

RILEVAMENTO E STUDIO MULTI-TEMPORALE DELLA CUPOLA AFFRESCATA DI S. MARIA DEL MONTE IN CESENA ATTRAVERSO TECNICHE INTEGRATE

Gabriele VITELLI (*), Franco FARANDA (**), Giorgia GATTA (*),
Rocco MAZZEO (***), Antonio ZANUTTA (*)

(*) DISTART - Università di Bologna, (gabriele.bitelli, giorgia.gatta, antonio.zanutta@mail.ing.unibo.it

(**) Soprintendenza per il Patrimonio Storico Artistico ed Etnoantropologico di Bologna, franco.faranda@tin.it

(***) Laboratorio Diagnostico di Microchimica e Microscopia - Università di Bologna, rocco.mazzeo@unibo.it

Riassunto

Nel settore dei Beni Culturali, a fini di studio o a supporto delle operazioni di conservazione o restauro di opere di interesse artistico o architettonico, può risultare di grande interesse affiancare alle attività di rilevamento e diagnostica dello stato di fatto di un'opera uno studio multitemporale, che ne descriva in modo oggettivo l'evoluzione o i cambiamenti più significativi subiti nel tempo.

Il presente lavoro riguarda la cupola, internamente affrescata, dell'Abbazia di S. Maria del Monte in Cesena (FC), danneggiata da un bombardamento nel 1944 ed in seguito restaurata, infine sottoposta recentemente ad un nuovo restauro. Lo studio è stato condotto in primo luogo attraverso l'integrazione di tecnologia laser a scansione terrestre con fotogrammetria digitale ed immagini fotografiche storiche. Il laser scanning ha permesso di documentare la consistenza geometrica della cupola attraverso la realizzazione di un DSM ad alta densità dell'oggetto; l'integrazione con fotogrammi storici e attuali ha permesso di texturizzare il modello ed ottenere prodotti di uso immediato, quali ortofoto e sviluppi, utili per un confronto multitemporale tra situazione post-bombardamento (1944), pre-restauro (2007) e post-restauro (2008). Dal confronto tra i primi due modelli è stato possibile evidenziare con esattezza la zona di lacerazione della cupola.

Ai rilevamenti di tipo geometrico si sono affiancate alcune esperienze di diagnostica basate sull'uso di immagini multispettrali, in particolare fluorescenza UV ed infrarosso, successivamente georeferenziate alle immagini nel visibile.

Abstract

In Cultural Heritage Science, studies related to the knowledge, preservation or restoration of works of art can be enhanced by multi-temporal investigations, in order to describe the evolution or the main changes occurred in a long lapse of time. The research can be carried out using new surveying technologies and historical documentation; different data and information can then be integrated. Eventually, diagnostic technologies can help researchers in validation of the results.

In this work we report some results of a study performed on the frescoed dome of the *S. Maria del Monte* Abbey, in Cesena (FC); the dome was bombarded in 1944, and restored both after the bombardment and recently in 2007. The research was carried out by means of integration of laser scanning, producing a high density surface model, digital photogrammetry and historical photography analysis. By means of orthophotos other representations, a multi-temporal comparison was performed among post-bombardment (1944), pre-restoration (2007) e post-restoration (2008) situations. The use of multi-spectral images (in particular UV fluorescence and infrared) allows a more accurate diagnosis of the fresco state and individuation of the region that has been restored after bombardments in 1944.

1. Introduzione

Nell'ambito dei Beni Culturali, il nostro Paese dispone di un ricchissimo patrimonio, artistico, architettonico e archeologico, che necessita di una appropriata conoscenza scientifica di carattere multidisciplinare a fini di studio, conservazione o restauro. Nell'ambito di questa conoscenza rientrano le procedure di rilevamento dello stato di fatto di un'opera, in primo luogo dal punto di vista geometrico e dei materiali, ma ad esse possono affiancarsi anche informazioni relative ad uno studio multi-temporale dell'oggetto di interesse, facilitato oggi dalla disponibilità di tecniche di elaborazione digitale derivate soprattutto dall'ambito della geomatica e della diagnostica per immagini.

