

D.S.A. - DIPARTIMENTO DI SCIENZE PER L'ARCHITETTURA  
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA  
UID – UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO

## OTTAVO CONGRESSO UID

# XXXIII CONVEGNO INTERNAZIONALE DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE

LERICI – VILLA MARIGOLA  
13, 14, 15 OTTOBRE 2011

GIORNATA DI STUDIO

***“IL COLORE NEL COSTRUITO STORICO.  
INNOVAZIONE, SPERIMENTAZIONE, APPLICAZIONE”***

Responsabile scientifico: *Patrizia Falzone*

13 OTTOBRE 2011

*Con la collaborazione di BOERO*



DSA Dipartimento di Scienze per l'Architettura  
Facolta' di Architettura di Genova  
U.I.D. Unione Italiana Disegno



Editing curator Salvatore Russo  
Progetto grafico Salvatore Russo

Si ringrazia il Dipartimento di Scienze per l'Architettura  
per il prezioso contributo

La riproduzione intera o parziale di articoli o immagini deve  
essere autorizzata per iscritto dall'editore.  
Si rimane a disposizione per eventuali diritti sulle immagini  
pubblicate.  
I diritti d'autore verranno tutelati a norma di legge.

Realizzazione editoriale  
Aracne editrice S.r.l.  
via Raffaele Garofalo, 133/A-B

ISBN: 978-88-548-4317-2

Finito di stampare nel mese di 10 ottobre 2011



## IL COLORE NEL COSTRUITO STORICO. INNOVAZIONE, SPERIMENTAZIONE, APPLICAZIONE

### IL RILIEVO “AUTOMATICO” DEL COLORE: NUOVE TECNOLOGIE A SUPPORTO DELLA LETTURA CROMATICA PER IL RESTAURO DELL’EDILIZIA STORICA

Antonella Versaci<sup>1</sup>, Alessio Cardaci<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Engineering and Architecture, University KORE of Enna, Italy

<sup>2</sup> Faculty of Engineering, University of Bergamo, Italy

Email [antonella.versaci@unikore.it](mailto:antonella.versaci@unikore.it); [alessio.cardaci@unibg.it](mailto:alessio.cardaci@unibg.it)

#### Abstract

THE "AUTOMATIC" COLOR SURVEY: NEW COLOR DETECTION TECHNOLOGIES FOR THE HISTORIC BUILDING RESTORATION

*The introduction of optical active sensors in automatic survey equipment has significantly transformed the traditional approach for the acquisition and understanding of the color value and properties of architectural buildings. That of chromaticity is, in fact, one of the main aspects of building practice; an essential component of a whole surface material that, as such, should be approached and treated. And technological innovation is moving in this way, not only by implementing the specific skills of "surveyors / architect restorers" (now also photographers and experts in digital imaging), but also putting at their disposal other instrument for the study of color and the material analysis of historic buildings. Furthermore, what once was delegated to the interpretation of the operator during the graphic restitution, phase during which the geometric and architectural survey was enhanced by important information about surface colors, today, with the latest generation of laser scanners equipped with integrated coaxial cameras, acquires new meanings and temporalities. Nowadays, the mapping of point clouds obtained from laser scans by digital photographs is a consolidated technique. However, there are many professionals involved in this methodology and long and complex are the related operating phases. New tools recently put on the market permit a simplification of these actions: simultaneously providing (in situ), not only 3D metric information but also colorimetric and spectral data. This paper aims to show how the use of modern 3D technologies could be considered as a valuable additional supporting tool for the knowledge of historical architecture, last but not least for cataloging colors and identifying changes and degradation phenomena. It intends also to highlight how this cost and time effect process allows extending the survey of color not only to monumental architecture, but also to less prestigious building types.*

