

Il “fregio dell’arte della guerra” a Urbino: tra ricostruzione virtuale e rigore scientifico

Laura Baratin
Università degli Studi di Urbino Carlo Bo
laura.baratin@uniurb.it

1. Introduzione

Il “fregio dell’arte della guerra”, voluto da Federico da Montefeltro, duca di Urbino, come decoro della spalliera esterna della «facciata ad ali» del Palazzo Ducale serviva a caratterizzare la propria dimora, sottolineando la sua vita gloriosa e la sua particolare posizione nella storia rinascimentale. Il fregio rimase a decorazione della facciata, impreziosita inoltre da un sedile e da una cornice marcapiano finemente lavorata, dalla sua realizzazione verso la fine del XV secolo fino al 1756, anno in cui fu rimosso dall’architetto Giovan Francesco Buonamici su ordine del cardinale Giovan Francesco Stoppani, legato pontificio a Urbino, per costituire il “Museo di antiche lapidi” nelle Soprallogge del palazzo a testimonianza del passato (Fig.1).



Fig. 1 Palazzo Ducale di Urbino, particolare della spalliera esterna verso la Chiesa di San Domenico (foto dell'autrice)

L'operazione di distacco non fu facile, da fonti documentarie risulta che alcuni elementi subirono dei danni (la formella n.60 è oggi inesistente ed è ricostruibile solo grazie alla serie di incisioni fatte da Gaetano Piccini e pubblicate all'interno del testo B. Baldi, *Memorie concernenti la città di Urbino* del 1724), non si tenne conto, nella nuova disposizione, dell'originaria collocazione, ma fu attribuito un nuovo ordinamento i cui criteri sono ancora dibattuti¹. Unico fatto altamente positivo è che, in questo modo, il fregio fu sottratto all'azione degli agenti atmosferici che ne andavano via via provocando l'erosione. Il fregio è costituito da una particolarissima serie di settantadue bassorilievi in calcare massiccio, il cui repertorio iconografico rappresenta numerose macchine da costruzione e da guerra, nonché simboli legati all'ambito militare e politico. In origine le formelle erano inserite all'interno di appositi riquadri e disposte l'una accanto all'altra a formare una lunga fascia decorativa che si estendeva dalla porta laterale del Palazzo, posta di fronte alla Chiesa di S. Domenico, sino alla facciata del Castellare. Nessuna fonte letteraria fa riferimento all'ordine con cui i rilievi erano disposti sulla facciata. Il fregio è stato

¹ Per maggiori approfondimenti si veda il testo di Bernini Pezzini (1985).

conservato all'interno delle Soprallogge per circa due secoli, intorno al 1940 l'intero materiale del Museo Lapidario è stato spostato; la raccolta archeologica è stata trasferita nelle sale del pianterreno e le formelle deposte in alcune sale minori del palazzo (1944). I bassorilievi in buono stato conservativo sono stati murati nelle sale prospicienti il cortile del Pasquino e raggruppate in base ai soggetti iconografici rappresentati; tutti gli altri sono stati invece trasferiti nei depositi del palazzo. Intorno al 1980 le formelle sono state sistemate all'interno dei locali della Cancelleria, dopo aver subito un intervento di restauro seguito da Arduino Spegne. Nella prima fase del nostro lavoro (a.a. 2007-2008) i bassorilievi erano collocati l'uno accanto all'altro secondo la numerazione fornita dal Bianchini nel testo *Spiegazione delle sculture contenute nelle LXXII tavole di marmo e bassorilievi collocati nel basamento esteriore del palazzo di Urbino*, pubblicato nel 1724. Le prime quarantotto formelle erano disposte all'interno della prima sala, mentre le altre tredici erano situate nella stanza adiacente; appoggiate su basi in plexiglass bianco e ancorate alle pareti tramite staffe metalliche inserite sul retro (Fig. 2).



Fig. 2 Palazzo Ducale di Urbino, particolare della disposizione del fregio al momento delle due fasi di ricerca svolte negli a.a. 2007-2008 e 2013-2014 (foto dell'autrice)

Una prima interpretazione iconografica del fregio si deve sempre a Bianchini; altra fonte fondamentale è quella di G. Bernini Pezzini nel libro dal titolo *Il fregio dell'arte della guerra nel Palazzo Ducale di Urbino* del 1985 che fornisce un'interpretazione dei simboli e una spiegazione dei

meccanismi di funzionamento dei congegni raffigurati in ciascuna formella. Le rappresentazioni scolpite possono essere raggruppate secondo quattro categorie principali: opere d'ingegneria, panoplie, simboli nautici e arte militare. I diversi soggetti si riferiscono a diverse fonti trattatistiche: dai Codici di Francesco di Giorgio Martini ai disegni di Roberto Valturio della metà del XV secolo, ritenuti utili nel nostro studio per la rappresentazione attuale di alcune formelle molto degradate (Fig. 3).

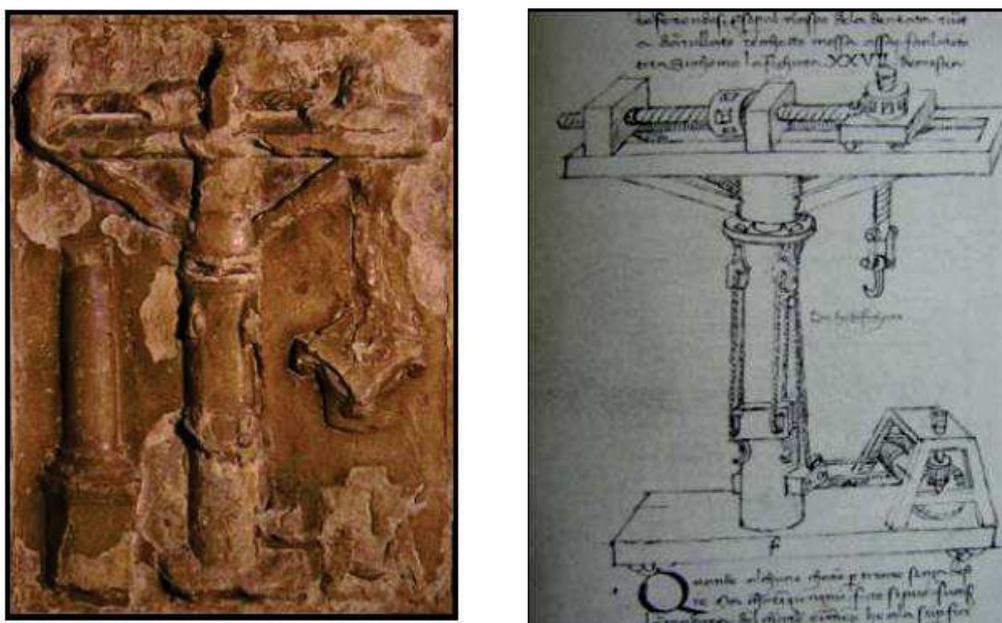


Fig. 3 Formella 72, Gru girevole (inv.n.830), foto dell'autrice, opera di ingegneria raffigurante una gru e a fianco la riproduzione dal Codice di Francesco di Giorgio Martini (edizione facsimile)

