IL PAVIMENTO DELLA BASILICA DI SANTA MARIA DELLA SALUTE
LA CONOSCENZA ATTRAVERSO IL RILIEVO

Silvia Chiarini[1], Stefano Cremonesi[1], Francesco Fassi[2], Luigi Fregonese[1], Laura Taffurelli[1]

[1]Hesutech Group, Laboratorio di Ricerca Mantova, Politecnico di Milano, Polo territoriale di Mantova
p.za d'Arco 3, 46100 Mantova, Tel.+39 0376 317015-23
[2]3D Survey Group, Dipartimento A.B.C., Politecnico di Milano
(silvia.chiarini, stefano.cremonesi,francesco.fassi, luigi.fregonese, laura.taffurelli@polimi.it)

INTRODUZIONE

La documentazione dei Beni Culturali finalizzata alla progettazione degli interventi di conservazione, manutenzione e restauro, ha in questi ultimi anni visto sempre di più l'integrazione delle diverse metodologie di rilievo e l'applicazione di strumenti e metodi di elaborazione sempre più innovativi. L'obiettivo è raggiungere una conoscenza il più possibile approfondita del bene insieme alla ricerca di sistemi di gestione, fruizione/divulgazione e archiviazione delle informazioni sempre più indirizzata alla creazione di database tridimensionali accessibili e funzionali (Chiarini et al, 2014)(Chiarini et al, 2014).
Le indagini scientifiche che vengono messe in campo nella fase preliminare al progetto sono indirizzate alla definizione del manufatto non solo dal punto di vista geometrico-dimensionale ma alla caratterizzazione dei materiali, delle superfici, delle tecniche costruttive e delle sue condizioni di conservazione in generale.
Tutte queste informazioni, messe adeguatamente in relazione tra loro e accompagnate dallo studio delle fonti storico-documentali disponibili, costituiscono il supporto indispensabile per lo studio e la valutazione degli interventi sul bene.
Gli strumenti di acquisizione digitale attualmente disponibili permettono di documentare il bene culturale in oggetto con grande precisione e di ottenere elaborati grafici sia bidimensionali che tridimensionali, che possono, a seconda della complessità dell'oggetto indagato, restituire rappresentazioni ed informazioni del bene estremamente utili e funzionali.
L'impiego delle tecniche basate su sensori attivi come il laser scanner, consentono di acquisire nuvole di punti tridimensionali molto dense e in tempi molto contenuti. Opportunamente predisposte in fase di rilievo e georeferenziate, inserite cioè in un sistema di riferimento unico, le scansioni vanno a costituire una banca dati generale da cui estrarre sezioni in qualsiasi direzione, superfici e modelli tridimensionali con cui descrivere morfologicamente e metricamente il bene.
La fotogrammetria digitale, attualmente potenziata dall'integrazione con la *Computer Vision*, può contare su algoritmi e *softwares* che consentono la ricostruzione digitale di un oggetto in modo semi-automatico con l'utilizzo di molte immagini (Fassi et al, 2013). Da questa è possibile elaborare sia modelli 3D a cui viene automaticamente associato il dato di colore corrispondente, oppure restituzioni bidimensionali di tipo *raster*, come le ortofoto digitali. Queste ultime rappresentano, nel campo della conservazione e del restauro, un supporto importante e tra i più ampiamente utilizzati per elaborare le analisi tematiche sul bene, in quanto oltre a fornire dati metrici consentono di estrarre molteplici informazioni di tipo qualitativo sui materiali, sulle superfici, i dissesti o le mancanze, che caratterizzano il manufatto in quel dato momento.

