

Oltre alle aree in cui il pigmento è chiaramente distinguibile, questa tecnica ne mostra la presenza anche in zone dove le tracce di pigmento non sono più visibili ad un'osservazione ad occhio nudo, come ad esempio nell'area indicata dalle frecce in figura 163.



Fig. 163 - particolare con la tecnica VIL dell'ala del cherubino.

Altre tracce sono presenti nel fiocco retto dal cherubino, sia sulla superficie esterna sia nella parte della decorazione più interna (Fig. 164).

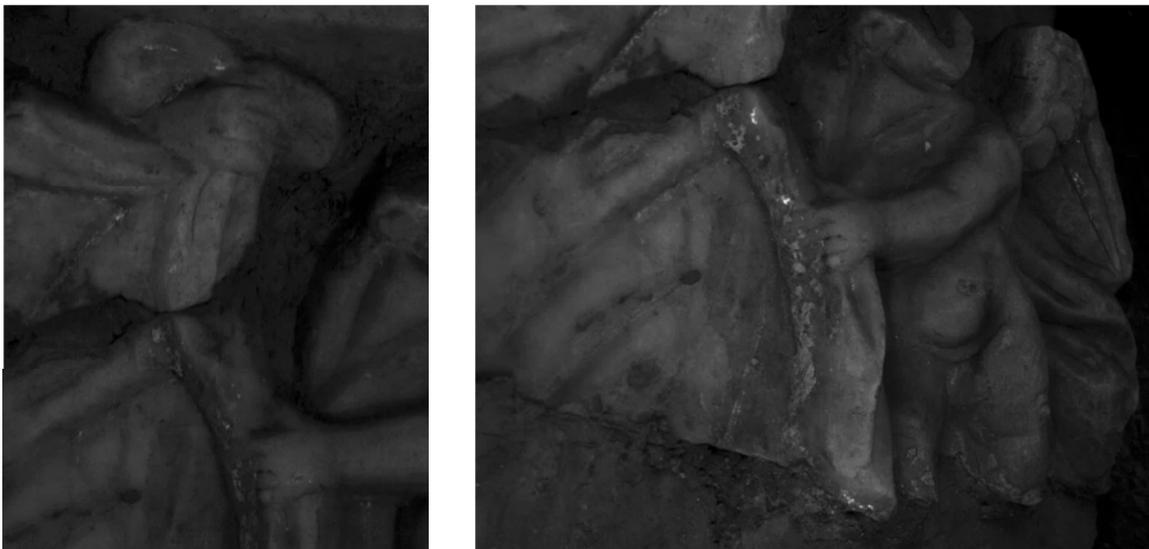


Fig. 164 - particolare del fiocco in VIL.

Anche nel frammento 917C sono state rilevate tracce di blu egizio. Nell'immagine in figura 165 si osservano tracce di blu egizio, oltre che in corrispondenza del braccio anche sulla veste del ragazzo, in questo caso non più visibili ad occhio nudo.

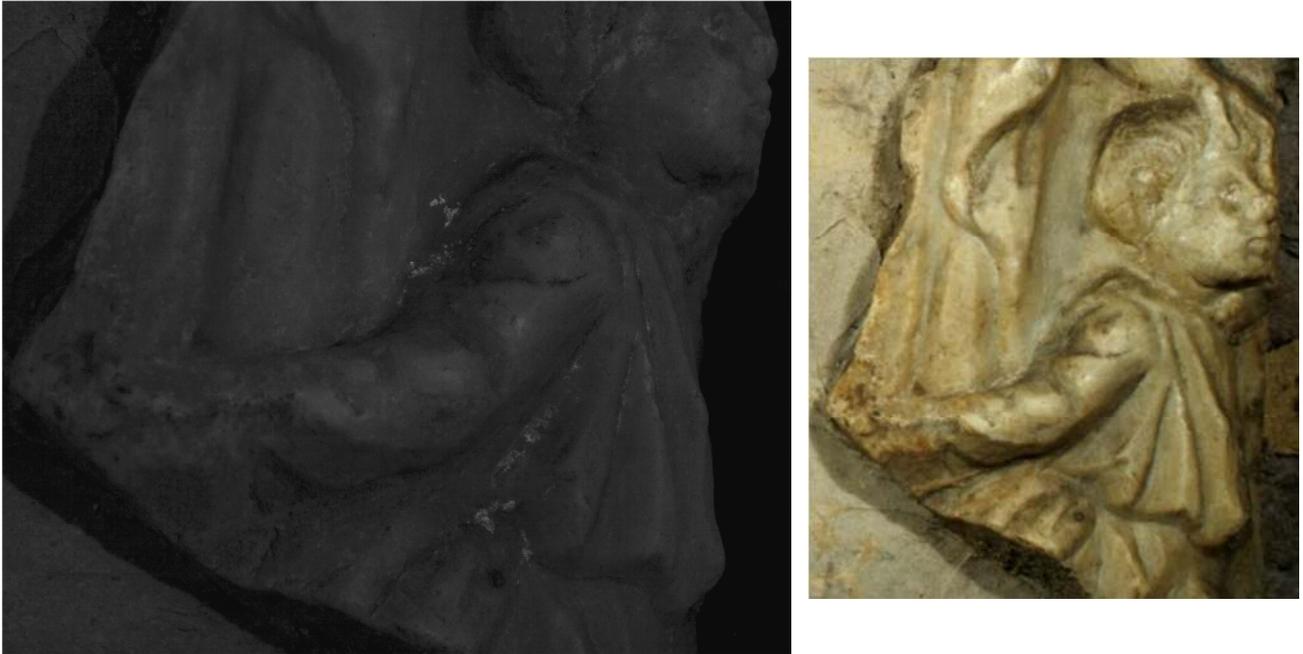


Fig. 165 - particolare della veste del ragazzino nel frammento 917C.

Dal punto di vista delle analisi puntuali non è stato possibile analizzare gli stessi punti con entrambe le tecniche. I due strumenti (FORS e XRF) hanno la testa di misura con dimensioni diverse e nel caso dell'XRF occorre tener presente anche l'ingombro dello strumento stesso che non ha permesso di misurare punti del decoro molto rientranti.

Per questo motivo alcuni dei punti scelti per l'analisi XRF sono diversi rispetto a quelli scelti per le analisi in riflettanza.

Dato che le tecniche di fotografia multispettrale non hanno evidenziato la presenza di pigmenti sul lato sinistro del sarcofago, le indagini puntuali sono state focalizzate solo sul lato destro.

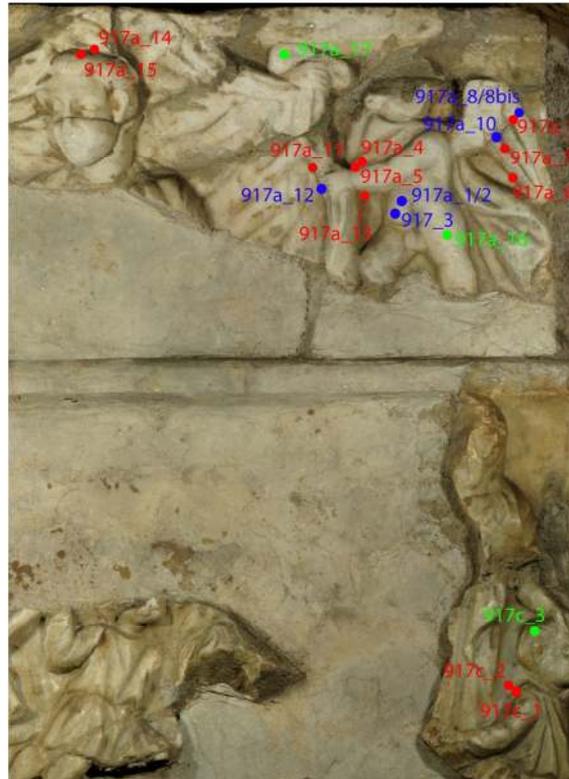


Fig. 166 - particolare con i punti di misura. In rosso i punti analizzati solo con la tecnica FORS, in blu quelli analizzati sia con la FORS che con l'XRF e in verde i punti misurati solo con l'XRF.

Per quanto riguarda la spettroscopia FORS, le tracce di colore rosso sono risultate essere tutte riconducibili ad una lacca rossa.

Nello spettro FORS sono visibili gli assorbimenti tipici della lacca con una banda caratteristica a 500-560 nm e una spalla a 480-500 nm, con un picco di riflettanza a 420 nm (Fig. 167). (Bisulca, Picollo, Bacci, & Kunzelman, 2008)

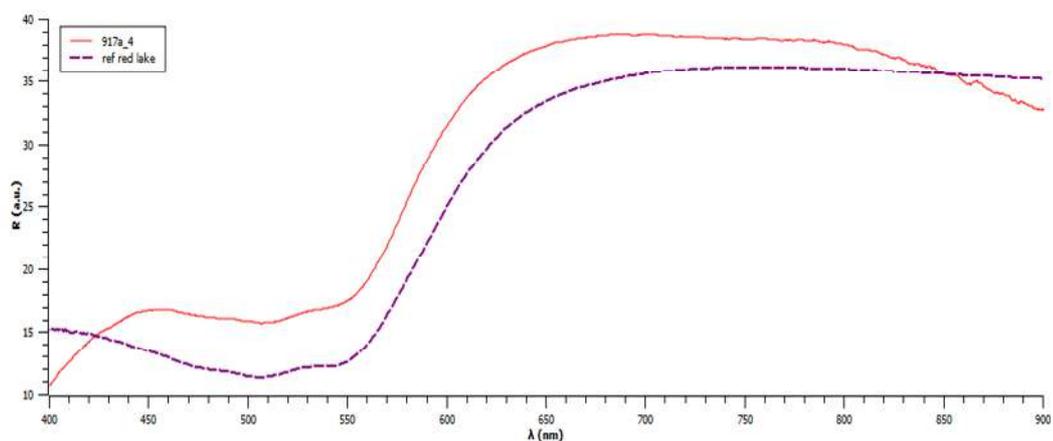


Fig. 167 - spettro FORS del punto di misura 917A_4 confrontato con standard di una lacca rossa vegetale.

Nonostante i risultati della tecnica VIL siano inequivocabili, le tracce di pigmento blu sono state analizzate, con entrambe le tecniche.

Lo spettro FORS coincide con gli spettri del blu egizio presenti nel database dei provini creati in laboratorio (Fig. 168).

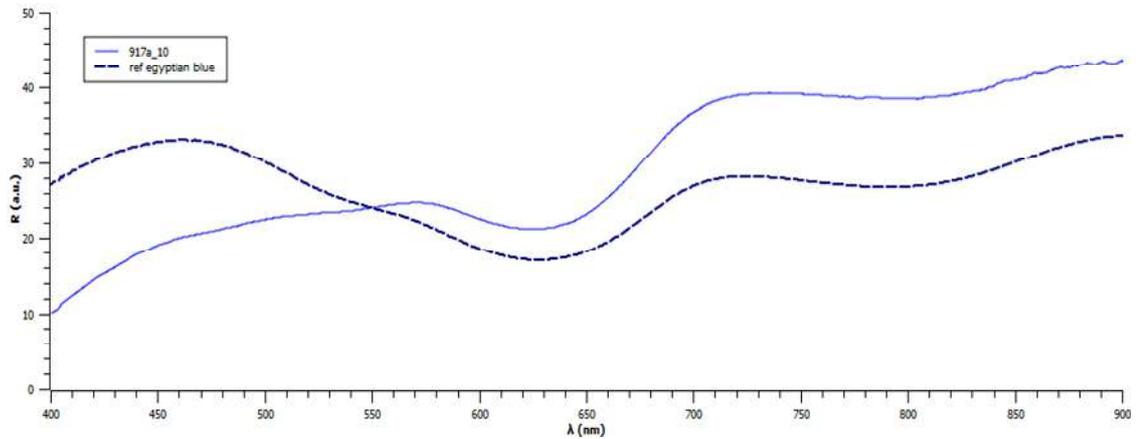


Fig. 168-spettro del punto917A_10 corrispondente al blu egizio confrontato con lo spettro del riferimento.

Anche lo spettro XRF (Fig. 169), acquisito nello stesso punto, mostra un debole picco del rame, che ne conferma la presenza.

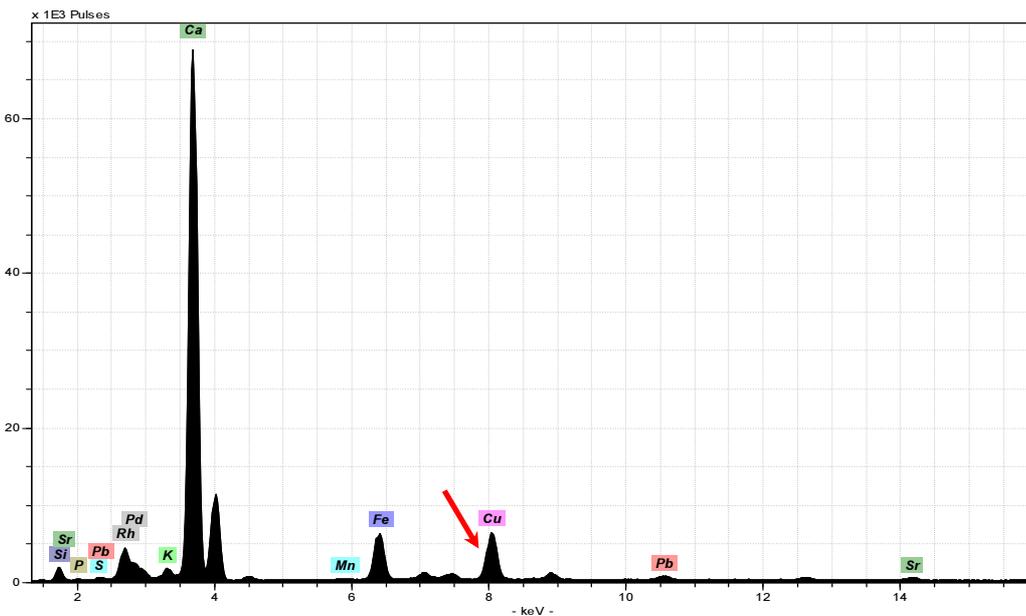


Fig. 169 - Spettro XRF del punto 917A_10 (@40kV, 12 μA).