Per quanto riguarda l'acquisizione di dati quantitativi attuali di carattere geometrico, è possibile rilevare l'oggetto attraverso tecniche classiche e moderne (in questo studio sono state sfruttate le tecniche di rilievo topografico, fotogrammetrico e con *laser scanning*); per quanto riguarda l'informazione storica, essa può provenire, come in questo caso, da una valida documentazione fotografica del passato. L'integrazione dei vari dati e delle diverse informazioni può avvenire tra dati attuali e dati pregressi, al fine di valutare l'evoluzione in un arco temporale, ma ovviamente anche tra dati contemporanei tra loro ma acquisiti con tecniche differenti. E' il caso, ad esempio, del contributo offerto dalle moderne tecnologie della diagnostica applicate al campo dei Beni Culturali, a validazione e complemento dei risultati ottenuti con le tecniche di rilevamento topografico e fotogrammetrico; nell'ambito di questo lavoro sono state in particolare effettuate alcune esperienze con immagini multispettrali.

Il caso di studio esaminato è la cupola, internamente affrescata, dell'abbazia di S. Maria del Monte in Cesena (FC); l'obiettivo iniziale della ricerca era quello di supportare le operazioni per il restauro che ha interessato la basilica nel 2007.

2. La cupola oggetto dello studio

La grande cupola dell'Abbazia Benedettina della Madonna del Monte in Cesena è stata di recente sottoposta ad un restauro, protrattosi per circa due anni ed effettuato con i finanziamenti congiunti della Soprintendenza al Patrimonio Storico, Artistico e Etnoantropologico di Bologna e della Fondazione Cassa di Risparmio di Cesena.

La cupola presenta superficie affrescata molto ampia, eseguita nello spazio di due anni e conclusa nel 1774; si tratta dell'ultima grande cupola di Romagna e probabilmente d'Italia. L'autore dell'opera è Giuseppe Milani, un artista di origini parmensi che ha operato incessantemente a Cesena e in Romagna, caratterizzando con la sua pittura la città. La cupola della "Madonna del Monte" è, tra le opere di soggetto religioso, la più significativa sul piano pittorico e analogamente complessa dal punto di vista iconografico.

L'immagine dell'Assunzione della Madonna svetta a 31 metri d'altezza e gli angeli che la circondano, difficilmente distinguibili dal basso, si caratterizzano per i ricchi pigmenti. Tutto è realizzato a buon fresco quasi certamente rifinito a secco; finiture sono andate perdute in una delle tante manutenzioni del ciclo. L'apoteosi mariana è preceduta da otto storie sul tamburo della cupola, sorretto dai quattro evangelisti. Il ciclo mariano è introdotto dalle Virtù cristiane, tutte caratterizzate iconograficamente, e dai Profeti distinguibili per i cartigli con versetti significativi.

La cupola aveva subito danni ingenti durante l'ultima guerra (figura 1) ed era stata oggetto di un intervento di restauro negli anni successivi. Da allora polvere, sporco, infiltrazioni, avevano offuscato l'intera superficie pittorica nascondendo così la bella qualità cromatica con la quale il pittore ha caratterizzato ogni figura e lo spazio infinito.



Figura 1 - Immagini storiche che documentano i danni subiti dalla basilica, e dalla cupola in particolare, durante i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale (1944).

3. Il rilievo della cupola

In vista dei lavori di restauro è stato eseguito da parte del DISTART, Università di Bologna, un rilievo dell'interno della cupola. Allo scopo si è fatto uso di tre tecniche: fotogrammetria, *laser scanning* e rilievo topografico con *total station*.

Per quanto riguarda la prima, si sono eseguite varie prese della cupola e dell'abside, mediante camera semimetrica e camera digitale precedentemente calibrata. Sono state eseguite sia prese libere sia prese con bicamera (mediante uso di apposita barra), in modo da mantenere un assetto pseudo-normale con base nota e fissa.

Per quanto riguarda il *laser* a scansione, è stato condotto un rilievo con strumento a tempo di volo, con portata massima di 350 m e risoluzione di 3 mm a 50 m, dotato di sensore immagine RGB. Per rilevare la cupola sono state eseguite cinque scansioni, in parte sovrapposte tra loro (fig. 2); numero di scansioni e punti di presa sono stati scelti in funzione dell'oggetto da rilevare e in modo tale da evitare i vari ostacoli presenti alla base della cupola (colonne, cornicioni, bassorilievi), ed il passo medio di scansione adottato è stato intorno ad 1 cm. Il dato in uscita consiste dunque in 5 nuvole di punti con associata informazione. Infine, per inquadrare il rilievo *laser scanning* in un sistema di riferimento opportuno, si è eseguito contemporaneamente un rilievo topografico, mediante *total station* munita di distanziometro ad impulsi, di alcuni target adesivi retroriflettenti, rilevati anche nella scansione laser.