La seconda fase del lavoro risale all'anno accademico 2013-2014 quando la ricerca si è sviluppata su alcune ipotesi di ricollocazione delle formelle a partire dai rilievi effettuati precedentemente sulle spalliere delle facciate di Palazzo Ducale e sulle diverse formelle e sull'applicazione e confronto di diverse metodologie di rilievo tridimensionale al fine di verificarne l'economicità (tempi e costi), l'accuratezza, i limiti e l'affidabilità².

² I risultati della ricerca sono stati presentati al Convegno a Trento il 25-26 febbraio 2013, dell'International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences a cui è stato assegnato il premio per il miglior paper per contenuto scientifico e originalità dell'argomento, poi pubblicati nel Volume XL-

2. Prima fase: il rilievo e la documentazione dei manufatti

In questa prima fase, sviluppata nell'a.a. 2007-2008³, lo studio ha avuto inizio con la ripresa fotografica di ogni singola formella e la misurazione delle dimensioni di ogni singolo lato e delle diagonali per tutte le 72 presenti all'interno del palazzo. Successivamente, in via sperimentale, è stato eseguito un rilievo laser scanner di alcune formelle per analizzare la possibilità di una loro riproduzione con materiali diversi e infine, sempre utilizzando un laser scanner, sono stati rilevati i prospetti esterni di Palazzo Ducale sede originaria del fregio dell'arte della guerra per avere il materiale per poter, in seguito, approfondire la ricerca sulla collocazione delle formelle prima del loro distacco.

Le fotografie acquisite sono state sottoposte a un processo di raddrizzamento geometrico, basato sulla individuazione delle posizioni dei punti di fuga dei singoli fotogrammi e sulla collimazione sia di rette verticali sia orizzontali, con alcune misure di riferimento (Fig. 4).

Il principio del fotoraddrizzamento permette di trasformare immagini in prospettiva di oggetti piani in una proiezione parallela. Successivamente, le immagini delle singole formelle sono state importate nel software CAD e doverosamente scalate, grazie alle misure reali di alcuni elementi che precedentemente erano state acquisite. In questo modo le immagini sono state rese metriche, cioè sono state determinate le loro reali misure

Ogni studente ha lavorato su 3 o 4 formelle per ottenere i fotopiani poi si è proceduto a una attenta restituzione grafica digitale e al confronto, secondo un processo di sovrapposizione, con i rispettivi disegni recuperati negli archivi dai testi di Bernardino Baldi, dal trattato di Francesco di Giorgio Martini e dai disegni di Roberto Valturio⁴. I risultati prodotti permettevano di acquisire anche una base geometrica a supporto della successiva documentazione sullo stato di

5/W1, 2013 | WG V/4 “3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures”.

³ Il lavoro è stato svolto dagli studenti del 3° anno, in totale 21, nell'ambito dell'insegnamento di Topografia e Cartografia del corso in Tecnologie per la Conservazione e il Restauro dei Beni Culturali dell'Università di Urbino tenuto dalla prof.ssa L. Baratin. L'esercitazione prevista è stata focalizzata sulla documentazione, sul rilievo e sulla rappresentazione delle 72 formelle.

⁴ Baldi (1587); Francesco di Giorgio Martini (1967); Valturio (1532).

conservazione, dei materiali, del loro degrado e delle analisi chimico-fisiche condotte su tutte le 72 formelle⁵.

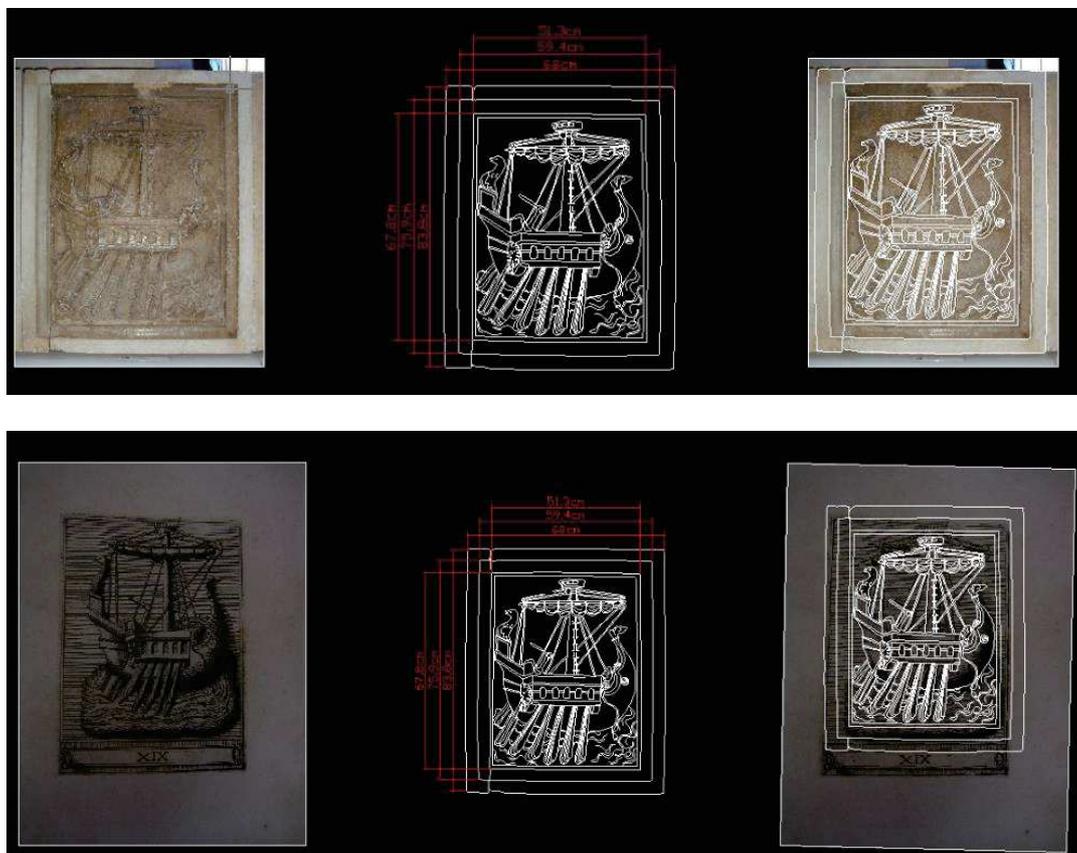


Fig. 4 Formella 19, Quinquereme (inv. n. 778), esempio di rilievo, elaborazione di fotopiani, confronto con la documentazione storica e rappresentazione grafica

