

**Marco Carpiceci**

Professore Associato dal 2005; dal 1985 insegna Disegno nella Sapienza di Roma (DiSDRA). Dal 2007 coordina una Unità di Rilevamento Architettonico per le chiese rupestri in Cappadocia. Dal 1984 svolge attività di rilevamento dei Beni Architettonici in Italia e all'estero, (Fondi, S. Magno 2008; Reggia di Caserta 2003; Gaeta, Castello 1995; Roma, S. Pietro costantiniana 1993; ecc. Esperto di fotografia digitale e studioso di Leonardo da Vinci. Dal 2012 è Coordinatore Scientifico del Laboratorio di Rilievo dell'Architettura e dell'Ambiente.

## Conoscenza geometrica e rigore scientifico della fotografia digitale: il caso della *fotografia nodale* *Geometric knowledge and scientific rigor of digital photography: the case of nodal photography*

Mentre un tempo la formazione dell'immagine fotografica era delegata quasi esclusivamente al processo di ripresa, sviluppo e stampa o proiezione, oggi la 'filiera' dell'immagine ha talmente tante possibilità che è difficile delinearne dei confini netti e precisi. Nella fotografia digitale ogni fase può essere luogo di trasformazioni. Le molteplici possibilità offerte dalla fotografia digitale implicano, però, una necessaria conoscenza di tutte quelle attività in cui gli automatismi possono allontanare sempre di più l'utente dal controllo dei processi realizzativi.

Ad emblema del più generale problema conoscitivo, analizziamo un significativo campo applicativo da noi definito *fotografia nodale*: una tecnica nata grazie allo sviluppo dell'elettronica e dell'informatica e che racchiude molti aspetti dell'innovazione tecnologica che stiamo vivendo.

*In the past the formation of the photographic image was almost exclusively delegated to a process of shooting, developing and printing or projecting. Today the picture has so many possibilities that it is difficult to delineate a clear and focused operative boundary. In digital photography, every step offers the opportunity of transformation. However the multiple possibilities offered by digital photography imply a required knowledge of all those activities in which the automatism can prevent user from the realization processes control. As emblem of general cognitive problem, we analyze a significant application field that we define "nodal photography". It is based on a technique produced from the development of electronics and computer, and that encompasses many aspects of technological innovation we are experiencing.*

**Parole chiave:** fotografia digitale, fotografia nodale, panorami, gigafoto.

**Keywords:** digital photography, nodal photography, panorama, panoramic image, giga photo.

## PERVADERE DELL'INFORMATICA

'Pervadere'; forse questo è il verbo che meglio descrive l'azione della fotografia digitale nell'attuale mondo delle immagini. La sua naturale congiunzione con l'informatica e l'interconnessione globale ha generato un processo evolutivo inarrestabile, nel quale 'tutti' indistintamente siamo coinvolti (Fig.1).

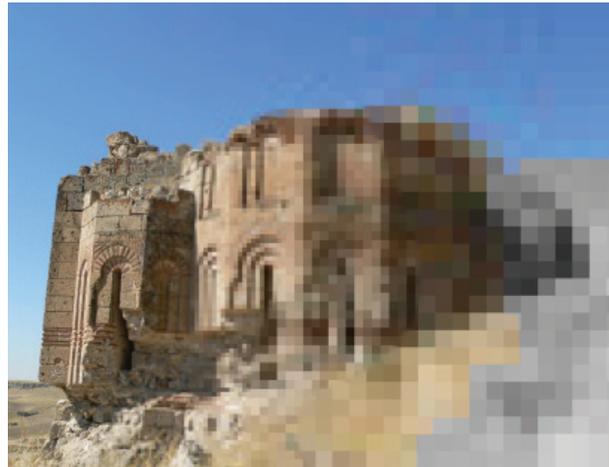
Il concetto stesso di 'fotografia' si è esteso, proprio grazie all'informatica. Un tempo la formazione dell'immagine fotografica era delegata quasi esclusivamente al processo chimico di esposizione, sviluppo e stampa o proiezione; oggi la 'filiera' dell'immagine ha talmente tante possibilità che è difficile delinearne dei confini netti e precisi. E l'immagine fotografica stessa può, virtualmente, essere generata non più da una struttura ottica 'fisica' ma da un *software*; la simulazione si sovrappone così alla realtà, sino a farci vivere l'evocazione in luogo dell'esperienza reale. È così che l'idea di fotogramma si inserisce nel contesto informatico multimediale come cattura del monitor, istantanea di una scena statica o in movimento.

## MUTAZIONE E LIBERTÀ DI SCELTA

'Mutazione'; questo è ciò che è accaduto alla fotografia nel passaggio dalla tecnologia chimica a quella digitale. Anche se il paragone può sembrare esagerato, è avvenuto un salto evolutivo (e da ciò la mutazione) simile a quello che c'è stato nel passaggio dalla camera ottica alla fotocamera. La tecnologia digitale ha prodotto un enorme ampliamento del panorama di complessità collegate alla produzione dell'immagine [3, 6].

