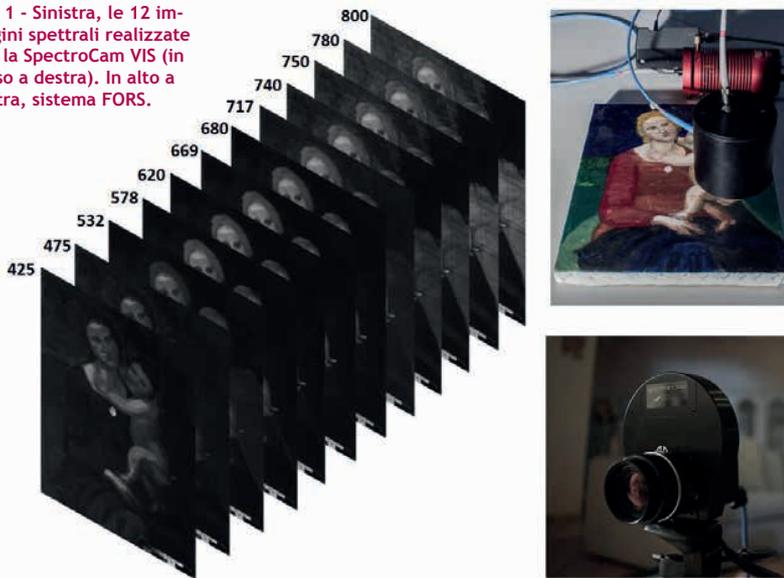


# IMAGING MULTISPETTRALE LOW-COST CON FILTRI INTERFERENZIALI

Fig. 1 - Sinistra, le 12 immagini spettrali realizzate con la SpectroCam VIS (in basso a destra). In alto a destra, sistema FORS.



di Antonino Cosentino

L'articolo presenta un semplice sistema multispettrale composto da una camera monocromatica CCD e da un set di 12 filtri interferenziali. Si discutono i risultati ottenuti su una riproduzione semplificata di un quadro rinascimentale realizzato con pigmenti storici e con ritocchi applicati con pigmenti moderni e si presenta anche l'indagine eseguita su un quadro devozionale di fine '800.

La spettroscopia di riflettanza è utilizzata per la mappatura e l'identificazione in remoto in un gran numero di settori industriali e di ricerca. Questa tecnica viene generalmente implementata con camere monocromatiche (toni di grigio): una camera CCD per il range UV-VIS-NIR (circa 360-1000 nm), una camera InGaAs [1], molto più costosa, per il range SWIR (circa 900-1700 nm) oppure una combinazione di entrambe. La camera CCD permette di osservare le transizioni elettroniche che sono in parte responsabili del colore dei pigmenti mentre con la camera SWIR si studiano le vibrazioni molecolari. Entrambe queste camere possono essere accoppiate a diversi sistemi per la selezione delle lunghezze d'onda per poter catturare immagini di una stessa scena a diverse bande spettrali per ricostruire gli spettri di riflettanza per ogni singolo pixel. Le immagini vengono prima registrate e calibrate e successivamente sono caricate sul cubo per l'imaging di riflettanza. In questo cubo gli assi X e Y rappresentano la posizione di ogni pixel sull'immagine e l'asse Z rappresenta invece il suo corrispondente valore (toni di grigio) al variare della lunghezza d'onda. Dal cubo è possibile ricostruire lo spettro di riflettanza per ogni pixel. Questi sistemi sono detti multispettrali o hyper-spettrali in base al numero di immagini spettrali che producono. Non esiste un numero riconosciuto spartiacque tra le due categorie ma generalmente si definiscono sistemi multispettrali quelli che forniscono meno di una dozzina di immagini spettrali [1, 2, 3, 4, 5]. I sistemi hyper-spettrali possono fornire molte più immagini, anche nell'ordine di un centinaio, utilizzando i filtri tunabili a cri-

stalli liquidi (LCTF) [6], oppure filtri opto-acustici (AOTF) [7] e reticoli di diffrazione [8]. È stata anche esplorata la possibilità di utilizzare normali fotocamere digitali invece che camere monocromatiche [9, 10]. È necessario ricordare che con il termine imaging multispettrale [11] si intende anche la metodologia che consiste nell'acquisire, anche con sistemi di imaging diversi, immagini di una scena in range spettrali molto grandi e distanti tra loro, come ad esempio la documentazione di un quadro con la fluorescenza ultravioletta, la riflettografia infrarossa e la radiografia X. L'imaging multi-spettrale e hyper-spettrale è stato utilizzato nel campo dei beni culturali per la mappatura e l'identificazione dei materiali nelle opere pittoriche: pigmenti [1, 3, 12], leganti [13] e interventi di restauro. Queste tecniche di imaging vengono utilizzate anche per incrementare la leggibilità di documenti antichi [14-16]. Bisogna sottolineare, comunque, che se i pigmenti sono miscelati o applicati in velature, il metodo spesso non restituisce risultati certi e sono necessarie indagini con tecniche spettroscopiche elementari o vibrazionali se si vogliono ottenere informazioni dettagliate e certe sui materiali. Non di meno, la spettroscopia di riflettanza per immagini è di grande aiuto per la definizione degli interventi di conservazione e per ricavare importanti informazioni sui materiali pittorici. Questo articolo introduce un sistema economico e molto semplice per ottenere l'identificazione e la mappatura di pigmenti storici e moderni e mostra la sua applicazione su una ricostruzione semplificata di un quadro rinascimentale e su un quadro



Fig. 2 - Da sinistra a destra, foto della tela preparata con il gesso ed il disegno preparatorio, foto del dipinto finito con i punti analizzati con la FORS e la MSI-12, mappatura dei pigmenti utilizzati, mappatura (classificazione) realizzata con le immagini MSI-12. Sotto, la corrispondente legenda delle mappature.

autentico del '800. Il basso costo del sistema, comporta una ridotta capacità analitica, rispetto a sistemi più complessi (filtri più numerosi e a banda più stretta). Il sistema è utile per la mappatura dei pigmenti, ma le conclusioni circa la loro identificazione vanno confermate con altri metodi spettroscopici.