In entrambi gli spettri XRF inseriti in questo caso studio è visibile il picco del ferro che è da attribuirsi al terreno circostante e ai residui depositati sulla superficie dell'oggetto.

Solo in un punto è stata rilevata la presenza di tracce di mercurio, in corrispondenza di un'area di colore rosso. Nell'immagine in fluorescenza ultravioletta questa zona mostra la tipica fluorescenza della lacca ma ad un'osservazione ravvicinata al microscopio mostra la presenza di un rosso molto acceso, di tono differente da quello che ad esempio si vede nel punto n. 2 (Fig. 170).

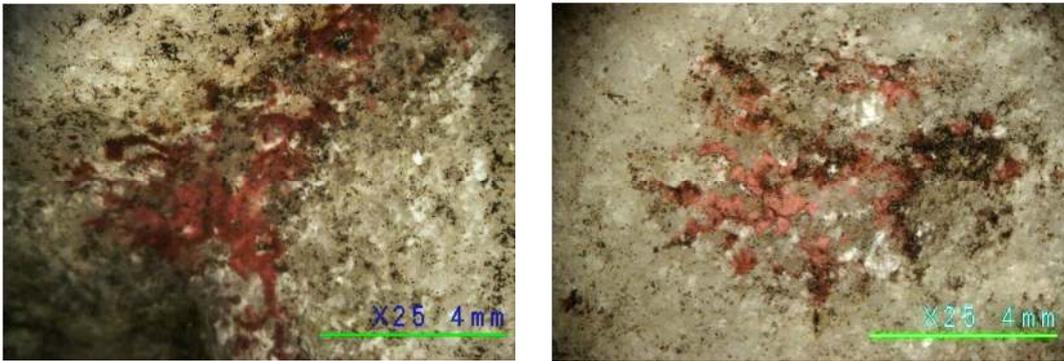


Fig. 170 - particolare acquisito con microscopio ottico portatile del punto 917A_8 (sinistra) e del punto 917A_2 (destra).

La presenza di mercurio è stata confermata solo in questo punto di misura, mentre nelle altre zone di colore rosso non risultano conteggi per questo elemento o perlomeno non rilevabili dallo strumento XRF. La mancanza di ulteriori dati non permette di fare delle ipotesi concrete. Confrontando questo risultato con i risultati ottenuti da altri oggetti sempre di epoca romana, anche se più antichi come la *Donna sul trono e giovane* (Monocromi su marmo), potrebbe trattarsi di una stesura di cinabro con una velatura a base di lacca rossa, oppure una miscela dei due pigmenti; quest'ultima ipotesi è però la meno probabile.

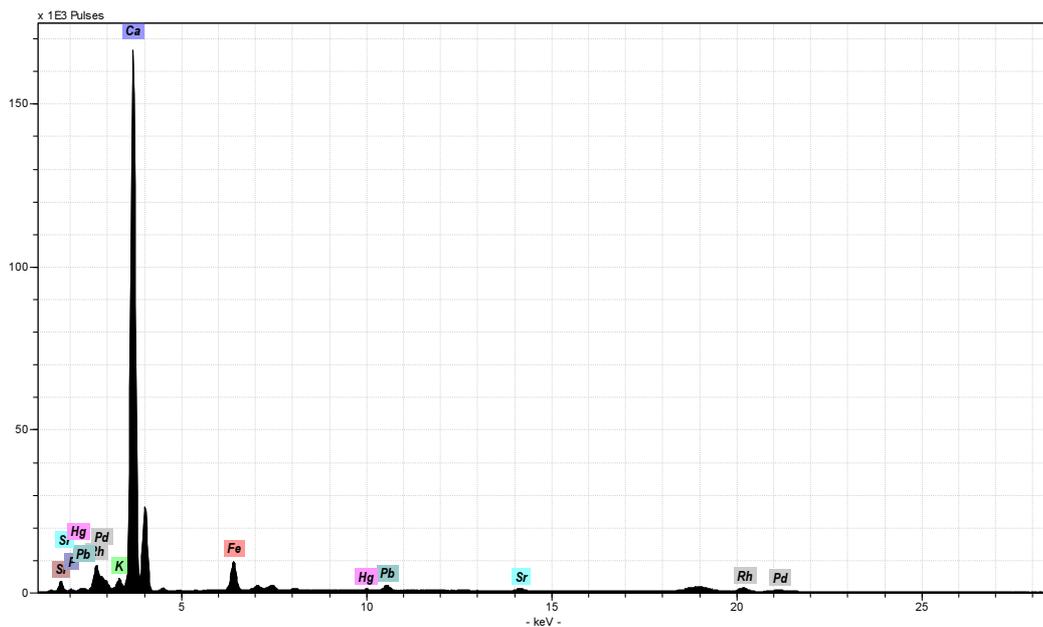


Fig. 171 - spettro XRF del punto di misura 917A_8 (@ 40 kV, 12 μ A).

Conclusioni

Le tecniche di fotografia multispettrale, in questo caso hanno permesso di individuare in maniera immediata la presenza di specifici pigmenti, quali la lacca rossa e il blu egizio. Grazie all'immediatezza della restituzione delle immagini è stato possibile ottenere informazioni sulla distribuzione di questi pigmenti sulla superficie ed indirizzare le analisi puntuali.

Infatti, seguendo questo protocollo è possibile selezionare i punti, focalizzando le analisi nelle aree che possono fornire più informazioni utili e riducendo al contempo la mole di dati da analizzare in seguito.

Inoltre l'utilizzo congiunto di tecniche spettroscopiche complementari permette di avere, senza necessariamente prelevare un campione, le informazioni necessarie per la caratterizzazione della maggior parte dei pigmenti.

In questo caso con la tecnica XRF, come nel caso presentato precedentemente nella discussione sui Monocromi su marmo da Ercolano e Pompei, in un punto del sarcofago sono emersi i conteggi del mercurio. Nella stessa area tuttavia, attraverso la fluorescenza ultravioletta, si distingue chiaramente la presenza di lacca. In entrambi i casi l'ipotesi più probabile è che si tratti di una stesura di cinabro con una velatura di lacca.

Lo spettro ottenuto tramite la tecnica FORS nello stesso punto non mostra sostanziali differenze con lo spettro della lacca, però bisogna tener conto che nello spettro XRF i conteggi del mercurio anche se presenti sono molto bassi, il che indica una concentrazione altrettanto bassa di pigmento.

Dal punto di vista della strumentazione le lampade ultraviolette filtrate permettono una migliore acquisizione senza dover intervenire molto in fase di post-produzione sull'immagine RAW. In questo caso, dato il tipo di ambiente senza fonti di luci esterne, l'utilizzo di lunghi tempi di esposizione non ha creato nessun problema di artefatti dovuti alla radiazione parassita.

Di contro i tempi di acquisizione si allungano e la macchina fotografica va necessariamente posizionata su un cavalletto, quindi le inquadrature sono condizionate dai possibili movimenti della testa del cavalletto e dall'ingombro dei piedi.

Un altro problema, menzionato in precedenza, riguarda la poca maneggevolezza delle luci, che essendo sistemate su un supporto sono legate anch'esse all'ingombro di quest'ultimo. Questo comporta che non si possano raggiungere tutti i punti desiderati in maniera corretta così come non possono essere posizionate a diversi angoli per seguire l'andamento della superficie.

Dal punto di vista delle immagini ottenute però si nota come l'ottimo filtraggio a monte delle lampade con il filtro DUG 11 riduce quasi del tutto la radiazione parassita che raggiunge il sensore.

In questo caso lo Spectralon® appare totalmente nero così come dovrebbe essere in teoria; infatti il materiale utilizzato per creare lo standard è certificato per riflettere al 99% la radiazione dall'ultravioletto all'infrarosso ma senza fenomeni di luminescenza.

Le analisi svolte durante la campagna di indagini andranno inoltre ad integrare il rilievo fotogrammetrico del sarcofago, eseguito dalla Dott.ssa Manganelli Del Fa', creando una mappa interattiva che sarà possibile consultare attraverso il sito dell'ICVBC-CNR e che fornirà le informazioni ottenute dalle analisi.

Intonaci dipinti della collezione Gorga - Museo Nazionale Romano di Palazzo Altemps

Introduzione

Gli intonaci analizzati in questo caso studio, appartengono all'articolata ed eclettica raccolta di archeologia del tenore Evangelista Gorga (1865-1957), acquisita dallo Stato nel 1950, e da allora conservata presso il Museo Nazionale Romano di Palazzo Altemps a Roma (Capodiferro, 2013).

Gorga raccolse una miriade di oggetti moderni e antichi che avrebbero dovuto formare, secondo le sue intenzioni "il museo di tutti i tempi". È stato attivo nel mercato antiquario romano tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento collezionando una quantità impressionante di oggetti, o parte di essi.

Le indagini svolte si sono concentrate su alcuni frammenti di intonaco dipinto, una piccolissima parte delle centinaia di frammenti presenti nella collezione, la cui provenienza e collocazione temporale è ignota. Attraverso le indagini svolte è stato possibile fornire agli archeologi utili informazioni per poter cercare di collocare, completando le informazioni ottenute dallo studio delle fonti e dei documenti storici, la provenienza di questa serie di frammenti di intonaco.

L'organizzazione del sistema decorativo sembra seguire il modello canonico della pittura romana e molti elementi evidenziano un gusto retrospettivo, con una ripresa dei motivi del quarto stile pompeiano. Le decorazioni sono formate da motivi vegetali e geometrici.

Per quanto riguarda la prima serie di frammenti, le indagini stilistiche riportano all'età tardo-adrianea e più precisamente, agli anni intorno al 130 d.C.

Gli intonaci in molti casi conservano tutti gli strati di malta originari del rivestimento della parete.

In questo caso, dovendo ottenere anche informazioni sulla tecnica e sui materiali utilizzati per creare il supporto per questi dipinti murari, sono stati prelevati alcuni frammenti che sono stati analizzati attraverso tecniche quali la diffrattometria a raggi X (XRD), l'osservazione al microscopio delle sezioni sottili e lucide e al microscopio elettronico a scansione (SEM-EDS).

Una seconda serie di intonaci sono stati analizzati con la sola tecnica VIL per poter confermare la presenza del blu egizio come pigmento e per dare delle prime informazioni sulla distribuzione spaziale dello stesso.

Per entrambe le serie si riportano in questo lavoro di ricerca, le sole informazioni ottenute dalle indagini attraverso le tecniche di fotografia multispettrale eseguite in situ presso il Museo.

Tecniche di fotografia multispettrale

Fotografia in fluorescenza ultravioletta (UV)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini è stata ottenuta con una fotocamera Canon EOS 450D, con sensore e CMOS da 22.2 x 14.8 mm con una risoluzione effettiva di 12 Mpixel e una risoluzione di 4272 x 2848 pixel, con filtro colore RGB. Le immagini sono state registrate in formato RAW con sensibilità nominale di 100 ISO. È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking. Il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con lo standard Spectralon® riflettente al 99%. Come sorgenti di radiazione ultravioletta sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W 403 UV passband per filtrare solo la radiazione ultravioletta.

Fotografia in luce visibile (VIS)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini in luce visibile è stata effettuata con una fotocamera Canon EOS 450D, la stessa utilizzata per le acquisizioni delle immagini in fluorescenza ultravioletta. L'unica modifica nell'assetto della strumentazione consiste nella sostituzione dei filtri apposti davanti ai flash. In questo caso sono stati montati due filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking.

Fotografia nel vicino infrarosso (IR)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini è stata ottenuta con una fotocamera Canon EOS 400D, modificata attraverso la rimozione del filtro infrarosso interno. La fotocamera è dotata di un sensore CMOS da 22.2 x 14.8 mm con una risoluzione effettiva di 10,10 Mpixel e una risoluzione di 3888x2592 pixel, con filtro colore RGB. Le immagini sono state registrate in formato RAW con sensibilità nominale di 100 ISO. È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W Infrared Filter 093. Il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con una tavola di calibrazione della X-rite e lo standard Spectralon® riflettente al 99%.

Come sorgenti di radiazione infrarossa sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W Infrared Filter 093 per filtrare solo la radiazione infrarossa.

Luminescenza indotta da luce visibile (VIL)

Condizioni di ripresa: la strumentazione è la stessa utilizzata nella fotografia nel vicino infrarosso, cambiano solo i filtri posizionati sui flash. In questo caso sono stati montati i filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking in modo da avere sul campione la sola radiazione visibile.

Prima serie di intonaci

Le analisi sono state effettuate su quattro campioni di intonaco dipinto.

La scelta dei frammenti da analizzare è stata effettuata dal personale del museo. I risultati delle analisi sono presentate suddivise per pezzo con relativa numerazione crescente da 1 a 4.

Campione n.1



Fig. 172 - immagine in luce visibile del frammento di intonaco denominato campione n. 1.

Il campione n. 1 presenta una superficie quasi interamente coperta da incrostazioni che pregiudicano la lettura delle decorazioni pittoriche sottostanti (Fig. 172).

Le immagini in infrarosso mostrano in maniera più dettagliata il disegno sottostante grazie anche alla maggiore riflettanza del pigmento bianco (Fig. 173). Inoltre sempre nella stessa immagine è possibile osservare le ombre sullo stelo eseguite con un pigmento che assorbe la radiazione infrarossa. Si nota inoltre come la base dell'intonaco e il fiore rosso siano totalmente trasparenti in infrarosso; le zone grigio scuro che si vedono sulla superficie sono dovute alle incrostazioni.

