

Un rilievo sul David di Michelangelo attraverso immagini storiche

Fastellini G. (*), Grassi S. (*), Marrucci M. (*), Radicioni F. (*)

*DICA - Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale - Università di Perugia - Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria - Via Duranti 93, 06125 PERUGIA tel. 075.5853765; e-mail: topos@unipg.it

In occasione del restauro e degli studi effettuati per il quinto centenario del David di Michelangelo, il Laboratorio di Topografia dell'Università di Perugia ha contribuito alle indagini volte alla determinazione dell'assetto della statua a metà Ottocento, periodo in cui le cronache denunciarono la formazione di lesioni in alcune parti della scultura. In particolare il lavoro vuole individuare la deviazione della statua dalla posizione verticale per fornire utili indicazioni alla salvaguardia futura dell'opera. Alcune immagini di A. Hautmann risalenti proprio agli anni 1858-1862 sono state utilizzate simultaneamente per costruire un modello fotogrammetrico. Dal confronto tra le coordinate di due set di punti omologhi ottenute da tale modello e da un rilievo topografico compiuto recentemente sulla statua in Galleria dell'Accademia è stato possibile stabilire la posizione del David a metà Ottocento.

On the occasion of the restoration and the studies carried out for the 500th anniversary of the completion of Michelangelo's *David*, the *Laboratorio di Topografia* of the University of Perugia has contributed to the research conducted on determining the position of the statue in the mid-19th century during which historical sources reported the forming of cracks in some parts of the sculpture. In particular the study intends to identify the deviation from the vertical position to give important information for the future preservation of the masterpiece. Some Hautmann's images just of the years 1858-1862 were used simultaneously to construct a photogrammetric model. By comparing the coordinates of two sets of homologous points obtained from this model and from a recently survey measurement of the statue done at the Galleria dell'Accademia was possible to establish the position of the *David* in the mid-19th century.

La documentazione storica

Il David di Michelangelo, in quanto simbolo della città di Firenze, fu oggetto di numerose azioni vandaliche che contribuirono, insieme a quelle atmosferiche, ad un progressivo deterioramento dell'opera. Intorno alla seconda metà dell'ottocento, proprio a causa del degrado, si decise di nominare delle commissioni che potessero valutare l'effettivo stato di salute della statua.

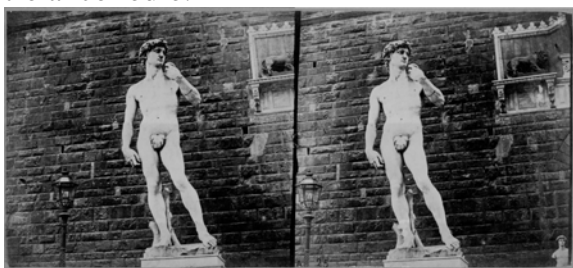
Nel 1852 l'analisi della prima commissione sul David, rilevò e stabilì l'effettiva esistenza di alcune fenditure e cretti, in particolare sul tronco d'albero e sulla caviglia destra. La seconda commissione (1866-1869), non solo confermò l'esistenza di tali lesioni, ma ne stabilì un sensibile peggioramento. Tanto da credere "...che pur collocato intieramente al coperto la statua del David avrà sempre bisogno di essere in qualche modo sostenuta...". Nel 1871 l'ing. Del Sarto definì in maniera approfondita la situazione in cui si trovava l'opera: "...il giudizio che vien portato subito sulla stabilità di questo colosso, indipendentemente dalla qualità del marmo ...è che detto colosso non si trova più sulla verticale nella quale dall'autore venne collocato, essendosi leggerissimamente inclinato nella parte davanti...". Nel 1872, fu proprio l'ultima delle tre commissioni ad esporre "...brevemente l'andamento delle operazioni da eseguirsi per condurre a termine ..." lo spostamento dall'arengario di Palazzo Vecchio alla Galleria dell'Accademia. Tra le procedure elencate vi era la costruzione di un "castello" di legno nella parte inferiore della statua, la costruzione di rotaie per il trasferimento e la costante attenzione nel trasporto che la statua conservi "...in tutti sensi la

sua verticalità...”. Immediatamente dopo il trasferimento del 1873, proseguirono le discussioni e i pareri discordanti circa un intervento di restauro atto al consolidamento. Tale intervento però, non risulta da nessuna fonte e probabilmente non venne mai eseguito.