La prassi chimica permetteva solo limitati e 'sapienti' interventi per il migliore risultato di stampa su di un supporto cartaceo o la proiezione su di uno schermo. Nella fotografia digitale ogni fase può essere luogo di trasformazioni; dalla registrazione del file raw sino all'immagine 'definitiva' che può ancora subire alterazioni di ogni genere, da quelle geometriche e cromatiche alla fusione con altre foto.

Con i *software* per il fotoritocco ormai lo schermo è una tavolozza dalle infinite possibilità, nella quale è possibile inserire e trasformare qualsiasi tipo di immagine. Con l'informatica la fotografia



si è inserita in un complesso circuito produttivo in cui ogni operatore possiede la possibilità di decidere in piena autonomia. I confini sono dettati dalla tecnologia *hardware* e *software*, ma anche dalla conoscenza delle pratiche artistiche e dalla fantasia. Maggiore è la familiarità con i processi informatici e più libera sarà la fantasia di materializzare un'idea; minore è la conoscenza e maggiore sarà il ricorso agli *automatismi* che renderanno i risultati 'omologati' anche nelle elaborazioni pseudo-artistiche (Fig.2). Il livello di elaborazione automatica delle immagini ha raggiunto un tale

1. Turchia, Cappadocia, Akhisar, Canli Kilise, abside (foto del 2009). Dal 1957, anno della prima immagine digitale in bianco e nero, la fotografia digitale si è evoluta sino a superare di gran lunga la fotografia chimica.

2. Turchia, Cappadocia, Akhisar, Canli Kilise, abside (foto del 2009). Elaborazione con Photoshop.

livello che dalla fotocamera stessa si possono impostare già dei preorganizzati 'effetti' che conducono inevitabilmente a risultati standard, soddisfacenti, conformi al gusto generale.

È evidente che se si vuole essere coscienti di tutto il processo produttivo dell'immagine bisogna 'conoscere'; non per la qualità dei risultati, che possono (non sempre) essere raggiunti anche affidandosi alle procedure automatiche, piuttosto perché la coscienza del proprio lavoro la si può ottenere solo 'conoscendo' il proprio percorso dettato dal progetto e dalla *libertà di scelta*.

UN ESEMPIO

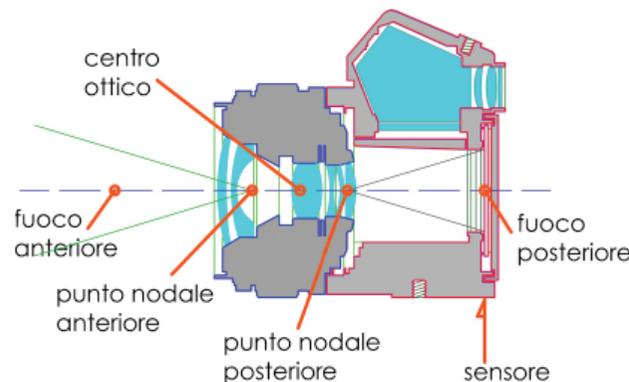
Per comprendere ‘praticamente’ cosa si intende con la suddetta premessa, si può considerare la *fotografia nodale*: una tecnica nata grazie allo sviluppo dell’elettronica e dell’informatica e che racchiude molti aspetti dell’innovazione tecnologica che stiamo vivendo [4, 5, 8].

Se volessimo eseguire una serie di fotografie che unite insieme diano come risultato una unica foto, in maniera che i confini dell’una si fondano perfettamente con quelli della foto contigua, dovremmo far compiere alla fotocamera una rotazione sempre intorno ad un preciso determinato punto: questo è il *punto nodale anteriore* dell’ottica utilizzata. Questa tecnica viene utilizzata principalmente per la realizzazione di panoramiche (cilindriche o sferiche) o per comporre fotomosaici: fotografie di estremo dettaglio (gigafoto).

ALLA RICERCA DEL PUNTO

Dall’ottica geometrica sappiamo che le lenti positive, come gli obiettivi fotografici (composti da più lenti), sono caratterizzate da cinque punti dell’asse: il *centro ottico* e le due coppie di *punti nodali* e i *punti focali* disposti simmetricamente e dove si collocano piani normali all’asse detti *piani focali* e *piani nodali* (Fig.3). Il piano focale posteriore è quello dove, con la messa a fuoco all’infinito, si forma l’immagine e quindi dove è posizionato il sensore (o la vecchia pellicola). Il piano focale anteriore, simmetrico al primo rispetto al centro ottico, non ha alcuna utilità se non in particolari tecniche in cui si *inverte* l’ottica che tramite un adattatore viene utilizzata rovesciata.