### STRUMENTAZIONE

Il Sistema multispettrale presentato in questo articolo è molto economico perché è costituito da componenti semplici: una camera monocromatica CCD e 12 filtri interferenziali. Un numero di filtri passa banda maggiore e con larghezza di banda più stretta assicura una maggiore risoluzione dello spettro di riflettanza ricostruito ma allo stesso tempo comporta costi più alti e richiede una illuminazione dell'oggetto più intensa. Quest'ultima è una condizione che spesso è incompatibile con la conservazione degli oggetti più delicati o non è facilmente praticabile, come nel caso di oggetti di grandi dimensioni quali i dipinti murali. Specificatamente, questo sistema multispettrale è composto dalla camera CCD SpectroCam VIS della PixelTeq e da 12 filtri interferenziali distribuiti dalla stessa ditta, figura [1]. In questo articolo ci si riferirà a questo sistema con la sigla MSI-12. La SpectroCam VIS monta una CCD ad alta sensibilità da 5 MP e copre il range spettrale 360 - 1000 nm. Tra la lente ed il sensore CCD è montata la ruota porta filtri. La calibrazione in riflettanza delle immagini spettrali ottenute con i 12 filtri viene realizzata utilizzando i 4 toni di grigio ed il bianco ed il nero del target per la foto documentazione della AIC (American Institute of Conservation). Questo target viene posto sulla scena ed è presente in ogni immagine spettrale. Gli spettri di riflettanza ricostruiti dalle 12 immagini multispettrali sono identificati dalla sigla MSI-12 e sono rappresentati nelle figure con linee e quadri per distinguerli dagli spettri di riflettanza FORS (Fiber Optics Reflectance Spectroscopy), rappresentati invece da semplici linee. Gli spettri FORS riportati in questo lavoro sono sia gli spettri degli standard di pigmenti disponibili su un database on line [17] sia misure effettuate con lo stesso sistema descritto dettagliatamente nella stesso articolo. Si sottolinea che questo sistema multispettrale non prevede l'acquisizione di immagini nella regione dell'ultravioletto. Infatti, allo scopo di rendere il sistema il più semplice possibile dal punto di vista strumentale, si è scelto di usare solo sorgenti di luce nella regione visibile e vicino infrarosso, VIS-NIR. Specificamente,

sono state utilizzate per le indagini presentate in questo lavoro 2 lampade alogene (2 x 400 W). Ad ogni modo, il sistema funziona con ogni altra sorgente di luce visibile ed infrarossa. Le caratteristiche del set di filtri interferenziali del sistema sono state scelte con l'obiettivo di ottenere l'identificazione del maggior numero di pigmenti storici utilizzando, al contempo, il minor numero di filtri. Per questo motivo, i filtri scelti hanno bande spettrali di differente larghezza e le loro lunghezze d'onda centrali non sono distribuite uniformemente sul range spettrale documentato. I filtri usati sono (lunghezza d'onda centrale / larghezza di banda, nm): 425/50, 475/50, 532/16, 578/10, 620/10, 669/10, 680/10, 717/10, 740/10, 750/10, 780/20, 800/10.

### RISULTATI E DISCUSSIONE

Si presenta l'applicazione del sistema multispettrale per lo studio di un piccolo dipinto ad olio su tela (20 x 26 cm) che riproduce in maniera molto semplificata un'opera rinascimentale messa a punto con alcuni dei più diffusi pigmenti storici precedenti l'epoca industriale (ultramarino, azzurrite, ocra gialla, ocra rossa, biacca, verderame, nero di vite e malachite). Il dipinto presenta anche alcune parti con pigmenti moderni (verde di cromo idrato, rosso di cadmio e bianco di titanio) per simulare interventi di restauro e aggiunte, figura [2]. La tela è stata preparata con più strati di gesso (gesso di Bologna e colla di coniglio) e sull'ultimo strato è stata stesa una quadrettatura per simulare il metodo di copiatura di un cartone. Su quest'ultimo è stato tracciato il disegno preparatorio che presenta volutamente alcune modifiche, come la posizione del bambino e alcuni dettagli architettonici sullo sfondo. Questa riproduzione di un dipinto rinascimentale viene utilizzata per mostrare la capacità di questo sistema multispettrale di mappare i diversi pigmenti pittorici, sia storici che moderni. Questo processo si chiama classificazione spettrale e consiste nel segmentare una serie di immagini multi o hyper-spettrali in regioni con caratteristiche spettrali statisticamente simili. La mappatura dei pigmenti è possibile se questo sistema multispettrale riesce a ricostruire dalle 12 immagini spettrali, figura [1], spettri di riflettanza dei pigmenti sufficientemente risolti così da distinguere le caratteristiche spettrali peculiari di ciascuno. Si discutono di seguito gli spettri ricostruiti degli 11 pigmenti utilizzati su questo dipinto. Figura [3] mostra gli spettri MSI-12 e FORS dei punti 1 e 2 in-