Nell’ambito della problematica denunciata dalle cronache il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università di Perugia si è soffermato sull’analisi e sullo studio delle attuali condizioni di stabilità della scultura. Analizzando le lesioni e le caratteristiche meccaniche del marmo è stato possibile ricostruire più ipotesi relative all’entità d’inclinazione da 1° a 3° e alla sua direzione (Borri, Grazini, Marchetti, 2004). Le tecniche fotogrammetriche, unite ai metodi di rilievo tradizionali, hanno consentito di verificare e quantificare gli spostamenti del Colosso, restringendo il campo delle ipotesi elaborate solo in relazione all’analisi delle lesioni.

Anton Hautmann e la fotografia

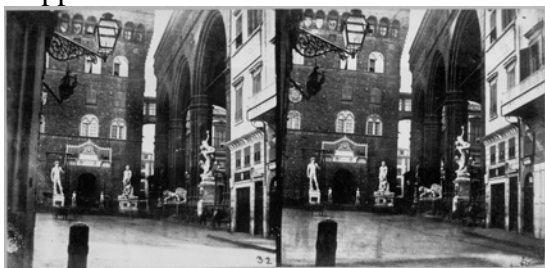
Circa trenta anni dopo la prima fotografia, realizzata da Joseph Nicephore Niepce nel 1826, Anton Hautmann, già noto scultore, aprì a Firenze uno Stabilimento fotografico. L’archivio fotografico da lui realizzato comprende un numero consistente di immagini stereoscopiche (173) con varie tematiche tutte impresse fra il 1858 ed il 1862 e stampate su carta all’albumina da negativo su lastra di vetro al collodio.



Coppia n. 1



Coppia n. 2



Coppia n. 3



Coppia n. 4



Coppia n. 5

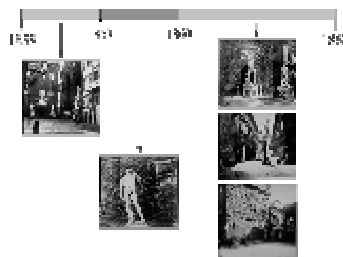


Figura 1 - Coppie stereoscopiche analizzate e loro collocazione cronologica (Archivio Giorgio Hautmann)

A. Hautmann impiegò diversi tipi di obiettivi. Infatti si può ipotizzare che abbia usato, per realizzare la maggior parte delle prese stereoscopiche, una macchina fotografica con un solo obiettivo spostabile lateralmente su un binario ed un altro apparecchio a due obiettivi. Egli adottò schemi di presa stereoscopici con basi di presa molto corte, tali da consentire la visione tridimensionale dell’oggetto fotografato, ma non adatte per un impiego metrico delle singole coppie, definite appunto pseudo-stereoscopiche a causa dei ridotti angoli di convergenza dei raggi proiettivi omologhi. La formazione artistica di Anton Hautmann è un fattore rilevante nella comprensione della qualità for-

male e della tecnica della sua opera fotografica, in particolare, la sensibilità di scultore trasparente quando ritrae le statue, come il David di Michelangelo. Dedica infatti molte prese al soggetto da diverse angolazioni, in modo da descrivere tutte le caratteristiche della statua, cercando di trasmettere la plasticità e lasciando un patrimonio fotografico che ha permesso di ricostruire un modello discreto, virtuale e tridimensionale della scultura.