La distanza del punto nodale posteriore dal piano focale posteriore è detta *distanza focale* e pertanto, da un punto di vista proiettivo, il nodo può essere considerato *centro di proiezione* dell’immagine. Simmetricamente avremo la stessa distanza intercorrente tra il fuoco anteriore e il relativo nodo. Il nodo posteriore è utile per tutte le operazioni metriche sul fotogramma e in base alla sua posizione possiamo calcolare molte caratteristiche, tra cui l’*angolo di campo* dell’ottica. Vi è però una differenza fondamentale tra modello prospettico e modello fotografico. Nella



3. I punti caratteristici delle ottiche fotografiche.

*prospettiva*, l’immagine sul quadro viene formata per sezione dei raggi di proiezione provenienti dal soggetto e passanti per il centro di proiezione. Nel modello fotografico abbiamo visto che, analogamente, l’immagine è formata (geometricamente) dai raggi provenienti dal nodo posteriore e che colpiscono il piano focale. Ma i nodi sono due e quindi i raggi provenienti dal soggetto si concentrano nel *nodo anteriore*. Il concetto prospettico può essere materializzato dal foro stenopeico che rappresenta così il centro di proiezione. Se, come è accaduto in passato, allarghiamo il foro ed introduciamo una lente positiva, con l’inconveniente che l’immagine che otteniamo è comparabile alla prima ma abbiamo sdoppiato il centro di proiezione in due punti.

La fotografia nodale consiste nell’eseguire più foto ruotando la fotocamera intorno al nodo anteriore, ottenendo così fotogrammi che, con opportune deformazioni, possano essere perfettamente affiancabili e sovrapponibili a comporre un’immagine più ampia.

Ogni cavalletto fotografico è in grado di far ruotare la fotocamera in orizzontale e in verticale: il centro di rotazione però non è unico e non coinciderà mai con il nodo anteriore della nostra ottica. Le teste panoramiche hanno apposite slitte micrometriche che permettono di regolare la posizione della camera e cercare così il centro adatto. Ogni obiettivo, a una data messa a fuoco, ha una precisa posizione nella quale la rotazione della fotocamera non varia la posizione reciproca dei punti omologhi dei vari fotogrammi, ren-

dendoli quindi perfettamente ricucibili mediante appositi *software*.

La sovrapponibilità non è critica se le zone di sovrapposizione tra foto contigue sono occupate da punti equidistanti dalla camera; la presenza di elementi dislocati in profondità e in primo piano rende invece molto determinante la precisa determinazione del centro di rotazione.

DIMENSIONE E COPERTURA

Ogni fotografia composta da più fotogrammi porta con sé una serie di dati che ci permettono di calcolare la strumentazione adatta e il numero di scatti da eseguire.

Innanzitutto ricordiamoci che la qualità del singolo fotogramma non dipende solo dal numero di pixel ma più fattori. Ad esempio un’ottica, per quanto buona possa essere, difficilmente potrà *risolvere* più di 80 l/mm sul sensore e quindi un formato maggiore, a parità di pixel, darà una qualità d’immagine inevitabilmente maggiore. Una fotocamera *full-frame* otterrà risultati non paragonabili a quelli di uno *smartphone* anche se con lo stesso numero di Mpixel.

Vediamo ora le potenzialità dipendenti dal tipo di attrezzatura. Vi sono, orientativamente, tre tipi di teste avvitabili a un cavalletto. La prima, più semplice, è la testa panoramica a rotazione orizzontale (asse verticale). Con il suo unico movimento consente di coprire in orizzontale 360°; in verticale dipende dall’ottica utilizzata e dall’orientamento che abbiamo dato alla fotocamera (Fig.4). Generalmente essa ha due slitte: la prima è utiliz-

zabile con le macchine che hanno il foro filettato per il cavalletto non in asse con l'obbiettivo, la seconda permette di trovare il nodo anteriore dello specifico obbiettivo montato.

La seconda testa ha una terza slitta e la rotazione verticale (asse orizzontale). I suoi movimenti permettono di coprire l'intera sfera intorno alla fotocamera eseguendo più linee di fotogrammi.

Il preciso posizionamento delle teste panoramiche è generalmente guidato da apposite basette di tipo topografico con bolla sferica. Il movimento di rotazione orizzontale è regolato da un apposito goniometro o, meglio, da un dispositivo che permette di selezionare il numero di suddivisioni dell'angolo giro per una più precisa esecuzione degli scatti.

La terza tipologia di testa è quella motorizzata. Il suo vantaggio si ha soprattutto quando vi è la necessità di eseguire una grande quantità di fotogrammi, come nelle giga-foto, dove è indispensabile che ogni fotogramma presenti sempre la stessa percentuale di sovrapposizione con i contigui. Essa facilita così l'operazione di ricucitura anche in zone omogenee prive di punti omologhi individuabili (come per il cielo o per zone di colore uniforme).

Una volta stabilito ciò che dobbiamo fotografare bisogna decidere quale attrezzatura utilizzare. Obbiettivi grandangolari ci permetteranno di eseguire meno fotogrammi che però daranno una immagine finale con meno dettagli, mentre più fotogrammi renderanno più critica la cucitura per la maggiore difficoltà nel riconoscere automaticamente punti omologhi nelle zone di sovrapposizione che, ricordiamo, dovranno essere per almeno 1/3 del fotogramma. Una tabella ci può aiutare ad avere un'idea delle possibilità offerte da fotogrammi e obbiettivi (Fig.5). L'orientamento della camera, orizzontale (*landscape*) o verticale (*portrait*), è legato alla conformazione della testa panoramica. Quello verticale sfrutta in una sola linea un maggiore angolo di campo in questa direzione.