I RILIEVI DEL PAVIMENTO DI SANTA MARIA DELLA SALUTE

In questo articolo si riporta l'esperienza di lavoro che ha visto la collaborazione tra il gruppo di ricerca Hesutech del Polo territoriale di Mantova, Politecnico di Milano, e il Seminario Patriarcale di Venezia che ha commissionato

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

i lavori di rilievo strumentale del pavimento del Presbiterio e dell'Altare Maggiore, del Coro e della Sagrestia Minore a supporto di interventi di risanamento conservativo.
La metodologia di lavoro utilizzata è stata simile a quella impiegata per i rilievi del pavimento musivo della Basilica di S Marco a Venezia, eseguiti tra il 2004-2006 dal nostro gruppo di ricerca (responsabili scientifici i prof.ri Carlo Monti e Luigi Fregonese del Politecnico di Milano) e che hanno interessato i 2000 mq circa di superficie tessulare, per la restituzione di un'ortofoto digitale 3D in scala 1:1 (Fregonese, Monti, 2012).
Nel caso della Basilica di Santa Maria della Salute le precisioni e le scale di restituzione richieste (1:20, 1:50, 1:100), sono in relazione alla tipologia di pavimentazione in lastre di marmo policromo presente.I circa 9000 pezzi dell'area interessata dall'intervento, con dimensioni che variano da un massimo di 55 cm di lato a un minimo di 10 cm, sono stati in seguito catalogati, sollevati, restaurati individualmente e riposizionati dopo la riqualificazione del sottofondo e la creazione di un impianto di riscaldamento radiante (Beltrame et al, 2013)(fig.1).

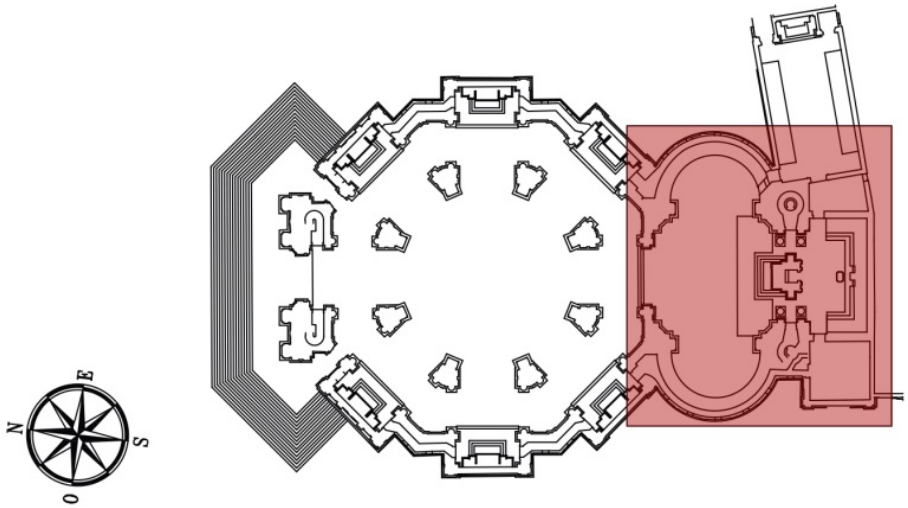

Figura 1, in rosso l'area della Basilica della Salute interessata dai rilievi strumentali

RILIEVI

Il rilievo fotogrammetrico del pavimento

Nell'ambito del lavoro di rilievo, sono stati realizzati i modelli fotogrammetrici del pavimento del Presbiterio, dell'Altare Maggiore, del Coro e della Sagrestia Minore della chiesa. Da tali supporti è stato possibile ricavare le ortofoto digitali ad alta risoluzione delle superfici pavimentali, che hanno permesso una conoscenza qualitativa (informazione radiomentrica) oltre che geometrica del manufatto andando a completare le rappresentazioni vettoriali in pianta alla scala 1:50 e 1:20.
Le immagini utilizzate per le elaborazioni sono state acquisite con una camera reflex Canon EOS 5D Mark III con obiettivo 24mm. Questa fotocamera ha un sensore CMOS di 5760 x 3840 pixel, con dimensione del pixel pari a 0,00643599mm e quindi misure reali del sensore di 37,071 x 24,714 mm.
La camera è stata fissata sull'estremità di un braccio tubolare realizzato su misura e montato su un trabattello mobile, (fig.2-3) permettendo di eseguire delle acquisizioni il più possibile nadirali rispetto al pavimento,mantenendo una distanza di presa costante. La camera fotografica, o più esattamente il centro di proiezione delle lenti dell'obiettivo utilizzato, è stato posizionato a 2.26m di altezza, consentendo di avere un area di ricoprimento a terra di 4,26 x 2,80 m consentendo in questo modo di ottenere una risoluzione dell'immagine tale per cui la dimensione del pixel sull'oggetto o GSD risulta pari a 0,727mm. Le prese sono state gestite con l'utilizzo di un computer portatile per il controllo remoto della camera (messa a fuoco, esposizione,

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

apertura del diaframma, ISO) e lo scatto è stato eseguito tramite comando a distanza. Le acquisizioni sono state fatte in formato "*.raw"* per ottenere il massimo della risoluzione disponibile.