4. Elaborazione dei dati

L'elaborazione del dato laser è consistita nella registrazione delle cinque nuvole di punti sulla prima, mediante i target retroriflettenti rilevati, referenziazione delle nuvole unite nel sistema di riferimento locale definito dal rilievo topografico, filtraggio dei dati, creazione di un DSM ("*Digital Surface Model*") e generazione della *mesh* mediante triangolazione (fig. 2), texturizzazione della *mesh* ed infine generazione di ortofoto ed altri prodotti. Il rilievo ha consentito tra l'altro di determinare i parametri geometrici principali della superficie ed il calcolo delle aree coinvolte dalle operazioni di restauro.

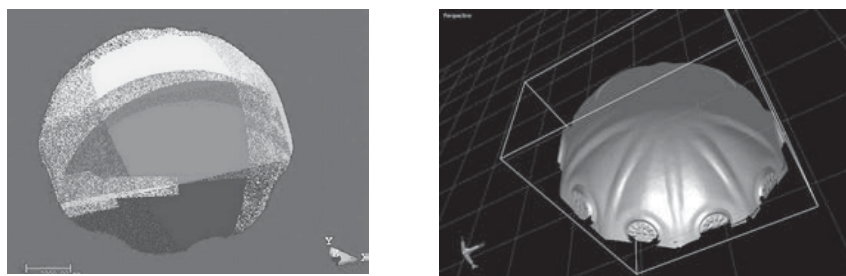
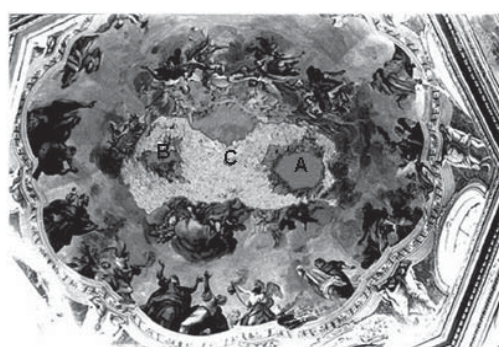


Fig. 2 - a sinistra: rappresentazione delle 5 nuvole di punti acquisite per la cupola, unite tra loro e mostrate con colori differenti; a destra: visualizzazione del DSM ottenuto.

Nel rilevamento dei Beni Culturali risulta di notevole interesse l'integrazione del dato fotografico con il modello geometrico 3D, mediante la superimposizione di immagini sulla superficie del DSM; una fotografia, infatti, ha un elevato contenuto informativo per quanto riguarda lo stato di conservazione del bene, il colore, lesioni o tracce di umidità, segni di degrado del materiale, ecc. Inoltre, disponendo di immagini relative a differenti periodi, è possibile effettuare un confronto che evidenzi in modo oggettivo le variazioni intercorse. A questo scopo, nel presente studio è stata eseguita una texturizzazione del DSM della cupola con tre differenti immagini riprese in tre diversi momenti della sua storia: un'immagine fotografica storica in bianco e nero relativa alla situazione post-bombardamento 1944 (fig. 1) e due immagini recenti che documentano la situazione pre-restauro (2007) e post-restauro (2008), queste ultime eseguite con camera calibrata.

In particolare, la texturizzazione del DSM della cupola con l'immagine storica di fig. 1 fornisce una rappresentazione 3D immediata e fortemente espressiva del danneggiamento subito dall'affresco del Milani a causa degli eventi bellici. In base ad essa è stato possibile, tra l'altro, delineare il perimetro delle zone lesionate e calcolarne l'area sul modello numerico (fig. 3); inoltre è stato possibile avere una documentazione su quale parte di struttura e di affreschi fu sottoposta al rilevante restauro che interessò la cupola in seguito al 1944 (v. par. 6).



Area	estensione
area A (vuoto)	1.14 m ²
area B (vuoto)	0.32 m ²
area C (danneggiamento affresco)	12.35 m ²

Fig. 3 - calcolo delle aree lesionate in seguito ai bombardamenti subiti dalla cupola nel 1944.

Oltre alla texturizzazione del modello, a partire dalle tre immagini a disposizione ed utilizzando il DSM ottenuto dal laser, sono state generate le corrispondenti ortofoto (fig. 4); essendo le tre ortofoto co-registrate tra loro, è possibile effettuare agevolmente analisi mirate sulle variazioni intercorse in corrispondenza delle stesse aree.