Nelle coperture sferiche, quindi nelle riprese a multi-row, il numero dei fotogrammi diminuisce man mano che si inclina la camera verso l'alto. Bisogna però sempre controllare le zone di so-



4. Le tre principali tipologie di teste panoramiche: a rotazione orizzontale, sferica e motorizzata.

5. Una tabella per il calcolo dei parametri per la ripresa panoramica sferica.

formato	dimensioni (mm)			diagonale	cropping	<i>normale</i>			<i>grandangolo</i>			<i>super grandangolo</i>		
	15	22	27			31	27	22	17	15	13	11	9	7
APS-C	15	22	27	1,6	31	27	22	17	15	13	11	9	7	
Full Frame	24	36	43	1	50	43	35	28	24	21	18	15	12	
	angolo in portrait					27°	31°	38°	46°	53°	60°	67°	77°	90°
	numero fotogrammi					20	17	14	12	10	9	8	7	6
	angolo seconda linea					27°	30°	36°	43°	49°	54°	60°	67°	75°
	angolo terza linea					53°	60°	72°	87°	98°				
	angolo quarta linea					80°	90°							
	angolo in landscape					40°	45°	54°	65°	74°	81°	90°	100°	113°
	numero fotogrammi					14	12	10	8	7	7	6	5	5

vrapposizione tra i fotogrammi in maniera da non avere mai dei buchi man mano che si inclina la camera verso i poli del campo sferico. La quantità dei fotogrammi dipende quindi anche dal numero delle linee necessarie.

La dimensione finale del fotogramma è una quantità variabile in funzione dalle impostazioni da noi scelte. Una quantità approssimata la possiamo ottenere moltiplicando i Mpixel del sensore per 2/3 e per il numero dei fotogrammi necessari.

ESPOSIZIONE

Nell'esposizione si riversano tutte le novità of-

ferte dalla fotografia digitale. Una volta fissata tramite le apposite slitte la posizione della fotocamera, dovremo regolare la fotocamera totalmente in manuale, in maniera che nessun parametro venga modificato autonomamente dagli automatismi. Quindi regoleremo la messa a fuoco e il diaframma in maniera da avere una sufficiente profondità di campo per tutti gli scatti. Con l'automatismo con priorità ai diaframmi (aV) potremo eseguire degli scatti di prova; questi ci forniranno l'istogramma delle luminosità in maniera da controllare la gamma dinamica della scena compatibilmente con il nostro sensore. In

presenza di una escursione importante, superiore ai 7-8 EV, avremo la necessità di eseguire delle prese multiple (*bracketing*) in HDR (*High Dynamic Range*) e coprire l'estensione necessaria. Spesso nella ripresa di interni di giorno abbiamo una forte escursione luminosa tra dentro e fuori. Una tale gamma tonale, se misurata con un esposimetro esterno, può tranquillamente raggiungere differenze di 14 Ev (stop) ed oltre. La nostra vista riesce a compensare egregiamente questo divario di luminosità mentre il sensore si limita a registrare, nelle migliori condizioni, circa 9 Ev. Dovremo quindi eseguire una serie di scatti con la camera nella stessa posizione, variando il solo tempo di esposizione a passi di 1 o 2 stop (Fig.6). Mediante il controllo dell'*istogramma*, e la visione diretta, dovremo far sì che il primo e l'ultimo fotogramma registrino come tonalità medie (riflettanza del 17%) le parti più scure e quelle più chiare presenti. In questa maniera la sequenza comprenderà l'intera gamma dinamica presente. Successivamente, utilizzando appositi programmi per l'HDR regoleremo il risultato in maniera da ottenere una buona esposizione sia per le zone interne, omogenee alle altre foto, sia per le zone esterne, altrimenti sovraesposte o del tutto *bruciate*.

#### CUCITURA

Nei *software* di *photo-stitching* le immagini importate vengono analizzate, scomposte e comparate al fine di determinare le zone e, successivamente, i punti omologhi per la cucitura di immagini contigue. Manualmente è sempre possibile integrare o modificare le relazioni determinate dal programma in maniera da eliminare eventuali false interpretazioni.

La cucitura avviene per taglio sfumato delle zone di sovrapposizione e comprende anche la correzione di piccole differenze di luminosità tra i fotogrammi.

In questa fase della procedura i *software* calcolano la posizione dei punti di ogni fotogramma come appartenenti ad una sfera intorno al centro di rotazione della fotocamera e non come coordinate lastra. Questo gli permette la ricongiunzione effettiva indipendentemente dal piano di proie-



zione (piano focale del singolo fotogramma) ma tenendo in considerazione il solo raggio di proiezione (Fig.7).

Immaginiamo tre fotogrammi successivi. Le zone di sovrapposizione in realtà non si possono sovrapporre perfettamente a causa della non complanarità dei loro piani di proiezione, mentre si sovrappongono perfettamente i raggi proiettanti dei loro punti omologhi. Possiamo ad esempio lasciare invariato il fotogramma centrale e deformare i contigui sino a realizzare un'unica immagine complanare con le zone comuni perfettamente sovrapponibili.

