

## VECCHI SCAVI E NUOVE TECNOLOGIE: PRIMI RISULTATI DEL PROGETTO BASILICA IULIA

### 1. INTRODUZIONE

Rispetto ad altri settori del Foro Romano, oggetto di ricerche stratigrafiche sistematiche, il lato meridionale della principale piazza dell'Urbs costituisce ancora oggi un'area la cui conoscenza appare lacunosa e, soprattutto, limitata alla fase relativa alla monumentalizzazione augustea. Nel corso del XIX secolo, infatti, le indagini archeologiche condotte da L. Canina (1848-1852) e P. Rosa (1871-1872) avevano riportato alla luce l'intero lato meridionale del Foro, liberando nella sua interezza il vasto complesso della Basilica Iulia e restaurando le sue strutture murarie (LANCIANI 2000, 376-378; SISANI 2004, 62-68). I successivi interventi di G. Boni, negli anni 1901-1904, arricchirono la conoscenza di questo settore, indagando la fila di botteghe poste sul lato S della Basilica e individuando la serie dei cosiddetti "pozzetti rituali" lungo la fronte del monumento (TURCHETTI 1989; FORTINI, TAVIANI 2014, 450-456).

Nel corso del XX secolo, le ricerche si sono concentrate sia sulle trasformazioni diacroniche di specifici monumenti di questo settore, come il tempio dei Castori (NIELSEN, POULSEN 1992; SLEJ, CUHLLHED 2008) o il santuario di Giuturna (STEINBY 1989; 2012), sia sulla comprensione di importanti snodi urbanistici come quello tra la piazza e il tempio del Divo Giulio (CARNABUCI 1991). Più di recente, attraverso il riesame delle stratigrafie messe in luce da G. Boni ed E. Gjerstad nell'area centrale del Foro (cd. *Equus Domitiani*) e la realizzazione di mirati carotaggi, le indagini di J.A. Ammerman e D. Filippi hanno significativamente contribuito alla ricostruzione storica e paleo-ambientale di questo settore compreso tra la valle del Foro e l'estremità del Velabro (AMMERMAN 1990; AMMERMAN, FILIPPI 2004).

In questo quadro, le ricerche condotte tra il 1960 e il 1964 all'interno della Basilica Iulia da L. Fabbrini, sotto la direzione dell'allora sovrintendente di Roma G. Carettoni, sono fondamentali per ricostruire l'assetto del lato meridionale del Foro Romano nelle fasi precedenti alla realizzazione del vasto complesso augusteo (GIULIANI, VERDUCHI 1993). Tali indagini, che costituiscono ad oggi le uniche ad aver interessato questa area sia in estensione che in profondità, sono rimaste sostanzialmente inedite, ad eccezione di un preliminare resoconto pubblicato al termine della prima campagna di scavo (CARETTONI, FABBRINI 1961). Per la prima volta, grazie a quelle ricerche, emersero le monumentali tracce della basilica fatta costruire dal censore Tiberio Sempronio Gracco (169 a.C.) (IACOPI 1993) e le strutture relative ad un edificio monumentale dotato di un vasto atrio (CARETTONI, FABBRINI 1961,

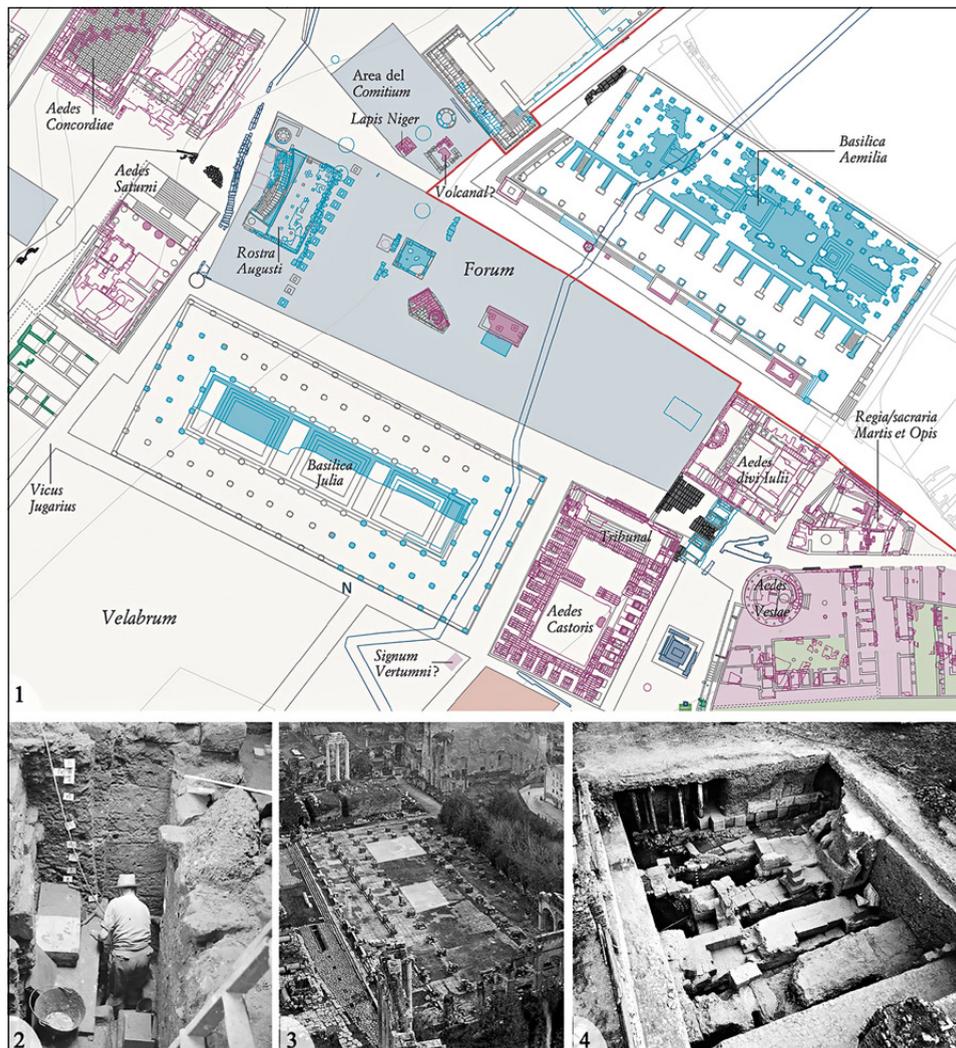


Fig. 1 – 1) Pianta del Foro Romano (da CARANDINI 2012, vol. II, tav. 31, Sistema Informativo Archeologico, Sapienza Università di Roma, cortesia del prof. P. Carafa, elaborazione grafica di M.C. Capanna); 2) Saggio in profondità, campagna 1960 (Archivio Fabbrini-Carettoni); 3) Vista della Basilica Iulia dal Campidoglio (Archivio Parco Archeologico del Colosseo), con l'indicazione delle due aree di scavo; 4) Vista dell'area di scavo sotto la Basilica Iulia, 1964 (Archivio Parco Archeologico del Colosseo).

57), ben presto identificato con l'*aedes* di Scipione Africano sulla base della testimonianza di Livio (Liv. XLIV, 16, 10-11; COARELLI 1985, 139; FILIPPI 2012, 158 e nota 321). Altrettanto rilevante fu la possibilità di eseguire un

saggio in profondità che restituì una complessa sequenza stratigrafica fino ai livelli della prima età repubblicana (quota 9,18 m s.l.m.) (CARETTONI, FABBRINI 1961, 59-60) (Fig. 1.2).

In particolare, le indagini del 1960-1964 interessarono due ampi settori, che abbiamo definito “orientale” e “centrale” (Fig. 1.3): il primo (ca. 13×17 m) si colloca all'estremità E della navata mediana della Basilica Iulia, mentre il secondo (ca. 10×10 m) è ubicato tra il sesto e l'ottavo pilastro da E della stessa navata. Mentre le evidenze archeologiche del settore centrale vennero rinterrate dopo la loro attenta documentazione grafica e fotografica, il saggio orientale (Fig. 1.4) fu preservato al di sotto di una copertura appositamente realizzata nel 1964, la quale è sostenuta da travi metalliche su plinti in cemento, che sono stati ulteriormente incrementati nel numero durante i restauri della pavimentazione effettuati nei primi anni Duemila.