Sempre nell'ambito della documentazione digitale è stato sperimentato un rilievo laser scanner con due tecnologie per avere una riproduzione tridimensionale del manufatto utile a una documentazione più rigorosa ma anche alla possibilità di una fedele riproduzione dei singoli manufatti attraverso tecniche di prototipazione a partire direttamente dalle scansioni.

⁵ Per approfondimenti si veda il lavoro sviluppato all'interno degli insegnamenti di Chimica per i Beni Culturali e Chimica per il Restauro del corso in Tecnologie per la Conservazione e il Restauro dei Beni Culturali tenuti dalla prof.ssa M.L. Amadori (a.a. 2007-2008) e della tesi di laurea di Clizia D'Apice *Il Fregio dell'arte e della guerra*, a.a. 2007-2008, relatore M.L. Amadori.

La prima tecnologia si basava su un sofisticato algoritmo di analisi dell'immagine⁶. L'acquisizione e l'elaborazione delle nuvole di punti avveniva esclusivamente usando immagini scattate da macchine fotografiche digitali e calibrate. Ogni modello restituito era frutto di tre soli fotogrammi e permetteva di ottenere in tempo reale restituzioni di buona qualità con un'elevata risoluzione fotografica. Questa tecnologia sperimentata sulla formella n. 19, Quinquereme, ha permesso di avere una documentazione 3D molto dettagliata associata a una documentazione fotografica professionale (Fig. 5).

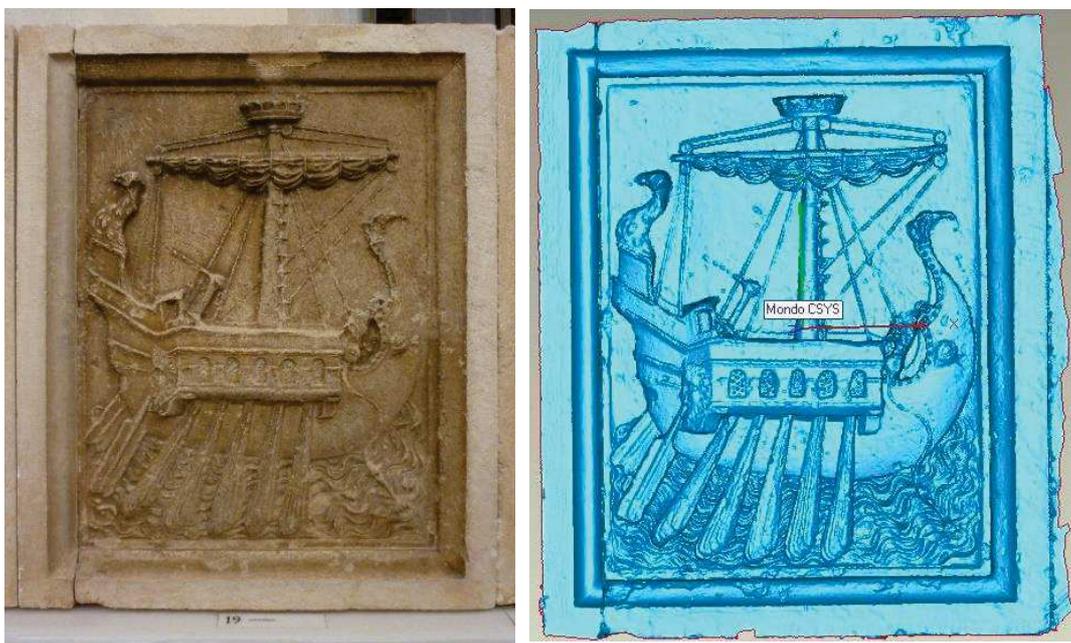


Fig. 5 Formella 19, Quinquereme (inv. n. 778), foto dell'autrice; esempio di rilievo laser scanner con la tecnologia Z-SCAN

La seconda, invece, si basava su un sistema di scansione, finalizzato a rilievi di estremo dettaglio di oggetti di medie-piccole dimensioni. Il sistema era completamente integrabile con un braccio a 7 gradi di libertà e permetteva di eseguire facilmente una misurazione a contatto o non a contatto del soggetto interessato. Questo tipo di scansione avveniva con una velocità di rilevazione di oltre 19.000 punti al secondo

⁶ La tecnologia utilizzata allora era Z-SCAN della Menci Software s.r.l di Arezzo: uno strumento di misura basato su principi fotogrammetrici, in grado di generare nuvole di punti 3D utilizzando software dedicati. Lo strumento era composto dalle seguenti componenti hardware: slitta di precisione micrometrica; macchina fotografica digitale reflex Canon EOS 400D (o 450D), equipaggiata con ottica Canon 60mm EF-S Macro.

e in questo modo era possibile effettuare rapidamente la scansione anche di forme estremamente complesse con una precisione non paragonabile a nessun altro sistema di rilevamento digitale. L'applicazione della metodologia del Laser Line Probe CAM2⁷ ha permesso di realizzare un rilievo estremamente dettagliato tridimensionale di due formelle n.19, Quinquereme e la n.8, Simboli lustrali, con una precisione di 50µm (Fig. 6).