Per questa ragione la fotografia nodale è fon-

6. Turchia, Cappadocia, Keslik, S. Stefano (foto del 2009). HDR di una inquadratura per registrare la forte escursione luminosa tra interno ed esterno.

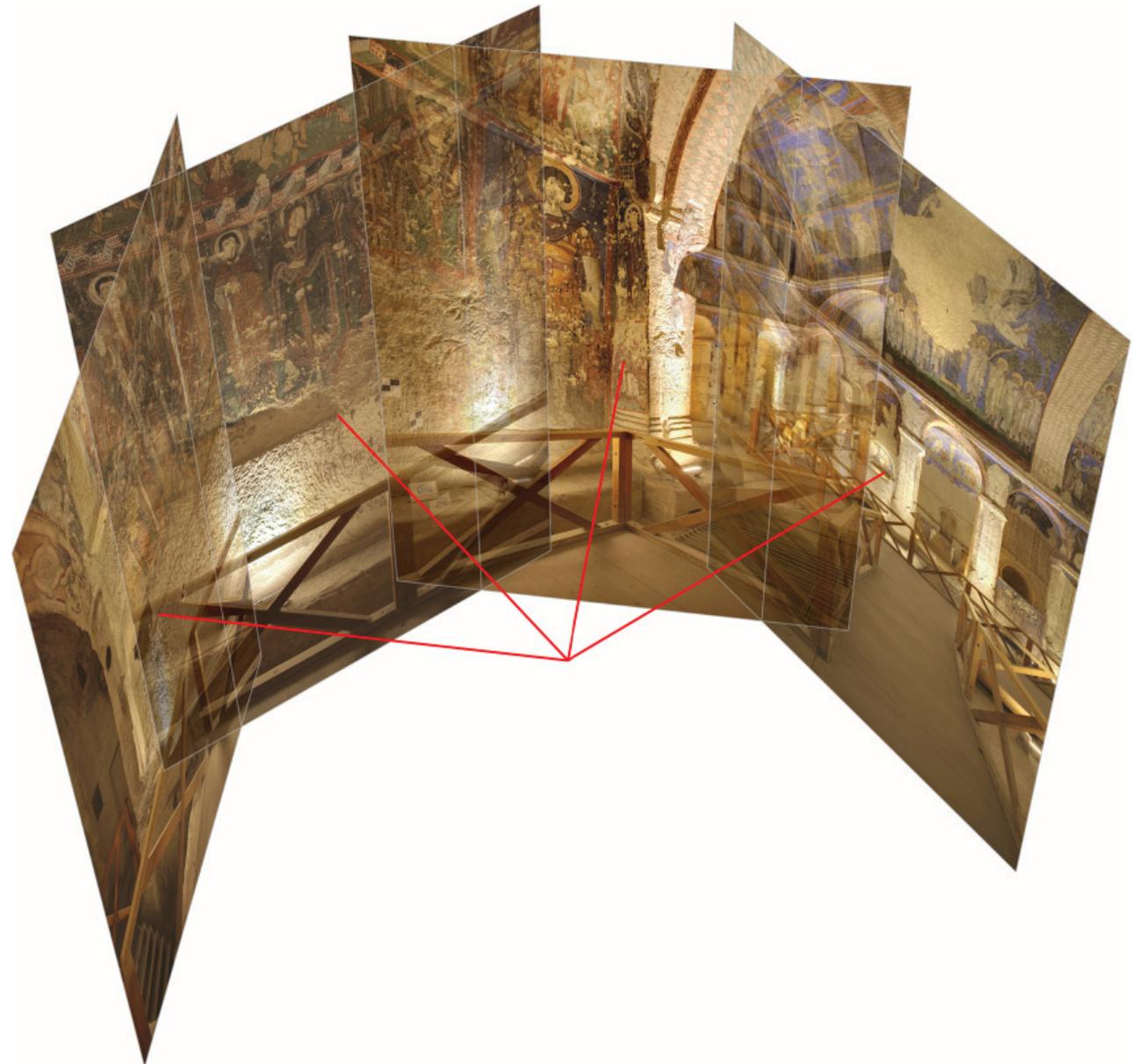
damentale anche per quelle riprese *dettagliate* che vogliono riprendere una superficie dipinta 'approssimativamente' piana. Se eseguiamo le riprese da punti diversi, per poi raddrizzare le singole immagini e ricucirle insieme, le piccole differenze di profondità renderebbero l'operazione imprecisa costringendoci ad effettuare piccole correzioni locali non coerenti con la vera forma del soggetto ripreso. La fotografia nodale ci fornisce la soluzione senza compromettere la correttezza del risultato [7, 10].

#### RAPPRESENTAZIONE/NAVIGAZIONE

Una volta cucite le immagini abbiamo strutturato il reciproco collegamento che costituisce la serie di riferimenti di ciò che in fotogrammetria viene chiamato l'orientamento relativo, ossia un modello tridimensionale nel quale tutti i fotogrammi sono riposizionati nelle stesse condizioni che avevano al momento della ripresa.