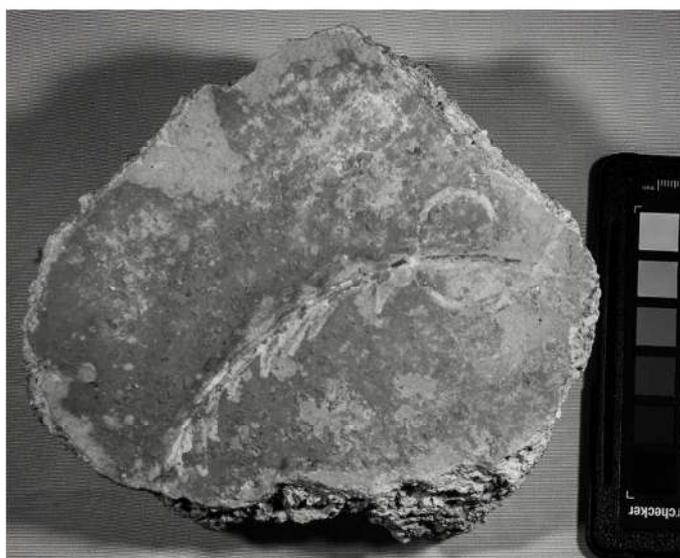


Fig. 173 - immagine in infrarosso del frammento n.1.

Le immagini in luminescenza indotta da luce visibile (VIL) mostrano la presenza di blu egizio, soprattutto nelle zone dello stelo che appaiono chiare in luce visibile. La presenza del blu egizio è evidenziata nelle immagini dalla presenza di spot luminosi, che documentano il fenomeno della luminescenza (Fig. 174).

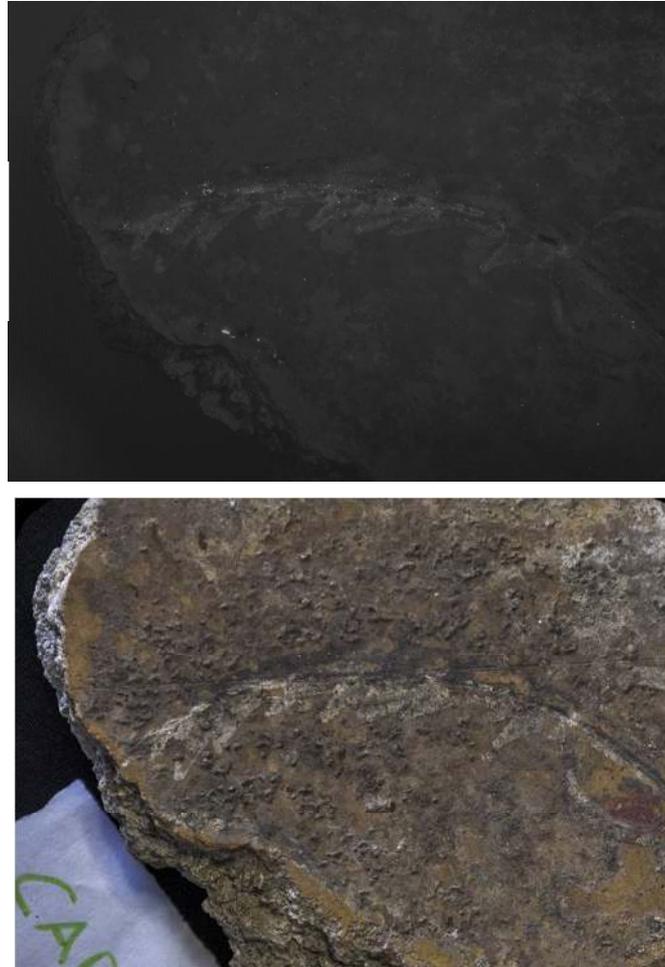


Fig. 174 - particolare in VIL e in luce visibile della parte finale dello stelo

Dalle immagini si nota come la quantità di blu egizio presente nella parte verde scuro sia quasi nulla, a differenza di quanto si tenderebbe a pensare, ipotizzando un verde a base di blu egizio e di un pigmento giallo. In generale però si osserva come il blu egizio sia presente solo in piccolissime aree.

Alcune tracce di blu egizio si osservano anche nella parte inferiore dell'immagine vicino alla frattura.

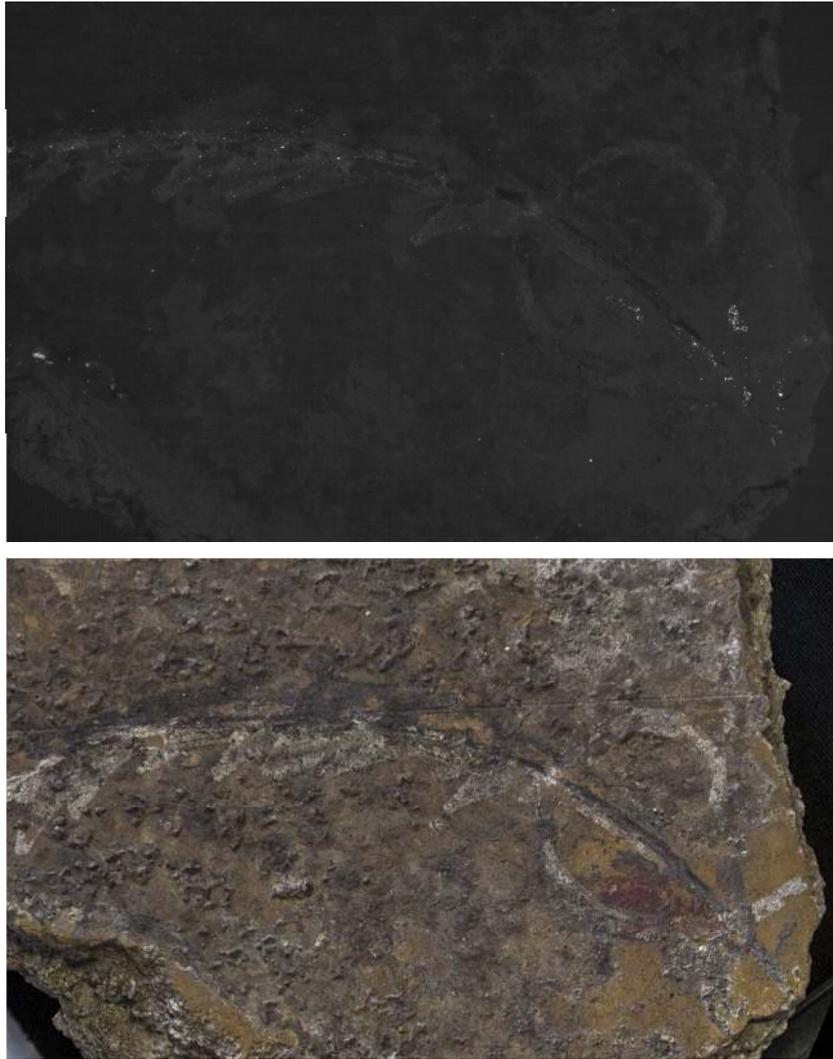


Fig. 175 -particolare in VIL e in luce visibile della parte iniziale dello stelo.

Alcune tracce più consistenti di blu egizio, sono visibili nella parte iniziale dello stelo. Confrontando le immagini al visibile con quelle ottenute con la tecnica VIL, sembrerebbe che il blu egizio sia stato mescolato con il bianco per ottenere un verde chiaro da sovrapporre al verde scuro (Fig. 175). L'ipotesi è che il blu egizio sia stato usato per le lumeggiature dello stelo.

Le immagini in fluorescenza ultravioletta, infine, mostrano la presenza di una fluorescenza diffusa su tutta la superficie, legata alle incrostazioni presenti su di essa.

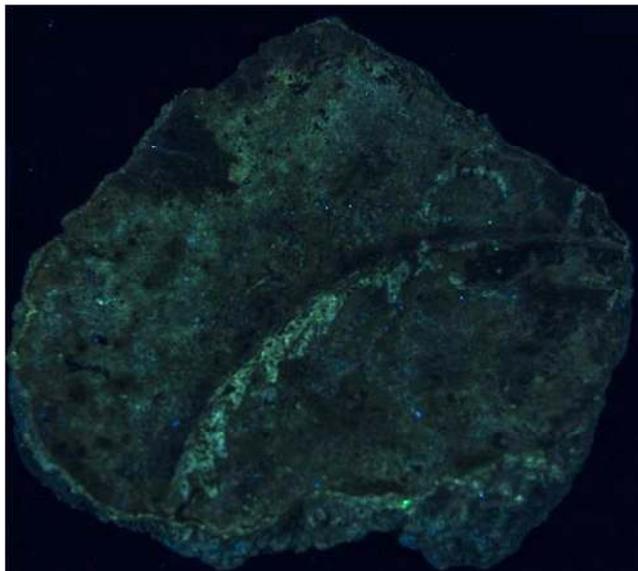


Fig. 176 -immagine in fluorescenza ultravioletta.

Una particolarità che si osserva dalle immagini in fluorescenza ultravioletta, è la forte fluorescenza delle pennellate chiare (Fig. 176).

Inoltre sempre nelle immagini in fluorescenza si osserva come le aree in cui lo sfondo non è coperto dalle incrostazioni ci sia una mancanza di riemissione della fluorescenza che indicherebbe la presenza di un pigmento che assorbe la radiazione ultravioletta, come ad esempio, le ocre.

Campione n. 2



Fig. 177 - immagine in luce visibile del frammento di intonaco denominato campione n. 2.

Questo frammento, contrariamente al precedente è stato sottoposto a restauro e sono state rimosse le incrostazioni sulla superficie, come si osserva anche da una prima ricognizione visiva (Fig. 177).

L'immagine in infrarosso risulta più nitida e si nota intorno ai bordi del fiore un colore che assorbe la radiazione infrarossa che potrebbe essere del nero a base di carbone (Fig. 178).

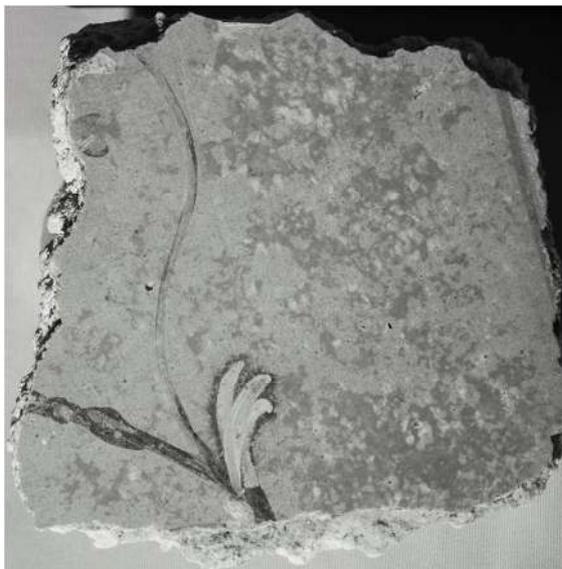


Fig. 178 - immagine in infrarosso del frammento n. 2

Osservando da vicino l'immagine in infrarosso, non sembra essere presente un disegno preparatorio o comunque un contorno in tutte le aree del disegno.

Le immagini ottenute con la tecnica VIL mostrano la presenza di piccole quantità di blu egizio soprattutto nel viticcio, come si osserva nell'immagine in figura 179.

Dalle immagini appare chiaro che il blu egizio è stato usato in miscela con un pigmento giallo per ottenere questa campitura più chiara, mentre la campitura verde scuro del resto dello stelo è stata ottenuta con un diverso tipo di pigmento.



Fig. 179 - immagini in luminescenza indotta da luce visibile (VIL).

Una piccola quantità di blu egizio si ritrova anche nel peduncolo del fiore; la quantità è però molto inferiore a quella presente nel viticcio (Fig. 180).



Fig. 180 - particolare del peduncolo e del viticcio in VIL e in luce visibile.

Dalle immagini IRFC il rosso del fiore sembra ottenuto attraverso una stesura di cinabro che solitamente presenta una colorazione arancio nelle immagini in infrarosso falso colore (Fig. 181).



Fig. 181 - particolare del fiore in infrarosso falso colore.

(Fig. 182).

Mentre lo stelo nelle aree più scure sembra ottenuto con un pigmento a base di rame.

Naturalmente non è possibile dalla sola analisi delle immagini in infrarosso falso colore avere la certezza della composizione del pigmento; per questo motivo si rimanda ad un'analisi più completa con tecniche non invasive quali la fluorescenza X (XRF).

Le immagini in fluorescenza ultravioletta confermano la presenza di un materiale di restauro che emette una fluorescenza diffusa su tutta la superficie del campione. Inoltre si osserva anche una goccia di un materiale molto fluorescente che evidentemente è caduto in un momento successivo al restauro della superficie

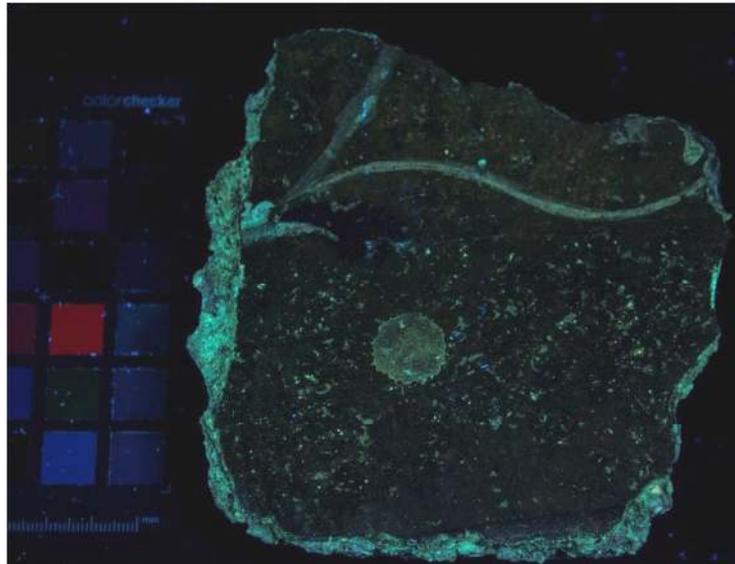


Fig. 182 -immagine in fluorescenza ultravioletta.

Campione n.3

Il frammento n. 3 come il frammento n. 1 presenta delle incrostazioni sulla superficie dipinta, soprattutto in corrispondenza dei decori (Fig. 183).



Fig. 183 - immagine in luce visibile del frammento di intonaco denominato campione n. 3

Nelle immagini in infrarosso si osservano meglio le decorazioni dell'intonaco, grazie anche alla trasparenza delle incrostazioni più sottili che non appaiono nelle foto in infrarosso (Fig. 184).