Fig.2 e 3 – a sinistra, Trabattello mobile con braccio su cui è fissata la camera fotografica EOS 5D Mark III per le prese nadirali del pavimento a marmi policromi; a destra, target codificati riconoscibili automaticamente dal software fotogrammetrico impiegato nell'orientamento delle immagini.

I processi automatici o semi-automatici per la creazione di modelli fotogrammetrici richiedono uno schema di presa con una sovrapposizione tra le immagini maggiore rispetto alla fotogrammetria classica (60% longitudinalmente – 20% trasversalmente) per cui è stato rispettato un ricoprimento longitudinale del 75% e trasversale del 53%, per un totale di 7 strisciate nelle zone del presbiterio e dell'altare, 6 strisciate di diversa estensione per il coro e 3 strisciate per la sagrestia (fig.4).

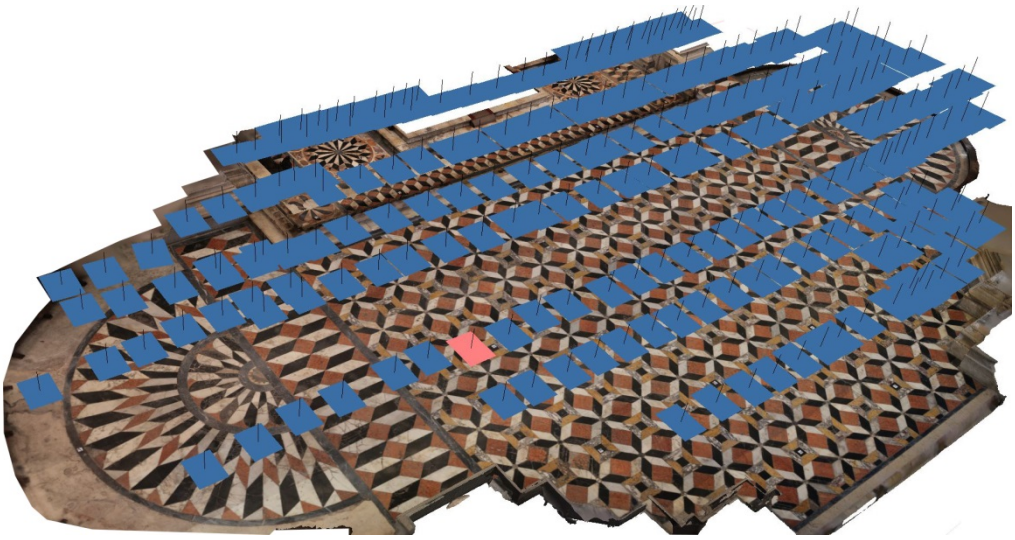

Fig.4 – Schema delle prese fotografiche eseguite nel presbiterio da Photoscan di Agisoft.

Prima del rilievo sono stati predisposti sulle superfici del pavimento 57 target codificati riconoscibili in modo automatico dal software che è stato impiegato per l'elaborazione delle immagini e la creazione dei modelli fotogrammetrici, Photoscan di Agisoft. Contestualmente questi punti di controllo sono stati rilevati topograficamente per orientare le immagini, georeferenziare e scalare i modelli ottenuti.
Le prese fotografiche sono state eseguite cercando di adottare un controllo della luce all'interno degli ambienti, schermando ed evitando il più possibile l'illuminazione diretta proveniente dalle numerose finestre del presbiterio e della sagrestia, cercando così di evitare riflessi sulle superfici da rilevare (fig.5).

