

Proposta di mappatura colorimetrica
ad alta risoluzione della Sindone con scanner

G. Fanti

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Padova,
Via Venezia 1, 35137 Padova - Italy, e-mail: <fanti@dim.unipd.it>

Sommario

Precedenti lavori ^[1,2], hanno proposto di eseguire una mappatura colorimetrica ad alta risoluzione della Sindone di Torino mediante telecamere con sensori CCD. In essi sono stati evidenziati diversi problemi metrologici legati alla qualità delle immagini e, per risolverli, è stata proposta sia una attrezzatura sofisticata che utilizza sfere di integrazione e maschere di taratura, sia un metodo numerico capace di correggere a posteriori le immagini acquisite.

La complessità delle operazioni previste per la mappatura può essere semplificata dall'utilizzo di un normale scanner che risolve gran parte dei problemi legati all'illuminazione uniforme del soggetto ed alle distorsioni elettro-ottiche dell'immagine acquisita dalla telecamera.

Per esempio può essere utilizzato uno scanner formato A4, che acquisisce 4 x 22 immagini ad alta risoluzione in altrettanti files da 100 megabytes.

L'acquisizione può essere fatta appoggiando la Sindone sul piano dello scanner o appoggiando con cura lo scanner sulla Sindone, ma, per rendere la scansione il meno intrusiva possibile, si può montare lo scanner su un servomanipolatore a 2 assi che eviti qualsiasi contatto con il sacro lenzuolo. Si potrebbe inoltre sostituire il sistema di illuminazione in modo da eseguire anche scansioni della Sindone in luce ultravioletta ed a banda stretta.

Abstract

Previous works ^[1,2], proposed the execution of a colorimetric high-resolution mapping of the Turin Shroud by means of CCD sensors. There were evidenced some metrological problems connected to the image quality and, to solve them, both a sophisticated setup with integration spheres and calibration masks, and a numerical method capable of *a-posteriori* correcting the acquired images was proposed.

The complexity of the operations foreseen for the mapping may be simplified by employing a normal scanner that can solve many problems connected to the uniform lightning of the subject and the electro-optical distortions of the acquired image by the camera.

For example an A4 format scanner may be employed in the acquisition of 4 x 22 high resolution images in files of 100 megabytes.

The acquisition may be done leaning the Shroud on the scanner plane or accurately leaning the scanner on the Shroud, but, to have a scanning less intrusive as possible, the scanner may be mounted on a 2 axes robot in order to eliminate any contact with the holy sheet. The illumination system may be also substituted so as to also scan the Shroud in Ultra-Violet and narrow-band light.

Introduzione

I ricercatori interessati a studi approfonditi sulla Sindone di Torino (ST) fanno tuttora riferimento alle fotografie di Enrie, eseguite nel 1931, perché queste sono le migliori disponibili. E' necessario quindi colmare questa mancanza di disponibilità di immagini eseguendo dettagliate acquisizioni sia dell'insieme che dei particolari della ST con i sofisticati mezzi messi a disposizione dall'attuale tecnologia.

In particolare sarebbe molto importante costruire un "Grande atlante digitale della ST" che collezioni tutte le immagini acquisite dai diversi sistemi impiegati; l'atlante poi dovrebbe essere messo a disposizione dell'intero mondo scientifico che lo potrebbe utilizzare per future ricerche.

Esso dovrebbe comprendere un insieme di mappature: partendo da quelle a bassissima risoluzione che riguardano l'acquisizione totale della ST, si dovrebbe arrivare a quelle ad altissima risoluzione (microfotografie con ingrandimento 200 x) in corrispondenza di diversi dettagli quali immagine corporea, sangue, monetine, bruciature, etc..

Sarebbe importante archiviare nell'atlante immagini della ST certificate mediante taratura preventiva in modo che le informazioni sull'immagine, da esso ricavabili, siano di tipo quantitativo e non solo qualitativo.