Nella parte destra del decoro, invece, non è visibile il cerchio interno, in parte a causa del maggiore spessore delle incrostazioni e in parte dovuta alla perdita di materiale sulla superficie del dipinto.

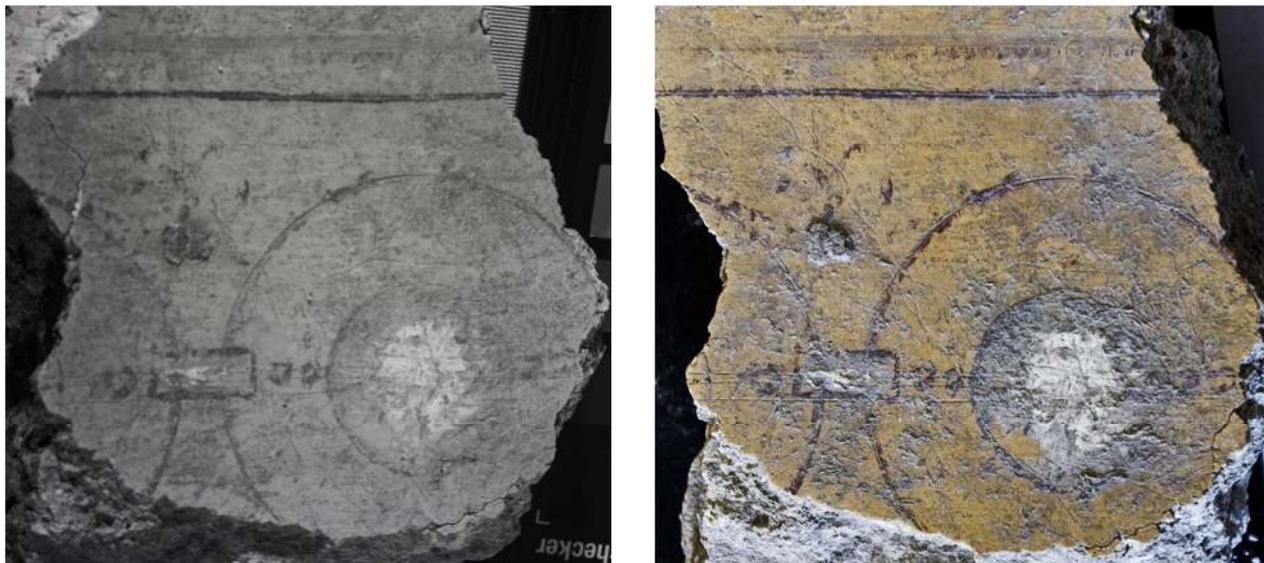


Fig. 184 - particolare in infrarosso e in luce visibile del decoro.

Nelle immagini VIL appare una forte luminescenza all'interno della fibbietta che collega i due cerchi e nel contorno del centro centrale di colore bianco; la luminescenza indica la presenza di blu egizio. Il pigmento, nelle immagini VIL, è visibile anche in zone in cui non è più riconoscibile ad occhio nudo come si osserva dal particolare in figura 185.

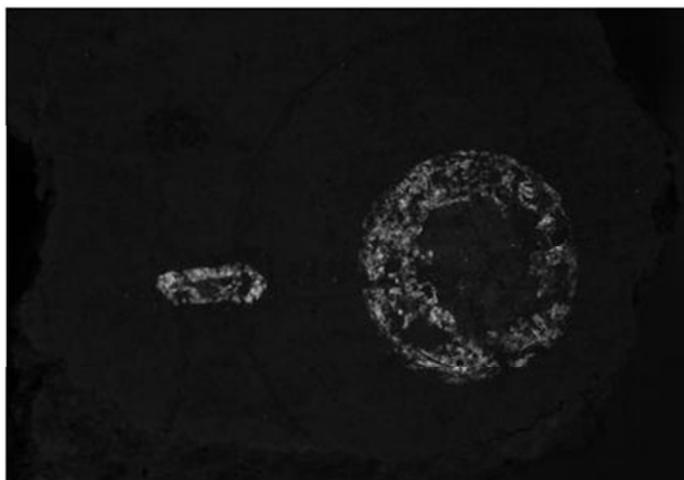


Fig. 185 -particolare in VIL del decoro.

Dall'osservazione in luce visibile, sia all'interno della fibbia sia all'interno del cerchio, non è possibile differenziare le incrostazioni dalla stesura pittorica.

Grazie alle caratteristiche di luminescenza del blu egizio è possibile ottenere la distribuzione spaziale del pigmento, permettendo di risalire all'originale colorazione dei due elementi. Inoltre, confrontando l'immagine visibile con l'immagine in luminescenza indotta, si osserva come il pigmento sia stato steso sopra un fondo giallo.

L'ipotesi è che sia stato steso prima uno strato uniforme di pigmento giallo, con la funzione di uniformare lo sfondo, e in seguito siano stati aggiunti i decori.

Nelle immagini in fluorescenza ultravioletta si osserva sulla superficie un materiale che ha un'emissione di colore giallo e che forma delle ramificazioni. Data la forma di queste ramificazioni è stata avanzata l'ipotesi che si tratti di residui organici depositati dagli apparati radicali delle piante (Fig. 186).

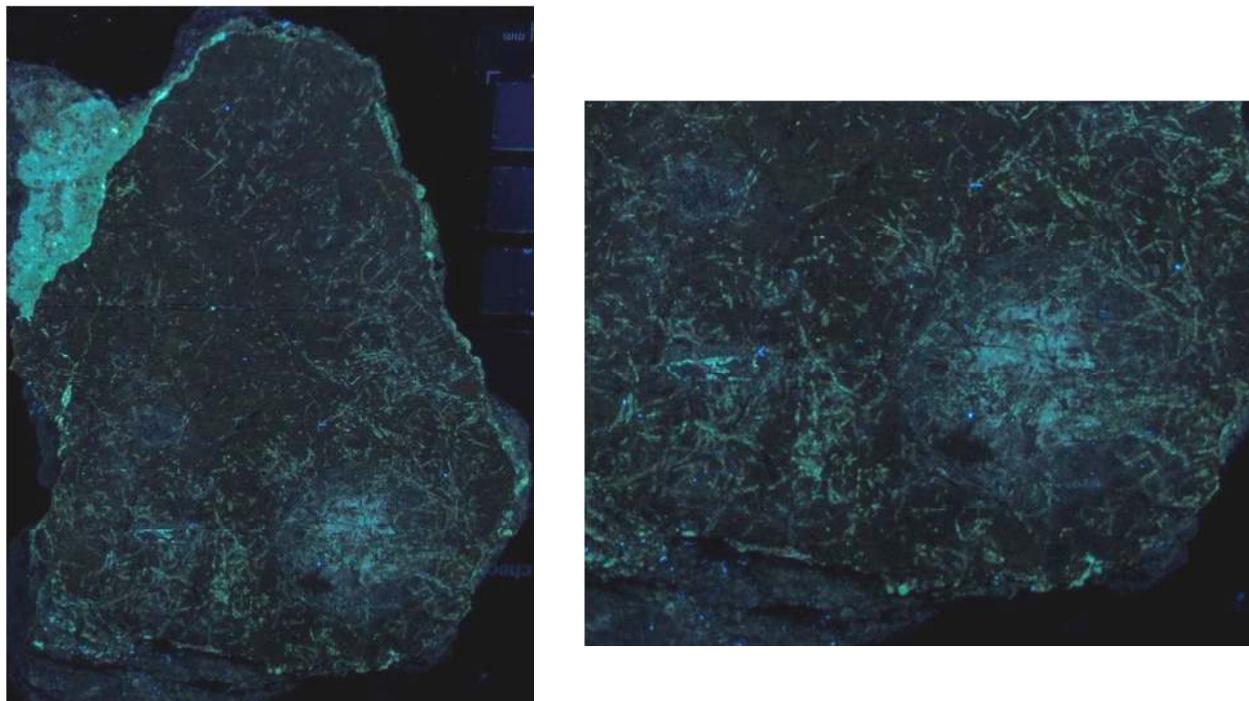


Fig. 186 -intero e particolare in fluorescenza ultravioletta della superficie del frammento.

Campione n. 4



Fig. 187 -immagine in luce visibile del frammento di intonaco denominato campione n. 4.

Il frammento n. 4 presenta una serie di colori diversi: dal verde, al bianco, al marrone (Fig. 187).

Nelle immagini in infrarosso la parte del decoro centrale di colore verde è quasi del tutto trasparente, come risulta anche trasparente il colore bianco in corrispondenza della curva inferiore. Confrontando quest'ultimo con il pigmento bianco presente lateralmente rispetto al decoro centrale si osserva subito come entrambi i colori pur apparendo uguali in luce visibile, abbiano un comportamento diverso nell'infrarosso (Fig. 188).



Fig. 188 - immagine in infrarosso.

Nelle immagini VII appare chiaro che il verde è stato ottenuto miscelando un pigmento giallo e blu egizio, quest'ultimo è presente anche in campiture che in luce visibile appaiono scure, tendenti al bruno (Fig. 189).

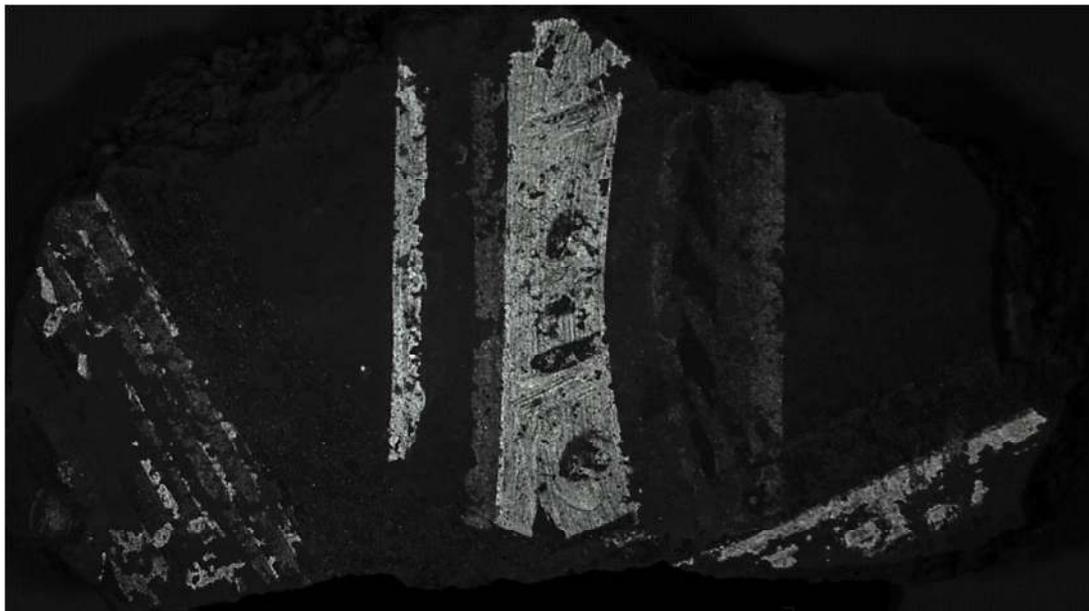


Fig. 189 -particolare in VII.

In minore quantità è presente anche nelle due fasce esterne centrali di colore rosso scuro. Confrontando questa risposta con i provini effettuati in laboratorio, possiamo ipotizzare che il pigmento sia stato miscelato insieme al rosso per ottenere un colore più scuro e che avesse una tinta più violacea.

Inoltre si osserva come in alcune zone del decoro centrale, dove è presente il pigmento bianco, non ci sia la presenza di blu egizio.

In questo frammento di intonaco, molto più che negli altri analizzati, il pittore ha usato il blu egizio quasi esclusivamente in miscela con altri pigmenti per ottenere diversi colori e sfumature.

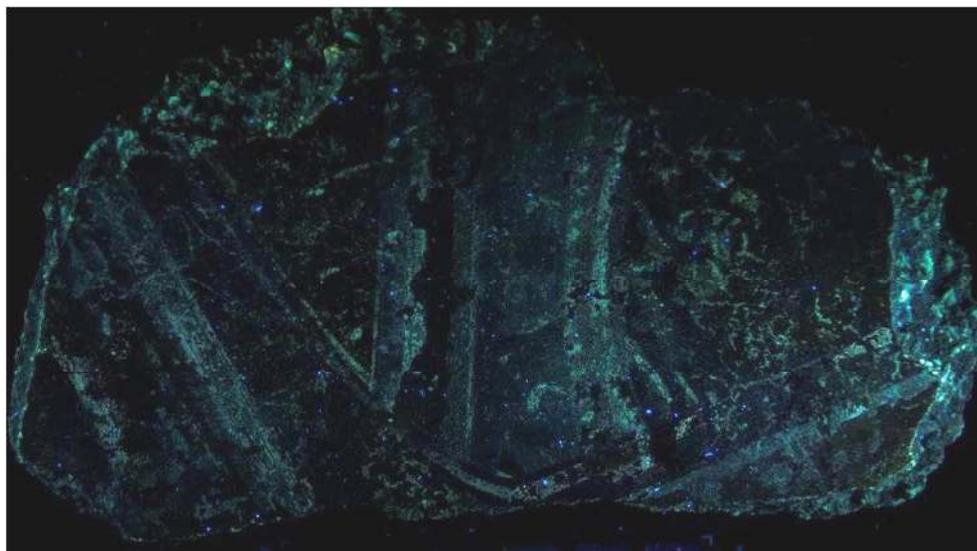


Fig. 190 - immagine in fluorescenza ultravioletta.

La fluorescenza sulla superficie è molto bassa, eccetto per alcuni punti in corrispondenza delle aree chiare, in cui troviamo una fluorescenza tipica dei pigmenti bianchi. Inoltre in alcune aree della superficie, come per il campione precedente, si osservano delle tracce di fluorescenza non legate alla decorazione pittorica. (Fig. 190)

Seconda serie

Sono stati studiati anche altri frammenti di intonaco dipinto e stucchi colorati, sempre appartenenti alla collezione Gorga per determinare la presenza e la distribuzione spaziale del blu egizio. Per questa serie di intona è stata usata solo la tecnica della luminescenza indotta.