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

Fig. 5 –Finestrature del presbiterio e schermatura della luce.

Il rilievo laser scanning

Parallelamente al rilievo fotogrammetrico è stato eseguito un rilievo laser scanning per ottenere ulteriori dati geometricidel manufatto, le informazioni necessarie per l'inquadramento architettonico del pavimento (basamenti, gradini, balaustra, coro ligneo, ecc.) e le quote generali utili in fase di cantiere.
Il dato laser è stato usato nello specifico per la restituzione di una griglia studiata di sezioni longitudinali e trasversali del pavimento in modo da fornire l'andamento reale della superficie.
Le acquisizioni sono state eseguite con lo strumento HDS7000 di Leica Geosystem. Si tratta di un laser scanner a differenza di fase che permette di rilevare in modo automatico l'ambiente circostante definendolo attraverso nuvole di punti tridimensionali. Lo strumento ha un campo visivo di 360°x320°, una portata massima di 187m e può rilevare oltre 1.000.000 di punti al secondo, permettendo di acquisire dati con diversa qualità e risoluzione (fig.6).

Fig. 6 – Fase del rilievo laser scanner.

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

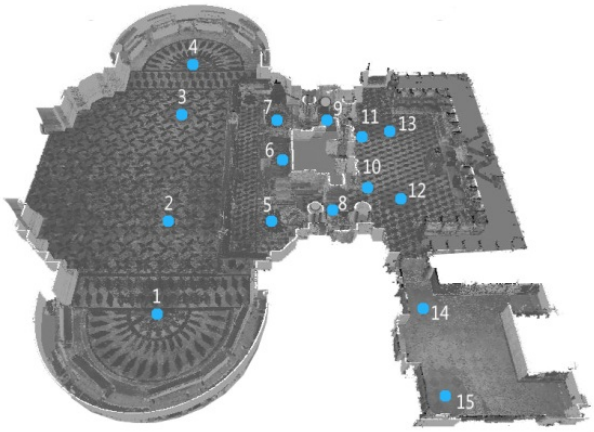

Fig.7 – Schema di presa delle scansioni laser scanning: lo strumento HDS7000 è stato posizionato in modo tale da acquisire le parti architettoniche evitando ombre e sottosquadri e con una adeguata sovrapposizione tra le diverse scansioni.

In questo rilievo sono state realizzate 15 scansioni laser con risoluzione di 1,6 mm a 10m (modalità *ultra high*), 13 minuti per scansione ed un totale di un miliardo circa di punti acquisiti (fig.7).
La georeferenziazione delle diverse nuvole di punti è stata eseguita predisponendo 24 targets specifici che sono stati rilevati sia dal laser che topograficamente.

Il rilievo topografico

L' inquadramento topografico, per la gereferenziazione di tutti i dati acquisiti rispetto al sistema di riferimento generale della Chiesa, ha visto l'utilizzo di una stazione totale TCRM1103 di Leica Geosystem con la quale sono state predisposte 7 stazioni interne ed 2 stazione esterne.