Calibrazione di immagini non metriche

I principali problemi legati all'impiego di tecniche fotogrammetriche per l'elaborazione di immagini a fini metrici derivano dallo schema di presa adottato e dalla stima a posteriori dei parametri ottici della camera utilizzata. Nel caso in esame l'individuazione presenta notevoli problemi derivanti dalla difficoltà di riconoscere, su fotogrammi acquisiti circa centocinquanta anni fa, dei punti di riferimento rimasti invariati fino ad oggi e misurabili in maniera univoca con strumentazione topografica tradizionale.

Ulteriori problematiche affrontate in questa fase possono essere così sintetizzate:

- base stereoscopica troppo stretta per l'impiego delle metodologie fotogrammetriche classiche;
- assenza di qualsiasi informazione sulle caratteristiche delle camere usate;
- distorsioni ottiche difficilmente modellizzabili con i tradizionali algoritmi della fotogrammetria;
- stampa a contatto su carta all'albumina che impedisce l'individuazione univoca dei punti in fase d'ingrandimento a video, nonostante la digitalizzazione dei fotogrammi originali con scanner fotogrammetrico di elevata qualità Vexcel Ultrascan 5000TM a 3000 dpi;
- ampio intervallo temporale (quattro anni) in cui sono state realizzate le prese è causa di un'ulteriore indeterminazione del modello complessivo: si assume implicitamente l'ipotesi che in questi anni la statua non abbia subito modifiche nel proprio assetto ovvero la determinazione conduce alla stima di un assetto medio nel periodo;
- le ultime foto a disposizione sono relative al 1862, la statua venne spostata nel 1873, in questi anni si deve pensare che i problemi di origine statica continuino ad agire fino ad ottenere le lesioni ancora presenti.

Coppia stereoscopica	Punti d'appoggio	Focale (mm)
1 sinistra	31	167
1 destra	35	158
2 sinistra	49	157
2 destra	44	165
3 sinistra	37	133
3 destra	26	131
4 sinistra	53	142
4 destra	46	143
5 sinistra	63	139
5 destra	75	142



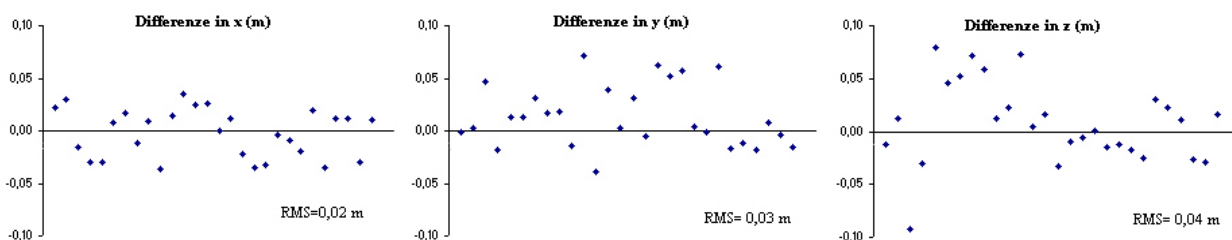
Tabella 1 - Risultati della calibrazione delle immagini di A. Hautmann e Figura 2 - Posizione dei centri di presa, determinata nel processo di calibrazione. I punti d'appoggio sono indicati in nero.

Le coordinate dei punti d'appoggio impiegati nelle successive fasi (accuratezza media pari a $1.5 \div 2$ cm – il piano di riferimento xy è stato assunto parallelo alla facciata di Palazzo Vecchio) derivano da misure topografiche classiche con il metodo dell'intersezione semplice in avanti di punti naturali distribuiti in tutto lo spazio circostante la statua: lungo la Loggia dei Lanzi, lungo gli edifici prospicienti la Piazza degli Uffizi e soprattutto sulla facciata di Palazzo Vecchio, posta proprio dietro il David. Si è quindi proceduto alla calibrazione di ogni singolo fotogramma inserendo come unici dati di partenza le dimensioni del fotogramma e le coordinate dei punti d'appoggio determinate nel