A partire dal 2015<sup>1</sup>, la ricomposizione dei dati raccolti in quelle importanti indagini costituisce l'obiettivo di un progetto di ricerca interdisciplinare, finanziato da Sapienza Awards-Grandi Progetti di Ateneo, che vede collaborare archeologi, architetti, archeometri e geofisici. Il Progetto è stato reso possibile dal recupero della documentazione di scavo, redatta da L. Fabbrini nel corso delle cinque campagne di scavo 1960-1964, e prevede diverse linee di ricerca: 1) la ricostruzione delle sequenze stratigrafiche attraverso l'esame dei dati d'archivio, mirate verifiche *in situ* e lo studio sistematico del materiale archeologico allora raccolto; 2) l'analisi della cultura abitativa nell'area forense, attraverso lo studio funzionale del materiale ceramico e le analisi archeometriche sui residui organici; 3) la ricostruzione architettonica degli edifici privati e pubblici succedutisi nell'area fino al vasto cantiere augusteo.

M.GA.

## 2. LE ATTIVITÀ SVOLTE

Il Progetto Basilica Iulia ha preso avvio con la digitalizzazione e trascrizione di tutta la documentazione di archivio, costituita dai diari di scavo

<sup>1</sup> La ricerca si svolge nel quadro della convenzione stipulata tra la Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'Area Archeologica di Roma (oggi Parco Archeologico del Colosseo – Foro Romano e Palatino, responsabile P. Fortini), il Dipartimento di Scienze dell'Antichità, Sapienza Università di Roma (responsabile M. Galli) e l'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (responsabile T. Ismaelli). Un doveroso ringraziamento va ad Alessandro Fabbrini Carettoni, che ha generosamente promosso lo studio degli appunti di scavo, a Patrizia Fortini, Alessandro D'Alessio, Alessandro Lugari e Maurizio Rulli, per il supporto nelle fasi di rilievo delle strutture ipogee del monumento, a Paolo Carafa per aver reso disponibile il materiale dell'*Atlante di Roma* e a Maria Cristina Capanna per la sua rielaborazione. Alle ricerche collaborano anche Stella Falzone, Ivana Montali, Federica Michela Rossi per lo studio dei materiali ceramici, Claudia Carlucci, per lo studio delle terrecotte architettoniche, Claudia Minniti, Florinda Notarstefano e Milena Primavera per le analisi bioarcheologiche e archeometriche, Lara De Giorgi, Immacolata Ditaranto, Gianni Leucci e Giuseppe Scardozi per le indagini geofisiche.

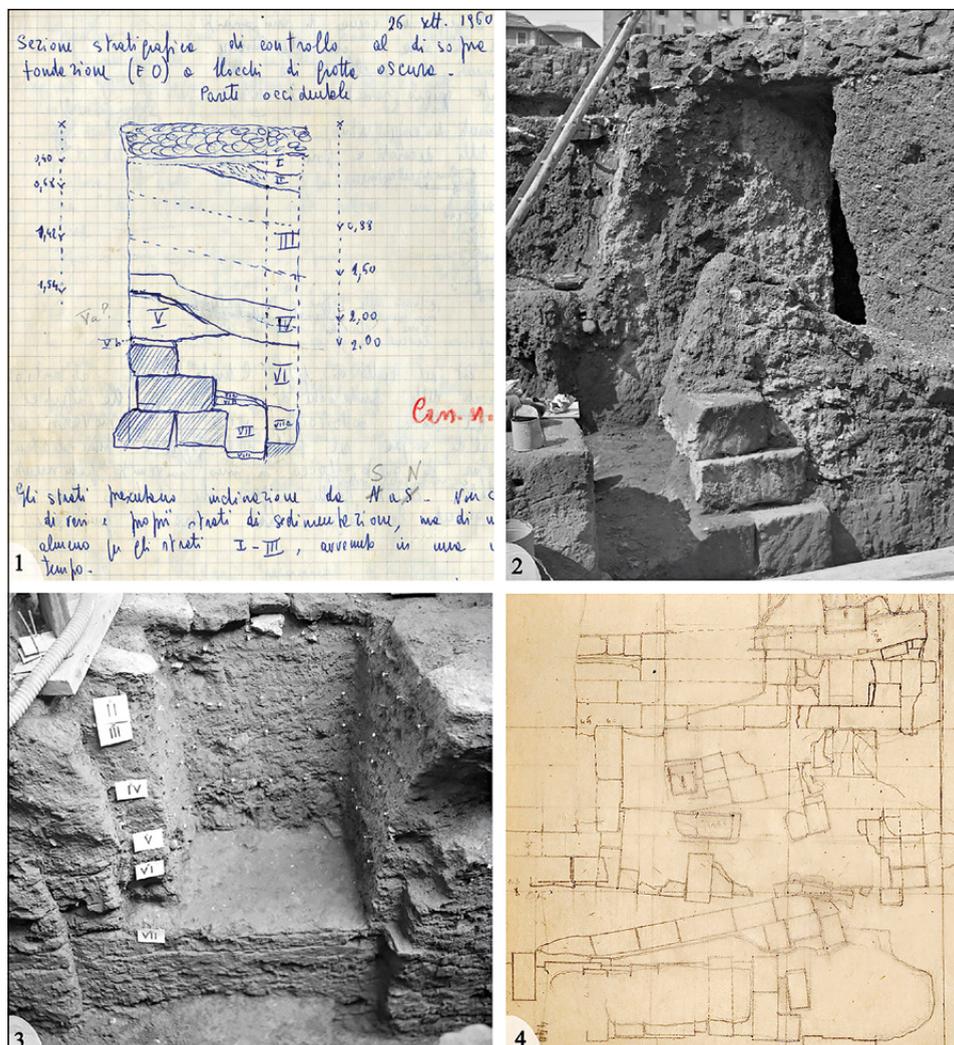


Fig. 2 - 1-2) Confronto tra schizzo e fotografia di una sequenza stratigrafica, 1960 (Archivio Fabbrini-Carettoni); 3) Dettaglio del saggio in profondità, 1963 (Archivio Fabbrini-Carettoni); 4) Particolare della planimetria del saggio E (Archivio Parco Archeologico del Colosseo).

redatti da L. Fabbrini e corredata da un ricco dossier di fotografie e da alcune piante e sezioni realizzate da E. Monaco alla fine delle indagini degli anni Sessanta. Tale fase di studio ha reso possibile associare tra loro le descrizioni delle singole strutture e degli strati, redatte da L. Fabbrini con grande accuratezza, con le corrispondenti immagini fotografiche realizzate durante i

vari momenti dello scavo, che erano conservate senza un ordine preciso. La fase successiva ha condotto ad un'analisi critica delle sequenze stratigrafiche, ossia all'individuazione delle principali fasi di trasformazione del contesto, supportata dallo stretto confronto con lo studio sistematico dei materiali ceramici. Pur con le ovvie limitazioni di una ricostruzione effettuata sulla base di osservazioni non dirette, i risultati raggiunti appaiono caratterizzati da un elevato grado di affidabilità, garantito in primo luogo dalla metodologia di scavo e dall'eccellente documentazione realizzata (Fig. 2.1-2). Nell'attenta esplorazione dell'area, L. Fabbrini applicò un coerente approccio stratigrafico, distinguendo le singole unità, che vengono minuziosamente analizzate nelle loro caratteristiche fisiche, di colore, composizione, consistenza, così come per le loro relazioni spaziali e le quote relative.

Questo approccio stratigrafico emerge nel modo più chiaro nella descrizione del saggio (ca. 4x1 m) in profondità eseguito nel settore orientale, al di sotto di una lacuna del canale centrale della Basilica Sempronia (Fig. 1.2). Lo scavo mise in luce una complessa sequenza, relativa all'obliterazione di un primo edificio monumentale (secondo le nostre ricerche databile al V sec. a.C.), e alla ricostruzione, ad una quota molto maggiore (11,98 m s.l.m.), della grande struttura con atrio, riferibile, secondo i risultati delle nostre ricerche, all'iniziale IV sec. a.C. (per un riesame delle questioni legate all'edilizia arcaica, cfr. DELLA FINA 2016). Nel corso dello scavo L. Fabbrini distinse esattamente i singoli strati dell'interro, arrivando anche a suddivisioni minute, rispondenti alle diverse gettate, cui corrisponde l'accurata ripartizione dei materiali ritrovati. A questo metodo rigoroso si accompagna un'analisi orientata più alla presentazione oggettiva del dato archeologico che alla sua interpretazione, mentre il rimando ai numerosi schizzi e fotografie serve a comprovare affermazioni e proposte interpretative. In particolare, gli scatti fotografici registrano le singole unità stratigrafiche, prima dello scavo, durante il suo svolgimento e al termine, dando uguale importanza alle interfacce e alle sezioni (cfr. anche ISMAELLI 2016; 2017, 33-39), costituendo un imprescindibile aiuto alla rilettura del contesto (Fig. 2.3).

L'incrocio dei dati ottenuti nelle fasi di lavoro sopra descritte ha portato a definire una serie di punti fermi sulla sequenza delle trasformazioni avvenute nell'area e sul loro inquadramento cronologico. Contestualmente sono emersi vari interrogativi sulla natura e sulla funzione delle evidenze monumentali, così come sui loro rapporti con il più ampio contesto topografico. In questa fase della ricerca, si imponeva dunque la verifica dei dati e delle interpretazioni da noi formulate nel confronto con le strutture archeologiche.

