e Joan Font del Politecnico di Catalogna (ETSAB-ETSAV), Fabrizio Agnello e Nunzio Marsiglia dell’Università di Palermo (UNIPA). Al workshop hanno partecipato i ricercatori: Andrés de Mesa (ETSAB), Fabrizio Avella e Manuela Milone (UNIPA); i Dottori di Ricerca Giuseppe Azzaro, Giacinto Barbera, Antonio Gaziano, Giuseppe Verde (UNIPA) e Pasquale Argenziano della Seconda Università di Napoli (UNINA2); gli allievi di corsi di dottorato: Genís Àvila, Eloi Coloma, Lluís Jimenez, Pau Majó, Rodrigo Alvarado (ETSAB-ETSAV), Valentina Favalaro, Claudia Fiore, Germana Lo Meo, Marcella Moavero e Francesco Paolo Triscari (UNIPA), Valentina Castagnolo e Anna Christiana Maiorano del Politecnico di Bari (POLIBA). Sono intervenuti nel corso del Workshop i docenti Angelo Ambrosi (POLIBA), Roberto De Rubertis dell’Università di Roma “La Sapienza”, Raffaele Frasca (UNIPA), Carmine Gambardella, Sabina Martusciello e Ciro Robotti (UNINA2), Fausto Pugnaroni del Politecnico delle Marche. Il Workshop è stato patrocinato dalla Elsa Perretti Foundation e dall’Assessorato ai BB.CC. AA. della Regione Sicilia.
- 2 Maria Luisa Schiera “*Il tempio G di Selinunte. Analisi storica e rilievo per l’anastilosi virtuale di una porzione della peristasi*” (a.a. 2007/2008), relatore Fabrizio Agnello, correlatore Mirco Cannella; Federico Maria Giannusso “*Rilievo e lettura archeologica per l’anastilosi virtuale di una porzione del Tempio G di Selinunte*” (a.a. 2009-2010), relatore Fabrizio Agnello, correlatori Mirco Cannella e Carlo Zoppi; Marco Carella “*Tempio G di Selinunte. Rilievo ed anastilosi virtuale del fronte sud*” (a.a. 2009-2010), relatore Fabrizio Agnello, correlatore Mirco Cannella.

- 3 Fra le pubblicazioni sugli esiti degli studi condotti fra il 2005 e il 2010 si segnalano: Agnello et al., 2006; Giannusso, 2012.
- 4 Gli autori desiderano ringraziare vivamente il Prof. Carlo Zoppi, archeologo e docente presso l’Università del Piemonte orientale, Dipartimento di Studi umanistici, che da anni conduce ricerche sui siti di Agrigento e Selinunte. La sua competenza sulle tecniche costruttive del mondo antico, la sua profonda conoscenza del tempio G e il suo spirito di fattiva collaborazione hanno consentito agli studi sul tempio di raggiungere obiettivi altrimenti impensabili.
- 5 Agnello, Lo Meo (2007).
- 6 Per una accurata e completa rassegna dell’iconografia del tempio G di Selinunte si rimanda ad Amari (2010).
- 7 L’*Apergon* (superficie protettiva, o di sacrificio) è un residuo della superficie grezza dei blocchi che viene lasciato in fase di sbazzatura, a protezione degli spigoli o delle parti fragili, per garantirne l’integrità durante il trasporto o durante le operazioni di posizionamento, (Malacrino, 2009, p. 38).
- 8 La *Periteneia* (superficie di riferimento) è una fascia in sottosquadro nella superficie sbazzata del blocco che facilitava l’allineamento del blocco con il filare sottostante; guidava inoltre la fase di finitura del blocco, indicando il limite massimo per la rimozione delle superfici grezze (Malacrino, 2009, p. 102).
- 9 Remondino, 2006.
- 10 Per il rilievo sono stati utilizzati gli scanner Leica ScanStation2, Leica C10.
- 11 Per la restituzione fotogrammetrica delle nuvole di punti è stato utilizzato il software commerciale Photomodeler Scanner.
- 12 L’elaborazione delle scansioni laser è stata eseguita con il software Inus Rapidform XOS.
- 13 L’elaborazione fotogrammetrica è stata eseguita con il software Photomodeler Scanner.
- 14 Il raddrizzamento delle prese fotografiche è stato eseguito con il software Rollei MSR 4.0.
- 15 L’acronimo HMD (Head Mounted Displays) indica caschi virtuali, ampiamente diffusi fra gli utenti di videogiochi, nei quali due piccoli monitor sono posti davanti agli occhi dell’osservatore; per le applicazioni di realtà aumentata è richiesta anche una piccola telecamera che inquadra la scena reale.
- 16 L’applicativo è stato realizzato in Adobe Flash con linguaggio actionscript 3.0, con il motore di *real time rendering* “Sophie 3D”.