Per esempio l'atlante potrebbe contribuire al miglioramento della conoscenza del meccanismo di formazione dell'immagine corporea; sarebbe forse più facile dedurre se l'immagine sia stata causata da una energia radiante correlabile alla superficie o al volume del corpo avvolto.

Nell'ambito del progetto di costruzione di tale atlante, in questa proposta si considera la possibilità di utilizzare uno scanner per eseguire alcune mappature della ST.

E' già stato già proposto^[1,2,3] di eseguire una mappatura colorimetrica ad alta risoluzione della ST mediante telecamere con sensori CCD, ma sono stati evidenziati diversi problemi metrologici legati alla qualità delle immagini. Tali sistemi infatti richiedono sia una attrezzatura sofisticata, sia metodi numerici capaci di correggere a posteriori le immagini acquisite.

Proposta

Nel riferimento ^[2] viene presentato un sistema di visione (figura 1) composto da telecamera 3-CCD, sfera di integrazione, maschera di taratura e supporto mobile per eseguire una mappatura colorimetrica della ST.

Le immagini acquisite con tale sistema dovevano essere successivamente corrette utilizzando un software capace di uniformare le variazioni dei livelli di luminanza conseguenti all'illuminazione ed all'ottica utilizzata (figura 2).

La complessità delle operazioni previste per la mappatura può essere semplificata se si utilizza uno scanner con matrice di sensori CCD lineare anziché bidimensionale.

In tale modo possono essere risolti alcuni problemi legati all'illuminazione uniforme del soggetto ed alle distorsioni elettro-ottiche dell'immagine acquisita dalla telecamera.

Per le acquisizioni può essere utilizzato anche un normale scanner formato A4, che acquisisce 4 x 22 immagini ad alta risoluzione in altrettanti files da 100 megabytes (figura 3). Con tale sistema si migliorerebbe la risoluzione e l'incertezza di luminanza sarebbe di un ordine di grandezza migliore rispetto a quella delle fotografie di Enrie.

Dato che l'illuminazione nei normali scanner è direzionale, è necessario eseguire almeno due, o meglio 4 acquisizioni della stessa immagine con lo scanner ruotato rispettivamente di 180° o 90°. In tale modo le 2 o 4 immagini acquisite dello stesso soggetto, possono successivamente essere elaborate con un software opportuno sia per eliminare l'effetto ombra dei fili di lino, sia per ricostruire un'immagine tridimensionale.

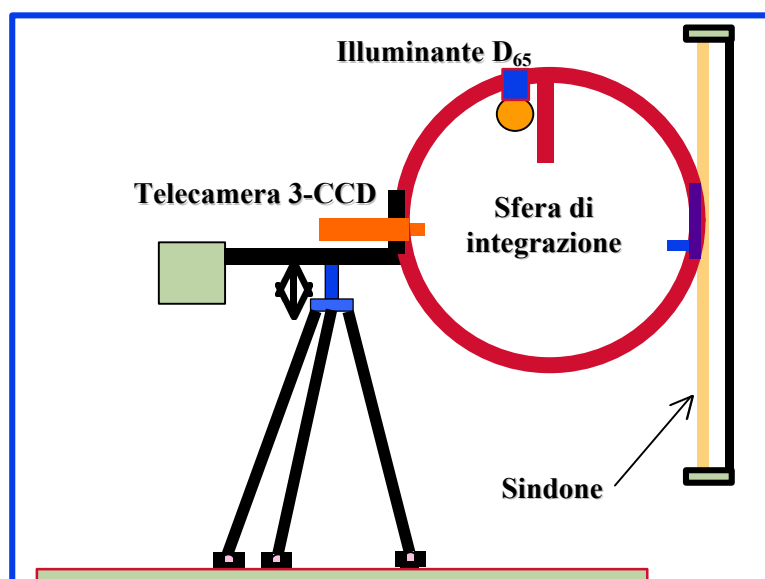


Figura 1: schema dell'apparato sperimentale proposto nel riferimento ^[2] per eseguire una mappatura colorimetrica della ST con una telecamera 3-CCD.