sieme agli spettri FORS dei pigmenti azzurrite e ultramarino del database online. L'ultramarino e l'azzurrite erano i più importanti pigmenti blu minerali dell'epoca pre-industriale fino alla sintesi del blu di Prussia nella prima metà del '700. Gli spettri di riflettanza dei due pigmenti hanno ciascuno un massimo nella regione tra 450 e 475 nm [18]. Questi massimi sono molto vicini tra loro e, conseguentemente, i due pigmenti si possono distinguere per la diversa riflettanza nell'infrarosso. L'azzurrite assorbe l'infrarosso e l'ultramarino lo riflette. Il punto 1 rappresenta l'area del cielo realizzata con l'ultramarino. Lo spettro FORS si sovrappone perfettamente a quello del database e lo spettro MSI-12 riesce a riprodurre il massimo e la riflettanza nell'infrarosso caratterizzanti l'ultramarino. Analogamente, gli spettri FORS ed MSI-12 del punto 2, area del cielo realizzata con l'azzurrite, mostrano una riflettanza bassa per tutto il range spettrale analizzato a parte il massimo nella regione del blu e si sovrappongono entrambi allo spettro FORS dell'azzurrite del database. La regione blu dello spettro è ricostruita con soli due filtri interferenziali e con la larghezza di banda più grande (50 nm). Tuttavia, considerando che i massimi in questa regione sono molto larghi, questa scelta dei filtri non riesce a fornire una ricostruzione soddisfacente.

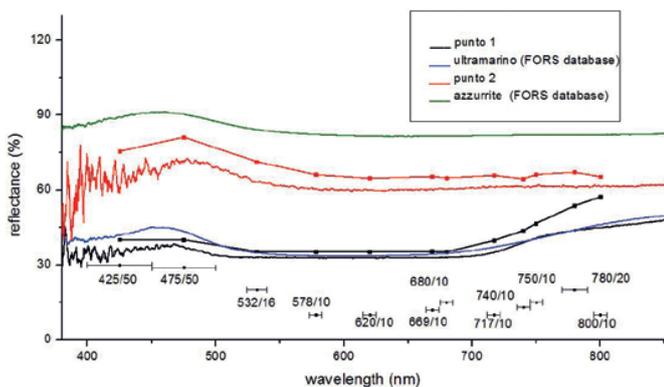


Fig. 3 - Spettri FORS e MSI-12 dei punti 1 e 2 e spettri FORS dell'azzurrite e dell'ultramarino.

Il punto 3, figura [4], si trova sui capelli della Vergine e il suo spettro FORS identifica chiaramente un'ocra gialla per la caratteristica forma ad S del suo spettro di riflettanza [19]. Il corrispondente spettro MSI-12 riesce a ricostruire la S grazie alla maggiore risoluzione nella regione dell'infrarosso.

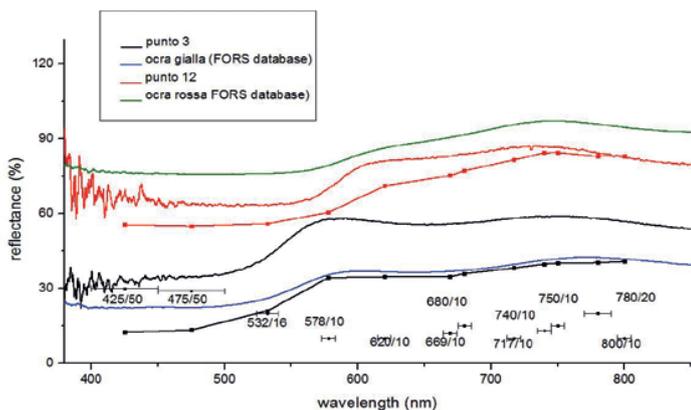


Fig. 4 - Spettri FORS e MSI-12 dei punti 3 e 12 e spettri FORS dell'ocra gialla e ocra rossa.

rosso e del lontano rosso che lo specifico set di filtri interferenziali fornisce. Analogamente, la stessa figura mostra che anche il rosso della veste della Vergine (punto 12) si identifica come ocra rossa per la S del suo spettro di riflettanza. Sono stati applicati 3 pigmenti verdi, due usati fin dall'antichità, verderame e malachite e il terzo moderno, verde di cromo idrato. Figura [5] mostra gli spettri della malachite e del verde cromo idrato. Il primo (punto 8) è riconoscibile in tutti gli spettri per la sua larga banda di assorbimento tra 600 nm e 900 nm ed il suo largo massimo tra 525 nm e 575 nm [18]. D'altra parte, il verde cromo idrato (punto 7) si riconosce in entrambi gli spettri, MSI-12 e FORS, e si differenzia per un massimo molto più stretto nella regione del verde e la forte riflettanza nell'infrarosso. Insieme al bianco di titanio ed al bianco di zinco questo verde è tra i pochi pigmenti che beneficerebbero dell'estensione della misura di riflettanza nella regione dell'ultravioletto in quanto i primi hanno delle bande di assorbimento oltre i 400 nm e questo verde ha un massimo nell'UV.