Una completa campagna di rilievo è stata pertanto effettuata nel novembre del 2017. Dopo un intervento di rimozione delle patine biologiche a cura del Parco Archeologico, è stata eseguita una completa pulizia delle murature e delle sezioni. È emersa così la perfetta conservazione delle evidenze rispetto



Fig. 3 – Fondazioni e canali relativi alla Basilica Sempronia (2017).

alla situazione documentata al termine della campagna del 1964 (Fig. 3). Si è quindi proceduto alla sistematica catalogazione delle evidenze monumentali, alla produzione di una nuova documentazione fotografica e a verifiche stratigrafiche volte a valutare gli snodi più significativi identificati sulla base dei dati d'archivio. Da questa campagna *in situ* è anche emersa l'assoluta necessità di aggiornare sezioni e planimetrie dell'area elaborate negli anni Sessanta, le quali mostravano orientamenti non congruenti con i dati *in situ* e dettagli resi in maniera differente nelle diverse redazioni degli elaborati grafici.

In questa fase della ricerca si è pianificata l'elaborazione di un nuovo rilievo, capace di rispondere preliminarmente ad esigenze pratiche e di natura conservativa, di seguito riassunte:

- 1) la fragilità delle strutture e delle alte sezioni di terra;
- 2) la scarsa accessibilità di determinati settori per la presenza dell'acqua di falda;
- 3) l'assenza di una adeguata illuminazione naturale.

Un secondo nucleo di obiettivi del rilievo è invece riconducibile a esigenze di natura storico-topografica ed architettonica, quali:

- 4) definire con esattezza i valori altimetrici delle varie strutture per la loro contestualizzazione con i piani di frequentazione del Foro Romano e del contiguo *Vicus Tuscus*;
- 5) documentare in modo accurato i diversi orientamenti delle strutture murarie e dei livelli pavimentali che si susseguono tra la fase primo-repubblicana e la costruzione della Basilica Iulia, in modo da chiarirne i rapporti con le strutture monumentali contigue;

- 6) ricucire le relazioni tra le singole parti della medesima fase, oggi isolate dagli interventi costruttivi successivi, dai saggi di scavo o da diaframmi di terreno non scavati;
- 7) ricostruire il funzionamento delle numerose canalizzazioni delle varie fasi che innervano l'area di scavo.

T.I.

### 3. APPROCCIO METODOLOGICO

La conoscenza di un monumento nella sua esatta configurazione spaziale, nel suo rapporto con il contesto topografico e con la dimensione diacronica delle sue parti, è l'obiettivo preminente delle operazioni di rilievo condotte in ambito archeologico. Nella lettura critica del dato materiale attraverso il rilievo appaiono fondamentali l'integrazione e la sistematizzazione delle informazioni secondo criteri condivisi tra architetti e archeologi. In questo senso, un utile supporto è offerto dalla costruzione di una copia digitale dell'oggetto investigato, che consenta di analizzare il monumento o il contesto archeologico in un processo analogo a quello dello scavo, ossia attraverso successivi livelli stratigrafici, arrivando alla comprensione delle sue trasformazioni.

Nel modello digitale questo processo di indagine ha il vantaggio di non possedere limiti temporali e spaziali: infatti, il modello è ispezionabile in maniera reversibile e può essere scomposto e segmentato in molti modi diversi, selezionando porzioni e livelli stratigrafici utili alla comprensione del dato. Grazie a queste specificità del modello digitale, i percorsi di indagine sono dotati di potenzialità complementari e di implementazione di quelle sperimentabili *in loco* (BIANCHINI 2007, 36-49; CENTOFANTI, BRUSAPORCI, LUCCHESI 2012, 4).

In questo quadro, nell'ambito delle indagini svolte sotto la Basilica Iulia, risultava necessario acquisire dati di varia natura in un periodo di tempo piuttosto limitato, compatibile con le esigenze della tutela del sito e della sicurezza degli operatori. L'assetto dell'area di indagine (il saggio orientale), ossia la difficile accessibilità del contesto e la sua particolare configurazione spaziale hanno suggerito la metodologia di rilievo da seguire, con l'impiego di sistemi di acquisizione integrata che consentissero di coprire integralmente l'area e che producessero un modello virtuale facile da leggere e metricamente attendibile. Il saggio E della Basilica Iulia si sviluppa su una superficie quadrangolare di circa 150 m<sup>2</sup>, il piano di calpestio è posto ad una quota media di circa 2,7 m inferiore rispetto a quello della Basilica Iulia (ca. 14,50 m s.l.m.), l'illuminazione naturale dello scavo avviene esclusivamente attraverso due lucernai, posizionati solo sopra la porzione centro-settentrionale dell'area, l'accesso è invece garantito mediante una scala metallica. Al suo interno, il saggio conserva livelli di umidità mediamente alti e i valori termo-igrometrici sono

fortemente condizionati dalla presenza di acqua di falda. Dal piano generale di calpestio, lo spazio si articola su diversi livelli fino ad arrivare ad una quota di circa 5,20 m inferiore rispetto al piano pavimentale della basilica augustea.

L'articolazione spaziale non riguarda solo le variazioni di quota, ma anche il suo sviluppo planimetrico: l'area Sud del saggio, ad esempio, è difficilmente accessibile e si sviluppa su una superficie rettangolare di circa 6x1 m, posta dietro un alto diaframma di terra, lasciato negli anni Sessanta per sorreggere il pavimento in cementizio dell'aula. Queste condizioni hanno reso necessaria la programmazione puntuale di ogni fase del rilievo per mettere a punto un sistema sia logistico che metodologico che consentisse di ottimizzare i tempi di rilievo e la quantità di dati acquisita.

C.I.

#### 4. ACQUISIZIONE DEI DATI

L'acquisizione dei dati ha interessato l'area della Basilica Iulia nella sua interezza, con particolare riguardo però al saggio orientale. Le operazioni di rilevamento sono state sviluppate integrando in tutte le fasi la metodologia di rilievo topografico con quella di acquisizione massiva (BIANCHINI, INGLESE, IPPOLITO 2017). Il posizionamento di target<sup>2</sup> sull'intera area da rilevare ha reso possibile l'integrazione delle diverse metodologie, dal momento che i target, inclusi in tutte le acquisizioni, hanno costituito una rete di punti noti, utile a collegare tra loro dati di origine diversa. La campagna topografica ha avuto l'obiettivo principale di allineare il sistema di coordinate locale di rilievo alla rete topografica esistente del Foro Romano. Il collegamento è stato assicurato attraverso l'acquisizione di due capisaldi traguardabili dalla basilica e disposti ad E (vertice: V46) e a N (vertice: V49) di essa<sup>3</sup>. Oltre i due vertici di collegamento, l'acquisizione topografica ha interessato i target disposti nell'intera area rilevata e alcuni punti caratteristici del saggio E, in particolare i limiti delle unità stratigrafiche e i vertici dei blocchi. I punti caratteristici del saggio sono stati materializzati direttamente sulla superficie e questo passaggio ha permesso che gli stessi fossero visibili e identificabili anche nelle immagini fotografiche utilizzate per il processo fotogrammetrico, agevolandone la successiva restituzione grafica. La nuvola di punti topografica così strutturata è servita come riferimento spaziale per l'orientamento e l'allineamento delle nuvole di punti acquisite mediante sistemi massivi.

<sup>2</sup> I target utilizzati sono dati in dotazione con il Laser Scanner 3D e sono automaticamente riconosciuti in fase di allineamento delle nuvole di punti.

<sup>3</sup> Si ringrazia Elisabetta Boschi dell'Ufficio Cartografia del Parco Archeologico del Colosseo per il supporto.