A questo punto possiamo *realizzare* il panorama dando istruzione al computer affinché proietti le varie foto unite in un'unica proiezione bidimensionale. In un secondo momento potremo decidere come visualizzare tale proiezione, ovvero come semplice immagine o mediante *immersione*: quest'ultima consiste nel porre l'osservatore nel punto di ripresa e nel mostrargli lo spazio circostante fotografato mediante movimenti di rotazione e zoom, riproducendo così la sensazione di trovarsi effettivamente al centro dell'ambiente reale. Un'ulteriore evoluzione è data dai virtual tour che non sono altro che una serie di panorami (solitamente sferici) collegati tra di loro da *hotspot* che permettono di 'trasferirsi' dal centro di un panorama a quello di un altro.

La rappresentazione bidimensionale sfrutta ampiamente le regole della proiezione cartografica, soprattutto per i panorami sferici. La proiezione più utilizzata è quella *equirettangolare* (Fig.8), nella quale le coordinate angolari di longitudine e latitudine vengono tradotte in coordinate cartesiane. Ne consegue che la linea equatoriale viene a coincidere con l'asse delle x conservando la sua estensione invariata; man mano che ci si allontana verso Nord o verso Sud il parallelo sul modello



sferico si riduce di dimensione mentre sulla proiezione rimane costantemente uguale sino ad arrivare ai due poli che nella proiezione divengono due linee.

7. Turchia, Cappadocia, Goreme, Tokali kilise (foto del 2011). Orientamento relativo di quattro fotogrammi.

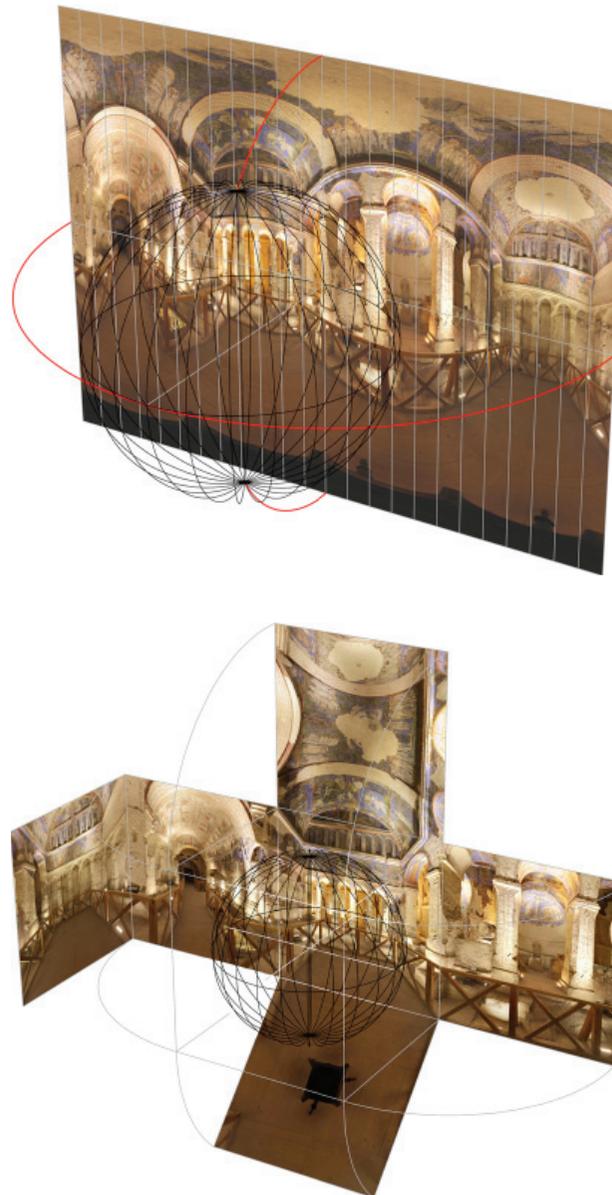
Un altro tipo di proiezione molto usata è quella *cubica* (Fig.9). Questa equivale alla proiezione sulle sei facce piane del solido e corrisponde a sei fotografie quadrate realizzate dallo stesso punto. La proiezione cubica è utile anche quando si vuole 'chiudere' la sagoma del cavalletto che inevitabilmente viene a formarsi nella parte inferiore delle panoramiche sferiche. Una volta ripresa la panoramica si esegue un'unica fotografia con la camera verso il basso avendo l'accortezza di posizionarla nello stesso punto della ripresa mediante un'asta che, decentrando la posizione della fotocamera, eviti di mostrare lo stativo nel fotogramma. La faccia inferiore della proiezione cubica viene integrata sovrapponendo la fotografia del calpestio nella parte della panoramica coperta dal cavalletto.

Se il panorama non copre tutta l'ampiezza sferica ma solo la fascia equatoriale, la proiezione più utilizzata è quella *cilindrica*. Questa, agli inizi della storia del panorama (prima della nascita della fotografia chimica), era l'unica proiezione possibile e aveva stimolato la costruzione di appositi edifici monumentali di tale forma, nei quali le persone entravano ad ammirare rappresentazioni di paesaggi urbani o bucolici o ricostruzioni di battaglie [1, 2]. In tali ambienti le persone si dissociavano dalla realtà e si immergevano letteralmente nella rappresentazione, con la sensazione di ritrovarsi ad assistere realmente a quell'episodio storico o di essere realmente in quella città e in quell'epoca.