**Parole chiave:** colorimetric survey, laser scanning, restoration, cultural heritage

#### Introduzione

La questione delle coloriture del patrimonio architettonico, e la loro importante valenza storico-documentaria ed estetica, sono ormai largamente riconosciute e oggetto di crescente dibattito. Quello della cromaticità è, infatti, uno degli aspetti peculiari del costruire, visto nella sua interezza; componente essenziale e non superficiale di un tutt'uno materico che, come tale, va approcciato e trattato. Determinante per la lettura e la comprensione degli edifici nel contesto di città in costante evoluzione, di frequente fortemente connesso alle singole realtà locali e regionali, il tema del colore, proprio in virtù del complesso rapporto che esso intrattiene con la struttura edificata, appare meritevole di speciale attenzione teorica preliminare al progetto di restauro, di cui costituisce parte integrante e certamente non marginale. Eppure, nonostante lo studio e il trattamento delle cromie sia stato, e sia, oggetto di vasta letteratura, si è ancora ben lontani dal vedere attuate prassi operative convincenti. La tendenza generale sembra, purtroppo, confermare approcci molto generici, forse determinati dalla mancanza di una corretta impostazione della questione sin dalle fasi di conoscenza e di analisi, propedeutiche al progetto di intervento. Troppo spesso, infatti, nel limitarsi a considerare le superfici esterne dell'architettura quali semplici "involucri" o "interfacce" con l'ambiente circostante, non ci si sofferma, come e quanto dovuto, sulla completa comprensione dei paramenti murari, dei fondi e dei rilievi, dei bugnati e degli intonaci, costituenti l'architettura e la grammatica delle facciate; ovvero, non si indaga abbastanza, direttamente sulla materia del manufatto, approfondendo la consistenza fisica delle finiture, in stretta contemporaneità e unitarietà con il loro supporto [1]. In tale ottica, assume sempre maggiore valenza la necessità di operare, accanto a investigazioni di carattere storico-critico, corrette e approfondite attività di indagine diretta e/o strumentale, attraverso metodologie convenzionali e non. La ricerca tecnologica più evoluta ha messo a disposizione dei "rilevatori/restauratori" nuovi importanti mezzi a supporto dello studio del colore e dell'analisi della realtà materica dell'edilizia storica. L'utilizzo di sensori ottici attivi in strumentazioni di rilevamento automatico ha infatti mutato fortemente l'approccio tradizionale relativo all'acquisizione del valore "colore" dell'architettura, nonché le specifiche competenze degli operatori che

oggi sono, inevitabilmente, anche fotografi ed esperti in *digital imaging*. Inoltre, ciò che prima era demandato all'interpretazione dell'operatore durante la restituzione, fase in cui il rilievo geometrico veniva arricchito con informazioni importanti sui parametri del colore con tecniche classiche di *coloring* o di trattamento delle immagini, oggi, con i laser scanner di ultima generazione corredati da camere fotografiche coassiali ad alta definizione, assume nuove temporalità e diverso significato (Fig. 1). Tali strumenti permettono, infatti, di rilevare, contestualmente all'informazione metrica (dati spaziali, nuvole di punti  $x,y,z$ ), anche il dato colorimetrico e spettrale. Sulla geometria 3D ottenuta è dunque possibile sovrapporre le immagini fotografiche secondo un procedimento di *texture mapping*, eseguito automaticamente dal *software* di restituzione, da cui ricavare vedute prospettiche, eloquenti dell'architettura urbana, e ortofoto colorate con notevole risparmio di tempo e maggiore precisione rispetto alle metodologie tradizionali. Questo lavoro si propone di mostrare come l'utilizzo delle moderne tecnologie automatiche di rilevamento 3D possa porsi come ulteriore valido strumento a supporto della conoscenza dell'edilizia storica, non in ultimo catalogandone anche i suoi aspetti cromatici e individuandone le alterazioni. Ciò, a condizione che si rispettino particolari accorgimenti, ovvero si tenga nella giusta considerazione l'importanza di una buona programmazione e di un taglio fortemente multidisciplinare del progetto di rilievo finalizzato alla conservazione e al restauro, pensato anche in termini di avvicinamento "fotografico" e non solamente metrico, architettonico e costruttivo.