rilievo topografico. Per questa fase e nella successiva costruzione del modello fotogrammetrico è stato utilizzato il software “Photomodeler” Vers. 5.0 della Eos System Inc. La procedura di calibrazione eseguita ha fornito i parametri di orientamento interno (coordinate del punto principale e lunghezza focale) ed esterno (coordinate del centro di presa e i valori di assetto della camera) di ogni fotogramma (*tabella 1 e figura 2*). I dati ottenuti confermano che le basi di presa delle singole coppie sono molto corte rispetto alla distanza camera-oggetto e, quindi, non idonee per l’uso di tecniche fotogrammetriche tradizionali. Per la costruzione del modello tridimensionale è indispensabile dunque adottare metodi non convenzionali, che permettono l’uso contemporaneo di fotogrammi appartenenti a diverse coppie, così da avere angoli di convergenza dei raggi proiettivi fino a 80°. I valori trovati per le lunghezze focali aiutano l’analisi sulle varie camere fotografiche usate da A. Hautmann.

Modello fotogrammetrico e rilievo della statua in Galleria dell’Accademia

Il modello fotogrammetrico è stato inizialmente costruito con tutte le dieci immagini a disposizione impiegando i punti d’appoggio ed importando in un unico progetto i parametri di calibrazione di ciascun fotogramma ottenuti nella fase precedente. Successivamente, si è ritenuto non necessario l’inserimento di entrambe le immagini della coppia per un progetto di fotogrammetria non convenzionale, considerandolo influente ai fini della determinazione del modello globale. Infatti i punti collimati sulla stessa coppia, aventi angoli fra i raggi proiettivi decisamente ridotti, vengono stimati con elevate indeterminazioni. Sono stati collimati 42 punti d’appoggio, comuni ad almeno due fotogrammi di differenti coppie. Fra questi, 14 di essi sono stati fissati in modo che le coordinate non venissero modificate durante la compensazione.



$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (a - \bar{a})^2}{n}}$$
 dove: a = coordinata compensata nel modello fotogrammetrico; \bar{a} = coordinata dello stesso punto da rilievo topografico; n = numero dei punti.

Le differenze tra le coordinate rilevate per via topografica e quelle ottenute dal modello sui 28 punti di controllo (valore medio dell’angolo tra i raggi proiettivi 31°) presentano un RMS di 2 cm lungo l’asse x, di 3 cm lungo y e di 4 cm lungo z come rappresentato nei grafici precedenti (sistema di riferimento: piano xy parallelo alla Facciata di Palazzo Vecchio). Un’ulteriore analisi sugli scarti ottenuti sui punti di controllo dimostra che l’accuratezza del modello aumenta al crescere dell’angolo fra i raggi proiettivi. L’assetto della statua del David nel periodo 1858-1862 rispetto alla posizione attuale è stato stimato confrontando le coordinate di punti omologhi ottenute dal rilevamento fotogrammetrico con quelle misurate per via topografica diretta sulla scultura originale nella Galleria dell’Accademia (sull’Arengario di Palazzo Vecchio è attualmente collocata una copia). Nel rilievo sulla statua originale si è costruita una rete topografica costituita da tre stazioni intervisibili tra di loro: la compensazione rigorosa ai minimi quadrati delle misure effettuate sul David ha fornito posizioni con accuratezza non inferiore a 5 mm (*Figura 3*). Come oggetto di forma geometrica non regolare, la definizione dell’assetto della scultura è legato all’assunzione che la sua verticalità derivi dall’orizzontalità del piano d’appoggio. Le quote rilevate sul basamento mostrano che la statua è posta attualmente su un piano pressoché orizzontale (*Figura 4*).