BIBLIOGRAFIA

- Agnello F., Marsiglia N., Redondo Dominguez E. (2006), *Levantamiento del templo; parque arqueológico de Selinunte*, Atti del Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, Sevilla.
- Agnello F., Lo Meo G. (2007), *Il rilievo con scanner laser del tempio G di Selinunte. Elaborazione delle scansioni e metodo per l'anastilosi virtuale di una colonna*, in Atti del convegno "Sistemi informativi per l'architettura", Ancona.
- Amari S. (2010), *I disegni di restituzione dal Settecento al Novecento del Tempio G di Selinunte e dell'Olympieion di Agrigento*, Siracusa.
- Beraldin J.A. et al. (2005), *Virtual reconstruction of heritage sites: opportunities and challenges created by 3D technologies*, International workshop on recording, modeling and visualization of cultural heritage, Ancona.
- Coarelli F., Torelli M. (1992), *Selinunte in Sicilia. Guide Archeologiche*, Roma-Bari.
- Giammusso F. (2012), *Surveying, Analysis and 3D Modeling in Archaeological Virtual Reconstruction. The inner colonnade of the naos of Temple G of Selinunte*, 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milano, pp.57-64.
- Hofer M. et al. (2009), *3D technology research challenges for the digital anastylosis of ancient monuments illustrated by means of the Octagon in Ephesos*, ACM Journal on computers and cultural heritage, n. 1.
- Hittorff J.I., Zanth K.L. (1870), *Architecture antique de la Sicile, ou Recueil des monuments de Ségeste et de Sélinonte*, Parigi.
- Hulot J., Fougères G. (1910), *Sélinonte: la ville, l'acropole et les temples*, Parigi.
- Koldewey R., Puchstein O. (1899), *Die griechischen Tempel in Unteritalien und Sizilien*, Berlino.
- Kurdy M. et al. (2011), *3D virtual anastylosis and reconstruction of several buildings in the site of Saint-Simeon, Syria*, 4th International workshop 3D-Arch 2011, Trento.
- Malacrino C.G. (2009), *Constructing the ancient world: architectural techniques of the Greeks and Romans*, Verona.
- Martin R. (2003), *Greek Architecture*, Milano.
- Mertens D. (2007), *Architettura greca. Storia e monumenti del mondo della polis dalle origini al V secolo*, Milano.
- Remondino F., El Hakim S. (2006), *Image-based 3D modeling. A review*, The photogrammetric record, vol. 21, pp. 269-291.
- Serradifalco D. (1834), *Le antichità della Sicilia*, Palermo.
- Shoe L.T. (1952), *Profiles of western Greek mouldings*, Roma.
- Tuzet H. (1988), *Viaggiatori stranieri in Sicilia nel XVIII secolo*, Palermo.