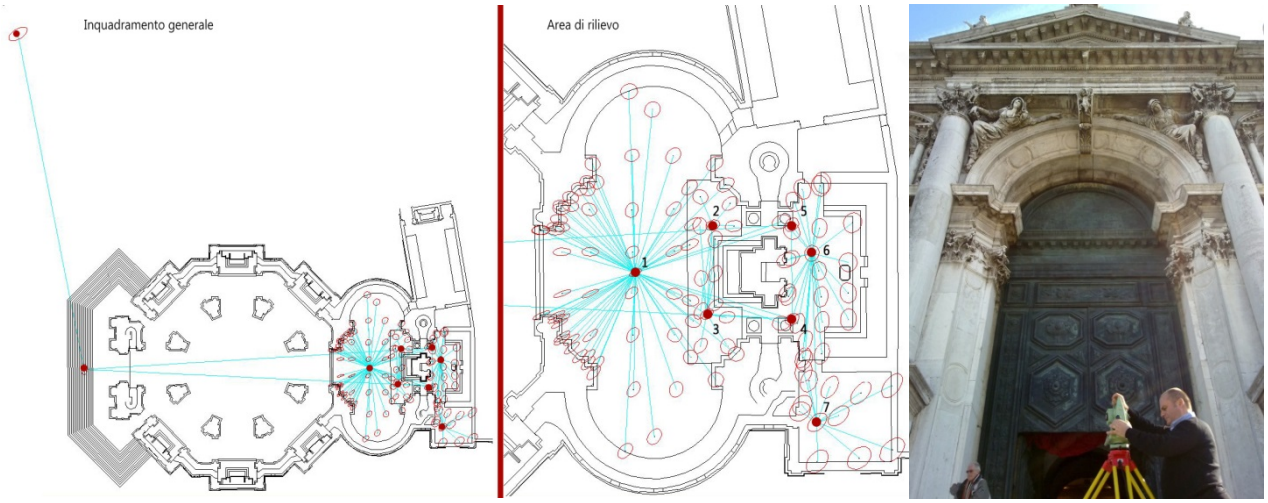

Fig. 8 e 9 – a sinistra, inquadramento topografico con le stazioni e i punti rilevati; a destra, fase del rilievo topografico, stazione esterna.

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

Una delle stazioni utilizzate è stata collocata su un punto appartenente alla rete topografica di livellazione della città di Venezia (Insula), al quale è stato possibile ricondurre le quote del pavimento rilevate, poi trasformate rispetto al mareografo di Venezia.
Dalle stazioni interne sono stati rilevati oltre che i target codificati fotogrammetrici e quelli propri del laser scanner, anche diversi punti architettonici sparsi utili al controllo e alla verifica dei risultati di orientamento ottenuti. La rete di inquadramento e i punti acquisiti sono stati compensati ai minimi quadrati per il controllo e la distribuzione degli errori di misura.

Elaborazioni e restituzioni

I dati acquisiti durante i rilievi sono stati elaborati per permettere il loro utilizzo nella restituzione delle rappresentazioni bidimensionali richieste come supporto alle fasi di progettazione degli interventi di conservazione e di cantiere.

Fig. 10 – Visualizzazione del dato laser sezionato, in evidenza l'andamento del pavimento.

Le singole scansioni laser sono state elaborate con il software Cyclone della Leica Geosystem attraverso il quale è stato possibile unire le nuvole di punti orientandole le une sulle altre e rispetto al sistema di inquadramento generale, identificando i targets e inserendo i dati della topografia. Le nuvole di punti così georeferenziate sono state utilizzate per la restituzione vettoriale della pianta a diverse quote di riferimento. Sono stati infatti individuati quattro livelli, entro cui il pavimento dell'area oggetto di studio si sviluppa. La pianta generale è stata quindi restituita tenendo conto di tali livelli, in modo da evitare zone di pavimentazione nascoste da elementi come sottosquadri e simili, consendo di riportare lo sviluppo totale della pavimentazione. L'area del coro, per l'impossibilità di spostare l'antica struttura lignea, è stata acquisita solo nelle zone libere.
Direttamente dal dato laser sono state estratte molteplici sezioni longitudinali e trasversali della superficie pavimentale, con un passo di griglia variabile a seconda delle aree, permettendo di delineare i profili architettonici dei basamenti e dei gradini. Nello specifico la pianta degli ambienti rilevati è stata restituita in tre diverse scale 1:20, 1:50, 1:100 e sono state estrapolate dal dato laser 103 sezioni verticali, in scala 1:20, sui quattro livelli, rispettivamente quello del Presbiterio, dell'Altare Maggiore, del Coro e della Sagrestia Minore (fig.11 -12). L'obiettivo di questo lavoro è stato quello di fornire il supporto conoscitivo necessario agli interventi di risanamento conservativo, che hanno previsto il sollevamento della pavimentazione e il rifacimento del sottofondo. La creazione di una fitta maglia di sezioni consente, in fase di cantiere, il riposizionamento della pavimentazione secondo gli andamenti e le quote originarie, come richiesto dalla Soprintendenza.