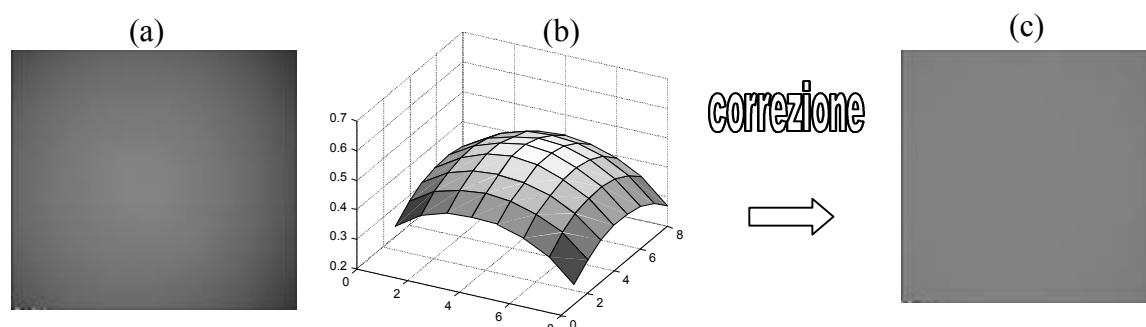


Figura 2: durante la fase di correzione a posteriori dell'immagine acquisita, nel riferimento ^[2] si considerano diversi effetti: tra questi, per rendere uniforme il livello di luminanza dell'immagine acquisita (a) si agisce tramite un software (b) che corregge ogni pixel acquisito dal sistema di visione e rende quindi l'immagine campione uniforme (c).

L'acquisizione può essere fatta appoggiando la ST sul piano dello scanner o appoggiando con cura lo scanner sulla ST, ma, per rendere il meno intrusiva possibile l'acquisizione, sarebbe preferibile montare lo scanner su un servomanipolatore a 2 assi (figura 4) capace di mantenere lo scanner ad una distanza di 3 mm dalla ST in modo da evitare ogni possibile contatto con il sacro lenzuolo. Con questo sistema, che deve essere opportunamente dimensionato in modo da eliminare ogni possibile oscillazione dello scanner, è inoltre possibile scegliere e memorizzare facilmente la posizione relativa fra scanner e ST.

Sarebbe inoltre da considerare la possibilità di modificare la struttura dello scanner in modo che il sistema di illuminazione non sia solo in luce visibile ma anche in luce ultravioletta e in luce visibile a banda stretta (solo rosso, verde, blu, etc.).

Per quanto riguarda l'impatto sulla ST è quindi da valutare se il contatto fra ST e scanner possa essere in qualche modo dannoso; altrimenti sé preferibile ricorrere al montaggio dello scanner su un servomanipolatore.

Anche per quanto riguarda i tempi necessari ad eseguire le acquisizioni, si deve prima definire accuratamente l'apparato sperimentale e le modalità di utilizzo; in particolare, immagini acquisite ad altissima risoluzione (100 MB) possono richiedere qualche minuto di elaborazione. Il servomanipolatore ha inoltre il pregio di accelerare l'accurato posizionamento dello scanner rispetto alla ST. In ogni caso, un'intera mappatura può essere eseguita in 20-50 ore.

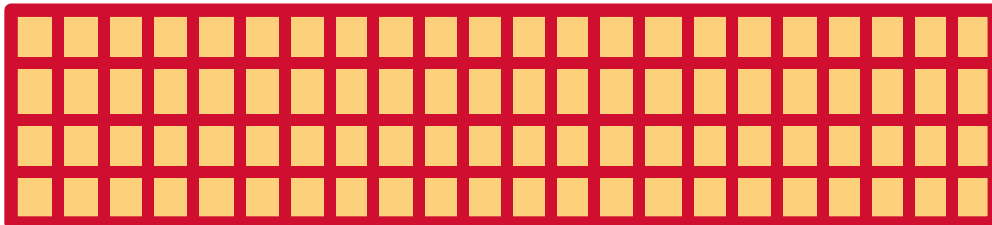


Figura 3: possibile mappatura eseguita da uno scanner formato A4; potrebbero essere acquisite 4 x 22 immagini della ST.

