



Francesco Guerra*

Indagini fotogrammetriche sui marginamenti dell'Arsenale. Strumenti e modalità operative

Il rilievo geometrico completo dei marginamenti dell'Arsenale, commissionato a CIRCE nel 2001, ha presentato oggettive difficoltà operative legate al fatto che la grandissima parte del sistema di fortificazione è prospiciente a canali o a specchi d'acqua per cui gli usuali metodi del rilievo topografico - fotogrammetrico classico non sono applicabili se non con particolari accorgimenti. A ciò si aggiunge la grande estensione degli elementi da rilevare (circa 5 km lineari) che devono essere inseriti nello stesso sistema di riferimento in modo tale da essere giustapposti con correttezza.

Una parte consistente del rilievo è consistita nella produzione dei fotopiani di ogni tratto di muro nel quale l'intero sistema si può scomporre. I fotopiani sono la base per la stesura del rilievo dei materiali, del loro stato di conservazione e del rilievo stratigrafico. A questi si aggiungono i rilievi planoaltimetrici alla scala 1:200 nel sistema di riferimento nazionale di una fascia di 10 m a tergo dei marginamenti.

Rilievo

In quanto disciplina analitica, il rilievo studia la forma dell'architettura attraverso le geometrie dei luoghi e, in particolare, degli edifici. Il rilievo è uno straordinario strumento di analisi: anche se le geometrie che individuiamo oggi non sono quelle utilizzate da chi è intervenuto sulla "fabbrica" prima di noi, resta il fatto che lo strumento è lo stesso, ci si muove nello stesso "universo geometrico": il rilievo può fornire indicazioni di regolarità o di trasgressioni geometriche. Le regolarità danno una chiave interpretativa generale della fabbrica, le trasgressioni (geometrie accidentali) danno indicazioni su alcuni fenomeni particolari.

Ma il rilievo non è solo analisi delle geometrie per la definizione della forma della fabbrica, cioè disciplina analitica autonoma, ma è anche strumento di correlazione e supporto per le altre analitiche, in quanto fornisce la base metrica e topologica su cui collocare spazialmente i fenomeni che si vanno studiando. Spesso, infatti, fenomeni molto differenti tra loro sono correlati dal fatto che hanno la stessa posizione o sono reciprocamente collocati secondo logiche loro proprie.

Il servizio che il rilievo rende alle altre discipline va da quello minimo di supporto nella creazione delle mappe tematiche nella loro espressione grafica, dove viene utilizzato il prodotto finale cartaceo del rilievo (il disegno in proiezione ortogonale), a

* Francesco Guerra è responsabile scientifico del Laboratorio di Fotogrammetria di CIRCE - Università IUAV di Venezia che ha condotto il rilievo geometrico sui marginamenti e sulle mura perimetrali dell'Arsenale

Il gruppo di ricerca di CIRCE era così composto:

Supervisione scientifica
Francesco Guerra

Coordinamento e sintesi
arch. Giovanni Auditore,
dott. Luca Pilot

Rilievi sul campo
arch. Claudia Carlon,
arch. Cristina De Piero,
arch. Giovanna Fanello,
arch. Silvia Mander,
arch. Davide Miniutti,
dott. Paolo Venier

Veduta aerea dell'estremità dell'Arsenale nord. Sullo sfondo, l'isola di Murano

quello più complesso di base cartografica numerica dei sistemi informativi per la georeferenziazione dei fenomeni.

La descrizione della forma e la collocazione spaziale dei fenomeni, che si compie con il rilievo, avviene attraverso l'atto fondativo del misurare: il fare del rilievo è misurare. Il misurare si organizza nelle tecniche e nei metodi del "rilievo topografico", del "rilievo fotogrammetrico", del "*laser-scanning* del rilievo diretto". Tutti e tre si possono interpretare come momenti differenti di un'unica disciplina, quella del rilievo metrico dell'architettura, dal momento che hanno la stessa finalità operativa: la determinazione di punti che si considerano significativi per la modellazione dell'architettura, dove la forma viene modellata, appunto, sulla base di un significativo set di punti. Ciascuno dei metodi indicato però può considerarsi una disciplina autonoma per caratteristiche proprie e per impostazione metodologica della produzione del rilievo.