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

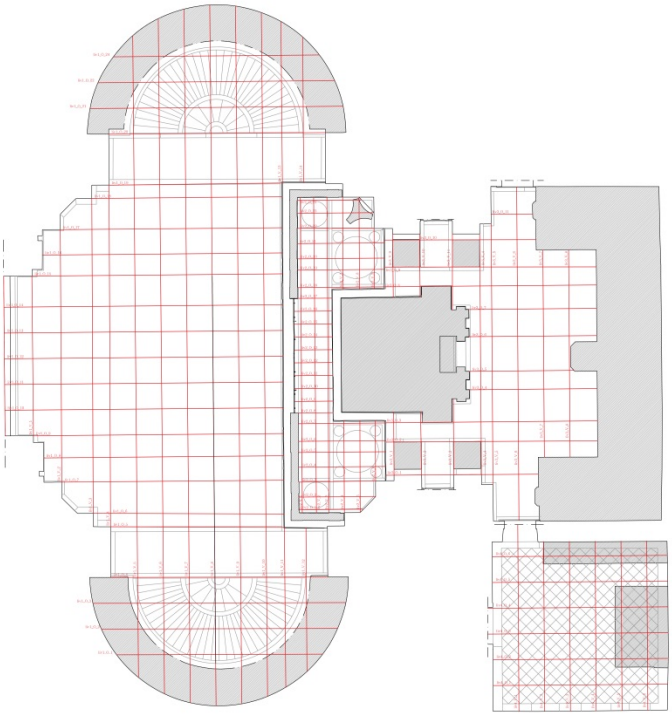

Fig. 11 – Pianta con indicazione delle sezioni longitudinali e trasversali estratte nelle quattro aree di rilievo.