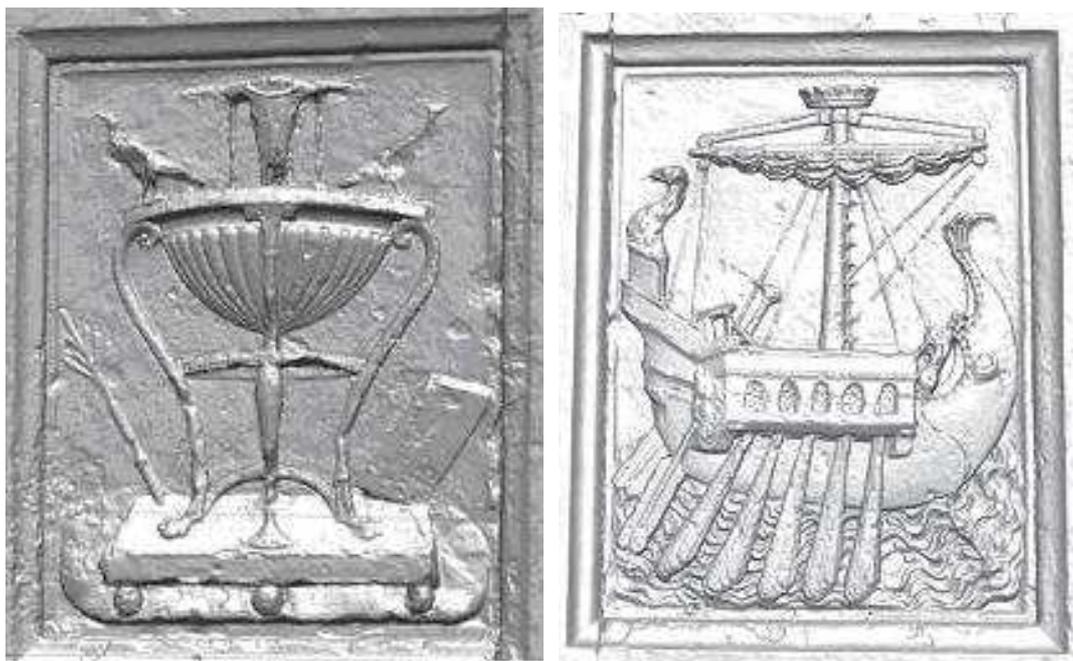


Figura 6 - Formella 8, Simboli lustrali (inv.n. 767), Formella 19, Quinquereme (inv. n. 778), modelli geometrici delle formelle acquisiti con la tecnologia laser Line Probe CAM2.

A partire da questo rilievo molto accurato è stata fatta una copia su granito, in scala 1:1, della formella n.19 con un lavoro di prototipazione rapida⁸ e qualche piccolo intervento da parte di uno scultore che ha fatto tesoro di alcune considerazioni sul tipo di lavorazione, sulla strumentazione utilizzata e sulla metodologia di

⁷ Line Probe CAM2 è una tecnologia della società FARO Technologies, Inc. (CAM2) che si occupa in generale di misurazione, imaging e realizzazioni 3D in ambito industriale nei settori dell'edilizia, della manifattura, della pubblica sicurezza e in parte anche nell'ambito dei beni culturali.

⁸ La prototipazione rapida è un insieme di tecniche industriali volte alla realizzazione fisica del prototipo, in tempi relativamente brevi, a partire da una definizione matematica tridimensionale dell'oggetto.

lavoro, presentate nello studio delle tecniche esecutive⁹ (Fig.7). Lo scopo era quello di presentare alla ex-Soprintendenza per il Patrimonio Storico, Artistico ed Etnoantropologico delle Marche la possibilità di realizzare delle riproduzioni estremamente fedeli e particolareggiate con tecniche automatiche su diversi materiali per verificare i costi e la fattibilità di riprodurre un'opera così importante nelle facciate ad ali del Palazzo Ducale definita come «primo biglietto da visita della potenza, della fama e della gloria stessa di Federico da Montefeltro»¹⁰.



Fig. 7 Formella 19, Quinquereme (inv. n. 778), riproduzione automatica in granito a partire dal modello 3D

Infine, per i controlli dimensionali e al fine di una ricollocazione “virtuale” dei bassorilievi nella loro posizione originaria, è stato fatto un rilievo laser scanner con il sistema Leica HDS6000 a differenza di fase, mediante delle scansioni che permettessero di ricavare un maggiore dettaglio nella zona circoscritta alla spalliera esterna¹¹. Il

⁹ Per maggiori approfondimenti si veda la tesi di laurea di D'Apice (2007-2008).

¹⁰ Dal Poggetto (1985, 5).

¹¹ Leica HDS6000 è un sistema a impulsi ad altissima velocità con compensatore bi-assiale, caratterizzato da precisione, portata e campo di vista di primo livello che permette di realizzare rilievi di estremo dettaglio (circa 1 punto ogni 2 mm fino a 300 metri di distanza).

rilevamento attraverso la tecnica laser permette di ottenere una nuvola di punti ad altissima densità per ognuno dei quali sono note le coordinate relative a un sistema di riferimento intrinseco allo strumento, quindi un vero e proprio archivio digitale costantemente consultabile e aggiornabile (Fig. 8).