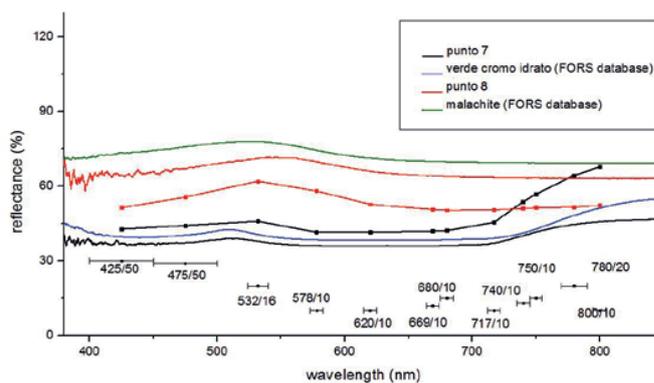


Fig. 5 - Spettri FORS e MSI-12 dei punti 7 e 8 e spettri FORS della malachite e del verde cromo idrato.

Gli spettri del verderame (punto 6) sono mostrati in figura [6] dove si riconosce il suo picco più stretto rispetto alla malachite con cui condivide il contenuto in rame e la bassa riflettanza per tutto lo spettro. La stessa figura mostra anche gli spettri del punto 11 sulla manica destra della veste della Vergine che rappresenta uno dei due ritocchi con pigmenti moderni. Infatti, in tutti gli spettri è riconoscibile il rosso di cadmio per il ripido flesso intorno a 600 nm.

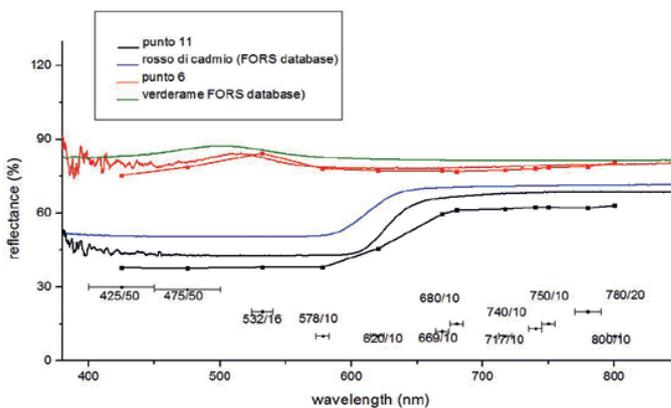


Fig. 6 - Spettri FORS e MSI-12 dei punti 6 e 11 e spettri FORS del verderame e del rosso di cadmio.

L'ultimo ritocco e' rappresentato dal gioiello sulla veste della Vergine (punto 5). Gli spettri in figura [7] non permettono di rilevare la caratteristica spettrale piu' importante del bianco di titanio, ovvero l'assorbimento nell'ultravioletto. Il pigmento e' stato miscelato con l'ocra rossa che domina lo spettro del pigmento bianco altrimenti piatto su tutto il range rilevato. Analogamente, la stessa figura mostra gli spettri dell'incarnato (punto 13) ottenuti miscelando la biacca con l'ocra rossa. La prima non ha caratteristiche spettrali e quindi lo spettro della miscela e' dominato solo dalla S dell'ocra rossa.

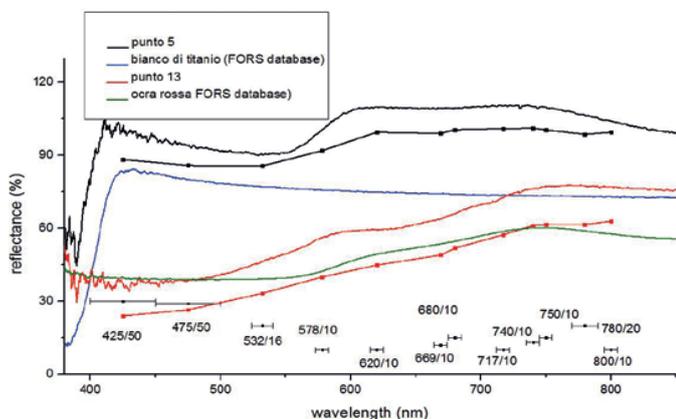


Fig. 7 - Spettri FORS e MSI-12 dei punti 5 e 13 e spettri FORS del bianco di titanio e dell'ocra rossa.

Grazie all'analisi condotta e' stato possibile verificare che il sistema MSI-12 e' in grado di ricostruire spettri di riflettanza che rappresentano adeguatamente le caratteristiche spettrali dei pigmenti utilizzati. Ha quindi senso tentare la classificazione dell'immagine, figura [2], che, infatti, con successo si sovrappone alla mappa dei pigmenti applicati, riportata sempre nella stessa figura. Il sistema multispettrale e' stato poi testato anche su un dipinto autentico "Madonna e 4 Angeli", figura [8], olio su tela, fine 800. Questo quadro e' stato gia' studiato con la tecnica dell'imaging multispettrale [11] inteso nell'eccezione di collezione di immagini in range spettrali molto larghi e differenti e le immagini sono state usate per dimostrare l'uso dei tablet come sussidio per l'utilizzo di questa documentazione [20]. Il quadro e' stato anche esaminato con la tecnica FORS [21] e quindi rappresenta un ottimo caso studio per verificare la qualita' della ricostruzione degli spettri MSI-12 su un manufatto autentico.