Decoro con colonna



Fig. 191 - immagine in luce visibile e in luminescenza indotta da luce visibile.

Nel confronto tra l'immagine in luce visibile e l'immagine ottenuta con la tecnica della luminescenza indotta si osserva come il blu egizio sia presente anche nella parte destra del frammento. La zona nelle immagini in luce visibile appare di colore rosa/violetto ed è ipotizzabile che in questo caso sia stata utilizzata una piccola quantità di blu per ottenere questa tonalità. Inoltre si osserva anche come le due fasce che delimitano la colonna in alto e in basso di colore verde, non emettano luminescenza.

Questa risposta fa pensare che il verde sia stato ottenuto non da una miscela, come osservato su altri frammenti (Fig. 189) ma da un pigmento verde, molto probabilmente a base di rame.

Se osserviamo i contorni della colonna si nota come il blu nella parte destra appaia in maniera netta sotto il bordo della colonna, fino quasi a raggiungere il disegno centrale.

Nella parte sinistra invece il blu appare solo nelle zone dove il pigmento sovrastante è caduto o la pellicola pittorica è deteriorata.

L'assenza di luminescenza al di sotto della colonna nella parte sinistra dell'immagine, può essere ricondotta a due ipotesi: come discusso nel capitolo sulle proprietà del blu egizio, la presenza di pigmenti a base di ematite limita molto il fenomeno della luminescenza, in questo caso la mancanza di emissione potrebbe essere dovuta ad uno strato di ematite di elevato spessore, steso al di sopra della base di blu che osserviamo sul lato sinistro dell'immagine. Meno probabile risulta invece l'ipotesi che il blu sia stato steso al

di sotto del pigmento bianco, in questo caso come nella parte destra della colonna, la luminescenza dovrebbe essere visibile.

Come si osserva dall'immagine (Fig. 191), la parte a sinistra è leggermente fuori fuoco, questo problema è riconducibile alle limitazioni delle fotocamere che non sono dotate di Live View. In questo caso, infatti, la base irregolare del frammento di intonaco ha impedito il posizionamento di tutta la superficie del frammento perpendicolarmente alla macchina fotografica.

Il frammento infatti, posizionato su un tavolo non poteva essere nè mosso nè la macchina fotografica poteva essere avvicinata ulteriormente ed è stato necessario quindi intervenire sulla focale.

L'impiego di una focale alta ha ridotto la profondità di campo anche se l'immagine è stata acquisita con valore di diaframma $f/10$.

Il problema della riduzione della profondità di campo a focali alte è un parametro di cui tenere conto nel momento in cui si lavora con fotocamere che sono "cieche" con i filtri scuri e che quindi non permettono un controllo immediato su ciò che viene acquisito.

Decorazioni floreali

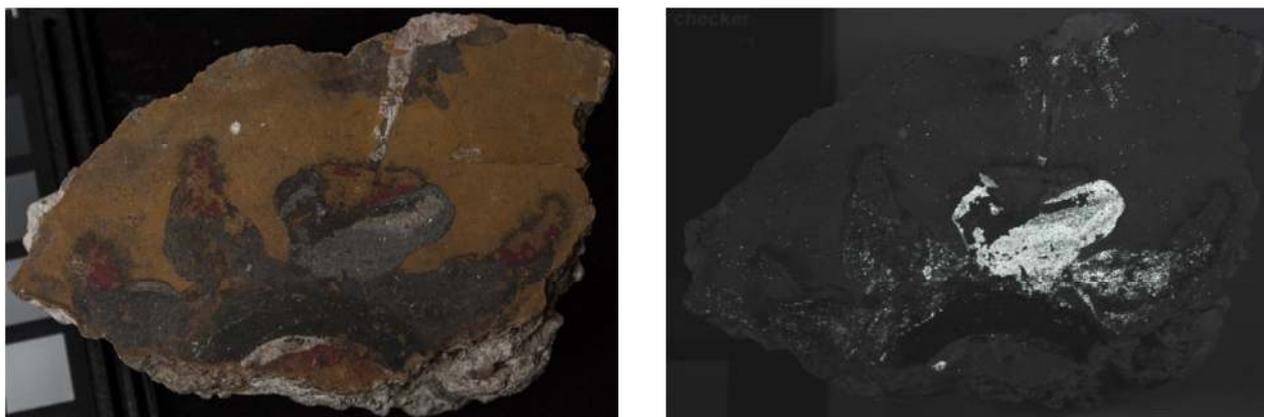


Fig. 192 - immagine in luce visibile e in luminescenza indotta da luce visibile.

Nell'immagine in luminescenza indotta si osserva come il fiore emetta una forte luminescenza. Anche parte delle foglie sono state ottenute attraverso una miscela di blu egizio e un pigmento giallo. Il decoro in alto presenta anch'esso luminescenza ma in maniera molto più attenuata.

Nella parte in basso, nell'immagine VIL, si osserva come la pennellata verde scuro non presenti luminescenza permettendo così di ipotizzare l'uso di un diverso pigmento e non in miscela con il blu egizio.

Inoltre sempre nella stessa immagine si possono distinguere i contorni delle foglie tracciati, molto probabilmente, con del pigmento nero. In questo caso sembrerebbe che il pittore si sia servito di un disegno preparatorio per delimitare le aree in cui stendere i diversi colori.

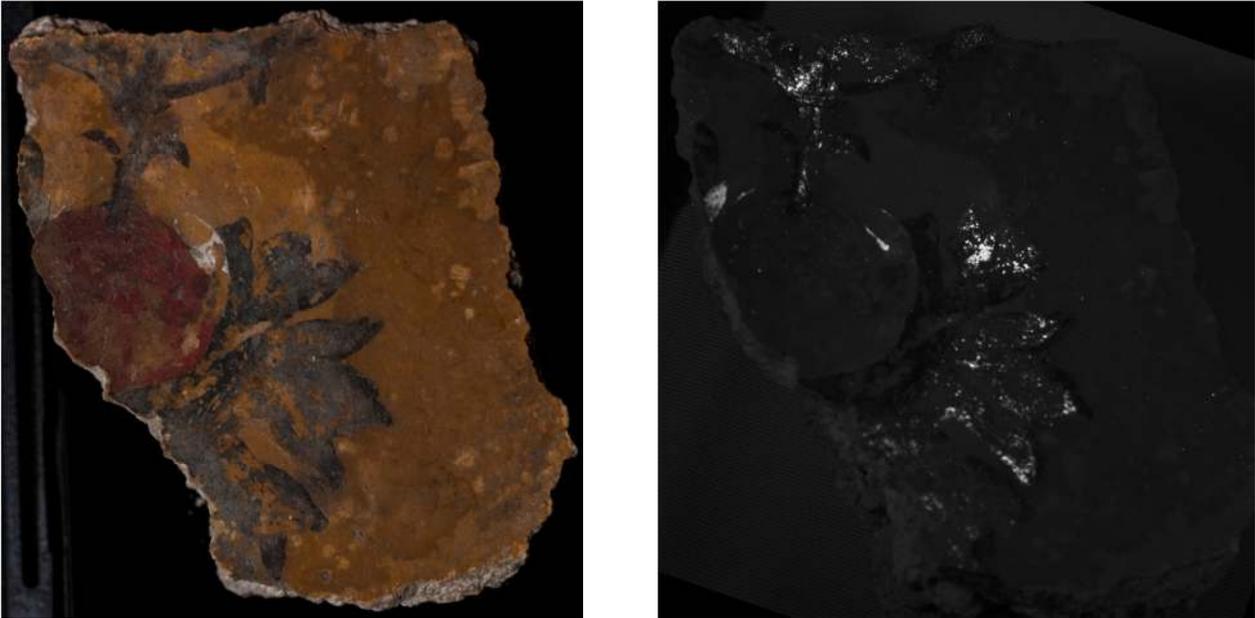


Fig. 193 - frammento in luce visibile e in luminescenza indotta da luce visibile.

Nel secondo decoro floreale sono state trovate tracce di blu egizio anche in zone dove la presenza del pigmento non era ipotizzabile, come ad esempio sulla superficie del frutto. Le altre aree in cui il blu egizio è presente sono le foglie, in particolare nelle zone di colore verde più chiaro. Fa eccezione in basso l'area vicino alla frattura, in cui appaiono pochissime tracce luminescenti.

In questo caso diversamente dal precedente non sembra esserci un disegno a contornare i vari elementi, eccetto per alcune zone in corrispondenza delle foglie, dove però le linee scure sembrano collegate più al pigmento che appare verde scuro ad occhio nudo, che ad un vero e proprio disegno.

Decoro rosso e blu

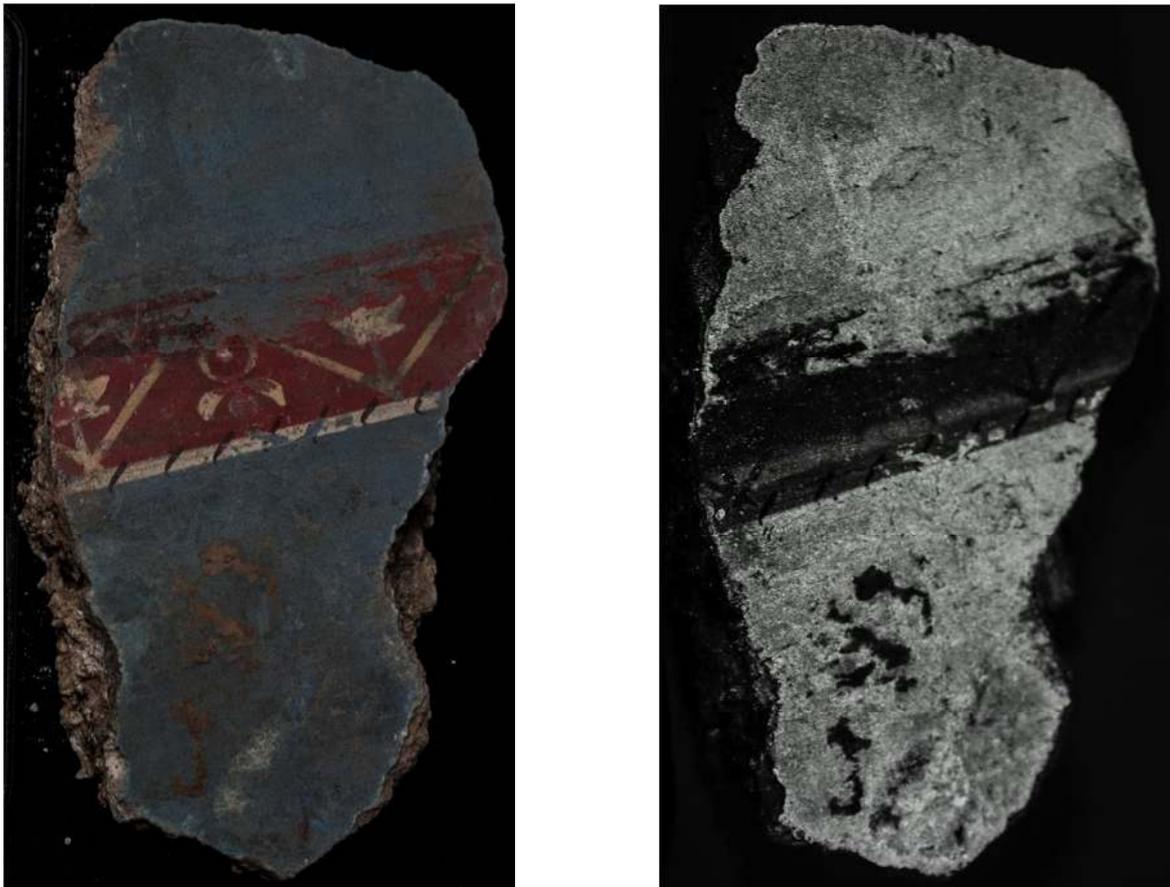


Fig. 194 - frammento in luce visibile e in luminescenza indotta da luce visibile.

Nel caso del frammento con il decoro rosso al centro si osserva come il blu egizio sia stato dato come base sulla quale è stata dipinta la decorazione. I punti in cui il pigmento rosso è ancora presente in uno strato compatto non si osserva luminescenza del pigmento blu. Inoltre, si nota come al di sotto dei decori bianchi ci sia un pigmento che nelle immagini in luce VIL appare scuro. Nei campioni preparati in laboratorio i bianchi testati (biacca e carbonato di calcio) non emettono luminescenza, ma appaiono comunque chiari. La presenza di questo comportamento al di sotto della stesura di bianco indica quindi la presenza di un diverso pigmento.

Decoro su fascia nera

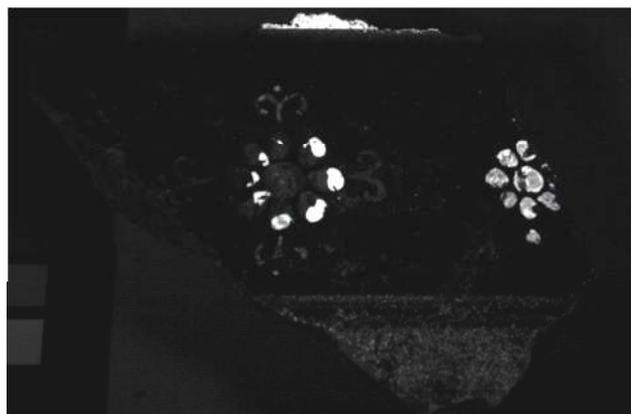


Fig. 195 - immagine in luce visibile e in luminescenza indotta da luce visibile.

In questo decoro si osserva bene in luminescenza indotta dal blu usato per i petali dei fiori e per la fascia superiore, mentre la fascia verde in basso appare meno luminescente. In questo caso la diversa concentrazione di blu egizio crea una sovraesposizione o sottoesposizione di una delle due parti.

Nei petali del fiore sulla sinistra il blu egizio è steso puro, come si osserva dalla forte luminescenza che appare nell'immagine (Fig. 195).