Dal punto di vista metodologico, il lavoro di rilievo è diviso in tre fasi distinte: la raccolta dei dati, l'elaborazione-restituzione e la rappresentazione. La prima fase è la sola che viene svolta sulla fabbrica e consiste nelle operazioni di misura e di assunzione dei fotogrammi. Nella seconda si verifica la coerenza interna ed esterna dei dati assunti e si procede alla creazione di quei modelli che giustificano le rappresentazioni che vengono elaborate nella terza.

La sostanziale omogeneità nel prodotto e nei modi di produzione tra le diverse forme di rilievo è dunque alla base della loro riunione nella disciplina del "rilievo metrico dell'architettura" ma è anche ciò che garantisce quelle caratteristiche di rigore che devono essere alla base di ogni operazione inserita in un processo di conoscenza.

Di seguito si spiegano i metodi, classici e innovativi, e le procedure operative adottate per una corretta esecuzione del rilievo dei marginamenti dell'Arsenale e della loro rappresentazione.

Topografia

Data l'estensione dell'area da rilevare si è resa necessaria la realizzazione di una rete di inquadramento plano-altimetrica che permettesse la corretta georeferenziazione di ogni tratto di muratura rilevata.

Le caratteristiche del tessuto urbano di Venezia non permettono la realizzazione di reti complesse, di grande estensione con alta precisione, utilizzando misure solo terrestri (angoli e distanze), in quanto uno schema a rete risulta di fatto irrealizzabile e si deve adottare lo schema delle poligonal. Queste, anche con opportuni irrigidimenti, rappresentati da collegamenti aggiunti, risultano sempre composte da un grande

numero di vertici e pertanto di difficile controllo dal punto di vista dell'individuazione e dell'eliminazione degli errori di misura.

D'altra parte il ricorso a misure satellitari, con la strumentazione GPS (che di fatto non risente, se non assai moderatamente, della distribuzione dei punti a terra ma praticamente solo della costellazione dei satelliti), risulta essere poco applicabile all'interno degli spazi urbani veneziani, dove non si riesce ad avere una finestra di acquisizione sufficientemente ampia per garantire sui punti le precisioni necessarie al corretto rilievo del sistema delle mura. Il GPS può essere utilizzato solo per un numero limitato di punti, posizionati lì dove gli spazi sono abbastanza ampi per poter acquisire i dati con tempi sufficientemente lunghi.

Si realizza pertanto un rete di inquadramento mista, di capisaldi determinati con misure GPS e di capisaldi determinati con misure da terra. Una serie di reti poligonali collega tra loro un numero limitato di capisaldi GPS in modo da determinare tutti gli altri capisaldi necessari alle successive fasi del rilievo.

Si potrebbe, e sarebbe metodologicamente corretto, interpretare la rete GPS come rete di inquadramento (ordine I) e la rete a terra come rete di raffittimento (ordine II). Si preferisce invece, basandosi sulla logica di impiego della rete piuttosto che seguire la logica della sua realizzazione, interpretare le reti terrestri e satellitari come un unico sistema di inquadramento dell'area. La distribuzione e il posizionamento dei punti GPS sono stati organizzati in modo tale da formare delle coppie di punti tra loro visibili che permettono il successivo rilievo di poligonali appoggiate ai punti GPS noti. Questo consente un più rigoroso controllo delle reti poligonali e una conseguente riduzione dell'incertezza dei vertici. La rete GPS è pensata in funzione delle reti a terra e i sistemi permettono l'inquadramento completo dell'intera area interessata ai rilievi.