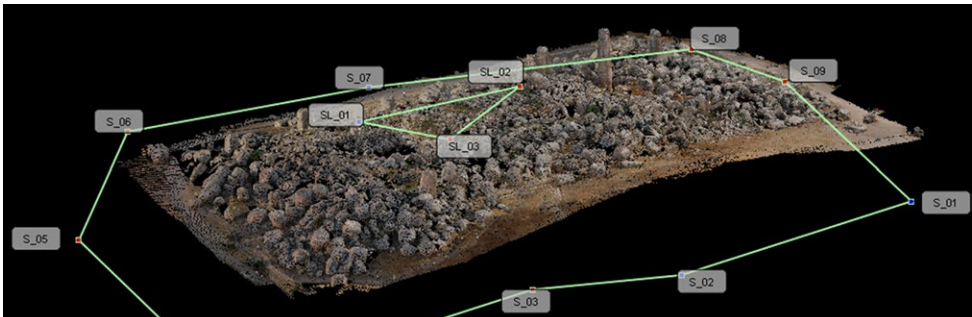
1



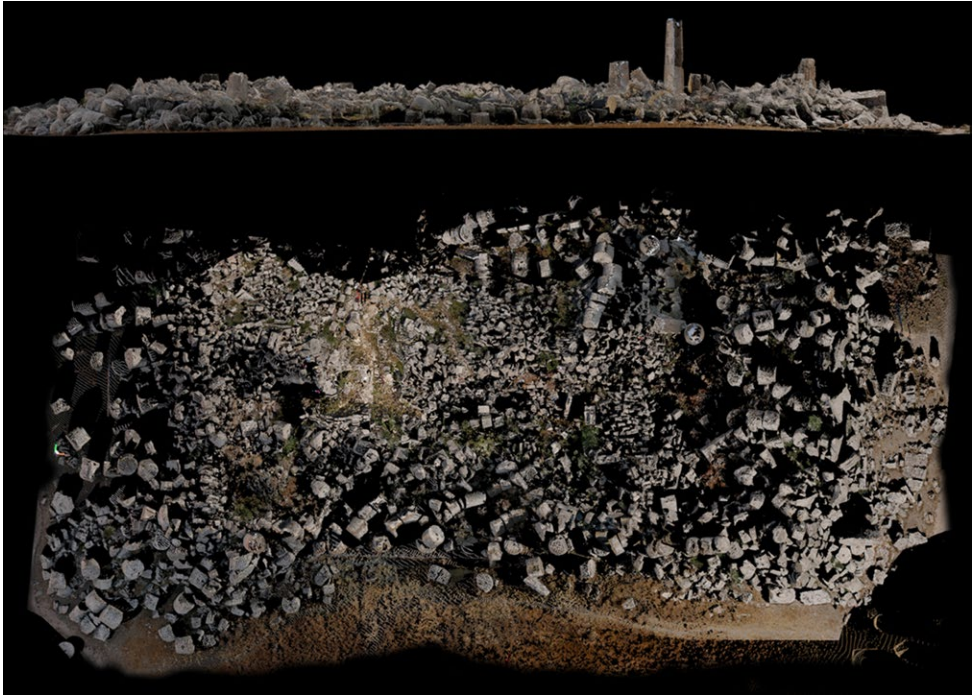
2



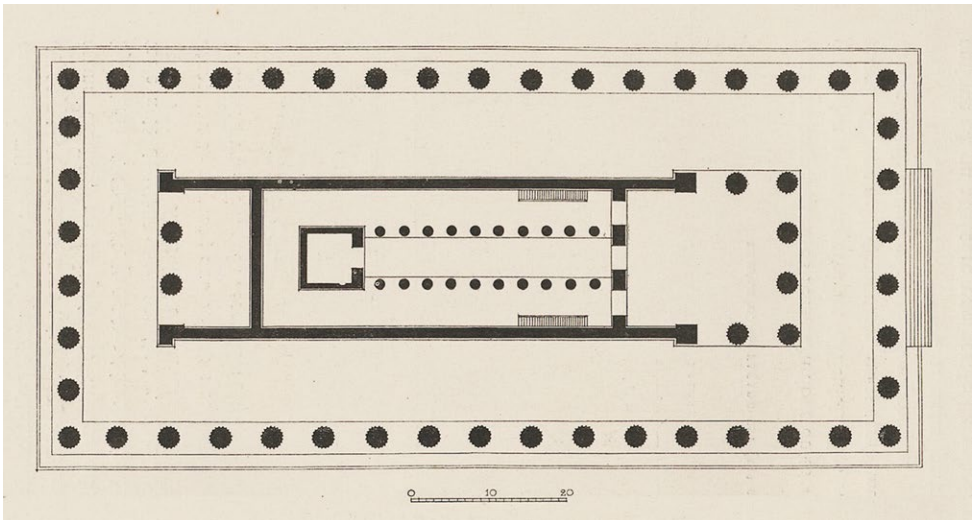
3



4



5



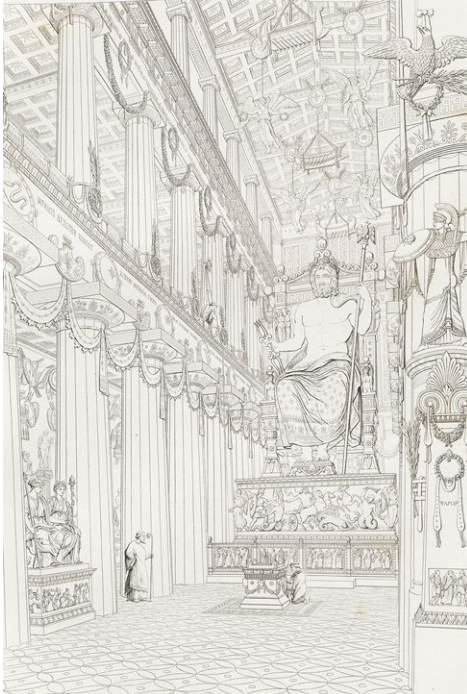
6



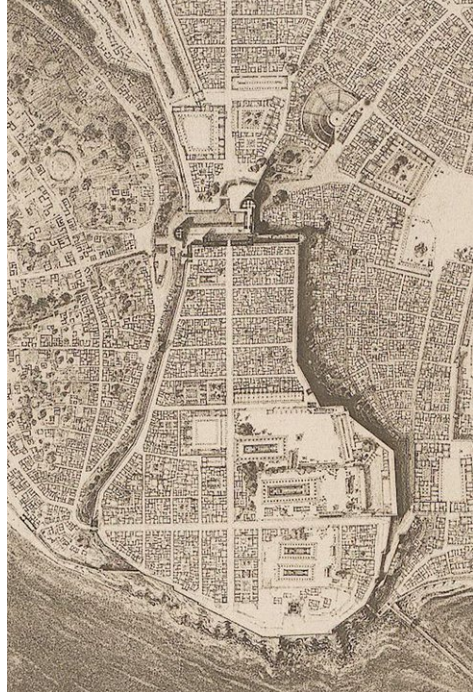
7



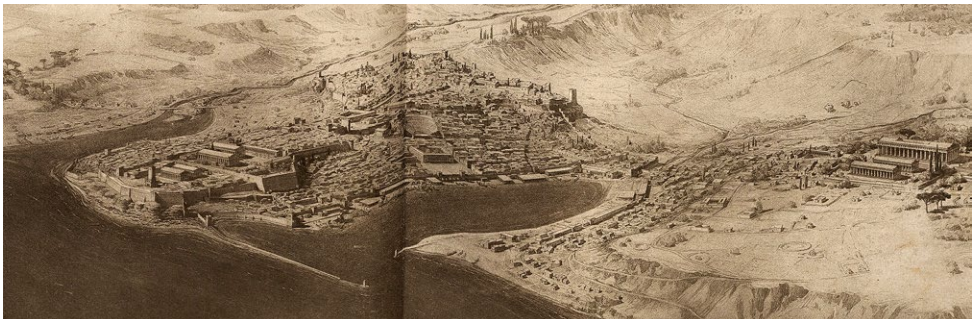
8



9



10