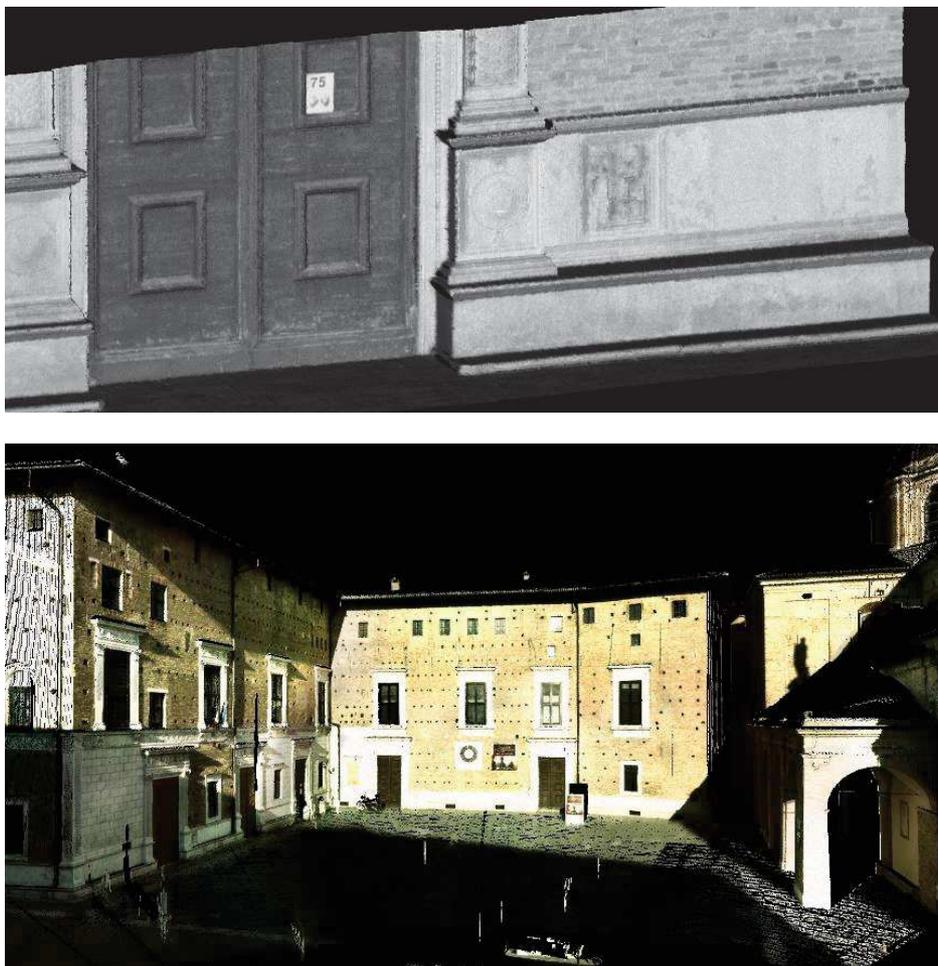


Fig. 8 Rilievo laser scanner delle facciate esterne con un particolare della nuvola di punti della spalliera (foto dell'autrice)

3. Seconda fase: ipotesi di ricomposizione della sequenza originaria delle formelle lungo le facciate ad ali di Palazzo Ducale

Nella seconda fase della ricerca ripresa alcuni anni dopo, in particolare nell'a.a. 2013-2014, si è cercato di ricostruire “virtualmente” la sequenza originale dei bassorilievi a partire dalle fonti storiche e iconografiche, dai rilievi della spalliera e delle singole formelle acquisiti precedentemente. Analizzando le diverse fonti la questione sulla

sequenza originaria dei bassorilievi sulle facciate ad ali di Palazzo Ducale non era ancora stata completamente delineata e il testo del Bianchini rappresentava l'unica importante testimonianza in grado di fornire indicazioni utili sull'argomento anche se non chiariva la distribuzione precisa delle formelle all'interno di ciascun tratto di spalliera. L'unico elemento in grado di fornire qualche dato interessante circa il numero di formelle collocate lungo ciascuna fascia era dato da un'incisione, corredata al testo del Bianchini¹², raffigurante il sistema urbanistico settecentesco della città e comprendente il Palazzo Ducale, le due piazze Rinascimento e Duca Federico e il Duomo. Nell'immagine è riproposta un'approssimativa ripartizione della spalliera in settantadue riquadri, mentre la riproduzione del fregio è piuttosto sommaria e non ci permette di ricavare delle informazioni utili, ma tuttavia può fornire alcuni elementi per risalire all'esatta distribuzione delle stesse. Il testo della Pezzini¹³ riporta uno schema distributivo delle formelle che riproduce la ripartizione della spalliera così come è raffigurata nell'incisione: il numero di formelle presenti per ciascun tratto di spalliera risultava il seguente, partendo dalla porta di fronte la chiesa di S. Domenico, 18, 6, 6, 6, 6, 4, 13, 13. Il testo riporta anche un altro schema distributivo dei bassorilievi sulla facciata, ricavato da una serie di disegni del Piccini: 21, 5, 1, 5, 6, 7, 13, 12.

In prima istanza si sono affiancate le formelle secondo la numerazione fornitaci dagli studi di Bianchini, seguendo i due schemi, rispettivamente del Bianchini e del Piccini; dove si può notare una mancanza di pertinenza di alcune lesene rettangolari affiancate ai bassorilievi (Fig.9). A questo proposito sono state utili le analisi delle tecniche esecutive e dell'organizzazione dei bassorilievi con le cornici e le lesene rettangolari. Dall'esame delle lesene superstiti, sia come elementi singoli che come blocchi facenti parte dei bassorilievi e dai confronti con i *sedili di via* di altri palazzi rinascimentali, soprattutto fiorentini e romani, si è giunti alla considerazione che ciascun bassorilievo fosse separato dagli altri da lesene di dimensioni omogenee di cui si è supposta una grandezza media di circa 22 cm (Fig.10). Successivamente, sempre seguendo i due schemi a nostra disposizione, sono state affiancate le formelle e confrontate con le misure rilevate dei

¹² F. Bianchini, *Spiegazione delle sculture contenute nelle LXXII tavole di marmo e bassorilievi collocati nel basamento esteriore del palazzo di Urbino*, in B. Baldi, *Memorie concernenti la città di Urbino*, Roma, 1724.

¹³ Cfr. G. B. Pezzini, pp.13-21.

sedili delle facciate del palazzo, riscontrando nell'uno e nell'altro caso una mancanza di corrispondenza. Introducendo a queste prime analisi anche alcune considerazioni sulle diverse tipologie di degrado, è stata, infine, ipotizzata una diversa disposizione dei bassorilievi che stravolgerebbe le due fonti analizzate, ma che mostrerebbe una maggiore coerenza dal punto di vista metrico (Figg.11,12).

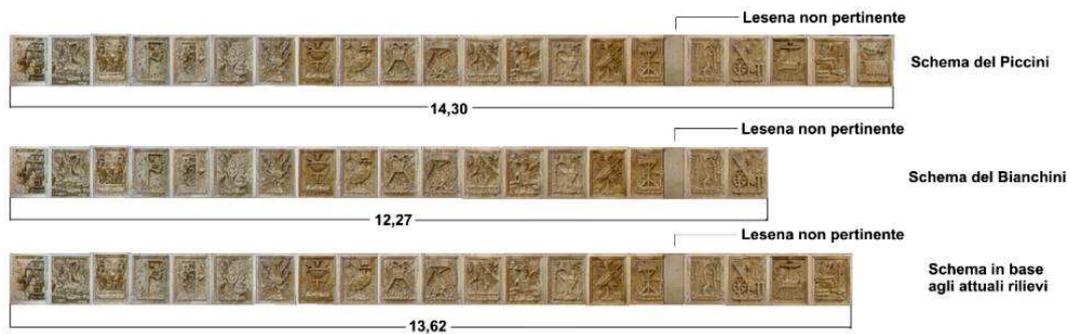


Fig. 9 Distribuzione delle formelle sulla facciata est del Palazzo secondo gli schemi del Piccini (n. 21) e del Bianchini (n.18)