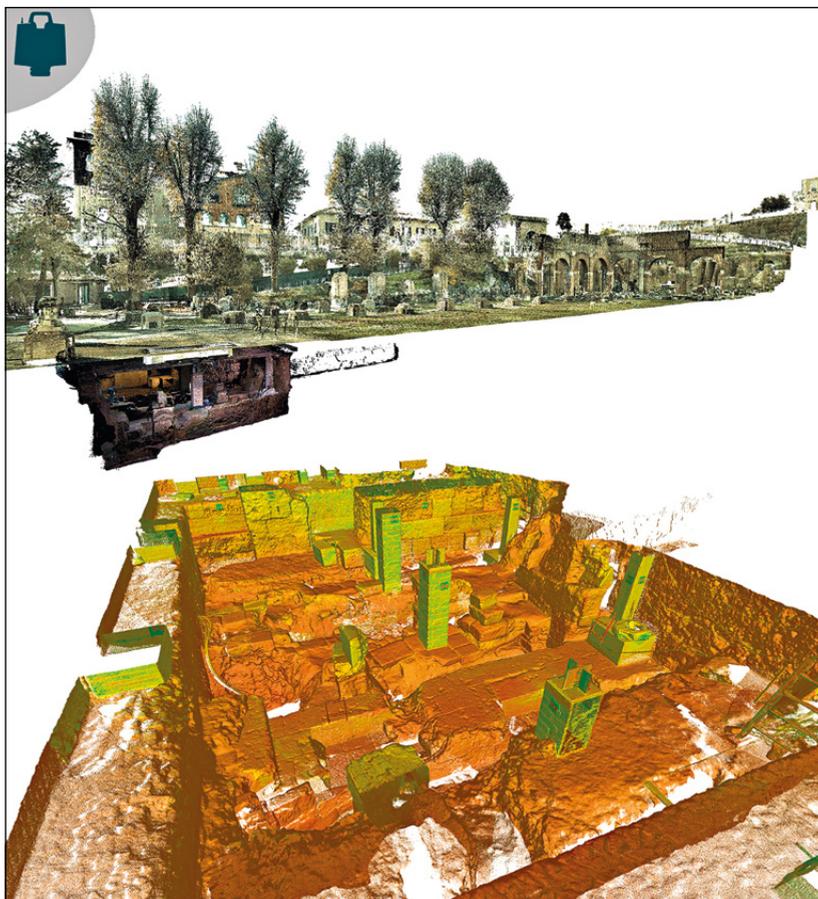


Fig. 4 – Nuvola di punti generata da acquisizione mediante Laser Scanner 3D. In alto, visualizzazione della Basilica Iulia e dell'area di scavo sottostante in RGB. In basso, visualizzazione dell'area di scavo con valore di riflettanza.

L'acquisizione massiva del dato è avvenuta attraverso l'utilizzo di un Laser Scanner 3D<sup>4</sup> e di processi di Structure from Motion. L'impiego del Laser Scanner ha consentito il controllo diffuso dell'impianto in termini metrici e geometrici (Fig. 4). L'area del saggio è stata acquisita integrando solo in alcune stazioni il dato RGB, in ragione delle difficili condizioni di illuminazione

<sup>4</sup> Il Laser Scanner 3D utilizzato è il Leica C10; sono state effettuate nove scansioni esterne con acquisizione del dato cromatico e venti scansioni del saggio acquisite in parte senza valore cromatico. Il *sample spacing* e il *probe* di acquisizione sono stati impostati in relazione alla struttura spaziale da acquisire.

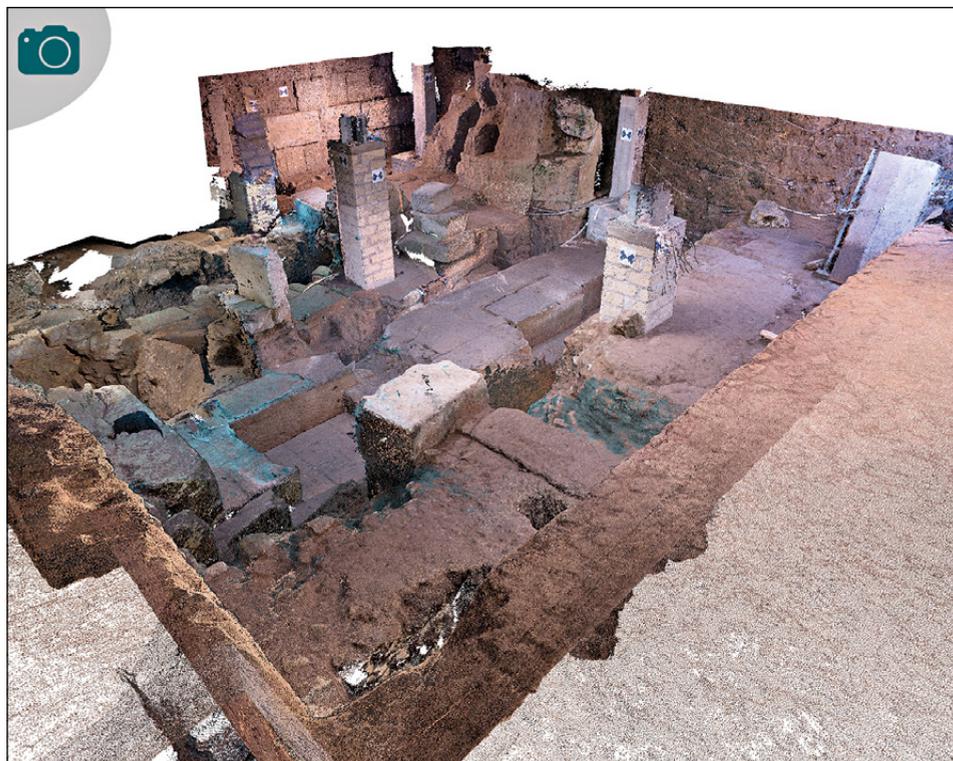


Fig. 5 – Nuvola di punti generata attraverso processi fotogrammetrici: area di scavo vista dall'angolo NE.

del sito: in tale contesto la predisposizione di un'illuminazione diffusa su tutta l'area e costante per l'intera campagna avrebbe comportato la presenza all'interno della scena acquisita di notevoli ingombri; in aggiunta, alcune porzioni del saggio particolarmente articolate non avrebbero ricevuto in ogni caso un'illuminazione adeguata. La nuvola di punti acquisita mediante Laser Scanner permette una lettura diffusa e accurata dei dati metrici e geometrici in funzione della scala di rappresentazione delineata; d'altra parte, essa non consente una lettura del trattamento delle superfici e rende particolarmente difficile il riconoscimento dei materiali costruttivi, che costituiscono invece aspetti fondamentali nella fase di restituzione del rilievo. La lettura del valore cromatico delle superfici è stata pertanto demandata all'acquisizione fotografica.

Il contesto fortemente articolato dal punto di vista spaziale ha orientato all'utilizzo del processo di Structure from Motion non solo per la sua

economicità e per la sua trasportabilità, ma anche per risolvere il problema legato alla staticità del set di acquisizione imposta dal Laser Scanner: la fotocamera, utilizzata come strumento di acquisizione dati, ha permesso una notevole versatilità nell'organizzazione della campagna di rilievo e ha consentito inoltre la suddivisione dell'intero saggio in diversi set fotografici (Fig. 5). Ogni set è stato strutturato prevedendo un sistema di illuminazione dedicato e impostando di volta in volta la modalità di ripresa fotografica ottimale (BENEDETTI, GAIANI, REMONDINO 2010; BAGLIONI, INGLESE 2015).

C.I.

## 5. ELABORAZIONE DEI DATI

Se per le operazioni di rilevamento è ormai consolidata nella pratica di lavoro e negli studi specialistici l'integrazione di metodi e processi di acquisizione differenti, per la fase successiva di elaborazione l'effettiva procedura di integrazione dei dati non risulta ancora fissata secondo uno standard operativo comune. Anzitutto, il problema dell'integrazione in un unico processo di lavoro dei dati riguarda i modelli 3D prodotti attraverso i vari sistemi di rilievo: questi ultimi rischiano infatti di navigare in "mondi" (World Coordinate Systems) separati, pur essendo tipologicamente e strutturalmente comparabili. A tal proposito i processi Structure from Motion/Image Matching (SfM/IM) e quelli di acquisizione mediante Laser Scanner restituiscono, tra i vari output possibili, nuvole di punti riferite ad un sistema di coordinate. L'acquisizione mediante Laser Scanner consente l'impostazione di una maglia di acquisizione regolare (nuvola di punti strutturata), i processi di Structure from Motion generano, invece, una nuvola di punti di densità variabile in dipendenza dalla quantità di feature individuate in ogni fotogramma (nuvola di punti non strutturata) (GONIZZI BARSANTI *et al.* 2013).

Seppure con sostanziali differenze, gli output generati dai due sistemi di acquisizione massiva sono, in ogni caso, punti virtuali riferiti a spazi virtuali con sistemi di coordinate noti e, a partire da quest'assunto, risulta evidente la loro predisposizione ad essere integrati e confrontati. L'approccio proposto consente la produzione di un modello multiscalare in cui la densità spaziale del dato di partenza e le sue qualità sono programmate in fase di progetto di rilievo in funzione degli obiettivi perseguiti (MANFERDINI, RUSSO 2013, 153-160).