11



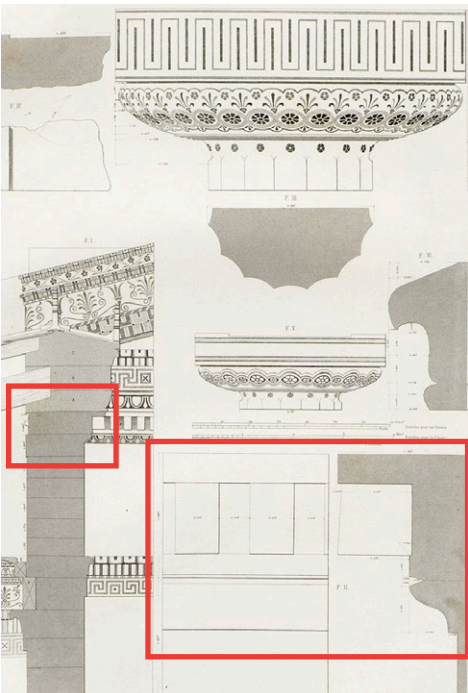
12



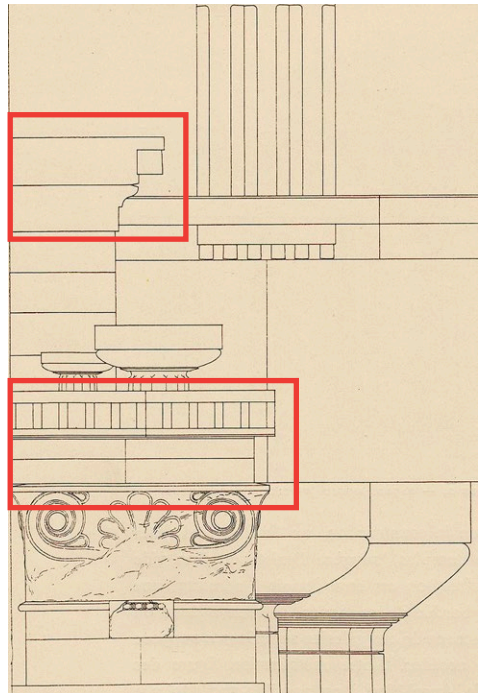
13



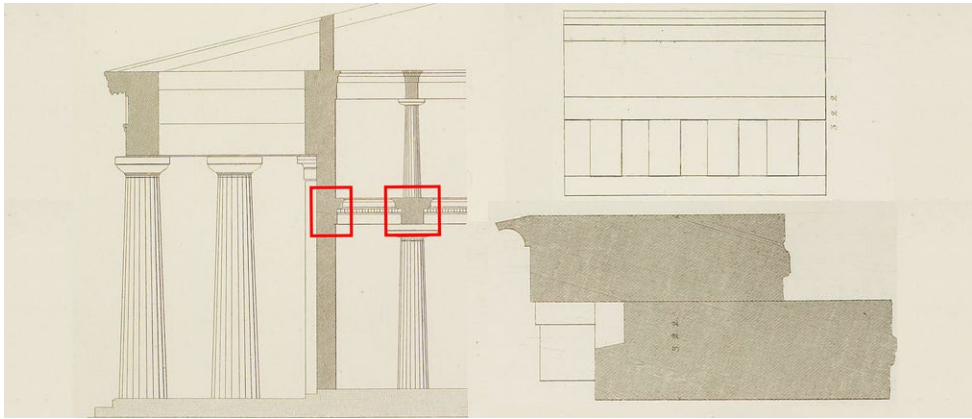
14



15



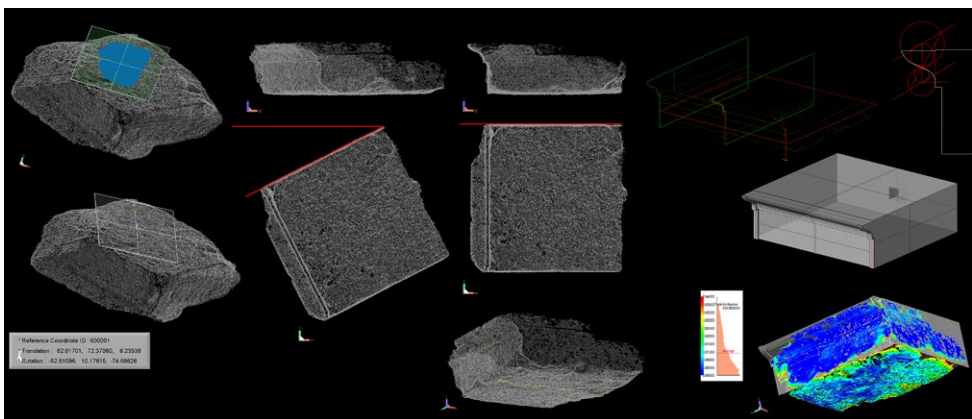
16



17

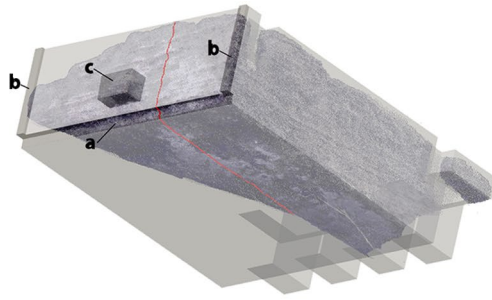
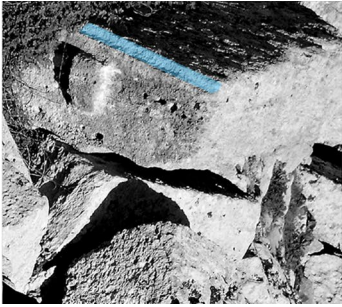


18