Dall'indagine FORS era emerso l'uso del vermiglione (solfo di mercurio) per il drappo rosso dell'angelo in alto a sinistra (area 1 in figura [8]) e l'uso di rosso di cadmio per i ritocchi di restauro presenti sullo stesso drappo. Dal momento che gli spettri di riflettanza del vermiglione e del rosso di cadmio sono molto simili, non era stato possibile distinguere i due pigmenti con la FORS ed infatti la presenza del rosso di cadmio era stata documentata con la tecnica della fotografia IRF (fluorescenza infrarossa) [22] in cui questo pigmento si distingue per la forte emissione nell'infrarosso. Conseguentemente, anche il sistema MSI-12 non puo' distinguere tra i due pigmenti, figura [9], tuttavia, risulta utile per mappare i due rossi che possono poi essere distinti grazie alla foto IRF. Nelle immagini MSI-12 il punto di flesso

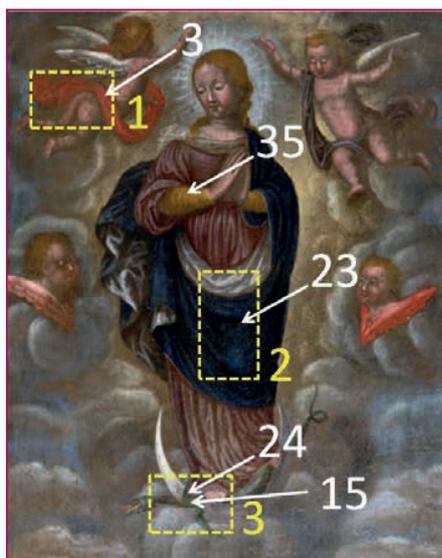


Fig. 8 - Madonna e 4 Angeli, olio su tela, fine '800. Area e punti analizzati.

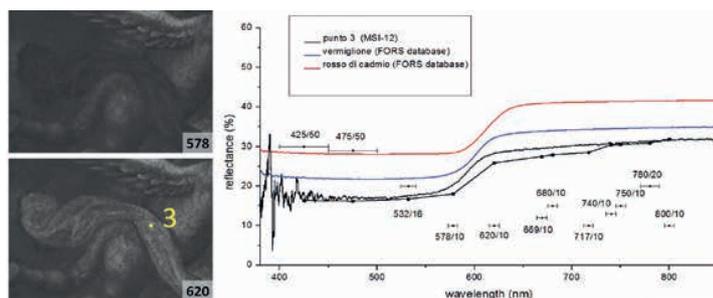


Fig. 9 - Area 1, spettri FORS e MSI-12 del punto 3 e spettri FORS del vermiglione e del rosso di cadmio.

del vermiglione e del rosso di cadmio a 600 nm e' responsabile del forte contrasto tra le immagini spettrali a 578 nm e 620 nm, figura [9]. Piu' immediata e determinante e' stata l'identificazione dell'ocra gialla per la veste della Vergine (punto 35), figura [10].

Il verde del serpente, area 3, e' stato evidentemente ritoccato come si relava dalla foto di fluorescenza ultravioletta (UVF), figura [11]. D'altra parte anche l'immagine spettrale a 800 nm riesce a distinguere i pigmenti. Gli spettri ricostruiti sono differenti e lo spettro del verde originale (punto 24) suggerisce terra verde, mentre il pigmento del restauro (punto 15) non e' stato identificato, figura [12].

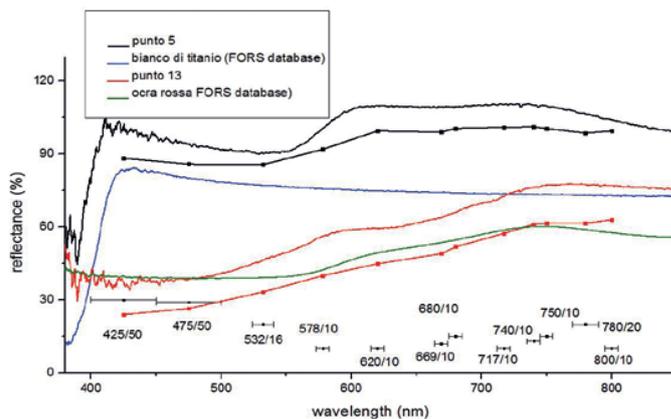


Fig. 10 - Spettri FORS e MSI-12 del punto 35 e spettro FORS dell'ocra gialla.