### **Dal rilievo alla conoscenza: metodologie tradizionali per la lettura cromatica**

La lettura e la comprensione del colore del costruito delle città sono fasi di un processo complesso. Frutto di sedimentazioni e trasformazioni, valore soggetto a costante metamorfosi e, come abbiamo già accennato, legato alla "forma", il colore è difficilmente misurabile e comunicabile in quanto non è una grandezza fisica ma una qualità dell'esperienza visiva. La sua definizione risulta vaga e influenzata da aspetti specifici quali la *sensazione* da esso provocata e dovuta alla stimolazione dei fotorecettori dell'occhio da parte di una radiazione elettromagnetica visibile, e la sua *percezione*, generata dall'osservazione e frutto di un'interpretazione mentale. Mentre la prima è funzione intrinseca della scena, determinata dalle caratteristiche spettrali della luce che illumina l'oggetto e legata alle sue proprietà fisico/chimiche (che possono variare in funzione dell'invecchiamento e del deterioramento del materiale), la seconda è invece anche connessa alla soggettività dell'osservatore. Sull'analisi della prima componente è basata la colorimetria (in altre parole la scienza che misura il colore) ma, nonostante tale disciplina sia ormai largamente consolidata (soprattutto in applicazioni grafiche, fotografiche e tipografiche), essa è ancora troppo poco adoperata nell'ambito della conservazione e del restauro dell'edilizia storica [2]. Altresì non esistono, in tale ambito, metodologie standardizzate per il rilievo del colore e, insufficiente, è l'apparato normativo in materia. La valutazione del colore si attua tradizionalmente con sistemi di tipo visivo diretto basati sul confronto con apposite carte del colore calibrate, o ancora con metodi indiretti che utilizzano strumentazioni più sofisticate in grado di misurare fisicamente la composizione spettrale. Il rilievo diretto del colore si avvale della comparazione tra la cromia in esame (in base alle tracce delle tinte sopravvissute sull'intonaco delle facciate e/o nei materiali lapidei e laterizi a vista) e una serie di campioni standard. Tra i sistemi di codificazione, i più utilizzati sono il Munsell e il DIN; negli ultimi anni, si è poi imposto il sistema svedese NCS in quanto, grazie anche a un'accorta politica di sponsorizzazioni, risulta più accessibile dal punto di vista economico rispetto al Munsell (d'altra parte recuperabile perché collegato al sistema NCS mediante una semplice tabella di conversione). Al censimento dei colori secondo rilievo diretto è spesso affiancato il rilievo fotografico, ormai esclusivamente digitale, che registra il colore della scena sulla base della temperatura cromatica della luce illuminante. Le prese fotografiche, eseguite con la collocazione nelle zone interessate di campioni di riferimento cromatico, permettono, in fase di post-elaborazione delle immagini e attraverso il confronto della banda nell'immagine digitale e la banda originale di riferimento, di intervenire sulle dominanti di colore presenti, al fine di correggerle e compensarle con opportuni filtri *software*. Una metodologia largamente impiegata anche nel campo dei beni culturali è quella basata sul confronto visivo tra sistemi di gestione del colore posti sui manufatti e riprodotti nelle foto, e gli originali osservati direttamente in laboratorio, variando i parametri HSL all'interno di un qualunque *software* di *editing* fotografico. Il metodo, anche se non privo di vantaggi, è certamente approssimativo, perché inevitabilmente influenzato dalla soggettività dell'operatore; inoltre la visualizzazione dei colori è legata al monitor impiegato, così come i colori del *target* fisico sono influenzati dall'illuminazione in laboratorio



Figura 1 - Il Duomo e il Convento del Carmine di Enna  
Fotomosaico e ortofoto con sovrapposizione dell'immagine fotografica