Sfruttando questa potenzialità, al fine di evitare l'isolamento dei diversi output del rilievo, si è proceduto alla produzione di un unico modello a partire da diversi processi di elaborazione, il quale amplifica i livelli di lettura e di interpretazione critica dell'oggetto fornendo una maggiore quantità di informazioni già tradotte in un unico ambiente. Riguardo all'oggetto di studio della Basilica Iulia, il workflow adottato ha consentito la produzione di un modello tridimensionale integrato in cui convivessero elementi diversi

facilmente consultabili. La maglia topografica è stata utilizzata come riferimento sia per la produzione della nuvola di punti densa, elaborata mediante SfM/IM, che per l'allineamento delle nuvole di punti strutturate.

Nel primo caso, i target e i punti caratteristici acquisiti mediante stazione totale sono stati utilizzati come Ground Control Point (GCP): tali punti sono stati individuati nei fotogrammi impiegati e ad essi sono state assegnate le coordinate topografiche; quindi, i GCP sono stati utilizzati per il bundle adjustment della nuvola di punti rada e per la consecutiva costruzione della nuvola di punti densa. Nel secondo caso, mediante il riconoscimento automatico dei target acquisiti, le nuvole di punti generate dal Laser Scanner sono state roto-traslate rispetto al sistema di riferimento topografico del Foro Romano. Grazie a questo procedimento, le nuvole di punti strutturate e non strutturate sono state riferite ad un sistema di coordinate univoco definito dall'orientamento topografico. Il passaggio finale è consistito nella loro automatica sovrapposizione in un unico ambiente virtuale di lavoro.

La capacità di integrazione tra i due sistemi di acquisizione massiva è stata valutata calcolando la deviazione standard e il valore modale della nuvola SfM/IM rispetto a quella da Laser Scanner<sup>5</sup> per definire un range di accuratezza entro il quale lavorare (Fig. 6). La configurazione dell'oggetto reale, unitamente alla tipologia di indagine effettuata, ha determinato la scelta della scala 1:50 come riferimento; con questo rapporto di riduzione, l'errore di graficismo di 0,2 mm sul foglio da disegno corrisponde ad un margine di incertezza di 1 cm sull'oggetto reale (IPPOLITO, ATTENNI, BARTOLOMEI 2017, 507-519). Seguendo tale principio, la nuvola di punti strutturata è stata utilizzata per valutare la distanza metrica dalla nuvola di punti non strutturata. Quest'analisi ha consentito di isolare i punti della nuvola SfM/IM con un margine di sovrapposizione definito.

La comparazione iterativa tra le due nuvole ha evidenziato una sostanziale aderenza. La prima operazione di selezione è servita a prendere in esame un campione rappresentativo di punti: sono stati filtrati i punti della nuvola SfM/IM con una distanza inferiore ai 10 cm rispetto alla nuvola prodotta dal Laser Scanner, mentre i punti di distanza superiore a questo valore corrispondevano a porzioni di superfici non acquisite dalla nuvola di punti di riferimento o fortemente aberrate nella nuvola di punti SfM (la porzione di nuvola corrispondente ai lucernai, ad esempio, presentava consistenti errori di proiezione dovuti alla forte riflettanza delle superfici trasparenti). Su questo campione di punti la deviazione standard apprezzata è di 0,01 m e il valore modale è di 0,005 m. Il

<sup>5</sup> La distanza tra le due nuvole di punti è calcolata considerando sulla nuvola di riferimento (la nuvola strutturata acquisita mediante Laser Scanner) la normale di una serie di core point e trovando i corrispondenti punti sulla nuvola di punti comparata (la nuvola processata attraverso Structure from Motion), mediante un'operazione di proiezione cilindrica applicata attraverso l'algoritmo Iterative Closest Point (ICP).

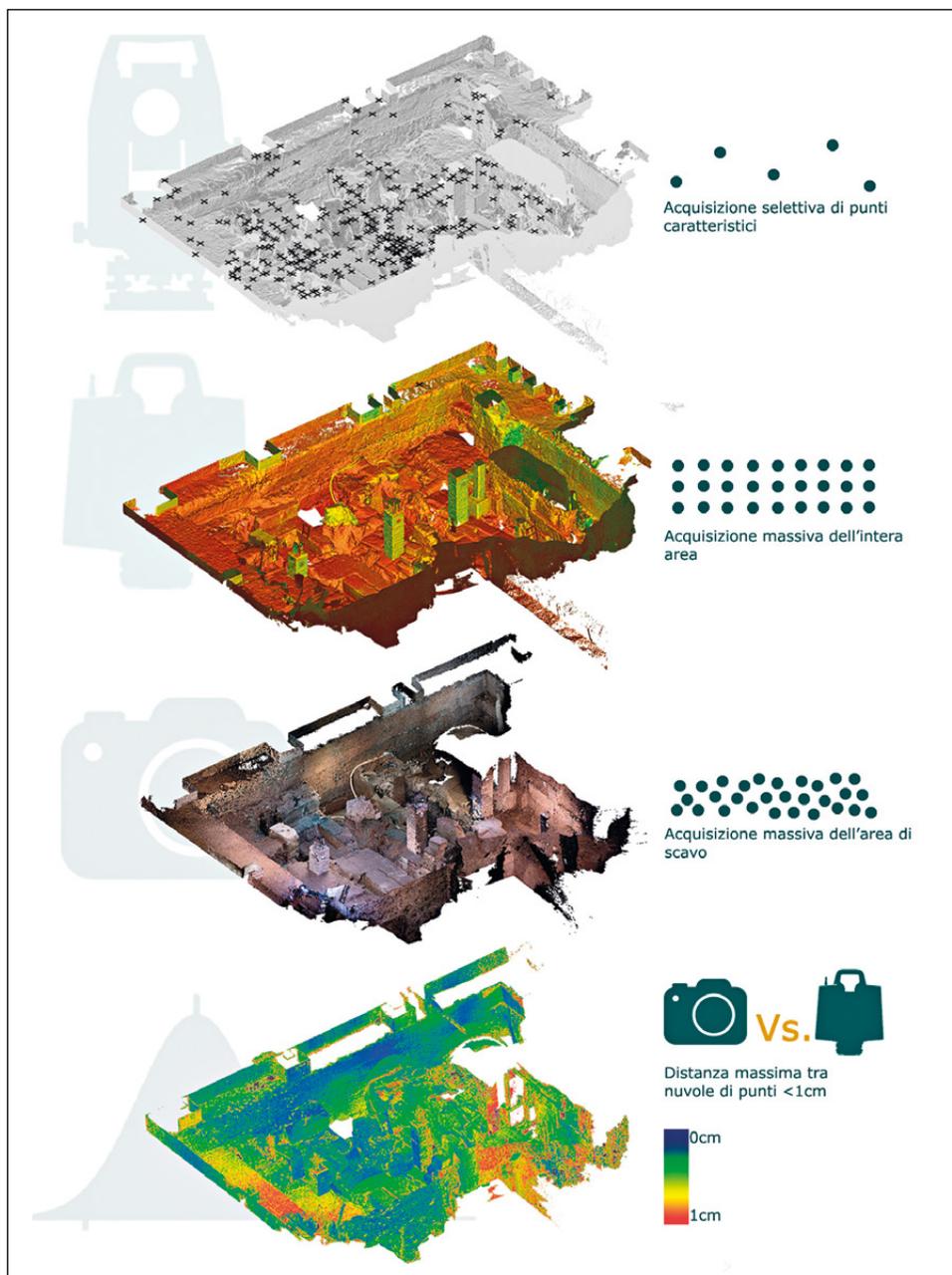


Fig. 6 – Dall'alto in basso: acquisizione dei dati topografici, nuvola di punti Laser Scanner, nuvola di punti da processi fotogrammetrici, analisi e filtraggio della nuvola di punti.

passaggio successivo è stato l'esportazione dei punti della nuvola SfM/IM con una distanza rispetto alla nuvola Laser Scanner inferiore a 1 cm. Questa fase ha consentito di prendere in considerazione i soli punti che avessero l'accuratezza richiesta rispetto alla scala di rappresentazione designata. Le nuvole di punti così generate e integrate hanno in sé le informazioni necessarie allo sviluppo della fase di restituzione dei modelli 2D/3D, indispensabili per l'interpretazione delle strutture architettoniche e delle unità stratigrafiche.

M.GR.

## 6. RESTITUZIONE DEGLI ELABORATI 2D/3D

Gli standard scientifici in ambito architettonico e archeologico sono profondamente e tradizionalmente legati all'utilizzo di modelli 2D come strumento di documentazione e come collettore di informazione. A tale scopo, diventa imprescindibile che il passaggio dal dato 3D all'elaborato 2D avvenga seguendo procedure che siano agevoli per tutti gli operatori del settore connesso al patrimonio costruito e che non comportino una significativa riduzione delle informazioni contenute nel modello tridimensionale (BIANCHINI *et al.* 2012, 507-513). È questo, ad esempio, ciò che accade con la restituzione di modelli 2D CAD a partire da orto-immagini di nuvole di punti 3D: in questi casi, la riduzione del dato 3D ad una immagine 2D comporta necessariamente una selezione significativa delle informazioni e, di conseguenza, aumenta la difficoltà di interpretazione.