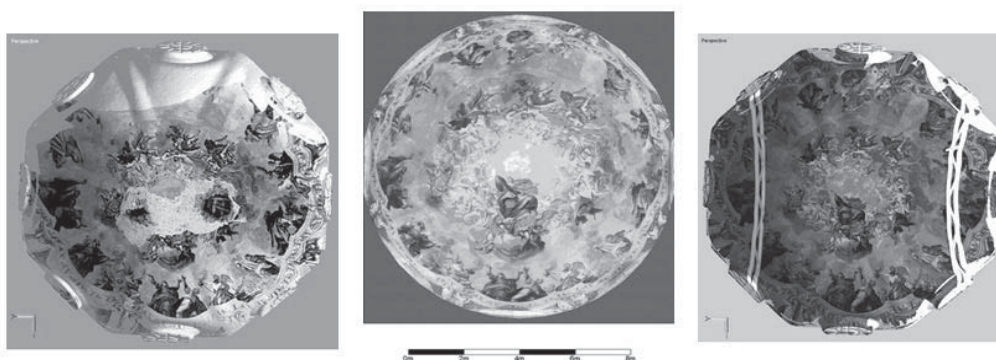


Fig. 4 - Ortofoto relative alle situazioni di danneggiamento da eventi bellici, di pre-restauro (2007) e di restauro completato (2008).

Per meglio valutare la forma della cupola, si è eseguita un'interpolazione della superficie con una sfera, in tre possibili configurazioni: sfera tangente alla cupola nel punto sommitale, sfera tangente

alla parte esterna delle finestre basali, sfera di miglior approssimazione. Quest'ultima ha fornito un raggio di 5.74 m. Sono state eseguite quindi sezioni della cupola e della sfera secondo piani paralleli a quello basale, al fine di evidenziare gli scostamenti tra la superficie reale della cupola ed una idealmente sferica, nel tentativo di supportare anche un'analisi delle aree di distacco più evidenti. Sono infine in corso di elaborazione ulteriori prodotti grafici derivanti dallo sviluppo sul piano dell'area affrescata mediante tecniche di rappresentazione cartografica applicate ai dati di origine fotogrammetrica, considerando la superficie di *best-fit*.

5. Applicazione di tecniche diagnostiche non invasive in situ

Contestualmente alle misure topografiche, sono state condotte, da parte del Laboratorio M2ADL (*Microchemistry And Microscopy Art Diagnostic Laboratory*) dell'Università di Bologna, indagini diagnostiche di imaging multispettrale di una selezionata parte di affreschi interni alla basilica, al fine della caratterizzazione materica e dello stato conservativo dell'opera. Il concetto fondamentale su cui si basa l'imaging multispettrale risiede nella possibilità di discriminare i materiali costituenti il manufatto ed aventi diverse caratteristiche chimico-fisiche, tramite la loro peculiare interazione con onde elettromagnetiche appartenenti a regioni spettrali diverse da quella visibile. Il dispositivo di analisi prevede l'irraggiamento dell'opera con radiazioni che vanno dalla regione spettrale dell'Ultravioletto fino al vicino Infrarosso e la caratterizzazione della risposta in forma ottica e/o opto-elettronica. La camera multispettrale ARTIST[®] è dotata di sensore CCD che consente di registrare immagini ad elevata risoluzione impiegando come sorgenti lampade alogene a basso voltaggio per le riprese in luce visibile ed infrarossa, ed una lampada allo xeno con eccitazione a lunghezza d'onda prefissata pari a 365 nm per lo studio della fluorescenza visibile. Le immagini in riflessione visibile (380-800 nm) consentono di ottenere un'accurata rappresentazione a colori delle superfici dipinte. Ogni singola ripresa permette l'acquisizione di una immagine a colori scomponibile nelle tre bande RGB (rosso, verde e blu). Nella modalità infrarosso (IR1 e IR2) vengono raccolte informazioni spettroscopiche nella banda spettrale fra 850-1100 nm. Tale indagine consente la rivelazione di eventuali disegni preparatori in funzione della lunghezza d'onda impiegata, della composizione chimica e dello spessore degli strati. La modalità in falso colore (FCIR1-FCIR2) prevede l'acquisizione di immagini in 4 diverse bande (blu, verde, rosso, IR1 o IR2) e la loro ricombinazione nei tre canali RGB. La creazione di una immagine in falsi colori infrarossi permette un'efficace distinzione tra pigmenti dalla natura diversa (e dal caratteristico assorbimento o trasparenza nei confronti della radiazione IR) ma dalla cromia simile nella regione del visibile. In ultimo, tramite fluorescenza visibile (FLUO) vengono sottoposti ad esame gli strati più superficiale della policromia, aree o punti in cui sono presenti sostanze organiche (quali vernici, leganti, lacche). D'altro canto, la suddetta modalità di indagine consente la localizzazione e mappatura di precedenti interventi di restauro.