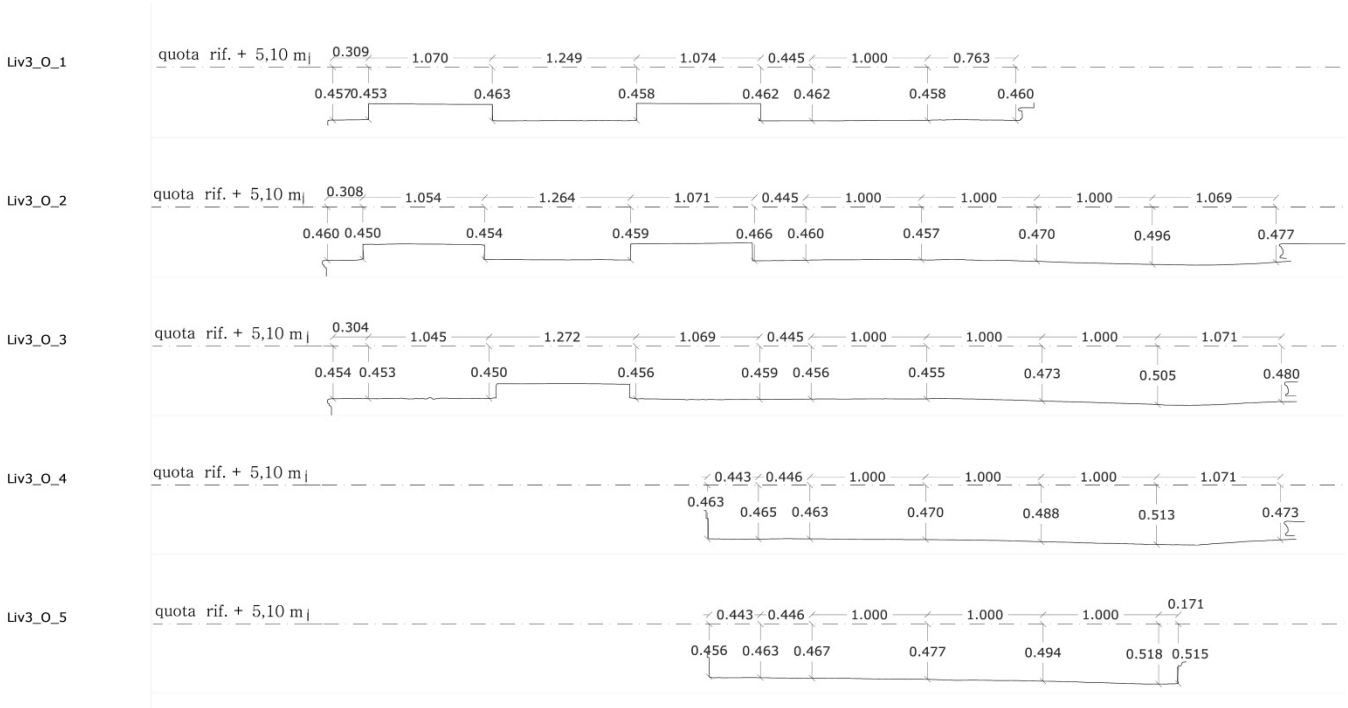

Fig. 12 – Esempio della restituzione di alcune sezioni della superficie pavimentale.

Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati fotogrammetrici, le 336 immagini acquisite sono state processate con il software Photoscan di Agisoft con il quale, attraverso l'impiego di algoritmi dell'*image matching* (Remondino et al, 2014), è stato possibile ottenere l'orientamento dei fotogrammi e la costruzione dell'andamento tridimensionale della superficie (DSM) rilevata, in modo semi- automatico. Durante le fasi del processamento, infatti, si ottiene dopo l'orientamento generale delle camere, la creazione di una nuvola densa di punti con l'associazione diretta del dato radiomentrico, RGB. Questa nuvola può essere impiegata per generare il modello della superficie, analogamente al dato laser scanner, con una densità che dipende dalla risoluzione delle immagini

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

e del pixel sull'oggetto (GSD). La scelta di utilizzare le nuvole di punti laser e non quelle fotogrammetriche per la restituzione delle sezioni verticali del pavimento è dovuta alla necessità di contestualizzare le stesse con l'andamento degli elementi architettonici presenti, come basamenti, gradini, colonne, ecc.
Le ortofoto digitali ad alta risoluzione elaborate successivamente sono state impiegate per integrare i dati vettoriali della pianta in scala 1:20 e 1:50, fornendo un supporto qualitativo e metricamente definito nelle precisioni ed accuratezze (fig.13).