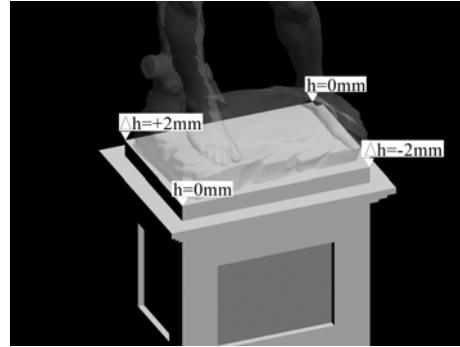
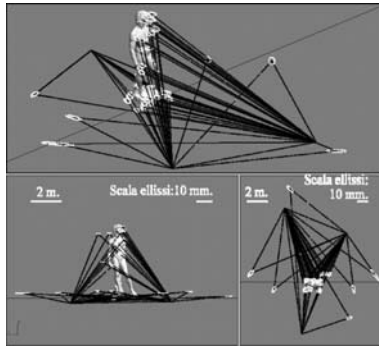
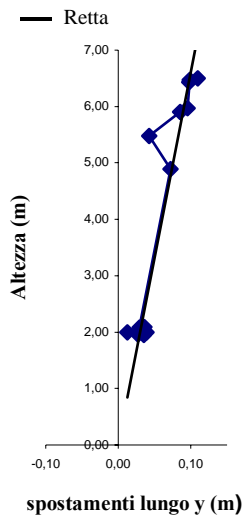


Figure 3 e 4 - Rete dei punti rilevati in Galleria dell'Accademia e giacitura attuale della statua

Il david nell'ottocento

Il modello fotogrammetrico permette di conoscere le coordinate tridimensionali di qualsiasi punto comune a più fotogrammi e rappresenta perciò l'unica possibilità di compiere un rilievo *nel passato*. Il sistema di riferimento usato nel modello fotogrammetrico è stato modificato scambiando gli assi z e y, e invertendo anche la direzione di quest'ultimo (*figura di tabella 2*). A tale nuovo sistema di coordinate è stato riportato il riferimento relativo al rilievo topografico attraverso rototraslazione. La supposta rotazione della statua si è verificata presumibilmente a causa di un cedimento della fondazione del basamento. Sarebbe stato utile ancorare i due sistemi di riferimento in corrispondenza della parte bassa del basamento, ma essendo il basamento della statua in Galleria dell'Accademia differente da quello sull'arengario di Palazzo Vecchio, la scelta di punti sulla parte bassa della statua, da considerare corrispondenti nei due sistemi, è stata obbligata. Per mezzo di tali (sei) punti si sono determinati i parametri di rototraslazione (residui in media inferiori al centimetro).



Spostamento in avanti della statua nel 1858-'62		
Quota (m)*	ΔX (m)	ΔY (m)
3,13	0,00	0,04
3,72	0,01	0,01
4,14	0,01	0,06
4,21	0,03	0,07
4,67	0,01	0,07
4,71	0,01	0,07
4,74 (lobo orecchio sinistro)	0,01	0,08



* quote misurate rispetto al piano d'appoggio della statua

Figura 5 - Inclinazione rispetto alla verticale della statua nel 1858-1862 e Tabella 2 - Differenza fra le coordinate rilevate in Galleria dell'Accademia e quelle del modello

Dal confronto tra le coordinate dei punti omologhi si sono ricavate le differenze di coordinate lungo l'asse x che rientrano nel range d'errore del rilievo fotogrammetrico e evidenziano inclinazioni stimate non significative lungo tale direzione. Lungo l'asse y si evidenziano invece differenze non trascurabili e crescenti all'aumentare della quota dei punti: i valori delle differenze tra le coordinate fotogrammetriche e quelle della statua nella posizione attuale evidenziano una inclinazione del David rispetto alla verticale nel periodo 1858-1862 di circa 1° in avanti (*tabella 2*). Ipotizzando verosimilmente una rotazione rigida della statua attorno al suo basamento e applicando l'inclinazione di 1° a partire da tale area, e non dai piedi della statua, si può valutare uno spostamento in avanti di

circa 11 cm in corrispondenza della sommità (*Figura 5*). La stima di spostamento in avanti di 1° della statua negli anni 1858-1862 fornita dal rilevamento fotogrammetrico, consente di effettuare utili valutazioni sulla resistenza a trazione del marmo in particolare nelle zone dove sono state riscontrate le lesioni.