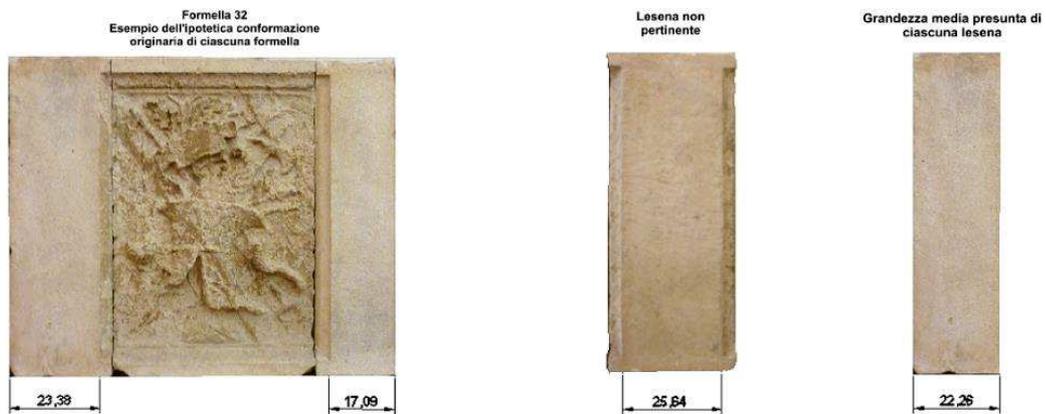


Fig. 10 Ipotesi ricostruttive delle dimensioni medie di ciascuna lesena

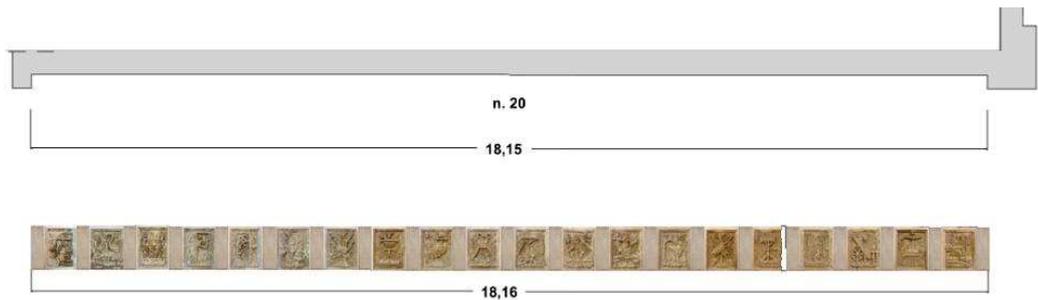


Fig. 11 Ricostruzione della successione delle formelle sulla facciata est con l'ipotesi di ricollocazione delle lesene secondo le nuove ipotesi in prospetto e in pianta. Si nota come questa nuova ipotesi trovi un'esatta corrispondenza metrica.



Figura 12 – Posizionamento del fregio sul fotopiano secondo l'ipotesi attuale

4. Le formelle: tecniche di rilievo tridimensionale a confronto

Un secondo tema affrontato, sempre nello stesso periodo, riguardava la possibilità di riprodurre copie delle formelle per adattarle poi all'ambiente esterno. Sono stati effettuati dei test con tre diversi sistemi: la tecnologia laser scanner Line Probe CAM2, già sperimentata e utilizzata come termine di riferimento, il software Image Master Pro e il software Arc3d web service per verificare l'accuratezza dei modelli tridimensionali ottenuti e una eventuale riproduzione attraverso la tecnica di prototipazione rapida. Per i test è stata scelta la formella n.19 dato il buono stato di conservazione, la particolare leggibilità dei dettagli e la sperimentazione già effettuata nell'a.a. 2007-2008.

Per il secondo test è stato utilizzato il software fotogrammetrico Image Master Pro che elabora misurazioni ricavabili da immagini stereo, generando ortofoto e modelli 3D. Le riprese sono state acquisite mediante una fotocamera digitale Panasonic DMC-ZX1 calibrata con una lunghezza focale a 4,5 mm. Durante la fase di elaborazione dei dati acquisiti è stato possibile rilevare i limiti del sistema, infatti in fase di definizione delle polilinee o breaklines sul modello, essendo la collimazione un processo di autocorrelazione, questa può dar luogo a numerosi problemi a causa della difficoltà nel riconoscere i punti

omologhi. L'autocorrelazione, infatti, è sempre una procedura che comporta un grosso margine di errore perché legato a fattori contingenti come la morfologia e soprattutto la natura delle superfici. Durante la fase di orientamento, il software opera secondo un criterio fotogrammetrico rigoroso, dando ottimi risultati con errori molto bassi, ma nella fase di creazione del modello necessita di una serie di informazioni, prima tra tutte la definizione delle polilinee laddove si riscontrino evidenti variazioni di quota o elementi di forte discontinuità, le quali creano delle forti incongruenze nei risultati tra la fase di orientamento e quella della creazione del modello.

Il terzo sistema adoperato è rappresentato dal software Arc3d web service che, una volta acquisite le foto, le restituisce corredate di calibrazione della camera, di una mappa delle profondità e della qualità di ciascuna immagine, tutti parametri dai quali sarà poi possibile ricavare, attraverso il confronto tra i diversi fotogrammi, un attributo spaziale e la relativa affidabilità. I sistemi di fotomodellazione come Arc3d interessano ciascun fotogramma, da intendersi nella sua accezione di matrice digitale di dati numerici: attraverso un confronto, vengono poi individuate le corrispondenze dei dati e, sulla base della geometria epipolare che sostiene i principi della fotogrammetria monoscopica, viene stimata la mutua posizione di ciascun pixel caratterizzato poi da un colore che determina la texture del modello. I fotogrammi acquisiti non devono essere troppo distanti l'uno dall'altro e, anche se non c'è bisogno di posizionarsi in modo referenziato all'oggetto, è buona norma effettuare un percorso a semicirconferenza con prese ogni 15-30° circa, ricavando così, in virtù della loro equidistanza, una sequenza di immagini facilmente confrontabili. I limiti di questo sistema consistono nell'automatismo che consente solo parzialmente di interagire con il modello. Confrontando qualitativamente i risultati dei tre modelli si può affermare ovviamente che il primo è quello più attendibile e dettagliato, mentre, al contrario delle nostre previsioni, Arc3d sembra dare risultati più soddisfacenti rispetto a Image Master Pro che presenta uno *smoothing* molto accentuato e un minore dettaglio delle geometrie (Fig. 13). I test sono serviti anche a verificare la possibilità di integrazione tra dati geometrici, disegni storici e tecniche esecutive, per arrivare a una riproduzione che mantenga un rigore non solo dimensionale, ma anche morfologico.