Poiché il nostro mondo è tridimensionale e il nostro modo di percepirlo è altrettanto tridimensionale, è apparso invece necessario mantenere la possibilità di esplorare continuamente il modello 3D per ricostruire un modello 2D, assicurando così una più corretta lettura del dato (Fig. 7). Agendo direttamente sulla nuvola di punti importata in ambiente CAD, la consapevolezza spaziale dell'oggetto è stata garantita dalla possibilità di interrogare il modello interattivamente e di investigarlo spazialmente attraverso un processo continuo e dinamico. Adottando questo approccio, il modello supera l'ambiguità di base generata, ad esempio, dalla sovrapposizione apparente di punti spazialmente distanti o dall'impossibilità di agire sulla dimensione visualizzata dei punti e sulla loro caratterizzazione cromatica.

Concretamente, la prima fase del lavoro ha riguardato la produzione di modelli 2D del saggio all'interno di un ambiente CAD 3D in cui è stato caricato il modello unico precedentemente descritto. A partire da questa nuvola di punti 3D sono state individuate sezioni orizzontali e verticali caratteristiche, in una operazione che costituisce il primo atto critico ed interpretativo. Per tale ragione, in questa fase del processo, la profonda conoscenza dell'oggetto di studio è imprescindibile, determinando la chiave di lettura del modello e l'elemento guida all'interpretazione del dato grezzo. Le restituzioni fino ad

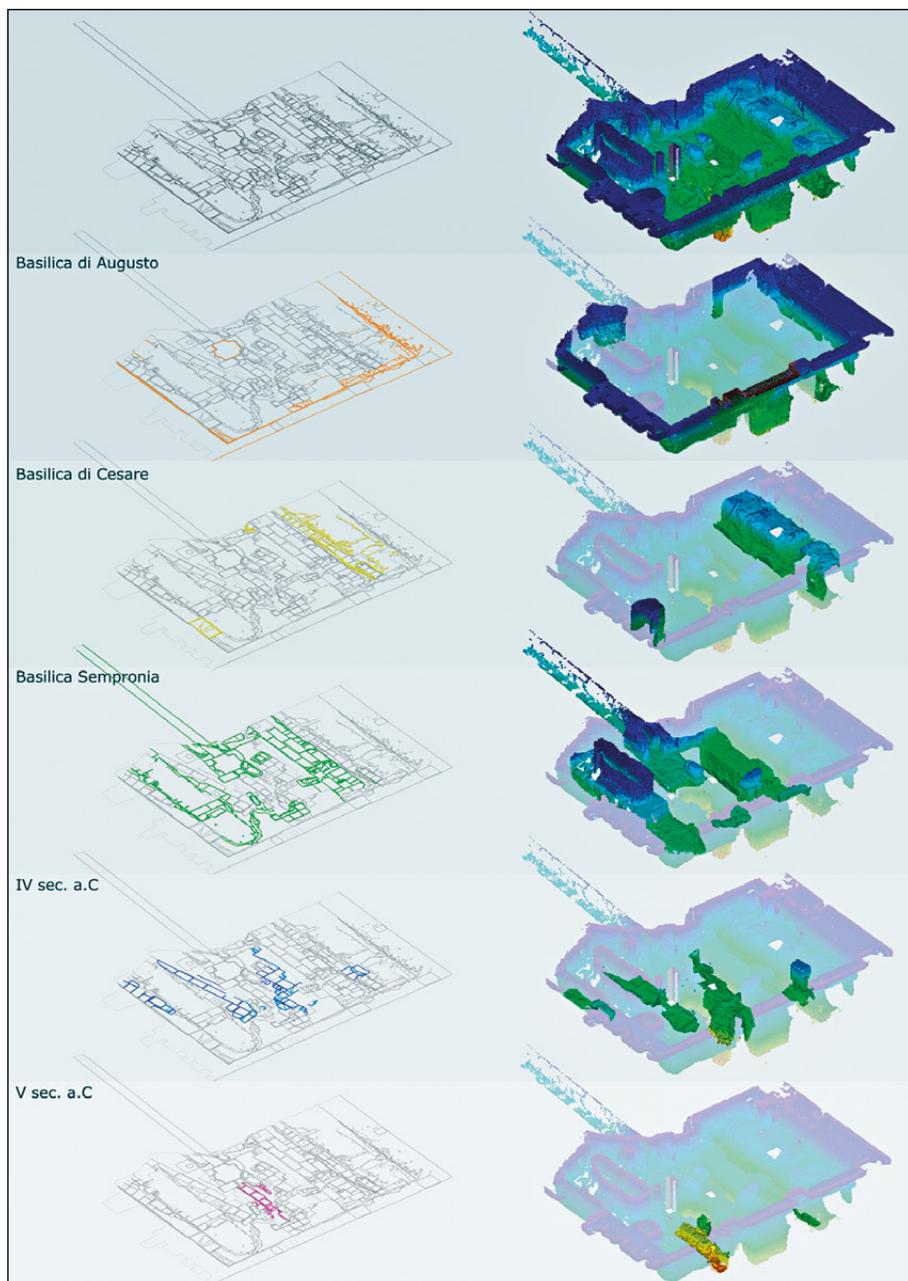


Fig. 7 – Segmentazione dei modelli 2D (sinistra) e 3D (destra) secondo le fasi stratigrafiche del saggio orientale.

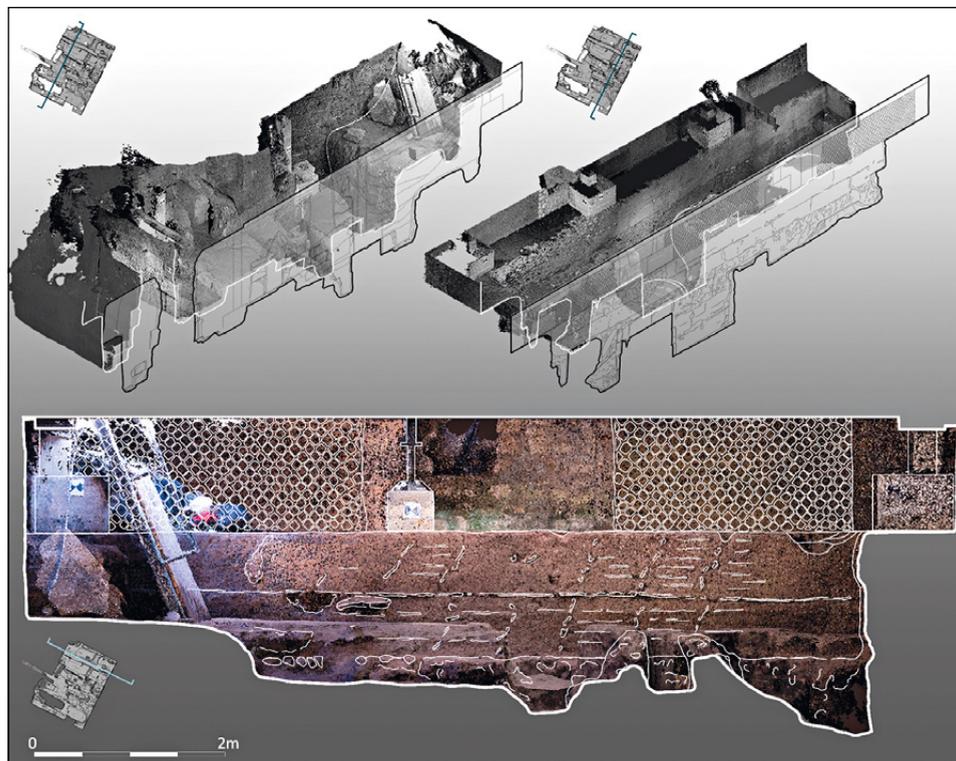


Fig. 8 – In alto: proiezione assonometrica dei lati O ed E con estrazione degli elaborati 2D. In basso: proiezione ortografica del lato N, con sovrapposizione dei modelli 2D e 3D.

ora prodotte hanno permesso una nuova lettura stratigrafica dell'area (cfr. *infra* § 7) e hanno consentito di confrontare i modelli 2D prodotti rispetto a quelli realizzati a seguito delle precedenti campagne di rilievo (Fig. 8).