Conclusioni

Il lavoro ha confermato l'importanza delle immagini storiche, non solo come patrimonio informativo che riproduce fedelmente e senza filtri l'oggetto fotografato, ma anche talvolta come unico mezzo per analizzare a posteriori, in termini sia qualitativi che metrici, beni di interesse storico-artistico, non più fisicamente presenti nel luogo di origine. Nonostante le immagini del David non siano state acquisite rispettando i metodi rigorosi della presa fotogrammetrica, esse possiedono caratteristiche tali da consentirne un loro utilizzo metrico grazie all'ausilio di tecniche cosiddette non convenzionali. La sensibilità di Hautmann come scultore ha fornito materiale fondamentale per poter ricostruire virtualmente la tridimensionalità della scultura attraverso prese realizzate da angolazioni molto differenti. Tale ricerca ha tratto vantaggio anche dalla procedura di sviluppo e stampa fotografica basata sulla tecnica a contatto che consente di riprodurre fedelmente il contenuto della presa fotografica e sul buono stato in cui le fotografie sono state conservate nel tempo da chi ne intuì l'elevato valore fin dalla loro realizzazione. Nonostante, inoltre, i limiti rappresentati da un arco cronologico definito (1858–1862), da immagini in cui non era semplice la collimazione per l'effetto dovuto all'albumina e dalla precisione del modello, si è riusciti a identificare e stabilire la tendenza dell'inclinazione che l'opera aveva prima del suo trasferimento nella Galleria dell'Accademia. In particolare la stima della variazione di circa 1° in avanti nell'assetto restringe l'intervallo di inclinazione ipotizzato dall'analisi di stabilità. L'indagine fotogrammetrica fornisce preziose indicazioni utili a garantire la conservazione e la salvaguardia futura di *un'opera d'arte*.

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto interuniversitario di ricerca COFIN-PRIN 2004 del MIUR coordinato dal Professor Monti del Politecnico di Milano.

Bibliografia:

- Borri A., Grazini A., Marchetti L. (2004) "Diagnostic analysis of the lesions and static condition of Michelangelo's David", *Exploring David, Diagnostic Tests and State of Conservation*, 211-220;
- Falletti F. (2004) "Historical research on the David's state of conservation", *Exploring David, Diagnostic Tests and State of Conservation*, 55-95;
- Fanelli G. (1999), *A. Hautmann Firenze in stereoscopia*, Octavo Editrice, Firenze;
- Fangi G. (1993) "Potenza e flessibilità di tecniche fotogrammetriche non convenzionali nei rilievi architettonici", *Bollettino Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, 3, 33-56;
- Fregonese L., Guerra F. (1994) "La fotogrammetria con immagini non metriche: il caso delle fotografie d'archivio", *Bollettino Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, 3, 165-196;
- Guerra F., Balletti C., Minitutti D., "Geoplantransf: a software for the georeferencing of digital images by using plane transformations"
- Kraus K., 1997. *Photogrammetry. Advanced Methods and Applications*, Dumler/Bonn, Vol. 2;
- Malan G., Rinaudo F., (1993) "Calibrazione di immagini non metriche: esperienze e prospettive" *Bollettino Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, n. 4, pp. 81-105;
- Radicioni F., Stoppini A. (1996) "Applicazione di tecniche fotogrammetriche non convenzionali e digitali al rilievo di una vetrata monumentale", *Bollettino Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia*, 3, 31-65.

Si ringraziano: *l'Archivio fiorentino Giorgio Hautmann; Franca Faletti – Direttrice della Galleria dell'Accademia; il Prof. Antonio Borri del DICA - Università degli Studi di Perugia; R. Scopigno e P. Cignoni dell'ISTI-CNR per aver messo a disposizione il modello laser-scanning 3D del David; il Prof. Gabriele Fangi della Facoltà di Ingegneria di Ancona per le scansioni fotogrammetriche digitali delle immagini originali di Anton Hautmann.*