La forte luminescenza di questi punti può portare a sottostimare altre aree in cui la quantità di blu egizio è minore, come in questo caso.

Per questo motivo, in presenza di grosse quantità di pigmento, è sempre utile acquisire una seconda immagine dove da una parte risulteranno sovraesposte queste zone ma dall'altra renderà visibili anche aree in cui il pigmento è presente in minore concentrazione.

Infatti, acquisendo un particolare dell'area verde si nota meglio la luminescenza di questa zona potendo così evidenziare anche la luminescenza debole ma presente, sui riccioli che circondano il fiore sulla sinistra (Fig. 196). In questo caso a differenza di quelli descritti precedentemente, il verde è stato ottenuto con blu egizio e un pigmento giallo.

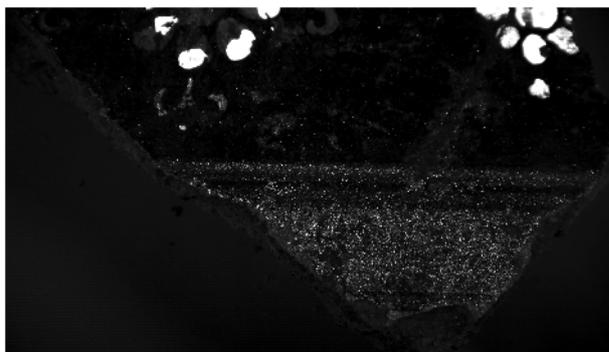


Fig. 196 - particolare in VIL

Frammento circolare

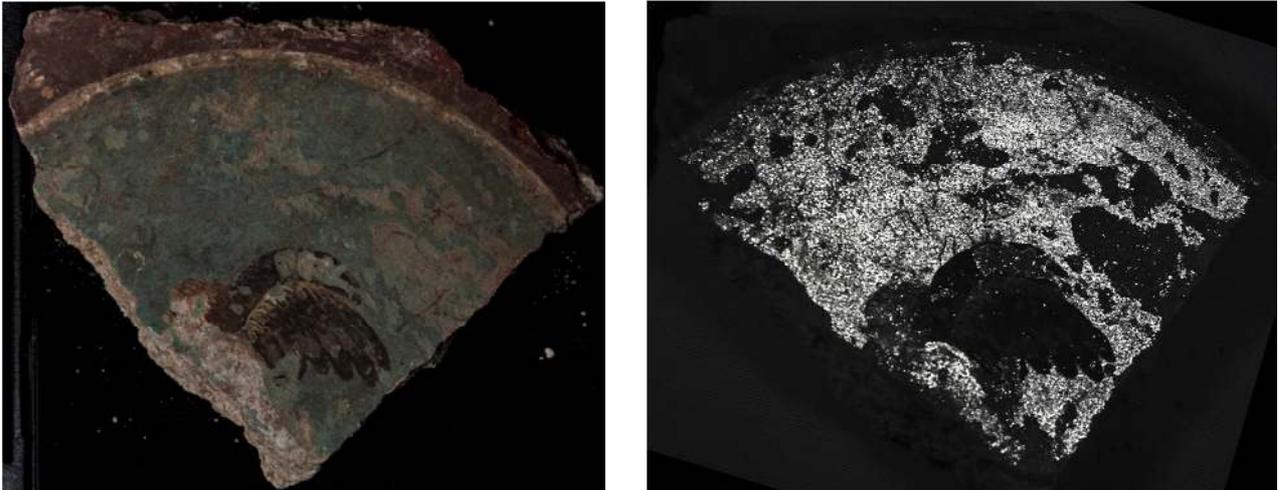


Fig. 197 - immagine in luce visibile e in VIL.

Nell'immagine in luminescenza indotta si osserva bene come la figura centrale sia stata contornata dal pigmento, almeno per quanto riguarda le ali, mentre il corpo sembra essere dipinto sopra lo sfondo. In questo caso è interessante notare come nelle zone in cui il pigmento manca o comunque si osserva questo colore celeste/verde molto tenue la luminescenza sia del tutto assente. Per quanto riguarda il corpo del cherubino, solo una parte sembra mostrare la presenza del blu egizio. Osservando la spalla questa risulta luminescente, viceversa, il viso non presenta luminescenza eccetto che per alcuni spot (Fig. 197).

Mensola decorata



Fig. 198 - immagine in luce visibile e in VIL.

Nel caso della mensola decorata, siamo in presenza di una miscela con una bassa concentrazione di blu egizio, in quanto la luminescenza indotta è molto debole. Anche acquisendo l'immagine della sola area azzurra si nota come la luminescenza sia comunque molto bassa, il che fa ipotizzare la presenza di esigue quantità del pigmento stesso.



Fig. 199 - particolare dell'area celeste in VIL

Stucco con decorazioni a fiori di loto



Fig. 200 - particolare in luce visibile e in VIL.

Nel caso di questo frammento il blu egizio è nella parte dei decori in alto, ma anche sul decoro a forma di V in basso dove risulta del tutto invisibile all'osservazione diretta. Inoltre sempre grazie alle riprese VIL viene evidenziata una fascia non più visibile ad occhio nudo e che si trova appena sotto la fascia rossa. In questa immagine quindi possiamo osservare come la VIL sia uno strumento molto utile nella caratterizzazione e nel posizionamento delle campiture in cui è stato usato il blu egizio.

Stucco con decori a riquadri



Fig. 201 - immagine in luce visibile



Fig. 202 - immagine in VIL.

Confrontando le immagini in luce visibile con quelle in luminescenza indotta si osserva come il riquadro sulla sinistra sia composto tutto da blu egizio, come anche il frammento di blu che si osserva all'estrema destra. Su tutta la superficie sono presenti degli spot luminosi che rappresentano quantità infinitesimali di blu egizio, e data la loro distribuzione sembra trattarsi di una deposizione accidentale del pigmento piuttosto che uno strato intenzionale. È inoltre interessante osservare come il riquadro centrale di colore violaceo, non presenti luminescenza.

Conclusioni

L'analisi con le tecniche di fotografia multispettrale e la quantità di informazioni ottenibili da queste indagini si è dimostrata un valido aiuto per gli archeologi.

Nel primo nucleo di intonaci analizzati le informazioni ottenute vanno dall'identificazione di alcuni pigmenti e della distribuzione spaziale del blu egizio, fino alle possibili ipotesi sulla storia conservativa dei pezzi antecedente al momento della loro acquisizione da parte del collezionista Gorga.

Grazie alla fluorescenza ultravioletta è stato possibile osservare una serie di ramificazioni sulla superficie che potrebbero essere ricondotte ad una infestazione, nel passato, da parte di piante o di funghi che hanno lasciato traccia all'interno delle concrezioni presenti sulla superficie.

Le immagini acquisite con la fotografia nel vicino infrarosso, in alcuni frammenti, hanno permesso di identificare dei tratti della figura con un contorno molto marcato e che assorbono la radiazione, che potrebbe essere riconducibile ad un disegno preparatorio.

La tecnica della luminescenza indotta da luce visibile, inoltre, ha permesso di identificare e delimitare spazialmente il blu egizio.

Grazie a questa innovativa tecnica è stato possibile mappare la presenza del pigmento nel secondo gruppo di frammenti appartenenti al nucleo di intonaci romani della collezione Gorga, evitando di prelevare campioni. I frammenti sono stati analizzati direttamente nei locali in cui erano conservati senza la necessità di trasportarli in altri ambienti, riducendo in questo modo anche i rischi legati allo spostamento di oggetti così fragili.

La tecnica dimostra ampie possibilità di utilizzo, soprattutto per poter effettuare una prima ricognizione dell'oggetto e indicare la presenza del pigmento anche in aree dove non sia più visibile ad occhio nudo, come abbiamo visto in alcuni dei frammenti esaminati. In questo modo è possibile anche orientare le successive analisi.

Inoltre la versatilità di questa tecnica permette di analizzare velocemente una grande quantità di campioni.

L'unica limitazione è l'assenza dell'opzione Live View nella fotocamera utilizzata (Canon EOS 400D) che non permette di scattare le foto a mano libera ma obbliga la macchina su un cavalletto. Inoltre l'opacità del filtro permette di mettere a fuoco solo prima del posizionamento dello stesso sulla lente.

La serie di operazioni legate a questo problema obbliga a tempi più lunghi per l'acquisizione di ogni singola immagine.

Oggetti di provenienza chiusina del Museo Archeologico e d'Arte della Maremma

Introduzione

Il nucleo principale è costituito da un gruppo di urne, identificabili con quelle scavate da Alessandro François nel 1856 e in seguito vendute dal capitano Sozzi al canonico Chelli in due mandate, rispettivamente nell'estate del 1864 e nell'ottobre del 1865. Le urne furono rinvenute in tre ipogei, due in località Il Colle e uno in località La Pellegrina.

La ricostruzione dei contesti è ancora oggi possibile grazie alla pubblicazione di François, corredata di accurate descrizioni, sul "Buletino di Corrispondenza Archeologica" (François, 1856).

Le urne esposte presentano tutte delle tracce di colore ancora visibili ad occhio nudo. Infatti, i reperti etruschi, soprattutto le tombe ipogee, nella maggior parte dei casi conservano ancora ampie campiture di colore che sono state studiate recentemente da un punto di vista della caratterizzazione dei materiali. (Sodo, et al., 2008; Verri, Gleba, Swaddling, Long, Ambers, & Munden, 2014)

Le analisi anche in questo caso si sono limitate all'identificazione della presenza del blu egizio sui decori delle urne. Infatti, non potendo spostare le urne dalla loro collocazione museale, è stato scelto di effettuare

una prima ricognizione sulle opere ed in seguito decidere con la direzione del Museo un'eventuale spostamento temporaneo per permettere ulteriori indagini.

Le urne sono un interessante caso studio perché le riprese sono state eseguite in ambiente museale, di conseguenza con le luci accese e con gli oggetti ripresi ad una distanza rilevante senza spostarli dalla loro sede espositiva (Fig. 203).



Fig. 203 - riprese effettuate presso il Museo Archeologico e d'Arte della Maremma.

Alcune urne presentano composizioni semplici o figure isolate, ma la maggior parte è decorata con scene riferibili a miti greci.

Tecniche di fotografia multispettrale

Fotografia in luce visibile (VIS)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini in luce visibile è stata effettuata con una fotocamera Canon EOS 7D. La fotocamera è dotata di un sensore CMOS da 22.3x14.9 mm, con una risoluzione effettiva di 18 Mpixel (5184x3456 pixel) e un filtro low pass integrato con rivestimento al fluoro.

È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking, il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con una tavola di calibrazione della X-rite e lo standard Spectralon® riflettente al 99%.

Come sorgenti di radiazione visibile sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking per filtrare solo la radiazione nello spettro del visibile, fino a 700 nm.

Luminescenza indotta da luce visibile (VIL)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini è stata ottenuta con una fotocamera Canon EOS 400D, modificata attraverso la rimozione del filtro infrarosso interno. La fotocamera è dotata di un sensore CMOS da 22.2x14.8 mm con una risoluzione effettiva di 10,10 Mpixel (3888 x 2592 pixel), con filtro colore RGB. Le immagini sono state registrate in formato RAW con sensibilità nominale di 100 ISO. È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W Infrared Filter 093. Il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con una tavola di calibrazione della X-rite e lo standard Spectralon® riflettente al 99%. Come sorgenti di radiazione visibile sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking per filtrare solo la radiazione nello spettro del visibile, fino a 700 nm.

Urna con coperchio



Fig. 204 - urna con coperchio.

Questa urna proviene dalla zona di Chiusi, precisamente dalla località Il Colle, ed appartiene al gruppo di urne in gesso alabastrino con coperchio. Oltre al coperchio su cui è rappresentato il defunto, la cassa è decorata sul fronte. Il decoro rappresenta la scena con la gara fra Pelope ed Enomao e risale al III secolo a.C.

Nelle immagini in luminescenza indotta da luce visibile, si osservano alcune delle stesure di blu egizio ancora presenti sui decori, come ad esempio la parte inferiore dell'armatura del personaggio in primo piano (Fig. 205).



Fig. 205 - immagine in luminescenza indotta da luce visibile.

Grazie alla sensibilità della tecnica è possibile osservare la presenza del pigmento blu anche in zone in cui quest'ultimo non si percepisce ad occhio nudo, come ad esempio il personaggio seduto all'estrema destra della decorazione (Fig. 206).



Fig. 206- particolare in VII e luce visibile.



Fig. 207 - particolare del personaggio in primo piano in luce visibile e in VIL.

Un altro esempio della sensibilità della tecnica di ripresa è riportato nell'immagine in figura 207.

Per visualizzare in maniera più diretta la distribuzione del blu egizio è possibile sovrapporre l'immagine acquisita con la tecnica VIL con la foto in luce visibile (Fig. 208).

Questo permette di visualizzare meglio i particolari dell'immagine che inevitabilmente si perdono durante l'acquisizione dell'immagine in luminescenza indotta da luce visibile.



Fig. 208 - immagine ottenuta sovrapponendo la foto in luce visibile alla foto in VIL

Urnetta

La seconda urna analizzata, a differenza dell'altra, è in terracotta e mostra una maggiore presenza di diversi pigmenti sulla superficie.

L'urna, rinvenuta nella zona di Chiusi e risalente al II secolo a.C., è priva di coperchio e nella faccia anteriore presenta un rilievo che riproduce il duello tra Eteocle e Polinice.



Fig. 209 - urna in terracotta.

In questo caso la terracotta, grazie alle sue caratteristiche, ha preservato sulla superficie molti più colori dell'urna discussa in precedenza. Si osservano, infatti, residui di colore: marrone, giallo, rosso scuro e molti punti in cui è presente il blu e sul fondo una stesura uniforme di bianco (Fig. 209).