Una particolare importanza assume la parte altimetrica del rilievo di inquadramento proprio in relazione allo stretto rapporto dei manufatti con l'acqua. Al fine di verificare altimetricamente il rilievo GPS, che comunque viene riferito al Geoide interpolato localmente, si effettuano delle misure di livellazione che collegano i vertici realizzati ai vertici altimetrici riferiti all'IGM e al mareografo di punta della Salute¹.

La segnalizzazione dei vertici di rete principale (sia GPS che terrestri) è stata realizzata in modo permanente con chiodi topografici infissi nella pavimentazione (la posizione dei vertici è riportata nelle monografie).

A partire dai vertici di rete principale si è proceduto al rilievo di tutti gli altri punti

¹ Lo zero mareografico di punta della Salute è diverso dallo zero IGM in quanto tiene conto della perdita relativa di quota del suolo in laguna rispetto al livello del mare registrata dall'inizio del '900 a oggi a causa di eustatismo e subsidenza (-23 cm). Per fare un esempio, 77 cm IGM corrispondono a 100 cm su punta della Salute.

necessari alla realizzazione del rilievo. In questo caso si tratta delle seguenti tipologie di punti:

- punti di appoggio alla fotogrammetria;
- punti costituenti una maglia di verifica delle murature;
- punti di dettaglio per la costruzione dei profili verticali;
- punti di dettaglio per la costruzione della planimetria.

Per questi set di punti sono state individuate due diverse modalità esecutive che fanno uso di strumenti differenti: la stazione totale con distanziometro reflector-less e il laser-scanner. Sebbene i due strumenti siano essenzialmente costituiti dalle stesse componenti (un teodolite con distanziometro a tempo di volo) completamente differente risulta essere il loro utilizzo.

Con la stazione totale l'operatore individua e rileva punti notevoli dell'oggetto (a volte opportunamente segnalizzati) significativi per il rilievo che deve compiere; con il laser-scanner si rileva invece una nuvola di punti sull'oggetto secondo un passo angolare regolare in azimut e in zenit.

In questo secondo caso la scelta dei punti da utilizzare nella restituzione viene rimandata a un secondo tempo in laboratorio dove è possibile consultare l'archivio dei punti acquisiti con appositi software.

Per l'Arsenale è stata prevista e realizzata la copertura con laser-scanner dell'80% della superficie di muratura da rilevare, escludendo alcuni tratti a nord-ovest (tra cui rio delle Gorne) dove non è possibile trovare un punto di stazione a distanza adeguata.

Da ogni stazione laser-scanner si rileva un set di punti con un sistema di riferimento autonomo e non collegato con gli altri. L'inserimento dei vari set in un unico sistema si realizza utilizzando degli opportuni punti di appoggio rilevati con la stazione totale. Sono stati disposti mediamente quattro punti di riferimento, ampiamente sufficienti dato che i parametri da stimare per la georeferenziazione delle scansioni sono quattro: le tre traslazioni e la rotazione intorno all'asse z. I punti di riferimento sono stati segnalizzati con mire adesive catarifrangenti, facilmente riconoscibili².

La griglia di punti regolarmente spaziate richiesta nelle specifiche fornite dal committente è ricavabile con grande semplicità dalle scansioni.

Per l'appoggio alla fotogrammetria sono stati utilizzati punti naturali, ricavati dalle scansioni laser o rilevati per coordinate polari dai punti di rete. Lo stesso dicasi per i profili e la planimetria, con le dovute differenze legate alla diversa scala di rappresentazione e alla conseguente differenza di incertezza.

² L'altro metodo di referenziazione delle scansioni, che si basa su punti di collegamento ricavati dalle scansioni stesse nelle zone di sovrapposizione, non è stato giudicato sufficientemente preciso e affidabile in quanto inevitabilmente comporta una trasmissione dell'errore di concatenamento da una scansione all'altra: un effetto esattamente equivalente al concatenamento di modelli fotogrammetrici.