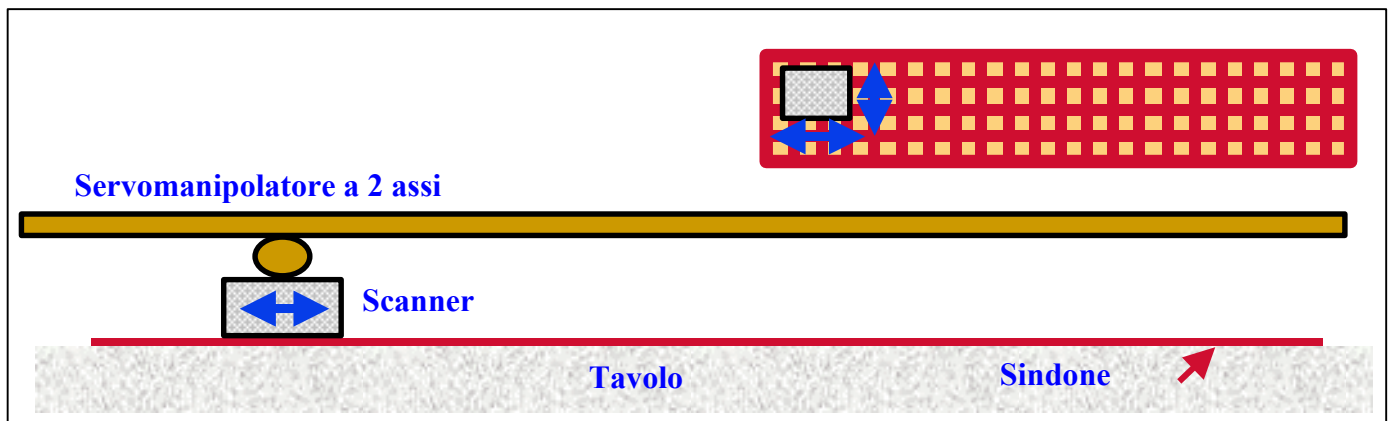


Figura 4: per minimizzare l'impatto dello scanner sulla ST, sarebbe opportuno montare lo scanner su un servomanipolatore a 2 assi capace di distanziare lo scanner di 3 mm dalla ST.

Caratteristiche metrologiche del sistema di acquisizione ed analisi dell'incertezza.

Perché le immagini acquisite abbiano informazioni non solo qualitative, ma anche quantitative, è necessario eseguire diverse tarature del sistema prima, durante e dopo l'esecuzione di ciascuna mappatura della ST.

Per eseguire le tarature è necessario analizzare l'incertezza di ripetibilità e di riproducibilità del sistema nelle particolari condizioni ambientali. Tali operazioni possono essere eseguite acquisendo più immagini di un foglio di Spectralon situato nella stessa posizione della ST. In tali condizioni è possibile controllare eventuali variazioni di luminanza causate da una possibile non uniforme illuminazione.

A titolo di esempio sono stati valutati alcuni parametri metrologici caratteristici di un normale scanner (Epson Perfection 1200 Photo) per valutare le possibili prestazioni del sistema proposto.

Ovviamente uno scanner scelto ad hoc, può migliorare alcune prestazioni.