Una utile applicazione odierna della proiezione cilindrica è quella di sviluppo piano di superfici di questa forma, come l'abside di una chiesa, ottenendo così una riproduzione perfettamente equivalente all'originale.

#### GIGA

La realizzazione di teste panoramiche motorizzate ha recentemente permesso l'automatizzazione della ripresa e quindi la realizzazione di panoramiche composte da un altissimo numero di fotogrammi. La quantità di immagini ha poi permesso la realizzazione di foto immersive in cui le possibilità di ingrandimento sono state molto aumentate. La realizzazione tecnica delle gigafo-



8. Turchia, Cappadocia, Goreme, Tokali kilise (foto del 2011). Proiezione equirettangolare.

9. Turchia, Cappadocia, Goreme, Tokali kilise (foto del 2011). Proiezione cubica.

to non presenta certamente difficoltà poiché è guidata da software appositamente predisposti. Una volta ottenuto il prodotto, vi è un secondo programma in grado di trasformare la foto per poterla visualizzare. Infatti, data la dimensione,

una foto di vari gigaByte non sarebbe facilmente gestibile da un comune computer e soprattutto non sarebbe visibile sulla rete. A questo inconveniente si ovvia realizzando (ad opera del programma apposito) una serie di immagini a diversa definizione compatibile con il livello di zoom. In pratica l'immagine completa sarà, ad esempio, di due Megapixel, che è la quantità di pixel presenti in un monitor o in un televisore con la risoluzione Full HD di 1920x1080 pixel. Man mano che ci si avvicina mediante zoom si visualizza un'altra serie di immagini compatibili con il livello di avvicinamento ma che ricoprono solo la parte dell'area totale che stiamo inquadrando e che hanno tra di loro solo una zona in comune, in maniera da non permettere la visione di linee di separazione tra immagini contigue. Il livello di zoom più approfondito sarà dettato dalla dimensione in pixel della Gigafofoto ed avrà un alto numero di fotogrammi singoli.

In pratica la vera Gigafofoto è solo l'elaborazione iniziale ricomposta dalla cucitura dei fotogrammi iniziali. Ma la visualizzazione complessiva di una tale fotografia è pressoché impossibile e soprattutto inutile, visto che il monitor ha solo due megapixel.

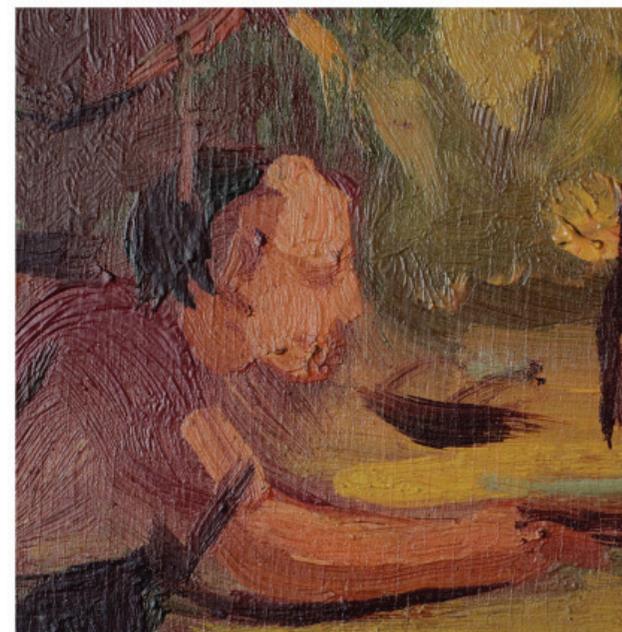
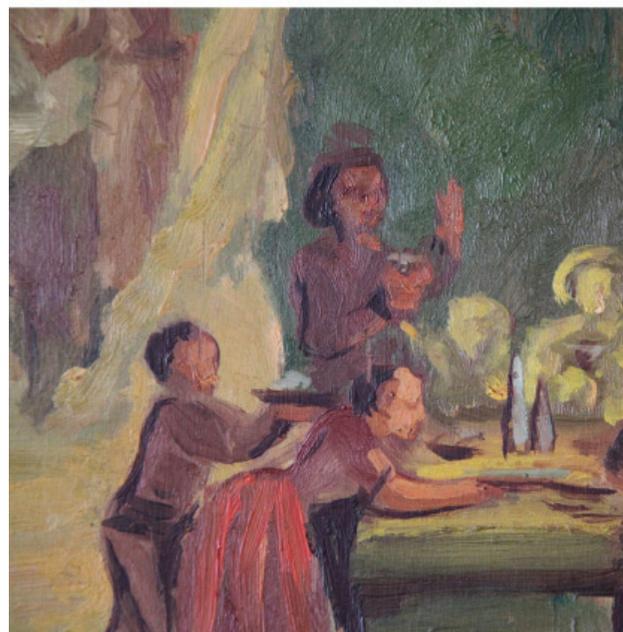
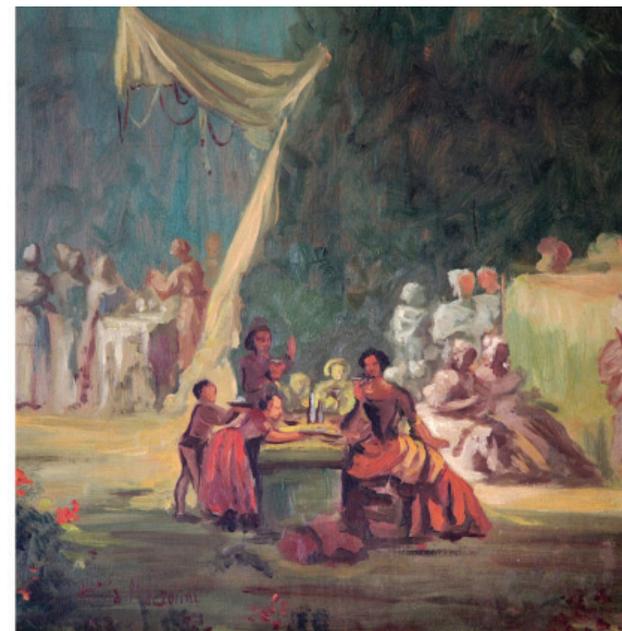
Supponiamo di avere una fotocamera da 21 Megapixel (5616x3744) e di voler realizzare una immagine da un gigabyte. Con la camera in orientamento verticale (*portrait*) e una sovrapposizione di 1/3 tra un fotogramma e il contiguo, avremo bisogno di circa 16 immagini in orizzontale per 6 in altezza (96 foto) così da avere un fotogramma di 1 Gigapixel con proporzioni di 16/9 orizzontali (*landscape*). L'immagine realizzata sarà poi scomposta in una prima da 3 megapixel (2300x1300 ca.) per la visualizzazione completa. Una prima divisione in quattro fotogrammi (sempre di 3 megapixel) con ampie aree di sovrapposizione in maniera da permettere lo spostamento senza mostrare più di un fotogramma alla volta. E così via suddividendo sino ad arrivare a fotogrammi sempre da 3 megapixel con la stessa densità degli originali (Fig.10).