Al fine di verificare sperimentalmente la precisione dei punti rilevati nelle scansioni laser rispetto alla scala di rappresentazione richiesta, sono state confrontate le distanze tra punti le cui coordinate sono state rilevate sia con la stazione totale TCRM 11003 che con lo scanner laser. La difficoltà maggiore dell'utilizzo dei punti "laser scanner" sta nell'individuazione e collimazione nell'immagine RGB registrata dallo scanner. Questa infatti è una proiezione polare che nelle zone periferiche risulta assai ridotta. Per facilitare l'utilizzo di tali immagini per la conoscenza delle coordinate di possibili punti di appoggio è stato scritto un apposito software che ne permette la gestione mediante vari livelli di zoom e la lettura e registrazione in *real time* delle x, y, z terreno. I punti in parete, quando non naturali, cioè morfologicamente notevoli, sono stati segnalizzati in modo semipermanente con mire adesive.

Fotogrammetria

Per il rilievo fotogrammetrico si è optato per l'uso esclusivo di fotocamere digitali. Dato che la restituzione avviene con la tecnica del raddrizzamento digitale è sembrato conveniente saltare il passaggio attraverso il supporto analogico, che avrebbe allungato i tempi di restituzione e introdotto inevitabili errori nella fase di scansione.

Per garantire il prodotto finale, costituito dai fotopiani digitali per la stampa alla scala 1:50, si è imposto che le prese avessero una risoluzione tale che la dimensione media del pixel sull'oggetto fosse non minore di 1 cm. In questo modo si è evitato il problema del ricampionamento verso l'alto che, pur aumentando la dimensione dell'immagine, non introduce nuova informazione. Le fotocamere utilizzate sono state calibrate per poter correggere la distorsione radiale, inevitabile utilizzando obiettivi grandangolari.

È stata posta particolare attenzione nella mosaicatura delle varie immagini raddrizzate che compongono i fotopiani: si è curato non solo l'aspetto geometrico ma anche quello radiometrico, per ottenere fotopiani coerenti dal punto di vista della resa dei colori. L'utilizzo dei fotopiani quali supporto per la mappatura dei materiali e del loro degrado impone infatti una particolare fedeltà nella resa dei colori.

I fotopiani rappresentano lo sviluppo delle superfici murarie: si è cioè rigorosamente seguita la spezzata che compone la traccia del muro in planimetria. Per fare questo, ogni parte di muratura assimilabile a un piano è stata raddrizzata singolarmente su un piano di rappresentazione parallelo all'andamento della facciata, evitando ogni possibile contrazione provocata dal mancato parallelismo tra piano dell'oggetto e piano di rappresentazione.

La volontà di produrre degli elaborati “misurabili” direttamente ha imposto l’adozione di un sistema di riferimento locale non contratto in cui le distanze in scala sono riportate senza la contrazione caratteristica del piano di Gauss adottato per la cartografia nazionale nella versione modificata dal prof. Boaga. Sono stati calcolati e forniti i parametri per la trasformazione da sistema locale a sistema Gauss-Boaga.

Lo stesso sistema locale non contratto è stato utilizzato per la planimetria alla scala 1:200 che è stata considerata una rappresentazione architettonica e non cartografica. Anche in questo caso il passaggio al sistema nazionale è possibile con i medesimi parametri.

Riferimenti bibliografici

L. Pilot, G. Auditore, D. Miniutti, *Integration of aerial and terrestrial surveys for the representation of the Island of Torcello*, in Atti del CIPA 2001 “International Symposium, Surveying and documentation of Historic Buildings - Monuments - Sites, traditional and Modern Methods”, Potsdam (Germany), settembre 18-21, 2001.

F. Guerra, L. Pilot, G. Auditore, *Rilievo e rappresentazione dei marginamenti sull’acqua*, in Atti della V conferenza nazionale ASITA, “La qualità nell’Informazione Geografica”, Rimini 9-12 ottobre 2001.

M. Folin, *Le difese locali: una ricerca dello IUAV*, in “Difese locali”, Quaderno_ISP 01, giugno 2000.



La darsena Grande
dell'Arsenale di Venezia