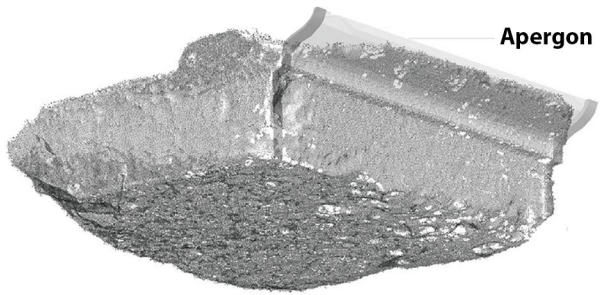
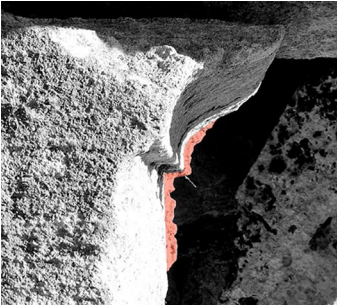


19

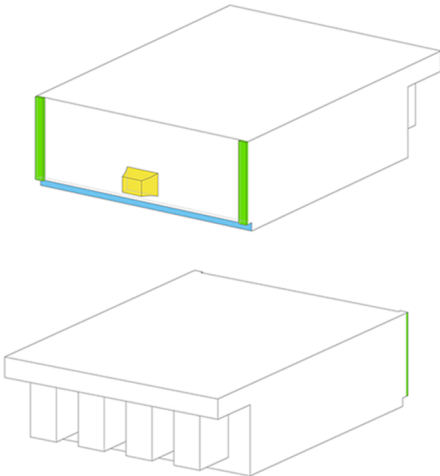




20



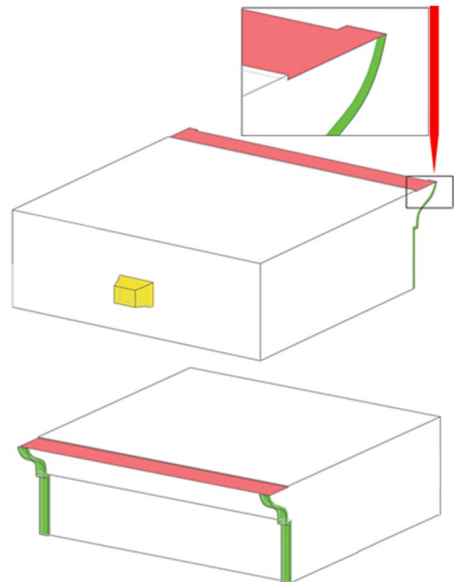
21



- a. Periteneia a fascia orizzontale (incasso)
- b. Apergon (protezione angolare)
- c. Bugna di sollevamento