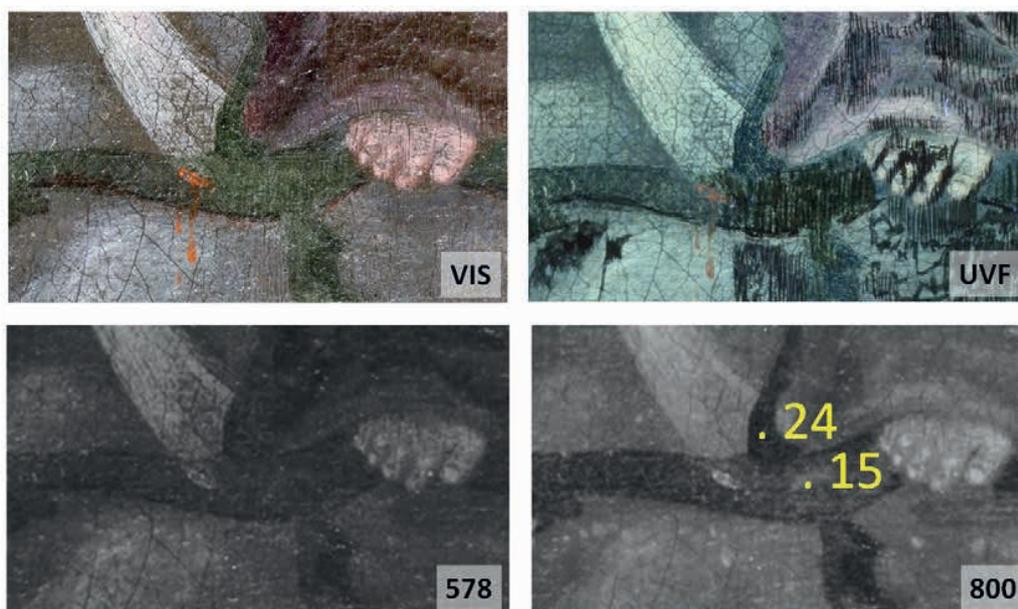


Fig. 11 - Area 3. In alto, foto nel visibile e foto di fluorescenza ultravioletta. Sotto, immagini spettrali a 578 nm e 800 nm.

Il pigmento blu della veste, punto 23 area 2, si caratterizza per un flesso nell'infrarosso, figura [13], tuttavia, non e' stato possibile identificarlo. Tra i pigmenti blu del database online solo l'indaco si avvicina per le caratteristiche dello spettro ma il suo flesso e' molto piu' spinto nell'infrarosso che il pigmento in esame.

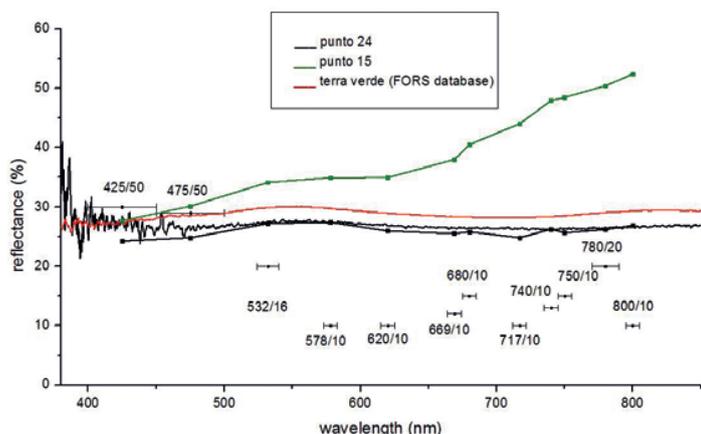


Fig. 12 - Spettri FORS e MSI-12 del punto 24, spettro MSI-12 del punto 15 e spettro FORS della terra verde.

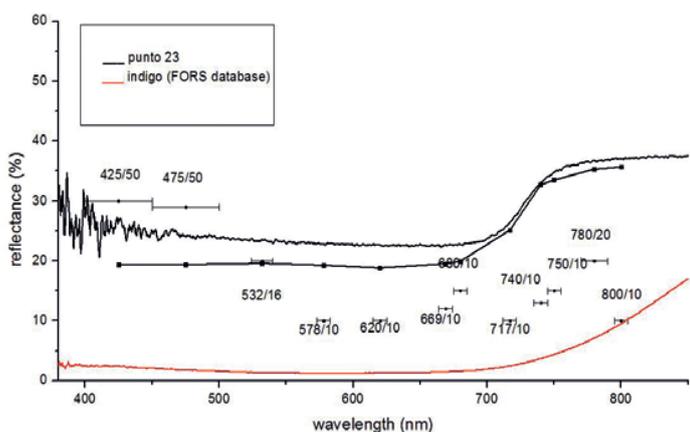


Fig. 13 - Spettri FORS e MSI-12 del punto 23, spettro FORS dell'indigo.

## CONCLUSIONI

Questo articolo ha introdotto un semplice sistema multi-spettrale composto da una CCD ed un set di 12 filtri interferenziali per l'identificazione e la mappatura dei pigmenti. Le immagini prodotte sono utilizzate per ricostruire gli spettri di riflettanza per ogni pixel della scena ripresa. La regione del vicino ultravioletto non e' coperta dal set di filtri, in quanto l'obbiettivo era mantenere la configurazione del sistema il piu' semplice possibile e quindi si e' scelto di lavorare solo con sorgenti di luce visibile ed infrarossa, come appunto le comuni lampade alogene. D'altra parte solo alcuni pigmenti presentano caratteristiche spettrali importanti nella regione dell'ultravioletto vicino (bianco di titanio, bianco di zinco ed il verde di cromo) per gli altri il range spettrale tra il visibile e l'infrarosso contiene la maggior parte delle caratteristiche utile alla loro identificazione. Il sistema e' stato testato con successo su una piccola e semplificata riproduzione di un quadro rinascimentale realizzata con pigmenti storici e con pigmenti moderni per alcuni ritocchi. Gli spettri di riflettanza ricostruiti dalle 12 immagini spettrali sono riusciti ad identificare e mappare molti dei pigmenti utilizzati ed alcuni anche in miscela. Infine, il sistema e' stato testato anche su un dipinto su tela di fine '800 e si e' verificato come gli spettri siano compatibili con quelli acquisiti con un sistema per spettroscopia di riflettanza (FORS). Il sistema multispettrale proposto costituisce un valido strumento per la diagnostica per immagini nel settore dei beni culturali grazie alla sua semplicita' e, conseguentemente, al suo costo contenuto. Va sottolineato comunque che l'identificazione dei pigmenti ottenuta con questo sistema va sempre considerata preliminare e dev'essere confermata con altre tecniche spettroscopiche.

## RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia PixelTeq per aver messo a disposizione per questo lavoro la camera SpectroCam VIS ed il set di filtri interferenziali.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J.K. Delaney, P. Ricciardi, L. Deming Glinsman, M. Facini, M. Thoury, M. Palmer, E. René de la Rie "Use of imaging spectroscopy, fiber optic reflectance spectroscopy, and X-ray fluorescence to map and identify pigments in illuminated manuscripts" *Studies in Conservation*, volume 59, 2, pp 91-101, 2014.
- [2] J. A. Toque, Y. Sakatoku, A. Ide-Ekessabi "Pigment identification by analytical imaging using multispectral imaging" 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp 2861 - 2864, 2009.
- [3] P. Ricciardi, J. K. Delaney, L. Glinsman, M. Thoury, M. Facini, E. René de la Rie "Use of visible and infrared reflectance and luminescence imaging spectroscopy to study illuminated manuscripts: pigment identification and visualization of underdrawings" O3A: Optics for Arts, Architecture, and Archaeology II, edited by Luca Pezzati, Renzo Salimbeni, Proc. of SPIE Vol. 7391, 2009.
- [4] A. Pelagotti, A. Del Mastio, V. Cappellini "Multispectral and multi-modal imaging data processing for the identification of painting materials" *Lasers in the Conservation of Artworks* - Castillejo et al. (eds) Taylor & Francis Group, London, pp 454-458, 2008.
- [5] A. Pelagotti, A. Del Mastio, A. De Rosa, A. Piva "Multispectral Imaging of Paintings. A way to material identification" *IEEE Signal Processing Magazine*, 27, pp 27-36, 2008.
- [6] M. Attas, E. Cloutis, C. Collins, D. Goltz, C. Majzels, J. R. Mansfield, H. H. Mantsch "Near-infrared spectroscopic imaging in art conservation: investigation of drawing constituents" *Journal of Cultural Heritage* 4 127-136, 2003.
- [7] H. Liang, K. Keita, C. Pannell, J. Ward "A SWIR Hyperspectral Imaging System for Art History and Art Conservation" *Fires & Congressos*, Alicante, Spain, 2010.
- [8] J. K. Delaney, J. G. Zeibel, M. Thoury, R. Littleton, M. Palmer, K. M. Morales, E. René de la Rie, A. Hoenigswald "Visible and Infrared Imaging Spectroscopy of Picasso's Harlequin Musician: Mapping and Identification of Artist Materials in Situ" *Applied Spectroscopy* volume 64, issue 6, pp 584-594, 2010.
- [9] Y. Zhao, R.S. Berns, L.A. Taplin, J. Coddington "An Investigation of Multispectral Imaging for the Mapping of Pigments in Paintings" *Proc. SPIE 6810, Computer Image Analysis in the Study of Art*; San Jose, CA, 2008.
- [10] J. Blazek, J. Soukup, B. Zitova, J. Flusser, T. Tichy, J. Hradilova "Low-cost mobile system for multispectral cultural heritage data acquisition" *Digital Heritage International Congress*, IEEE, pp 73-79, 2013.
- [11] A. Cosentino "A practical guide to Panoramic Multispectral Imaging" *e-conservation Magazine*, 25, pp 64-73, 2013.
- <http://www.e-conservationline.com/content/view/1100>
- [12] K. Melessanaki, V. Papadakis, C. Balas, D. Anglos "Laser induced breakdown spectroscopy and hyper-spectral imaging analysis of pigments on an illuminated manuscript" *Spectrochim Acta Part B*, 56, pp 2337-2346, 2001.
- [13] K. A. Dooley, S. Lomax, J. G. Zeibel, C. Miliani, P. Ricciardi, A. Hoenigswald, M. Loew, J. K. Delaney "Mapping of egg yolk and animal skin glue paint binders in Early Renaissance paintings using near infrared reflectance imaging spectroscopy" *Analyst*, volume 138, pp 4838-4848, 2013.
- [14] S. J. Kim, F. Deng, M. S. Brown "Visual enhancement of old documents with hyperspectral imaging" *Pattern Recognition Volume 44, Issue 7*, Pages 1461-1469, 2011.
- [15] R. Padoan, T. Steemers, M. Klein, B. Aalderink, G. De Bruin "Quantitative hyperspectral imaging of historic documents" In *Proceedings of the 9th International Conference on NDT of Art*, Jerusalem, Israel, 2008.
- [16] M. Lettner, M. Diem, R. Sablatnig, H. Miklas "Registration and enhancing of multispectral manuscript images" *Proc. 16th European Signal Processing Conference (EUSIPCO08)*, Lausanne, Switzerland, 2008.
- [17] A. Cosentino "FORS spectral database of historical pigments in different binders" *e-conservation Journal* 2, pp 57-68, 2014
- <http://e-conservation.org/issue-2/36-FORS-spectral-database>
- [18] M. Picollo, M. Bacchi, A. Casini, F. Lotti, S. Porcinai, B. Radicati, L. Stefani "Fiber Optics Reflectance Spectroscopy: a non-destructive technique for the analysis of works of art" *Optical Sensors and Microsystems: New concepts, Materials, Technologies*, edited by Martellucci et al., Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, 2000.
- [19] R. N. Clark "Reflectance spectra, rock physics and phase relations. In: *Handbook of Physical Constants*. Published by the American Geophysical Union" pp. 178-188, 1995.
- [20] A. Cosentino "Ipad e tablet per l'indagine multispettrale di opera d'arte" *Archeomatica*, 2, pp 6-10, 2013.
- [http://issuu.com/geomedia/docs/archeomatica\\_2\\_2013/7e=1225360/5005842](http://issuu.com/geomedia/docs/archeomatica_2_2013/7e=1225360/5005842)
- [21] A. Cosentino "FORS, Fiber Optics Reflectance Spectroscopy con gli spettrometri miniaturizzati per l'identificazione dei pigmenti" *Archeomatica*, 1, Marzo 2014.
- [http://issuu.com/geomedia/docs/archeomatica\\_1\\_2014](http://issuu.com/geomedia/docs/archeomatica_1_2014)
- [22] A. Cosentino "Identification of pigments by multispectral imaging a flowchart method" *Heritage Science*, 2:8, 2014.
- <http://www.heritagesciencejournal.com/content/pdf/2050-7445-2-8.pdf>