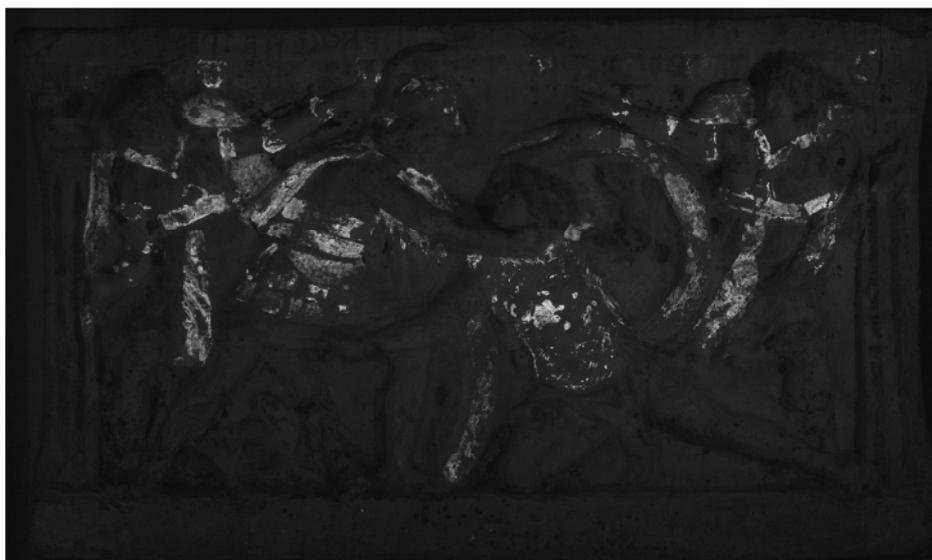


Fig. 210 - immagine in VII

L'immagine in luminescenza indotta da luce visibile mostra la presenza di blu egizio in tutte le zone in cui appaiono le campiture blu. Inoltre osservando più attentamente l'immagine si notano anche zone in cui il pigmento non è più visibile, ma che in luminescenza indotta mostrano emissione.

Ad esempio il personaggio alato sulla sinistra del decoro, presenta una serie di fasce sul braccio dipinte con il pigmento blu egizio che non più visibili ad occhio nudo (Fig. 211).

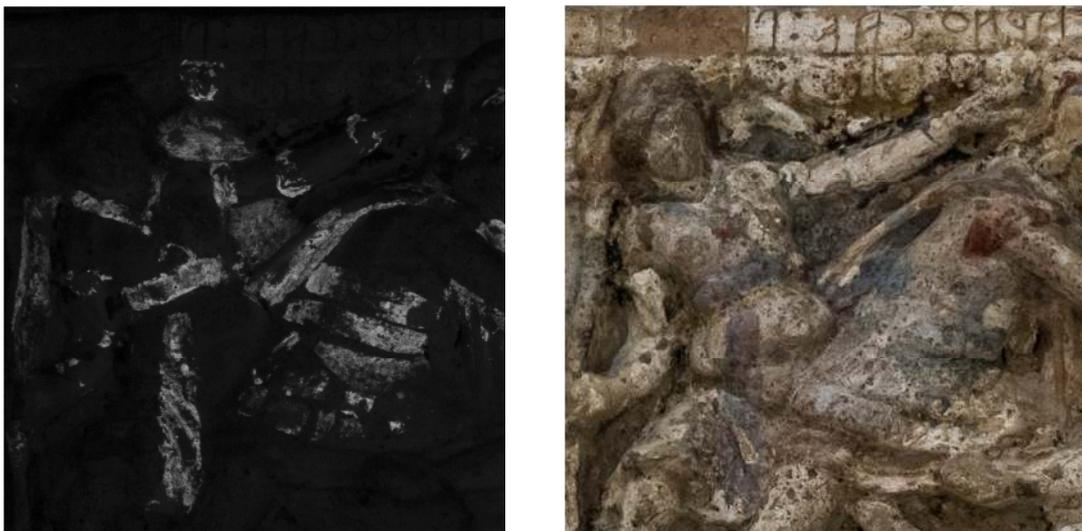


Fig. 211 - particolare in VIL e luce visibile del personaggio alato sulla sinistra.

La stessa osservazione può essere fatta per il braccio destro. Anche in questo caso si osservano, in VIL, due fasce sul braccio non più visibili ad occhio nudo.

Sempre in questa immagine si osserva anche che la luminescenza del blu egizio aiuta a definire in maniera più dettagliata i particolari dell'armatura della figura in primo piano.

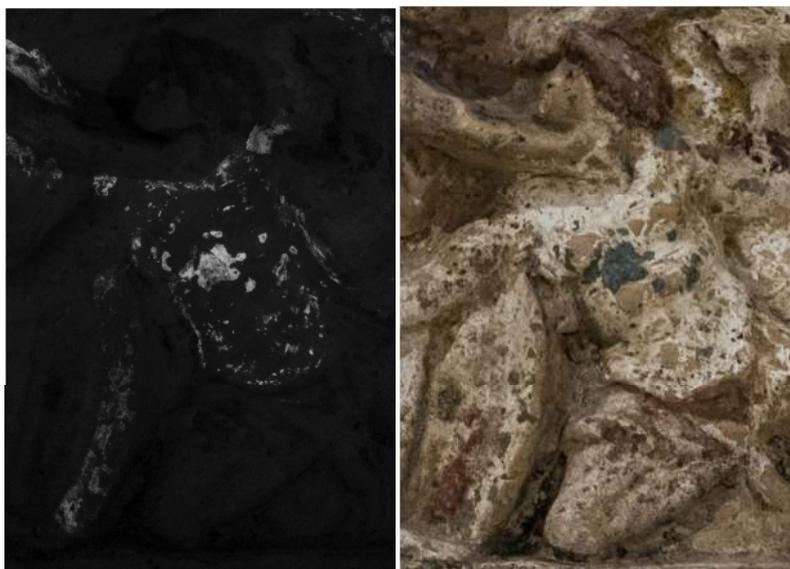


Fig. 212 - particolare dell'armatura di uno dei personaggi in primo piano.

L'immagine in luminescenza indotta della figura inginocchiata, sempre in primo piano, mostra la distribuzione del blu egizio sull'armatura e sul bordo dello scudo vicino. Da queste immagini si può dedurre che la campitura di blu egizio si estendeva su tutta la superficie dell'armatura (Fig. 212).

Anche in questo caso la luminescenza appare in aree dove il blu egizio non è più visibile a occhio nudo.

Per posizionare meglio le aree luminescenti, è stata sovrapposta all'immagine in luce visibile quella in luminescenza indotta (Fig. 213).



Fig. 213 - sovrapposizione dell'immagine VIL con l'immagine in luce visibile.

Conclusioni

In questo caso studio è importante notare la versatilità della tecnica di luminescenza indotta da luce visibile.

I due oggetti presentati, infatti, non sono stati spostati dalla loro sede di esposizione e sebbene non sia stato possibile un accesso diretto all'oggetto, la tecnica ha comunque permesso una prima ricognizione della superficie e un'identificazione spaziale delle stesure a base di blu egizio.

Inoltre bisogna tener conto che le riprese sono state effettuate in un ambiente in cui era presente sia l'illuminazione museale, sia la luce esterna proveniente dall'entrata.

Infatti, questi due oggetti si trovano nella prima sala del museo, adiacente all'entrata e dove è collocato anche il banco della biglietteria, quindi oltre ad avere un apporto di luce proveniente dalle porte a vetri, presentano anche un'illuminazione ambientale di maggiore intensità rispetto alle altre sale del museo.

Come però si può osservare dalle immagini VIL tali fonti esterne non influiscono in maniera compromettente sul risultato finale. Questo grazie all'utilizzo dei flash che permettono tempi di ripresa molto rapidi. In questo modo la radiazione parassita, anche se presente nell'ambiente di acquisizione dell'immagine, sarà, a parità di tempo, nettamente inferiore all'apporto in termini di potenza radiante dei flash.

In conclusione possiamo dire che la tecnica della luminescenza indotta da luce visibile è un utile metodo per identificare la presenza di blu egizio senza dover necessariamente essere molto vicini all'oggetto.

Statue dell'Augusteum di Roselle

Introduzione

L'insediamento di Roselle, risalente all'età del ferro, occupa un'altura formata da due sommità divise da un avvallamento e posta in posizione dominante sul lago Prile nella bassa valle del fiume Ombrone.

Il sito è caratterizzato da una stratificazione complessa, risultato di una lunga storia di insediamenti tra cui anche una città di epoca etrusca.

L'arrivo dei Romani (294 a.C.) determinò importanti trasformazioni urbanistiche, sociali ed economiche. Nel corso dell'età imperiale si ebbe la monumentalizzazione della città, attraverso la costruzione di edifici pubblici e privati e di nuove infrastrutture.

Infatti i decenni compresi fra l'inizio del regno di Augusto (27 a.C. -14 d.C.) e la fine di quello di Claudio (41-54 d.C.) furono per la città e per il territorio un periodo di prosperità. Il I secolo d.C. fu caratterizzato da un'imponente attività edilizia che cambiò radicalmente l'urbanistica del centro cittadino.

Il monumento che documenta in modo più evidente il rapporto fra la città e la dinastia giulio-claudia è certamente l'Augusteo, sede di culto imperiale in cui era in origine il ciclo statuario esposto al Museo Archeologico e d'Arte della Maremma.

Il sito è stato scavato in maniera intensiva nella seconda metà del secolo scorso e parte della necropoli Etrusca e della città Romana sono state scoperte. Tra i monumenti ritrovati dell'epoca romana il più importante è il foro.

Durante l'epoca Augustea la piazza fu allargata e diversi monumenti furono aggiunti, tra cui l'Augusteo nell'angolo sud ovest della piazza.

Gli scavi nell'Augusteo, iniziati nel 1966, hanno portato alla scoperta di diverse statue, tra cui le sculture della famiglia imperiale, risalenti al I secolo d.C. (Citter, 1996)

Nonostante lo stato frammentario dei pezzi, questo nucleo è una delle più ricche serie di questo tipo in Italia.

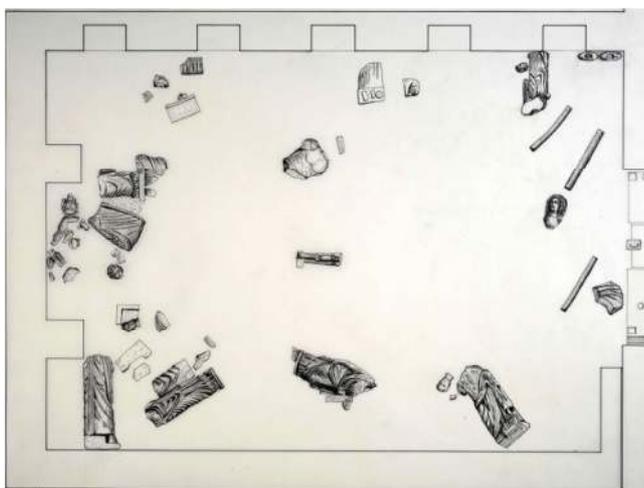


Fig. 214 - rilievo dei ritrovamenti delle statue nell'Augusteo.

Le analisi eseguite durante la campagna di diagnostica per l'edizione dell'Augusteo, in collaborazione con il Prof. Paolo Liverani docente del Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo dell'Università di Firenze e la Dott.ssa Sara Lenzi, dottoranda di ricerca in Storia, indirizzo Storia e Archeologia, del medesimo dipartimento, sono state rivolte alla caratterizzazione dei materiali e delle tracce di colore ancora presenti sulla superficie delle statue. Le analisi eseguite sono state principalmente di carattere non invasivo e solo in due punti è stato necessario prelevare due micro-campioni per approfondire alcuni dubbi sollevati dagli archeologi.

Sono state analizzate sette statue appartenenti al ciclo dell'Augusteo: le due sculture divinizzate di Cesare e Livia, Giulia Livilla, una statua di un generale romano, una statua di una giovane ragazza, un frammento di gamba appartenente ad una statua di un generale e la testa-ritratto di Claudio. (AA.VV., 1978)

Tecniche di fotografia multispettrale

Fotografia in fluorescenza ultravioletta (UV)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini in luce visibile è stata effettuata con una fotocamera Canon EOS 7D. La fotocamera è dotata di un sensore CMOS da 22.3x14.9 mm, con una risoluzione effettiva di 18 Mpixel (5184x3456 pixel) e un filtro low pass integrato con rivestimento al fluoro.

Le immagini sono state registrate in formato RAW con sensibilità nominale di 100 ISO. È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking. Il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con lo standard Spectralon® riflettente al 99% e un colorchecker della X-rite. Come sorgenti di radiazione ultravioletta sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W 403 UV passband per trasmettere solo la radiazione ultravioletta.

Fotografia in luce visibile (VIS)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini in luce visibile è stata effettuata con una fotocamera Canon EOS 7D.

È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking, il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con una tavola di calibrazione della X-rite e lo standard Spectralon® riflettente al 99%.

Come sorgenti di radiazione visibile sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking per filtrare solo la radiazione nello spettro del visibile, fino a 700 nm.

Luminescenza indotta da luce visibile (VIL)

Condizioni di ripresa: l'acquisizione delle immagini è stata ottenuta con una fotocamera Canon EOS 400D, modificata attraverso la rimozione del filtro infrarosso interno. La fotocamera è dotata di un sensore CMOS da 22.2x14.8 mm con una risoluzione effettiva di 10,10 Mpixel e una risoluzione di 3888 x 2592

pixel, con filtro colore RGB. Le immagini sono state registrate in formato RAW con sensibilità nominale di 100 ISO. È stato usato un obiettivo Canon EF S 18-135 f/3.5-5.6 IS con un filtro della Schneider Optics B+W Infrared Filter 093. Il bilanciamento del bianco e il controllo dell'esposizione sono stati effettuati con lo standard Spectralon® riflettente al 99% e una piastrina di marmo con un residuo di blu egizio.

Come sorgenti di radiazione sono stati usati due flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR con filtri della Schneider Optics B+W digital 486 UV/IR blocking per filtrare solo la radiazione visibile.

Microscopia digitale portatile (MD)

Metodo: acquisizione di immagini digitali tramite microscopio portatile Dino-Lite AM413T, dotato di zoom ottico 10-50x. Le immagini sono state acquisite con una risoluzione di 1,3 Mpixel, con una fotocamera incorporata con sensore CMOS da 1280x1024 pixel. L'illuminazione è fornita da 8 LED a luce bianca disposti a corona intorno all'obiettivo.