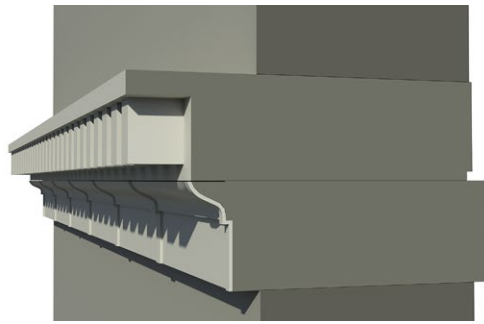
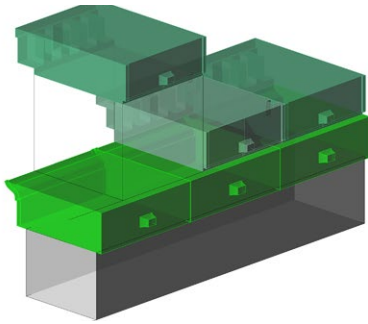
22



- Apergon (protezione angolare)
- Bugna di sollevamento
- Superficie di scarico



23



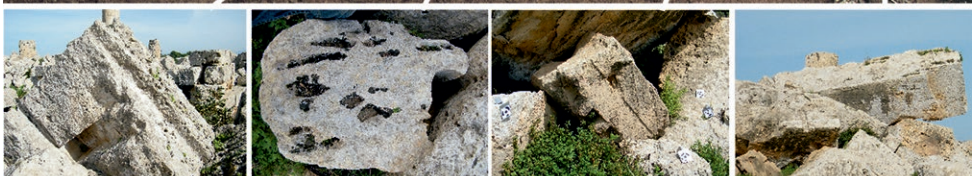
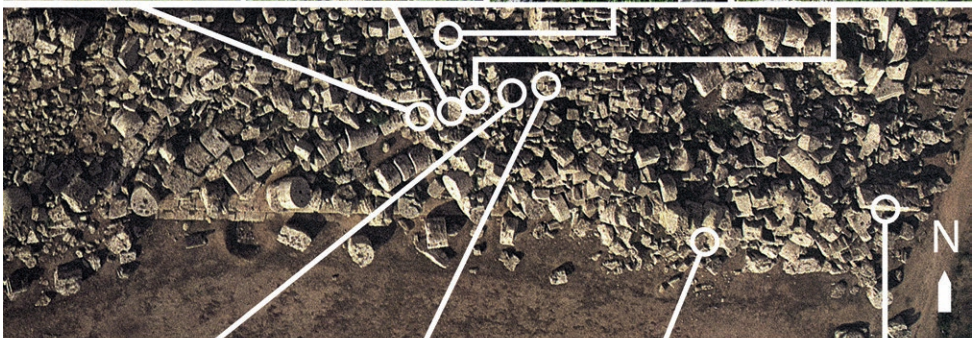
24