(differente da quella della scena). Il rilievo indiretto del colore si basa invece su indagini compiute attraverso mezzi quali il colorimetro e lo spettrofotometro o il più complesso telefotometro: strumenti in grado di fornire rappresentazioni grafiche e numeriche del colore, attraverso l'analisi della luce riflessa da una superficie, ovvero, in particolare, del fattore di riflettanza diffusa. Seppur da tali misurazioni si possano ottenere dati oggettivi, riproducibili e quantitativamente accurati, esse risultano, ancora oggi, soggette a parecchie difficoltà, quali ad esempio l'impossibilità di operarle su superfici estese ma solo su elementi puntuali di superfici omogenee e uniformi, o ancora aree di campionamento comunque ristrette. Una misurazione complessiva della cromia dell'oggetto architettonico non è quindi attuabile: si ottengono piuttosto tante campionature di colore rappresentative del tutto [3]. Le due metodologie, in realtà complementari e auspicabilmente integrabili nell'ambito dell'atto restaurativo sono spesso viste e "messe in opera" in maniera antagonistica, tradendo una certa dicotomia tra momento conoscitivo e approfondimento

fisico-chimico; una qualche diffidenza tra la volontà “indagatoria” dell’architetto restauratore nei confronti del complesso-edificio storico (inserito nel suo ambiente) e l’affinamento dell’analisi degli aspetti materici dello stesso, compiuto dallo specialista. Appare largamente condivisibile la necessità che il primo riacquisisca il ruolo di “regista” dell’intero processo conservativo, dotandosi delle competenze necessarie. Questo perché, tale processo, seppur fondandosi su presupposti filologico-documentari, altrettanto criticamente si deve esplicitare, in termini d’immaginazione scientifica e d’innovazione tecnica [4] [5]. L’architetto restauratore deve essere quindi abile conoscitore delle diverse macchine e degli strumenti oggi messi a disposizione dalla scienza, al fine di non essere escluso o relegato al semplice ruolo di operatore ma piuttosto divenire artefice e coordinatore dell’intero processo.

### **Tecniche integrate di *laser scanning* e calibrazione automatica per il rilievo del colore**

Prendendo le mosse da tali considerazioni e consci della necessità di ottenere visioni globali a scala architettonica e urbana con buone precisioni e secondo criteri di *time and costs saving*, il metodo da noi proposto prevede l’utilizzo di *laser scanner* di ultima generazione (quali il CAM2-Faro Technologies *Focus3D* o il Leica Geosystems *ScanStation C5*) per un rilievo contestuale sia del colore sia della geometria spaziale degli oggetti architettonici. L’obiettivo è di pervenire alla definizione di modelli 3D accurati e cromaticamente corretti, nella risoluzione e nella qualità adeguati alla realizzazione di elaborati propri della prassi conservativa, applicando una procedura rapida e automatizzata. Tale procedura propone, infatti, l’uso della tecnologia *laser scanning* più avanzata, combinata con prassi ormai consolidate nell’ambito della fotografia digitale per uniformare e rendere costanti i colori rilevati, indipendentemente dal modello di camera utilizzato, dal monitor impiegato per la visualizzazione e dai dispositivi di stampa. In particolare, essa sfrutta le potenzialità di nuovi misuratori a luce strutturata che integrano (non affiancano) camere con asse ottico coincidente con il raggio laser e ad alta risoluzione; in questi strumenti il *centro di proiezione* corrisponde al *centro di acquisizione* e, grazie a tale accorgimento, l’errore di parallasse è fortemente contenuto. In effetti, la fotocamera interna, non essendo un accessorio estraneo adattato (come nella stragrande maggioranza dei *laser scanner* oggi in commercio), è ottimizzata in funzione delle caratteristiche di ogni singolo strumento di misura, permettendo un calcolo preciso e accurato dei parametri di calibrazione. Inoltre, se le camere sovrapposte agli strumenti di misurazione 3D tradizionali, pur impiegando obiettivi *fish\_eye*, non riescono a coprire *field of view* molto ampi, determinando di conseguenza la produzione d’immagini cilindriche o cubiche su cui il processo di colorazione rimane incompleto, i nuovi strumenti con camera integrata permettono invece la realizzazione d’immagini ad alta risoluzione proiettate su una sfera (ottenute dalla sovrapposizione di un minimo di 84 fotogrammi da almeno 3.5 megapixel ciascuno “scattati” da un unico centro di proiezione) e pressoché prive di aberrazioni prospettiche. Tali metodologie dette di *texture mapping* e *spherical imaging*, automatizzate e inquadrate in un unico strumento, garantiscono risultati di buona qualità in tempi molto rapidi (anche da parte di operatori non esperti) e con semplici metodologie di lavoro. In particolare è possibile differenziare le fasi relative al metodo di indagine, riassumendole nei seguenti passaggi:

**Fase 1 - Acquisizione del dato metrico e colore.** Non essendo necessario montare sul laser scanner, al termine di ogni scansione e per ogni scansione, la macchina fotografica per l’acquisizione del dato colore, se non addirittura sostituirla con una strumentazione specifica all’acquisizione d’immagini, l’uso delle strumentazioni sopra citate permette un’enorme riduzione dei tempi di lavoro *in situ* (sono necessari in media 7/9 minuti per la scansione e l’acquisizione delle immagini). La rapidità delle operazioni, soprattutto in esterno, è una condizione sostanziale perché rende ininfluenti le variazioni della temperatura cromatica della luce solare, che può essere quindi ritenuta costante durante tutte le operazioni. Appare certo essenziale evitare di compiere tali rilevamenti nel corso delle prime ore della mattina e al tramonto, quando il sole basso all’orizzonte ha un colore blu rossastro e crea zone di forte contrasto (proiezione di ombre lunghe). Inoltre, al fine della calibrazione colorimetrica è indispensabile la sistemazione *in situ* di *target* colorimetrici disposti in modo tale da essere visibili, a un’adeguata risoluzione, in ogni scansione. E’ importante, inoltre, che questi ultimi siano fotografati frontalmente e illuminati uniformemente con la stessa luce dei manufatti oggetto del rilievo.

**Fase 2 - Pre-processing delle scansioni.** La prima fase di processamento delle informazioni segue due *step* distinti ma paralleli: le scansioni, secondo la normale procedura, sono importate all’interno di un *workspace*