Relativamente all'opera in esame si è scelto di studiare in modo più sistematico la decorazione della cupola, dove erano già stati registrati ampi rifacimenti a seguito del crollo della struttura causato dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. È stata documentata, per tutta l'area interessata da interventi di restauro, una totale assenza di colori di fluorescenza. Particolarmente interessante risulta essere il volto dell'angelo (fig. 6) dove è visibile il limite raggiunto dall'intervento di rifacimento, esteso solo fino alla metà del volto. La restante porzione è invece caratterizzata da una fluorescenza intensa, imputabile alla stesura originale e difficilmente discriminabile tramite luce visibile.

6. Analisi di immagine e classificazione dei dati multispettrali

L'integrazione tra le diverse immagini multispettrali e tra queste e le immagini fotogrammetriche, eseguite nel campo del visibile, è possibile se si co-registrano tra loro questi dati. A tal fine, sono stati condotti alcuni test su zone campione dell'affresco, stabilendo una piccola rete di punti di appoggio, calcolata per via topografica, che consentisse di avere le immagini dei diversi tipi ricampionate e perfettamente a registro tra loro.

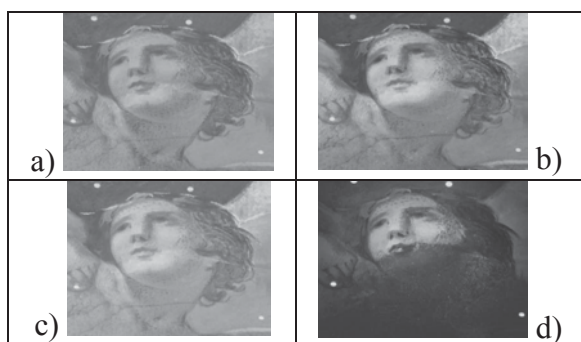


Figura 6 - a) immagine nel campo del Visibile (RGB); b) Riflettografia Infrarossa (IR1); c) immagine a Falso Colore (FCIR1); d) immagine di Fluorescenza Visibile (FLUO) con eccitazione ultravioletta

Questi prodotti (RGB, fluorescenza, infrarosso) sono stati poi analizzati dal punto di vista spettrale utilizzando software specifico per classificazione di immagini telerilevate. E' stata anche eseguita una analisi delle componenti principali per individuare, di ogni tipo, la componente più significativa e generare una nuova immagine caratterizzata dal maggior contenuto informativo delle bande spettrali. Tutti questi prodotti sono stati sottoposti a classificazione supervisionata con il criterio di massima verosimiglianza, ottenendo risultati di notevole interesse, per esempio nella georeferenziazione di porzioni restaurate.

7. Conclusioni

La ricerca condotta sulla cupola dell'Abbazia del Monte in Cesena costituisce un esempio, nell'ambito dei Beni Culturali, di integrazione di dati e informazioni differenti, provenienti sia dalle più diffuse tecniche geomatiche (*laser scanning*, fotogrammetria e rilievo topografico) che da indagine diagnostica e da documentazione fotografica storica.

Attraverso il dato laser e fotogrammetrico, associato a quello topografico, si è documentata la consistenza geometrica della cupola, mediante la creazione di un DSM. L'integrazione con immagini storiche e recenti della cupola, condotta mediante texturizzazioni, ortofoto e sviluppi, ha quindi permesso un confronto visivo multitemporale tra diversi stadi nella storia della cupola. Infine, le moderne tecniche di diagnostica multispettrale, insieme alla possibilità di fornire importanti indicazioni al restauratore in merito a materiali e pigmenti utilizzati nell'affresco, possono supportare i risultati di analisi multi-temporali relative alle aree danneggiate e, se sottoposte a procedure di *data-fusion* e classificazione di immagini, potrebbero produrre nuovi dati per aumentare il livello di conoscenza nell'indagine preliminare su un'opera d'arte.

Ringraziamenti

Si ringraziano la società Geotop di Ancona per la fase di acquisizione dei dati con laser a scansione, A. Castellani che ha eseguito la Tesi di laurea Specialistica e lo Studio di Restauro M. Dell'Amore di S. Lazzaro di Savena (Bo) che ha realizzato il restauro della cupola.