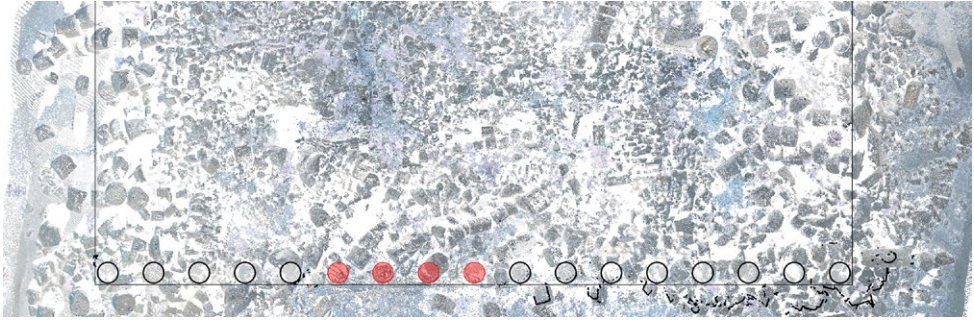
25



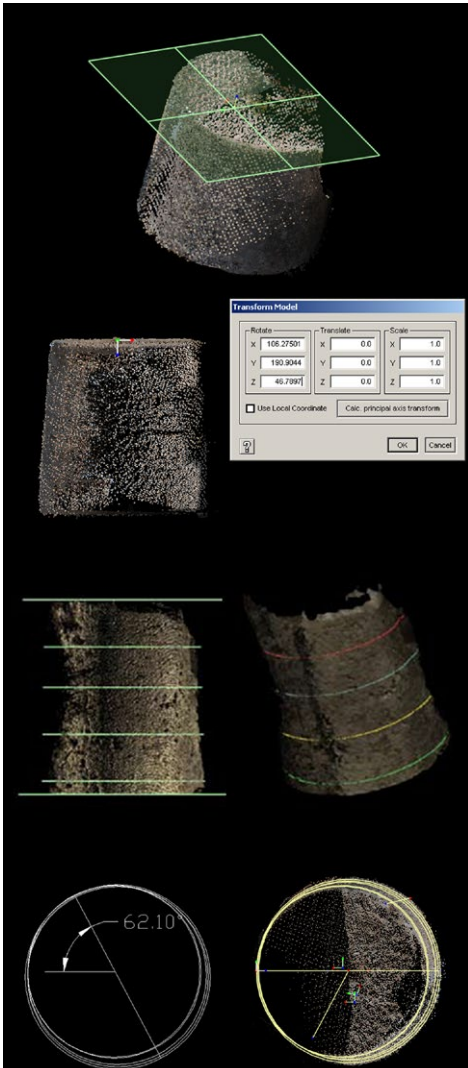
26



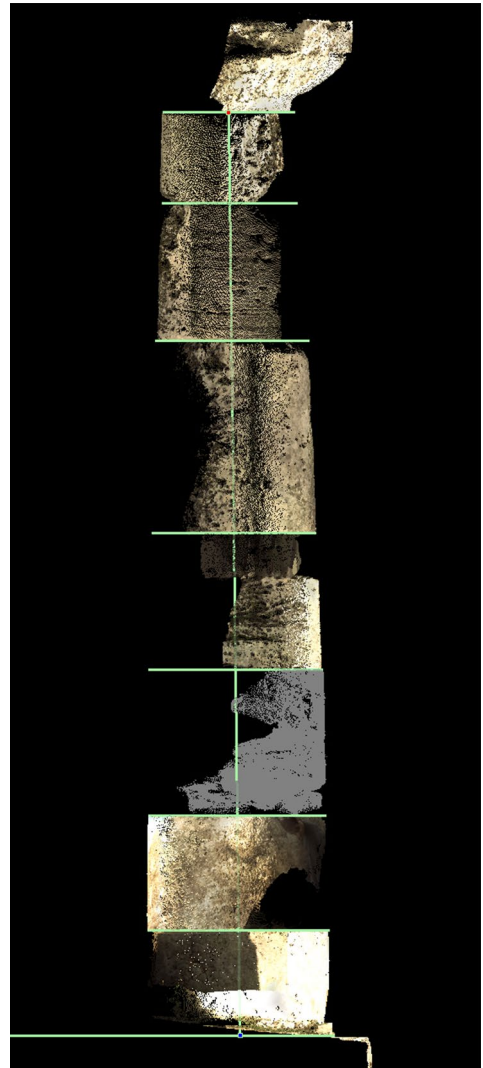
27



28



29



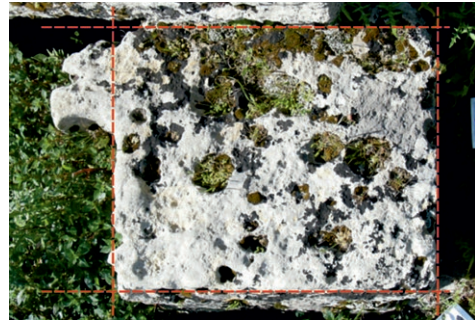
30



31



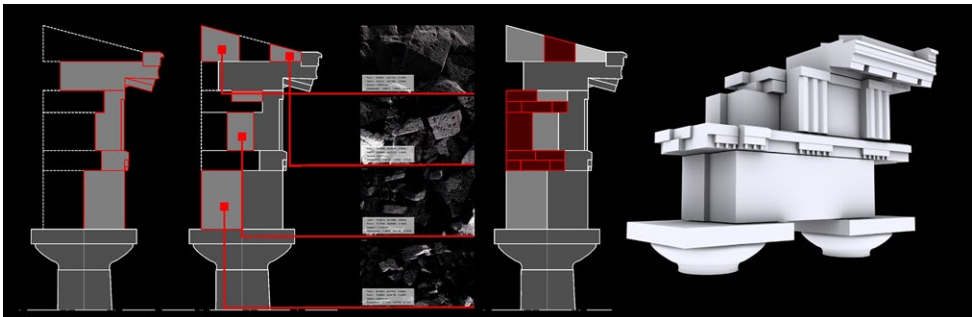
32



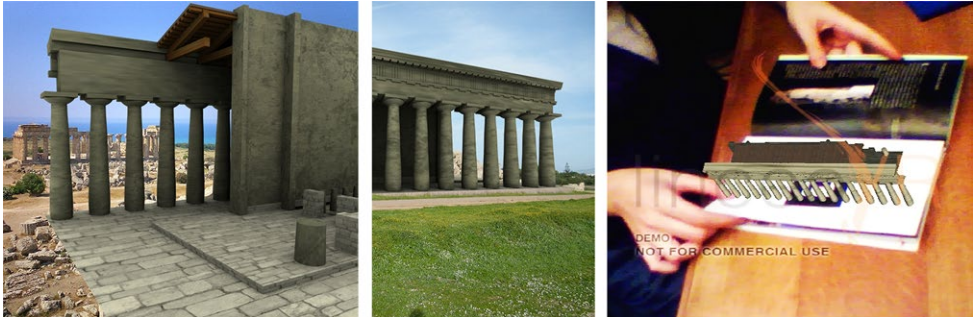
33



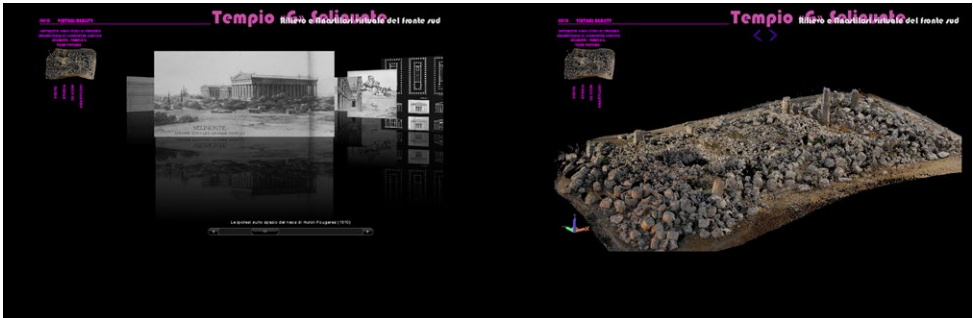
34



35



36



37



38

## DIDASCALIE DELLE ILLUSTRAZIONI

1. Foto nadirale del Tempio
2. Foto del tempio dall'angolo sud-est
3. Foto del tempio dall'angolo sud-ovest
4. Vista prospettica della nuvola di punti e della poligonale topografica
5. Viste della nuvola di punti: Planimetria e fronte sud del Tempio
6. "Temple G – Plan restauré", Hulot et Fougères (1910), p. 251
7. "Vue d'une partie des Ruines du grand Temple de Jupiter à Selinunte" Saint-Non (1783), Libro IV, Capitolo VIII, Tavola 77
8. "Vue generale des debris du plus grande des temples de Selinunte", Houel (1784), Vol. I, Planche XX
9. "Vue de la cella restituée du temple T", Hittorff e Zanth (1870), Tav. 74.
10. "Sélinonte. Plan d'ensemble restauré", Houlot et Fougères (1910), Planche III, pag. 145.
11. "Sélinonte. Aspect general reconstitué", Planche II, pag. 62
12. L'area esaminata
13. Blocco a dentelli
14. Blocco a gola rovescia
15. "Détails des ordres de l'intérieur du temple T", Hittorff e Zanth (1870), tav. 78, figg. 1-2