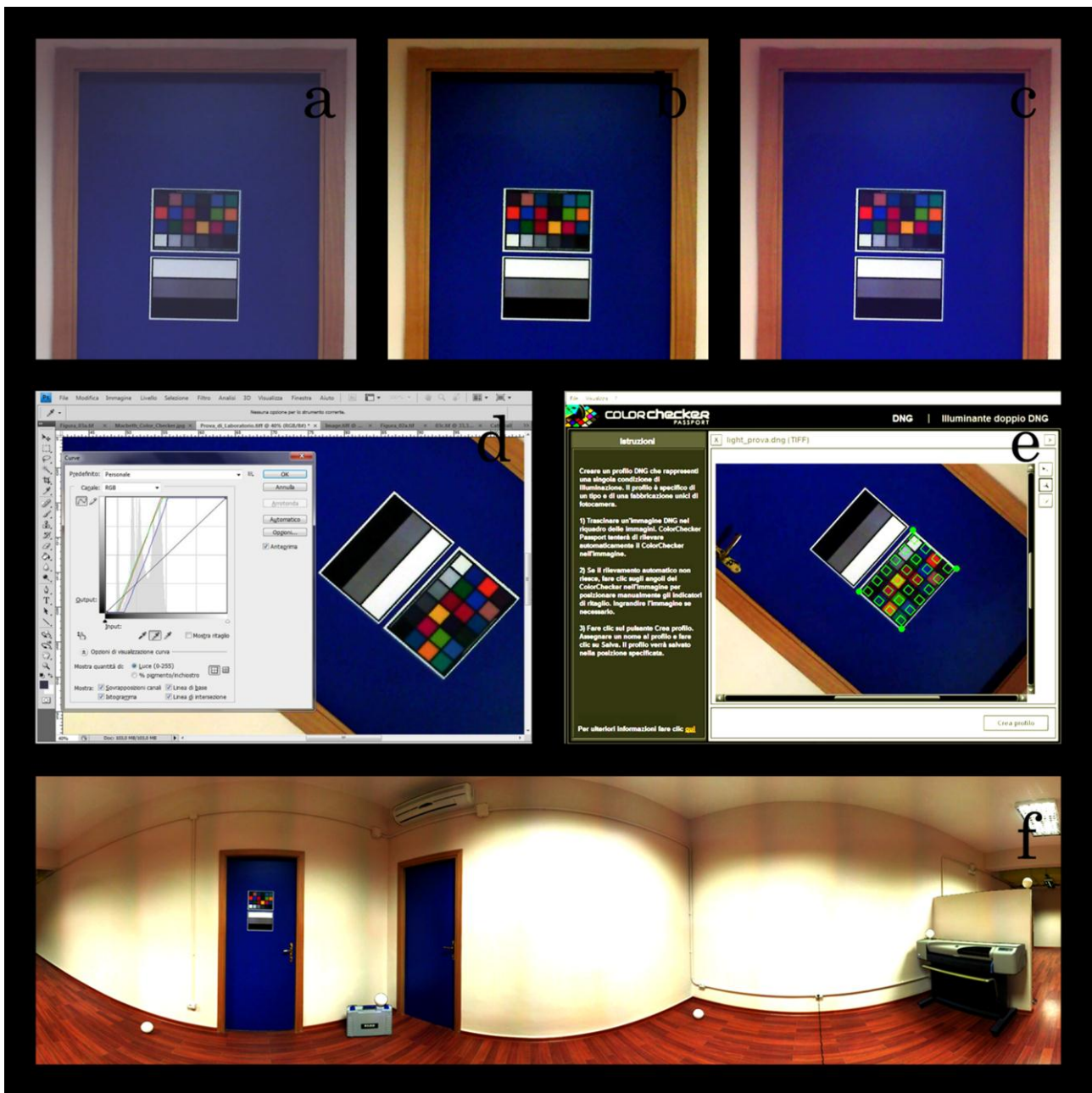


Figura 2 - Prove di laboratorio: il Color Checker come acquisito dalla camera (a), dopo il bilanciamento del bianco (b,d), dopo la “caratterizzazione” (c,e) e all’interno di un’immagine panoramica “caratterizzata” (d)

al fine di essere filtrate e allineate tramite *software* specifici, generalmente applicativi forniti con lo strumento che non comportano l’acquisto di programmi più elaborati e dedicati. Le singole immagini, invece, prima di essere sovrapposte alla scansione, saranno sottoposte ad uno specifico procedimento di “caratterizzazione” cromatica al fine di applicare loro un unico profilo colore.

**Fase 3 - Profilo colore e correzione cromatica della nuvola di punti.** In fase di cattura dell’immagine, l’assegnazione del valore RGB non è univoca ma influenzata dalle caratteristiche della periferica (*colour devic-dependent*); una stessa scena, fotografata nello stesso istante e dalla medesima posizione con apparecchi diversi, è registrata con valori RGB differenti, sia per la diversità dei sensori che per differenza di sistemi *raw converter*. È necessario quindi “caratterizzare” l’immagine, eliminando l’ambiguità dei valori RGB facendoli corrispondere a valori colorimetrici indipendenti. La caratterizzazione di una camera è velocemente operata per mezzo di supporti rigidi con mosaici uniformemente colorati di cui sono note le



Figura 3 - Chiesa Madre di Salemi (Restauro arch. Alvaro Siza)  
Nuvola di punti dopo il processo di “caratterizzazione”

coordinate colorimetriche (*color-checker*). Se inseriti e fotografati all’interno di una scena, permettono di conoscere, per ogni tassello, sia i valori RGB *device-dependent* (misurati dalla fotocamera) sia le coordinate colorimetriche *device-independent* (misurate con tecniche spettrofotometriche eseguite sui *color-checker* in laboratorio). È quindi possibile creare algoritmi di caratterizzazione (relative a quelle precise esposizioni) che a partire dalle combinazioni RGB indichino le coordinate colorimetriche  $L^*a^*b$  o XYZ. Soprattutto riguardo alle metodologie tradizionali di bilanciamento del bianco, la creazione di profili personalizzati permette di ottenere risultati certamente più performanti (Fig. 2): a tale scopo, sono oggi disponibili delle applicazioni a basso costo, specifiche per uso fotografico ma impiegabili anche per i nostri obiettivi (ad esempio, quelle prodotte da *X-Rite*, *Datacolor* e *BabelColor*). In particolare, questi applicativi consentono il riconoscimento automatico dei *target* colore all’interno di una singola immagine e di ricavare un profilo



DNG che, esportato in *software* quali l'*Adobe Photoshop Lightroom* utilizzato nel presente lavoro, può essere applicato simultaneamente a tutte le immagini acquisite durante ogni scansione.