Aumentando la dimensione in pixel delle immagini di suddivisione si diminuiscono i passaggi a scapito della velocità operativa e a vantaggio dell'occupazione di spazio di memoria.

#### CONCLUSIONI

In questa breve dissertazione abbiamo visto come un campo specifico come quello della fotografia panoramica, inserito nel contesto digitale, abbia portato alla grande evoluzione di una delle branche attualmente più dinamiche della fotografia digitale. La *fotografia nodale* deve però essere affrontata con coscienza e conoscenza, poiché essa implica aspetti tecnici e modelli geometrici che necessitano di essere conosciuti e utilizzati con cognizione di causa.

Risulta più che mai palese che l'architettura, il restauro, la conservazione, sono solo alcuni dei campi applicativi nei quali le attuali tecnologie di ripresa ed elaborazione delle immagini forniscono valori aggiunti. Non deve però ingannare l'aspetto automatico della prassi esecutiva perché la complessità delle conoscenze implicate nel processo produttivo necessita di operatori coscienti e non di utilizzatori passivi. Tanto più oggi, che l'informatica e la fotografia digitale permettono e sembrano legittimare, come mai prima, l'intervento umano, critico e creativo.



10. Jean-Honoré Fragonard (1732-1806), la fete a Saint-Cloud (copia olio su tavola, Alberto Carpiceci, 1957). Gigafoto; I, II, III e V livello di mosaicatura.

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

Di seguito sono elencate alcune pubblicazioni significative, non certamente esaustive dell'argomento ma utili all'approfondimento conoscitivo.

[1] Bordini, Silvia (1984), Storia del panorama” Officina edizioni, Roma.

[2] Hyde, Ralph (1988), Panoramania, Trefoil publications, London.

[3] Brunetta ,Gian Piero (1977), Il viaggio dell'icononauta, Marsilio editori, Venezia.

[4] Carpiceci, Marco (2005), La rappresentazione dell'architettura attraverso fotografie 'sferiche' immersive, in Il Palazzo Reale di Caserta, a cura di Cesare Cundari, Kappa Editore, Roma, (vol. testi) pp.145-152.

[5] Carpiceci, Marco (2005); Terrana, Maurizio, L'immagine immersiva, in Disegnare. Idee e immagini, XVI, 30, Roma, pp.72-83.

[6] Marra, Claudio (2006), L'immagine infedele, Bruno Mondadori, Milano.

[7] Carpiceci, Marco (2011), Survey problems and representation of architectural painted surface, in isprs archives, XXXVIII-5-W16-523-2011.

[8] Carpiceci, Marco (2012), Fotografia digitale e Architettura, Aracne, Roma.

[9] Carpiceci, Marco (2012), Modelli geometrici e costruzioni grafiche per il rilevamento architettonico, Aracne, Roma.

[10] Cundari, Cesare (2012), Il Rilievo Architettonico. Ragioni. Fondamenti. Applicazioni, Kappa Editore, Roma.

[11] Bianchini, Carlo (2013), La documentazione dei teatri antichi del Mediterraneo, Gangemi, Roma .