Fig. 13 Formella 19, Quinquereme (inv. n. 778) dettaglio delle sezioni ricavate rispettivamente dal modello laser, da Arc3d e da Image Master Pro

5. Le formelle: un'ipotesi di ricostruzione virtuale come supporto al restauro

L'ultima problematica affrontata in questa sperimentazione è stata correlata al restauro attraverso un processo di elaborazione dati per la ricostruzione virtuale delle parti mancanti o lesionate delle formelle, così come si evidenziava dal loro stato di conservazione. Il processo di elaborazione dati per la ricostruzione virtuale, sviluppato negli step precedenti, non può prescindere dalla acquisizione delle geometrie corrispondenti alla situazione corrente dell'opera ed è quindi necessario, mediante l'utilizzo di laser scanner o altri dispositivi, realizzare un modello 3D tale da costituire la base dati per tutte le successive elaborazioni.

Per iniziare un lavoro di ricostruzione si è partiti dai rilievi effettuati rappresentando graficamente gli elementi geometrici ancora esistenti e di forme certe; dalla documentazione grafica storica, che non sempre risultava congruente con le misure reali, sono state eseguite delle integrazioni puntuali degli elementi degradati o assenti adattando le geometrie allo stato di fatto. Sul modello 3D sono state rilevate le quote dei principali piani di rappresentazione a cui appartengono gli elementi che devono essere integrati. Il disegno finale ottenuto sarà suddiviso in diversi livelli quanti sono i piani di rappresentazione; ogni

livello sarà poi traslato in quota fino a raggiungere il valore rilevato sul modello 3D in corrispondenza degli elementi originali a cui l'integrazione dovrà uniformarsi. Dato che il disegno grafico sarà eseguito sull'ortofoto o sul fotopiano della formella, sarà necessario registrare le coordinate di alcuni punti sul modello 3D visibili anche sul disegno per permetterci di allineare perfettamente il disegno al modello (Fig. 14).

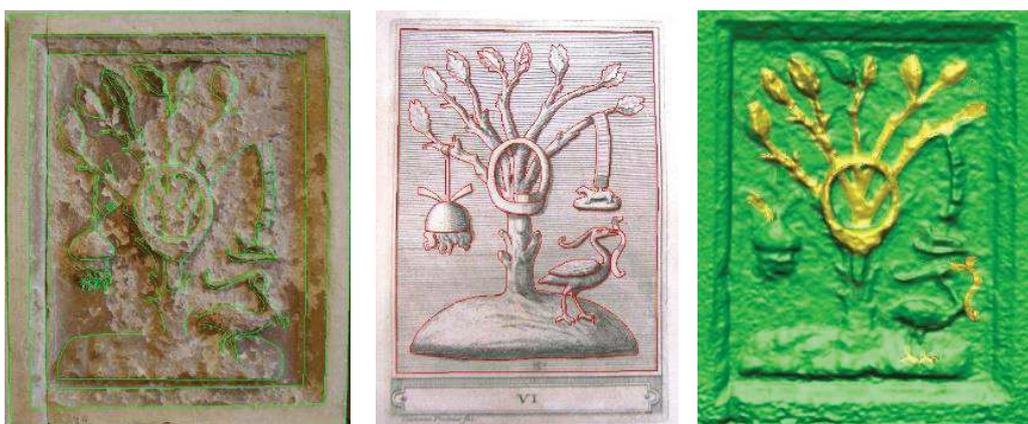


Fig. 14 Formella 6, Onorificenze e imprese del Duca Federico (inv.n. 765), il modello 3D integrato dalla rappresentazione ricavata dal disegno storico è il punto di partenza dell'elaborazione dei dati per il restauro virtuale

Il processo sommariamente illustrato è stato applicato secondo due diverse modalità in relazione al tipo di degrado presente:

- il primo caso riguarda un elemento degradato, ma con una traccia geometrica in rilievo ancora presente;
- il secondo caso riguarda un elemento completamente degradato e non più presente sull'opera.

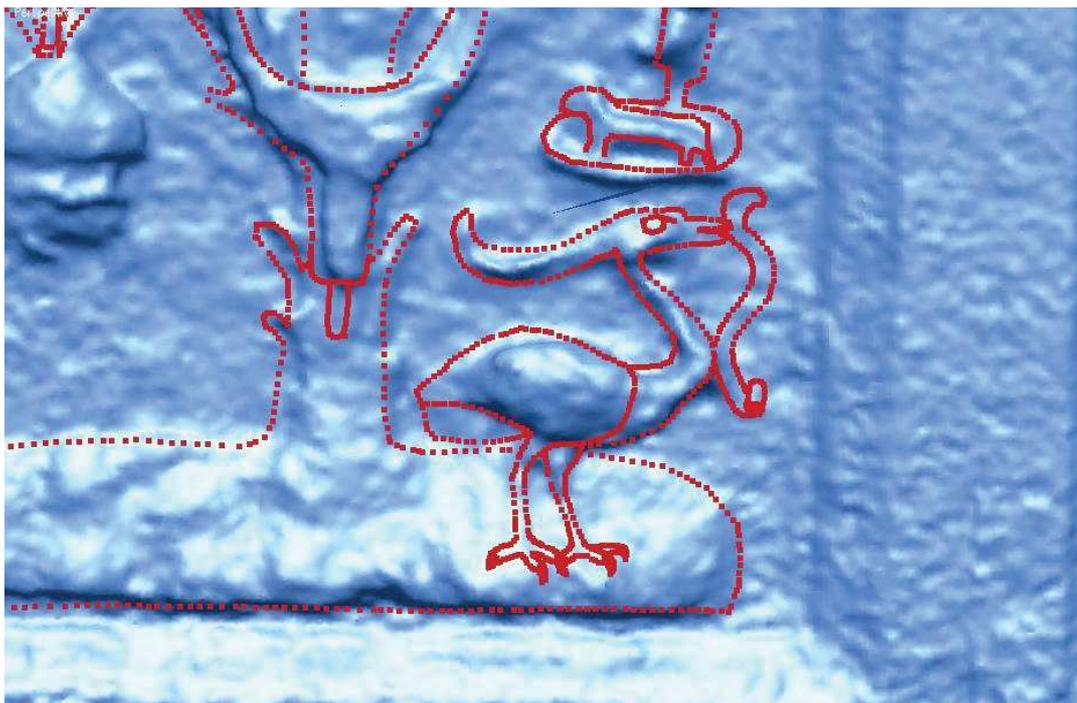


Fig. 15 Formella 6, Onorificenze e imprese del Duca Federico (inv.n. 765), dettaglio del processo applicato al primo caso

Nel primo caso si seleziona l'elemento da integrare salvandolo su un nuovo layer e si procede modificando il fattore di scala delle quote fino al raggiungimento della misura prevista lasciando invariati i fattori di scala di X ed Y (Fig. 15).