Si sono rilevate le seguenti caratteristiche metrologiche:

- risoluzione spaziale: 1200 dpi (punti per pollice) o 47 pixel per millimetro.
- risoluzione di luminanza: 256 valori di grigio; la stessa risoluzione è assegnabile alle eventuali singole acquisizioni in banda stretta se si eseguono più acquisizioni con scanner e filtri (per esempio rosso, verde, blu, ultravioletto, etc.);
- incertezza relativa di luminanza nell'intera immagine $\pm 2/256$ (figura 5);
- ripetibilità migliore di $\pm 1/256$ con 3 acquisizioni dello stesso soggetto;
- incertezza di riproducibilità trascurabile se si segue una procedura di taratura con campioni di confronto;
- distanza possibile dal piano dello scanner: 3 mm;
- effetto ombra per illuminazione direzionale, da valutare tramite taratura preventiva (figura 6).

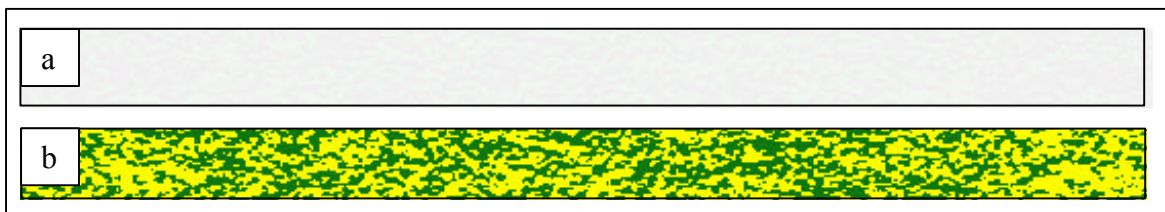


Figura 5: esempio di incertezza di luminanza; un foglio di colore uniforme in Spectralon risulta acquisito con un'incertezza relativa di luminanza di $\pm 2/256$: a) immagine acquisita direttamente; b) evidenziazione mediante falsi colori delle variazioni di luminanza dell'immagine (a).

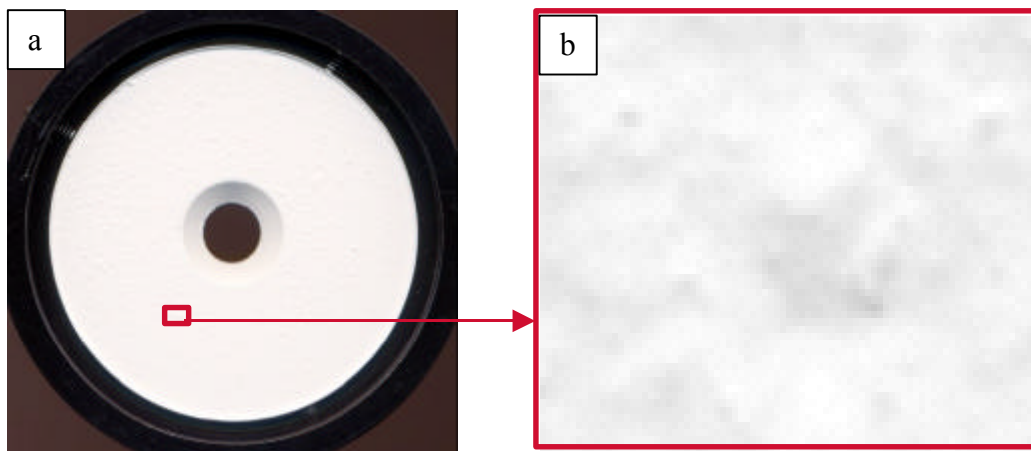


Figura 6: a) esempio di acquisizione di un disco in Spectralon distanziato dal piano dello scanner di 3 mm; b) particolare ad alto contrasto dell'effetto ombra dell'immagine (a) a causa della direzionalità dell'illuminazione dello scanner.

Come esempio è stata acquisita (figura 7) un pezzo di telo di lino avente una trama simile a quella della ST; per simulare i chiaroscuri dell'immagine sindonica, il telo di lino è stato strinato ponendolo in contatto con un medaglione di bronzo (telo concesso da Mario Moroni). Si può constatare l'ottimo risultato ottenuto anche osservando un dettaglio dell'acquisizione.