Le potenzialità del lavoro svolto risiedono nell'aver individuato un workflow efficace e facilmente eseguibile da tutti i ricercatori coinvolti nel Progetto e nell'aver messo a punto un modello in cui il dato grezzo può essere discretizzato secondo infinite possibilità, per estrarre informazioni funzionali ai diversi obiettivi della ricerca. Lo sviluppo successivo del Progetto è finalizzato alla produzione di modelli 3D interpretativi: il modello numerico di acquisizione è lo strumento di base per la scomposizione semantica in elementi tematici distinti, che è guidata dall'interpretazione dell'oggetto secondo criteri dipendenti dal settore di indagine. In questo processo, la nuvola di punti non gerarchizzata viene trasformata in un modello tridimensionale interpretativo: infatti, le strutture possono essere distinte, e quindi visualizzate, per cronologia,

funzione (piani pavimentali, muri, canalizzazioni, etc.), materiale costruttivo, e tecnica di realizzazione, etc. In particolare, il modello così concepito è stato efficacemente implementato mediante l'associazione a dati di natura diversa, in particolare con modelli 2D e 3D derivati da indagini geofisiche (ERT e GPR). In questa fase, dunque, il modello serve da repository virtuale dell'oggetto (SAYGI, REMONDINO 2013, 695-713). Nel caso studio trattato, l'implementazione di informazioni di diversa natura in un unico ambiente digitale consente la verifica delle ipotesi ricostruttive fino ad ora avanzate e fornisce un nuovo strumento di lettura del saggio e dell'intero contesto del Foro Romano.

M.GR.

## 7. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'esame delle relazioni stratigrafiche tra le strutture rinvenute nei settori centrale ed orientale, come pure lo studio sistematico dei manufatti ceramici, intrapresi nell'ambito del Progetto Basilica Iulia, ci hanno permesso di definire per la prima volta le principali fasi di trasformazione dell'area:

1. Fase di V sec. a.C., individuata al fondo dell'approfondimento stratigrafico nel settore orientale.
2. Fase di iniziale IV sec. a.C., contrassegnata dalla costruzione di una grande dimora con atrio.
3. Fase di costruzione della Basilica Sempronia (169 a.C.), con la distruzione delle preesistenze per l'edificazione delle sue poderose fondazioni.
4. Fase cesariana, con la realizzazione di un nuovo più ampio sistema di fondazioni.
5. Fase augustea, relativa alla ricostruzione delle fondazioni dell'edificio basilicale secondo un progetto di maggiore monumentalità (Fig. 7).

La solidità di queste ipotesi ricostruttive è stata incrementata grazie all'essenziale contributo del modello tridimensionale elaborato a partire dal rilievo topografico, Laser Scanner e SfM/IM. A partire da queste acquisizioni, il modello georiferito ha costituito un utile strumento per ricontestualizzare le strutture individuate nell'area di indagine nel più ampio quadro del Foro Romano, evidenziandone i rapporti con i diversi orientamenti cui obbediscono i monumenti circostanti il Foro delle diverse fasi cronologiche.

Risulta così di grande importanza che le strutture murarie della Fase I appaiono congruenti con l'orientamento del primo tempio dei Castori (496-484 a.C.) (NIELSEN, POULSEN 1992, 61-79), la cui realizzazione costituisce dunque un significativo *terminus post quem* per l'inquadramento cronologico del primo impianto messo in luce nel saggio orientale. Come è noto, infatti, la costituzione del tempio impose a questo settore del Foro Romano un nuovo orientamento spaziale, diverso da quello di età arcaica, individuato in più

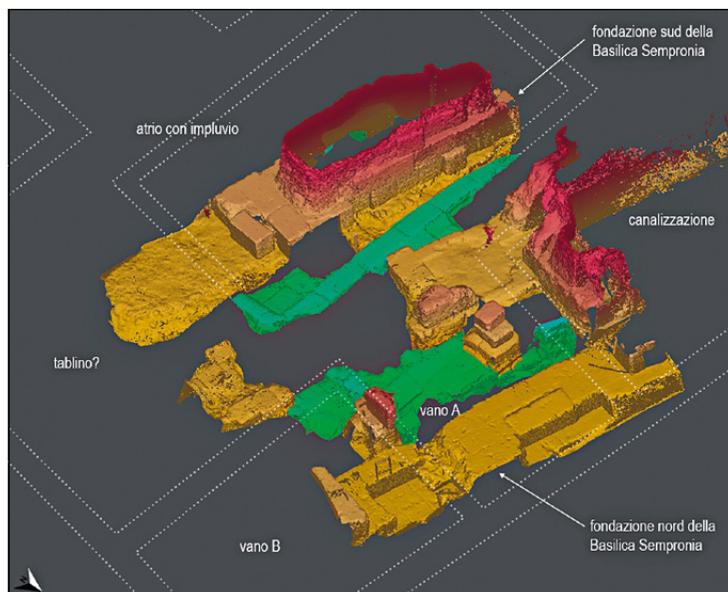


Fig. 9 – Segmentazione del modello 3D: in verde le strutture della Fase II, con proposta di ricostruzione della planimetria della casa ad atrio, e in marrone i resti della Fase III.

settori (*Vicus Tuscus*, *Lacus Juturnae*, cd. *Equus Domitiani*) ed esattamente coerente con i punti cardinali. Le nostre indagini consentono ora di confermare che, come già proposto (STEINBY 2012, 32), il nuovo orientamento poteva caratterizzare il lato meridionale del Foro.

In secondo luogo, il modello ha reso possibile comprendere più agevolmente le quote dei piani di calpestio pertinenti alle diverse fasi, ed è stato così possibile metterle in relazione con le varie pavimentazioni della piazza forense, succedutesi tra l'VIII sec. a.C. e il periodo augusteo. È stata ad esempio evidenziata una possibile relazione tra la quota delle strutture della Fase I (9,18 m s.l.m.) con il pavimento del Foro Gjerstad 18-19 (GJERSTAD 1953, 33, 42, fig. 9, m 9,26-9,39 s.l.m.), ora datato alla prima metà del V sec. a.C. (CARANDINI 2006, 600; FILIPPI 2012, 156). Se l'ipotesi di una correlazione tra queste diverse evidenze fosse esatta, quest'area meridionale si troverebbe ad una quota leggermente più bassa rispetto alla piazza del Foro, confermando così la ricostruzione del profilo altimetrico già proposta sulla base dei carotaggi (AMMERMAN, FILIPPI 2004, 14-15, fig. 6). Solo l'edificazione della Basilica Sempronia, nel 169 a.C., verrà a determinare il significativo rialzamento del settore meridionale rispetto alla piazza forense, portando il piano pavimentale del grande edificio a 13,80 m s.l.m.

Importanti sono anche i dati relativi alle canalizzazioni delle Fasi 3 (Sempronia) e 4 (età cesariana), le cui pendenze, perfettamente ricostruibili tramite il modello nella loro proiezione al di fuori dell'area di indagine, possono essere messe in relazione con i sistemi fognari dell'area del Foro. Nella Fase 3, in particolare, un grande canale realizzato in blocchi di tufo di Grotta Oscura attraversa in senso longitudinale la navata centrale della basilica (con fondo dello speco in pendenza da O a E, da m 12,30 a 11,36 s.l.m.), ricevendo le acque meteoriche da canali trasversali provenienti dalla piazza del Foro. Questo grande condotto, alto 1,5 m, doveva immettersi all'interno della *Cloaca Maxima*, che da età arcaica passava nell'area immediatamente ad E del saggio orientale (BIANCHI 2010; BIANCHI, ANTOGNOLI 2014), verosimilmente attraverso una caditoia, date le differenze di quote tra i due sistemi fognari.

Infine, il modello ha permesso di ricucire tra loro le strutture pertinenti alle diverse fasi: in particolare è stato possibile leggere in maniera unitaria i diversi lacerti delle strutture medio-repubblicane (Fase 2), gravemente divisi dalle imponenti fondazioni delle Basiliche Sempronia e Iulia (Fig. 9). Rispetto a quanto brevemente presentato dagli scavatori (CARETTONI, FABBRINI 1961, 57), è stato possibile ricostruire un vasto complesso edilizio che ruota intorno ad un atrio compluviato (dim. minime dell'impluvio 3,60×7,80 m) in lastre di cappellaccio, intorno al quale si dispongono un ampio ambiente (A), largo ca. 3,60 m, anch'esso accuratamente pavimentato in cappellaccio, ed un secondo vano (B), con semplice battuto in tufo rosso. Sulla base dei dati planimetrici e dei dettagli costruttivi, si può ipotizzare una struttura caratterizzata da due grandi *alae* ai lati dell'atrio ed un ambiente maggiore ad E. In questa ipotesi ricostruttiva, l'edificio della Fase 2 troverebbe confronti con le abitazioni di età arcaica e medio-repubblicana scavate sulle pendici settentrionali del Palatino, sia per le dimensioni ragguardevoli che per l'adozione dell'ampio atrio compluviato con *alae* (CARANDINI, CARAFA 2000).

T.I.