## ABSTRACT

*Multispectral imaging systems are used in art examination in order to map and identify pigments and binders as well as retouches. A monochromatic camera (CCD or InGaAs) is combined with an appropriate wavelength selection system, simple as a set of interferential filters or powerful but expensive as liquid-crystal tunable filters. A variable number of spectral images of a scene are then acquired and stacked into a reflectance imaging cube to be used to reconstruct reflectance spectra from each of their pixel.*

*This work presents an affordable and simple multispectral imaging system composed of a monochromatic CCD camera and a set of only 12 interferential filters. The system was tested on a mock-up painting realized with traditional and modern pigments and also on a late 1800 authentic oil painting. This system is of particular interest for the cultural heritage sector because of its hardware simplicity, the acquisition speed as well as its lightweight and small dimensions. It must be pointed out that since its small number of filters, this system has limited analytical capacity and it must be used only for the preliminary mapping and identification of the pigments.*

## PAROLE CHIAVE

IMAGING MULTISPETTRALE; IDENTIFICAZIONE DEI PIGMENTI; FORS; SPETTROSCOPIA DI RIFLETTANZA

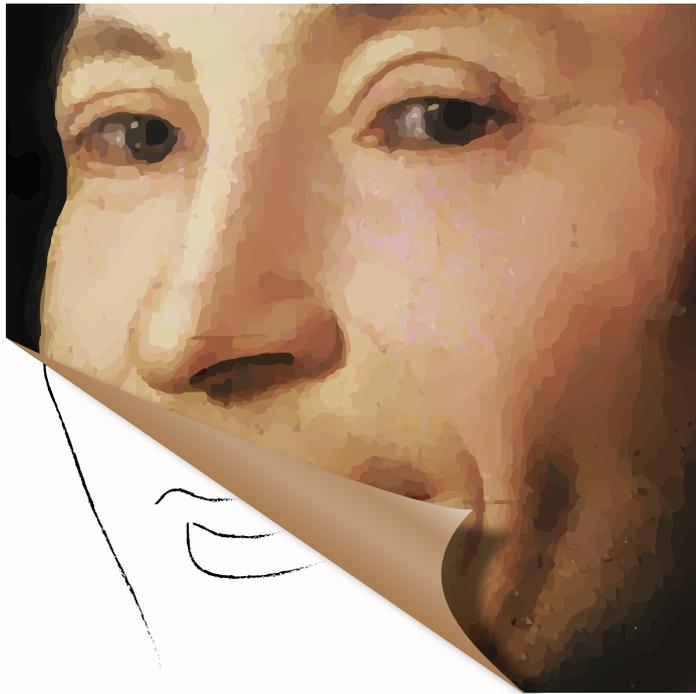
## AUTORE

ANTONINO COSENTINO  
 "CULTURAL HERITAGE SCIENCE OPEN SOURCE"  
 ADDRESS PIAZZA CANTARELLA 11, ACI SANT'ANTONIO, 95025, ITALY  
 CHSOPENSOURCE.ORG  
 ANTONINOCOSE@GMAIL.COM



rendering - video 3D - virtual & augmented reality  
 www.noreal.it info@noreal.it  
 via Ugo Foscolo 4 - 10126 Torino - Italy  
 Tel. 011 5786823 Skype: NoReal.it





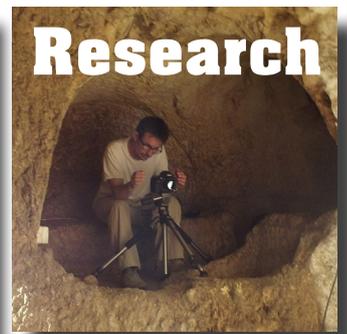
# Cultural Heritage Science Open Source

## **Scientific Examination for Works of Art** for Authentication, Conservation and Documentation

CHSOS develops and promotes innovative and affordable methodologies for art examination and documentation.

- Scientific examination of works of art for collectors, conservators and appraisers.
- Training programs for art collectors, conservators, art historians and appraisers.
- Tools for photographers, conservators and conservation scientists.

visit [chsopensource.org](http://chsopensource.org)



CHSOS, Cultural Heritage Science Open Source, Dr Antonino Cosentino  
Piazza Cantarella 11, Aci Sant'Antonio, Italy, VAT 04994440875  
Visit [chsopensource.org](http://chsopensource.org)