16. "Détail de l'Ordre", Hulot e Fougères (1910), p. 254.
17. Cornice ionica e sezione trasversale del tempio, Serradifalco (1834), tavv. 24 e 24b
18. Localizzazione degli elementi studiati
19. Orientamento della nuvola di punti e costruzione del modello geometrico
20. Blocco con dentelli
21. Blocco con gola rovescia
22. Blocco con dentelli: superfici non finite
23. Blocco con gola rovescia: superfici non finite
24. Anastilosi virtuale
25. Tempio G: angolo sud-est
26. Tempio G: parte mediana del fronte sud
27. Localizzazione di alcuni dei frammenti analizzati
28. Identificazione delle colonne studiate e particolare di una scansione laser
29. Procedura di isolamento, sezione e orientamento dei rocchi
30. Ricostruzione della colonna
31. Sintesi del processo fotogrammetrico *dense-matching*
32. Frammento del blocco a *reguale* e *gutta* rinvenuto lungo il fronte Nord
33. Dimensionamento del *geison* con fotoraddrizzamento
34. Modello digitale del tempio secondo l'ipotesi di Hulot e Fougères
35. Confronto sezioni e completamento della trabeazione
36. Sperimentazione di applicazioni di realtà aumentata *in loco* e su supporti cartacei (*marker tracking*)
37. Contenuti informativi dell'applicativo
38. Realtà virtuale, localizzazione dei frammenti utilizzati, interrogazione del modello e fruizione del risultato dell'anastilosi