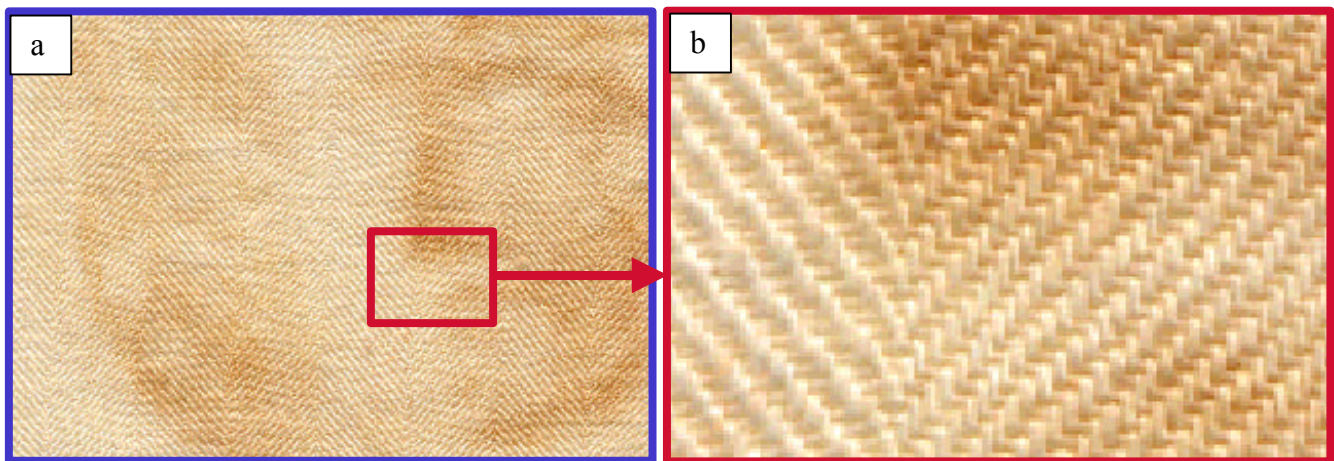


Figura 7: a) acquisizione di un telo di lino strinato (dimensioni 8,5 x 6 cm concesso da Mario Moroni) con scanner Epson Perfection 1200 Photo e risoluzione 1200 dpi; b) particolare dell'immagine (a).

Conclusioni

Per semplificare alcuni problemi metrologici legati alla qualità delle immagini, si propone di eseguire una mappatura colorimetrica della Sindone di Torino mediante scanner con sistema di illuminazione opportunamente modificato anziché utilizzare sistemi di visione basati su telecamera 3-CCD. Con tali sistemi dotati di sensori lineari si risolvono gran parte dei problemi connessi all'illuminazione uniforme del soggetto.

Lo scanner può essere montato su un servomanipolatore a due assi e può acquisire immagini della Sindone ad una distanza di 3 mm, evitando così problemi di contatto con il sacro lenzuolo.

Per ridurre l'effetto ombra si propone infine di eseguire più acquisizioni dello stesso soggetto con scanner ruotato di 90° o 180°.

Riferimenti bibliografici

- [1] G. Fanti: A proposal for high resolution colorimetric mapping of the Turin Shroud: analysis of metrological problems. Actes du IIIeme Symposium Scientifique International du CIELT sur le Linceul de Turin "non fait de main d'homme", Nice, Francia, Giugno 1997. Internet: <http://www.shroud.com/fanti.htm>.
- [2] M. De Cecco, G. Fanti: Studio di un sistema di visione per la mappatura colorimetrica della Sindone di Torino, Internet: <http://www.shroud.com/fanti4it.pdf>, III Congresso Internazionale di Studi sulla Sindone, Torino, 5-7 Giugno 1998. Registrato alla Procura della Repubblica - Tribunale di Padova 24-2-99.
- [3] G. Fanti, L. Zanin: A procedure for colorimetric absolute measurements by means of a 3-CCD camera, Proc. 9° Congrès International: Métrologie '99, Bordeaux, France, Ott. 1999