Nel secondo caso si seleziona la parte di modello che dovrebbe avere l'integrazione, la si salva su un nuovo layer e si trasla in quota della misura opportuna in modo da raggiungere la posizione che si presuppone avesse il particolare da ricostruire. La ricostruzione spaziale di geometrie complesse come quelle analizzate presenta non poche difficoltà sotto il profilo tecnico e metodologico. Le problematiche maggiori si incontrano nell'integrazione dei dettagli molto piccoli, come, nel caso in oggetto, le zampe ed il becco dell'uccello (Figg. 16, 17).

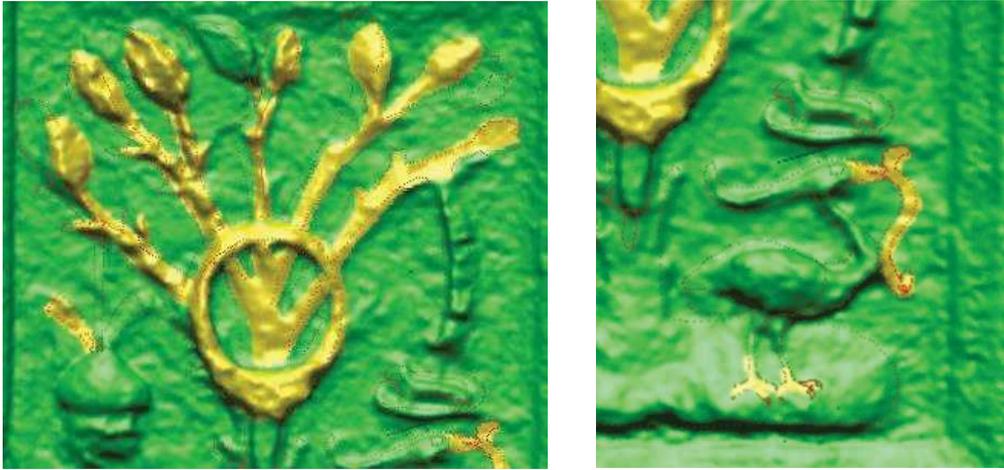


Fig. 16 Formella 6, Onorificenze e imprese del Duca Federico (inv.n. 765), dettaglio del processo applicato al secondo caso

Le difficoltà riscontrate sono dovute prevalentemente alla scarsa densità di triangoli nel modello 3D. Nel caso di elementi non più presenti si deve poi procedere a una ricucitura delle superfici traslate in quota, una procedura molto lenta che richiederà sicuramente un approfondimento e un adeguamento alle nuove tecnologie via via sviluppatesi.

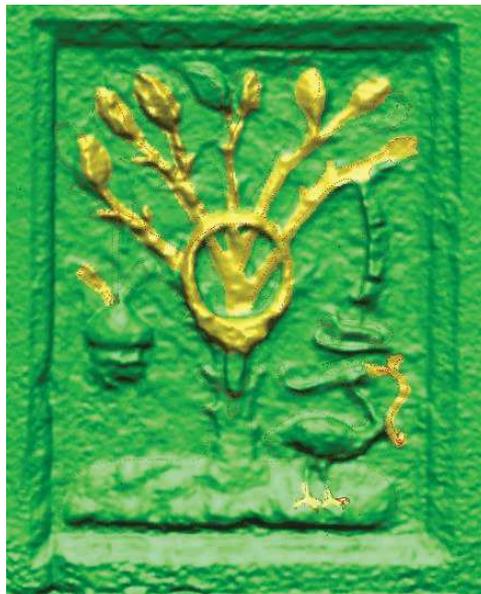


Fig. 17 Formella 6, Onorificenze e imprese del Duca Federico (inv.n. 765), esempio di ricostruzione virtuale come supporto all'attività di restauro.

Bibliografia

- Baldi, B., 1587, *Descrizione del Palazzo ducale di Urbino*, Venezia.
- Baratin, L., 2012, *Survey and representation of architectural and archaeological assets: a summary of methodologies and applications*, in L. Baratin (ed.), *Instruments and Methodologies for Cultural Heritage Conservation and Valorisation*, Ancona, Editor Gabbiano, pp. 85-90.
- Bernini Pezzini, G., 1985, *Il fregio dell'arte della guerra nel palazzo ducale di Urbino*, Catalogo dei Rilievi, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Bianchini, F., 1724, *Spiegazione delle sculture contenute nelle LXXII tavole di marmo e bassorilievi collocati nel basamento esteriore del palazzo di Urbino*, in Baldi, B., *Memorie concernenti la città di Urbino*, Roma.
- D'Apice, C., 2007-2008, *Il Fregio dell'arte della guerra*, a.a. 2007-2008, relatore M. L. Amadori.
- Dal Poggetto, P., 1985, *Prefazione*, in Bernini Pezzini, G., 1985, *Il fregio dell'arte della guerra nel palazzo ducale di Urbino*, Catalogo dei Rilievi, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- De Luca, L., 2011, *La fotomodellazione architettonica*, Palermo, D. Flaccovio editore.
- Filippucci, M., 2010, «Nuvole di pixel. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo d'architettura», in *Disegnare con...*, n 50, vol. 3, p. 50-63.
- Fiore, F. P., 1968, *Città e macchine del '400 nei disegni di Francesco di Giorgio Martini*, Firenze, Olschki.
- Francesco di Giorgio Martini, 1967, *Trattati di architettura, ingegneria e arte militare*, a cura di Maltese, C. e Maltese Degrassi, L., Milano, Edizioni il Polifilo.
- Mandelli E., 1989, *Palazzi del Rinascimento: dal rilievo al confronto*, in *Studi e documenti di architettura*, a cura dell'Istituto di composizione architettonica 1-2 della Facoltà di architettura di Firenze.
- Molari, L. e Molari P. G., 2006, *Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del palazzo ducale d'Urbino*, Pisa, ETS.
- Rotondi, P., 1970, *Francesco di Giorgio nel Palazzo ducale di Urbino*, Milano, Provinciali Spotorno.
- Valturio, R., 1532, *De re militari*, codice urbinato latino, Parisiis, Apud Christianum Wechelum (I ed. 1483).

Vergauwen, M. e Van Gool, L., 2006, «Web-based 3D Reconstruction Service», in *Machine Vision Applications (MVA)*, 17, pp. 411-426.