**Fase 4 – Allineamento cromatico della nuvola di punti.** Una volta effettuata la calibrazione colorimetrica delle immagini, la colorazione delle nuvole di punti è eseguita automaticamente e in tempi estremamente rapidi dal *software* di gestione delle nuvole di punti. Tale operazione di mappatura, nel caso delle strumentazioni con camera coassiale oggetto del presente saggio, è eseguita con una riproiezione delle foto di cui si conoscono esattamente le coordinate del centro con conseguenti minimi errori (inferiori ai 3 pixel). Inoltre sono perfettamente noti i parametri di calibrazione interni perché analizzati in laboratorio e certificati, contrariamente a quanto accade con apparati fotografici esterni dove il calcolo dei parametri di calibrazione è eseguito dagli operatori ed è sensibilmente influenzato dal *software* impiegato per l'elaborazione delle immagini.

## Conclusioni

Per quanto tali procedure richiedano ancora perfezionamento e sperimentazione, appare indubbio che i nuovi *laser scanner* possano configurarsi come strumenti utili anche ai fini della conoscenza e del rilievo del colore dell'edilizia storica. Con notevole semplificazione, in termini di tempo e di costi, tali tecniche permettono di ottenere in pochi passaggi non solo nuvole di punti colorate ma cromaticamente calibrate, offrendo un'ottima base di partenza per le successive fasi di approfondimento strumentale. La lettura dell'architettura, nelle sue componenti metriche, colorimetriche e materiche si esplica quindi attraverso il ri-disegno sulle molteplici ortofoto ricavabili dalle nuvole "caratterizzate" (Fig. 3), permettendo di evidenziare le caratteristiche di maggiore interesse per il progetto di conservazione. L'acquisizione automatica del dato metrico e RGB deve essere in seguito completata dalla fase d'interpretazione e analisi che non può, e non sarà mai compiuta in autonomia dalla macchina, necessitando sempre e comunque della mediazione dell'architetto-restauratore, il solo capace di interpretare la realtà strumentale grazie alla propria sensibilità, alla propria formazione e alle proprie conoscenze.

## Riferimenti bibliografici

- [1] MURATORE, Olivia. *Il colore dell'architettura storica. Un tema di restauro*. Firenze: Alinea, 2010. ISBN 8860555078.
- [2] OLEARI, Claudio (a cura di). *Misurare il Colore*. Milano: Hoepli editore, 1998. ISBN 8820341263.
- [3] SIBILIO, Sergio. CARILLO, Saverio. ARGENZIANO, Pasquale. FALCONETTI, Pasquale. FERRI, Luca. PETILLO, Pasquale. The conservation project in the polarity of the multidimensional survey. The need for critical discussion drafting of operating protocols. modernity and tradition: the wooden caisson in the great hall of the economic school in Naples. In GAMBARDELLA, Carmine (a cura di). *Le Vie dei Mercanti. S.A.V.E. Heritage – Saveguard of Architectural, Visual, Environmental Heritage*, collana Fabbrica della Conoscenza, numero dieci (diretta da Carmine Gambardella), Napoli: La scuola di Pitagora editrice, vol 1. ISBN 978-88-6542-046-1.
- [4] SANTUOPOLI, Nicola. SECCIA, Leonardo. Il rilievo del colore nel campo dei beni culturali. In CARBONARA, Giovanni, *Trattato di restauro architettonico. 2° aggiornamento*. Torino: UTET, 2008, vol. 10. ISBN 978-88-598-0302-7.
- [5] FIORANI, Donatella. *Restauro e tecnologie in architettura*. Roma: Carocci, 2009. ISBN 9788843048137.