MARCO GALLI

Dipartimento di Scienze dell'Antichità  
Sapienza Università di Roma  
marco.galli@uniroma1.it

MARIKA GRIFFO, CARLO INGLESE

Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura  
Sapienza Università di Roma  
marika.griffo@uniroma1.it, carlo.inglese@uniroma1.it

TOMMASO ISMAELLI

Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale – CNR  
tommaso.ismaelli@cnr.it

BIBLIOGRAFIA

- AMMERMANN A.J. 1990, *On the origins of the Forum Romanum*, «American Journal of Archaeology», 94, 627-645.
- AMMERMANN A.J., FILIPPI D. 2004, *Dal Tevere all'Argiletto: nuove osservazioni*, «Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma», 105, 7-28.
- BAGLIONI L., INGLESE C. 2015, *Il rilievo integrato come metodo di studio: il caso di San Bernardino ad Urbino*, «Disegnare. Idee, immagini», 51, 34-45.
- BENEDETTI B., GAIANI M., REMONDINO F. (eds.) 2010, *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, Pisa, SNS.
- BIANCHI E. 2010, *Foro Romano. L'intervento dei Tarquini prima della Cloaca Maxima*, «Studi Romani», 58, 3-26.
- BIANCHI E., ANTOGNOLI L. 2014, *La Cloaca Massima dal Foro Romano al Velabro dagli studi di Heinrich Bauer alle nuove indagini*, in E. BIANCHI (ed.), *La Cloaca Maxima e i sistemi fognari di Roma dall'antichità ad oggi*, Roma, Palombi Editori, 109-155.
- BIANCHINI C. 2007, *Dal reale al virtuale (e ritorno): il modello ligneo di Antonio da Sangallo per il nuovo San Pietro in Vaticano*, «Disegnare. Idee, immagini», 34, 36-49.
- BIANCHINI C., BORGOGNI F., IPPOLITO A., SENATORE L.J., CAPIATO E., CAPOCEFALO C., COSENTINO F. 2012, *From surveying to representation. Theoretical background, practical issues, possible guidelines*, in 18<sup>th</sup> International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milano, IEEE, 507-513.
- BIANCHINI C., INGLESE C., IPPOLITO A. 2017, *I teatri del Mediterraneo come esperienza di rilevamento integrato*, Roma, Sapienza Università Editrice.
- CARANDINI A. 2006, *Remo e Romolo. Dai rioni dei Quiriti alla città dei Romani (775/750-700/675 a.C.)*, Roma, Einaudi.
- CARANDINI A. (ed.) 2012, *Atlante di Roma antica: biografia e ritratti della città*, Roma, Electa.
- CARANDINI A., CARAFA P. (ed.) 2000, *Palatium e Sacra Via I. Prima delle mura, l'età delle mura e l'età delle case arcaiche*, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- CARETTONI G., FABBRINI L. 1961, *Esplorazione sotto la Basilica Giulia al Foro Romano*, «Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei», 16, 51-60.
- CARNABUCI E. 1991, *L'angolo sud-orientale del foro romano nel manoscritto inedito di Giacomo Boni*, «Memorie dell'Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di scienze morali, storiche e filologiche», Ser. 9, V.1, fasc. 4, 249-365.
- COARELLI F. 1985, *Il Foro Romano. Periodo repubblicano e augusteo*, Roma, Quasar.
- CENTOFANTI M., BRUSAPORCI S., LUCCHESI V. 2012, *Architectural heritage and 3d models*, in P. GIAMBERARDIO, D. IACOVIELLO, R. NATAL, R.S. TAVARES (eds.), *ComplIMAGE 2012 Computational Modeling of Objects Presented in Images: Fundamentals, Methods and Applications*, 3<sup>rd</sup> International Conference (Rome 2012), London, Springer, 31-49.
- DELLA FINA G.M. (ed.) 2016, *Dalla capanna al palazzo. Edilizia abitativa nell'Italia preromana*, *Atti del XXIII Convegno Internazionale di Studi sulla Storia e l'Archeologia dell'Etruria*, «Annali della Fondazione per il Museo Claudio Faina» XXIII.
- FILIPPI D. 2012, *Regione VIII. Forum Romanum Magnum*, in CARANDINI 2012, 143-206.
- FORTINI P., TAVIANI M. 2014, *In Sacra Via. Giacomo Boni al Foro Romano: gli scavi nei documenti della Soprintendenza*, Roma, Electa.
- GJERSTAD E. 1953, *Early Rome I. Stratigraphical Researches in the Forum Romanum and along the Sacra via*, Lund, C.W.K. Gleerup.
- GIULIANI C.F., VERDUCCHI P. 1993, *Basilica Iulia*, in E.M. STEINBY (ed.), *Lexicon Topographicum Urbis Romae*, I, Roma, Quasar, 177-179.
- GONIZZI BARSANTI S., REMONDINO F., VISINTINI D. 2013, *3D surveying and modelling of archaeological sites: Some critical issues*, in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXIV International CIPA Symposium (Strasbourg 2013), II-5/W1, 145-150.

- IACOPI I. 1993, *Basilica Sempronia*, in E.M. STEINBY (ed.), *Lexicon Topographicum Urbis Romae*, I, Roma, Quasar, 187-188.
- IPPOLITO A., ATTENNI M., BARTOLOMEI C. 2017, *Digital acquisition: Reflections on data quality*, in S. GARAGNANI, A. GAUCCI (eds.), *Knowledge, Analysis and Innovative Methods for the Study and the Dissemination of Ancient Urban Areas, Proceedings of the KAINUA 2017 International Conference (Bologna 2017)*, «Archeologia e Calcolatori», 28.2, 507-519.
- ISMAELLI T. 2016, *Le ricerche di Gianfilippo Carettoni e Laura Fabbrini a Hierapolis di Frigia attraverso la documentazione fotografica d'archivio*, in *Archeologia e documentazione fotografica d'archivio. Dal dagherrotipo all'avvento della fotografia digitale (Aquila 2016)*, «Quaderni Friulani di Archeologia», 26, 1, 247-261.
- ISMAELLI T. 2017, *Il Tempio A nel Santuario di Apollo. Architettura, decorazione e contesto, Hierapolis X*, Istanbul, Ege Yayinlari.
- LANCIANI R. 2000, *Storia degli scavi di Roma e notizie intorno le collezioni romane di Antichità VI*, Roma, Quasar.
- MANFREDINI A.M., RUSSO M. 2013, *Multi-scalar 3D digitization of Cultural Heritage using a low-cost integrated approach*, in *2013 Digital Heritage International Congress (Marseille 2013)*, IEEE, 153-160.
- NIELSEN I., POULSEN P. 1992, *The Temple of Castor and Pollux 1. The Pre-Augustan Temple Phases with Related Decorative Elements*, Roma, De Luca.
- SAYGI G., REMONDINO F. 2013, *Management of architectural heritage information in BIM and GIS: State-of-the-art and future perspectives*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 2.4, 695-713.
- SISANI S. 2004, *Il Foro Romano*, in F. COARELLI (ed.), *Gli scavi di Roma 1878-1921 (LTVR Suppl. II.1)*, Roma, Quasar, 59-68.
- SLEJ K., CUHLLHED M. 2008, *The Temple of Castor and Pollux II.2*, Rome, L'Erma di Bretschneider.
- STEINBY E.M. (ed.) 1989, *Lacus Iuturnae 1*, Roma, De Luca.
- STEINBY E.M. (ed.) 2012, *Lacus Iuturnae 2. Saggi degli anni 1982-1985*, Roma, Quasar.
- TURCHETTI R. 1989, *Basilica Giulia*, in *Archeologia a Roma nelle fotografie di Thomas Ashby, 1891-1930*, Napoli, Electa, 45-46.

## ABSTRACT

The paper presents the first results of the Basilica Julia Project, aimed at the analysis and reconstruction of the transformations affecting the southern side of the *Forum Romanum*. In the excavation campaigns conducted between 1960 and 1964 beneath the Augustan building, the remains of the basilica of Julius Caesar, the Basilica Sempronia (169 BC), a large house with an *atrium* dated to the 4<sup>th</sup> cent. BC, and traces of a 5<sup>th</sup> cent. BC building were brought to light. During the first phase of the work, the stratigraphic sequences were reconstructed according to the archive documentation and the study of the archaeological materials. In the second phase, a wide-ranging survey campaign was undertaken. The paper examines the methods of acquisition, connected to conservation demands, the lack of natural light and the complex physical configuration of the site. Surveying was undertaken by integrating topographical survey with massive data collection through 3D Laser Scanner and Structure from Motion. The paper also focuses on the process of integration of all these different data-sets into a single model, which produces a considerable quantity of information already translated into a unique system. Finally, thanks to the possibility to explore the 3D model in the restitution phase, the model made it possible to produce a 2D plan and sections in a process that ensured the correct reading of the data.