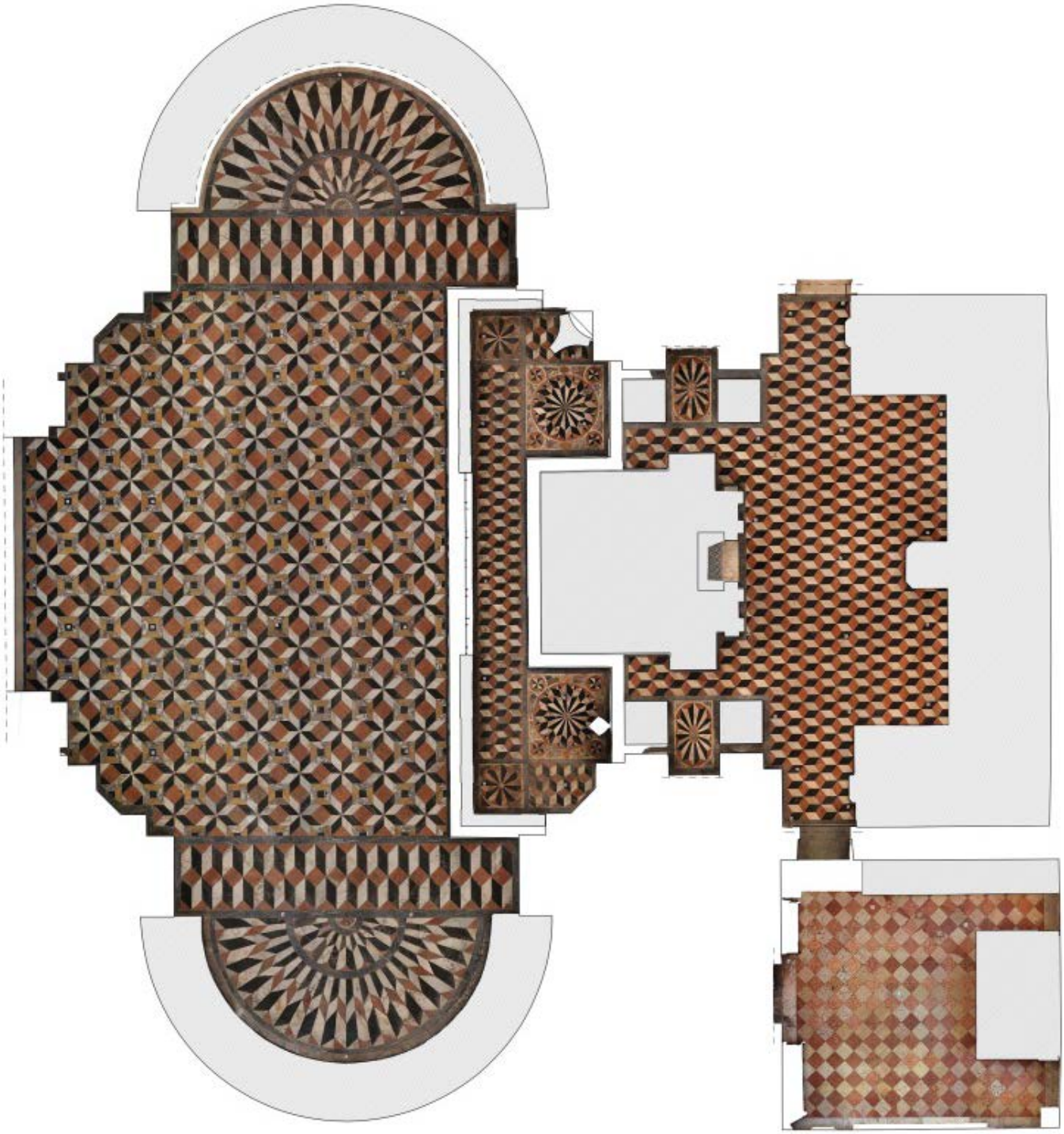

Fig. 13 – Ortofoto digitali del presbiterio, dell'altare maggiore, del coro e della sagrestia della chiesa di Santa Maria della Salute.

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842

CONCLUSIONI

Questo cantiere è stato l'occasione per la sperimentazione di tecniche di rilievo innovative che ad oggi trovano applicazioni in contesti anche più estesi e complessi, come la realizzazione di modelli tridimensionali di interi edifici e non solo di limitate parti di essi. Ancora una volta, l'integrazione di diverse metodologie, si è rivelata la scelta vincente alla fine di ottenere un dato il più possibile completo e utilizzabile per diversi aspetti progettuali e operativi del cantiere di restauro.

Bibliografia

-Chiarini, S., Cremonesi, S., Fregonese, L., Taffurelli, L., Lattanzi, D., Romoli, E., *La conoscenza di un bene nel tempo: il pronao della basilica di Sant'Andrea Apostolo a Mantova*, in Atti del Convegno Aplar5, Musei Vaticani, 2014;

-Chiarini, S, Cremonesi, S, Fregonese, L, Fassi, F, Taffurelli, L*, A multi-range approach for cultural heritage survey: a case study in Mantua unesco site*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Riva del Garda, 2014;

-Remondino, F., Spera, M. G., Nocerino, E., Menna, F. and Nex, F., *State of the art in high density image matching*, in The Photogrammetric Record, 29:144–166. doi10.1111/phor.12063, 2014;

- F. Fassi, F, Fregonese, L, Ackermann, S, De Troia, V, *Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W1, 3D-ARCH 2013, Trento, 2013;

- Beltrame, D., Stefanutti, V., Zecchin, R., *Pavimento radiante innovativo per la Basilica della Salute a Venezia*, su sito http://www.ingegneri.cc, 2013;

-Fregonese, L., Monti, C., *L'ortofoto del pavimento tessulare di San Marco a Venezia*, in Il manto di pietra della basilica di San Marco a Venezia. Storia, restauri, geometrie del pavimento, ed. Cicero,Venezia, 2012.

In : E. Pannunzio, M. Boscolo Meo, *Il restauro del pavimento della Basilica di Santa Maria della Salute*, ed. Il Prato, 2019, ISBN 9788863364842