Analisi elementare tramite fluorescenza a raggi X (XRF)

Metodo: per le misure della fluorescenza a raggi X è stato utilizzato uno strumento portatile, modello Tracer III-SD della Bruker. L'apparecchio è costituito da un tubo a raggi X al rodio (Rh) e da un rivelatore a dispersione di energia di 10 mm² con tecnologia SSD (Silicon Drift Detector). Le impostazioni di acquisizione sono: voltaggio di 40 kV e corrente di 12 µA, tempo di acquisizione 60 secondi. Sono state effettuate su alcuni punti due misure: una prima misura senza filtro e la seconda con il filtro giallo per aumentare la resa dei conteggi dell'oro e di altri metalli pesanti.

Il filtro giallo è costituito da 12 mm di Al accoppiato con 1 mm di Ti e seleziona tutte le righe tra il titanio e l'argento e dal vanadio al bismuto.

I dati sono stati registrati tramite palmare integrato ed elaborati con il software dedicato Artax.

Spettroscopia in riflettanza nel visibile mediante l'uso di fibre ottiche (VIS - FORS)

Metodo: gli spettri sono stati acquisiti utilizzando come sorgente una lampada al tungsteno e come detector uno spettrometro Ocean Optics (mod. HR2000) equipaggiato con fibre ottiche. La testa di misura con illuminazione a due bracci orientati a 45° rispetto alla normale alla superficie e raccolta del segnale a 0°, permette l'acquisizione dello spettro di riflettanza di un'area di circa 2 mm². Ogni spettro acquisito è la media di 30 scansioni. Come riferimento è stata impiegata una piastrina di Spectralon®, riflettente al 99%.

Risultati delle indagini

Augusto(prima metà del I secolo d.C.)

La prima statua presentata è la raffigurazione a dimensioni monumentali di Augusto, rappresentato in accordo con l'iconografia del tempo, come una divinità seduta: Giove Capitolino. Questa statua è una probabile copia della statua di culto posta nel tempio del divo Augusto a Roma.

Di questa statua si conservano poche parti tra cui il tronco e la parte inferiore. All'interno della toga che copre le gambe si osserva una zona di colore rosso chiaro.

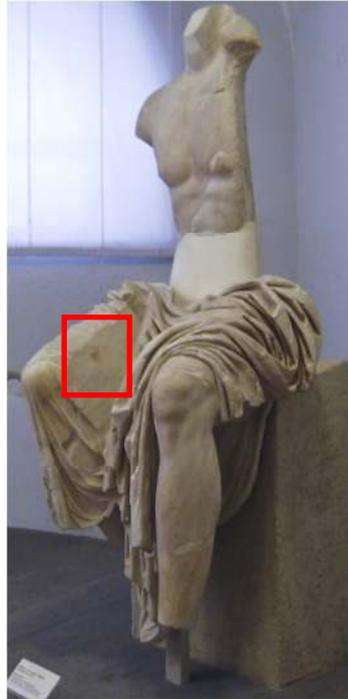


Fig. 215 - statua di Augusto con indicazione, in rosso, dell'area con presenza di colorazione.

Le analisi in fluorescenza ultravioletta mostrano la presenza di una zona con assenza di emissione, che corrisponde all'area di colore rosso (Fig. 216).



Fig. 216 - immagine in fluorescenza ultravioletta e in luce visibile dell'area con colore rosso.

Inoltre sempre nell'immagine in fluorescenza ultravioletta si osserva come le stuccature per collegare il ginocchio al resto del corpo appaiano scure in fluorescenza (Fig. 216).

Le tracce di colore rosso all'interno del ginocchio sono le uniche ritrovate sulla superficie della statua.

Come discusso in precedenza nel capitolo sui provini di laboratorio, le ocre, soprattutto rosse a base di ematite, sono maggiormente persistenti sulla superficie del marmo anche dopo dilavamento della superficie.

Sia le analisi FORS sia le analisi XRF mostrano la presenza di ossidi e idrossidi di ferro, attribuibili ad un pigmento a base di terre come le ocre.

Le stesse considerazioni fatte negli altri casi studio sono valide anche in questo caso; a meno di una chiara evidenza di volontà del pittore di usare un'ocra, è difficile poter distinguere una stesura di pigmento intenzionale da un residuo di terra dello scavo.

In realtà in questo caso, trattandosi della toga di Augusto è probabile che fosse dipinta di rosso come riportano gli studi condotti dagli archeologi (Liverani, Per una "Storia del colore". La scultura policroma romana, un bilancio e qualche prospettiva, 2014), ma le tracce di pigmento si estendono solo ad una zona molto circoscritta che non ci permette di fare un'ipotesi certa.

Livia (prima metà del I secolo d.C.)

La seconda scultura analizzata raffigura Livia, che come Augusto di cui è la moglie, è rappresentata come una divinità seduta, Cerere, e con misure maggiori del normale.

In questo caso le indagini si sono concentrate soprattutto nella parte alta della testa, dove la presenza di una corona decorata poteva far sperare in qualche traccia di colore residuo o doratura. Purtroppo non ci sono trovate evidenze di tracce di colore.



Fig. 217 - statua di Livia.

Nell'immagine in fluorescenza ultravioletta, in alto nella capigliatura sul lato destro appare una fluorescenza molto intensa e di colore giallo, che può essere collegata ad un intervento di manutenzione delle statue avvenuto in passato (Fig. 218).

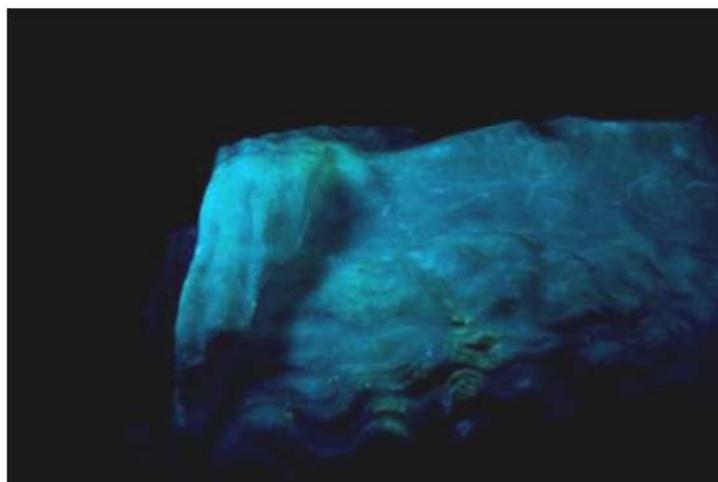


Fig. 218 - particolare in fluorescenza ultravioletta del residuo organico.

Sempre in fluorescenza ultravioletta è possibile notare sulla parte anteriore della statua, all'altezza del ventre e sulla parte sinistra della testa, questa fluorescenza con un disegno molto particolare.

In questo caso è stato visto che le aree più fluorescenti corrispondono alle zone in cui ad occhio nudo si osservano dei residui di incrostazioni (Fig. 219).

Le incrostazioni, solitamente, non presentano emissione se irraggiate con l'ultravioletto; però se durante i passati interventi di restauro o manutenzione è stata stesa sulla superficie della sostanza organica, allora è probabilità che la maggiore porosità delle incrostazioni abbia assorbito queste sostanze.

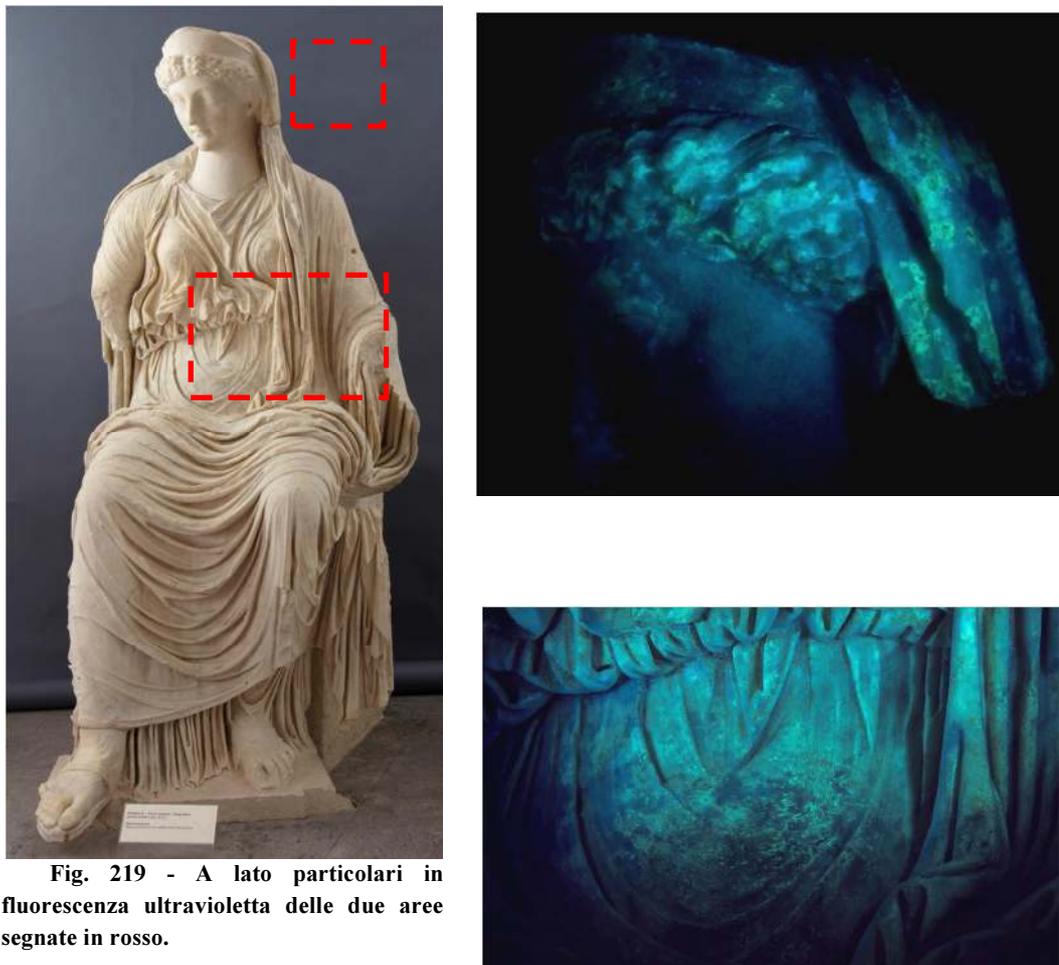


Fig. 219 - A lato particolari in fluorescenza ultravioletta delle due aree segnate in rosso.

Bisogna tenere conto che fino agli anni '80 è difficile trovare delle testimonianze scritte dei restauri che ciascuna statua ha subito, come anche dei trattamenti o delle sostanze stese sulla superficie.

Non è infatti da molto tempo che musei e collezioni pubbliche adottano rigorose schede descrittive di tutti gli interventi e le relative sostanze usate.

Dato che le immagini in fluorescenza ultravioletta non hanno mostrato particolari evidenze, è stato deciso di non eseguire le analisi puntuali.

Giulia Livilla (prima metà del I secolo d.C.)

Una delle statue dei rappresentanti della famiglia giulio-claudio, presenti nell'augusteo insieme ai due divi Augusto e Livia, è la figlia di Germanico e Agrippina Maggiore, Giulia Livilla.(Fig. 220).



Fig. 220 - statua di Giulia Livilla

La statua, trattandosi di un personaggio minore, è rappresentata con dimensioni naturali. Presenta alcune tracce di colore soprattutto nell'incavo tra una ciocca e l'altra nella parte alta della testa.

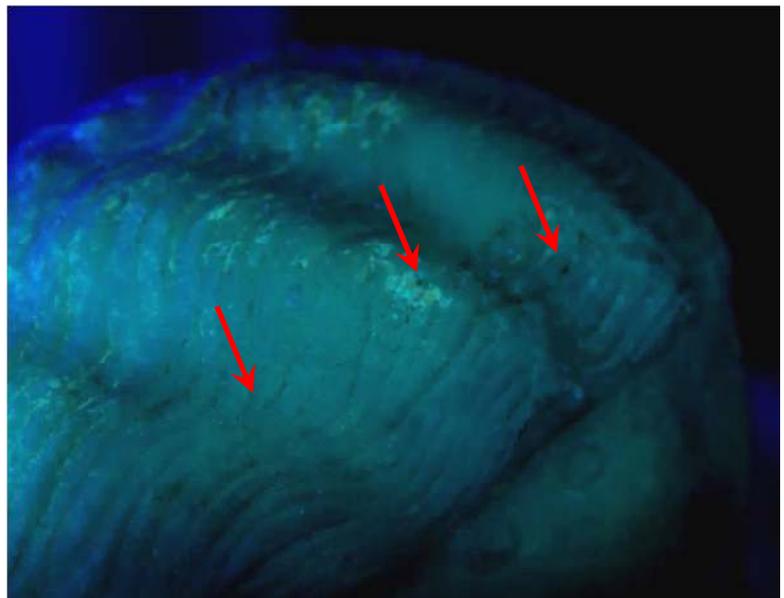


Fig. 221 - immagine in luce visibile e particolare in fluorescenza ultravioletta.

Le tracce, come si nota in figura 221, non emettono fluorescenza e appaiono scure.

In questo punto non è stato possibile effettuare le analisi con le tecniche spettroscopiche, in quanto i residui si trovano all'interno di scanalature e quindi difficilmente raggiungibili anche con la sonda a fibre ottiche della FORS. Per quanto riguarda l'XRF, invece, non è stato possibile posizionare la testa dello strumento a contatto con la superficie, a causa delle onde che lo scultore ha ideato per rendere il movimento dei capelli. La mancanza di contatto e quindi la presenza di uno strato di aria tra la superficie e la camera in cui è posto il sensore, provoca una lettura errata dei conteggi dovuta un'attenuazione dei raggi X da parte dell'aria. Un'altra zona con alcune tracce di colore rosso è presente nella parte posteriore della toga (Fig. 222).

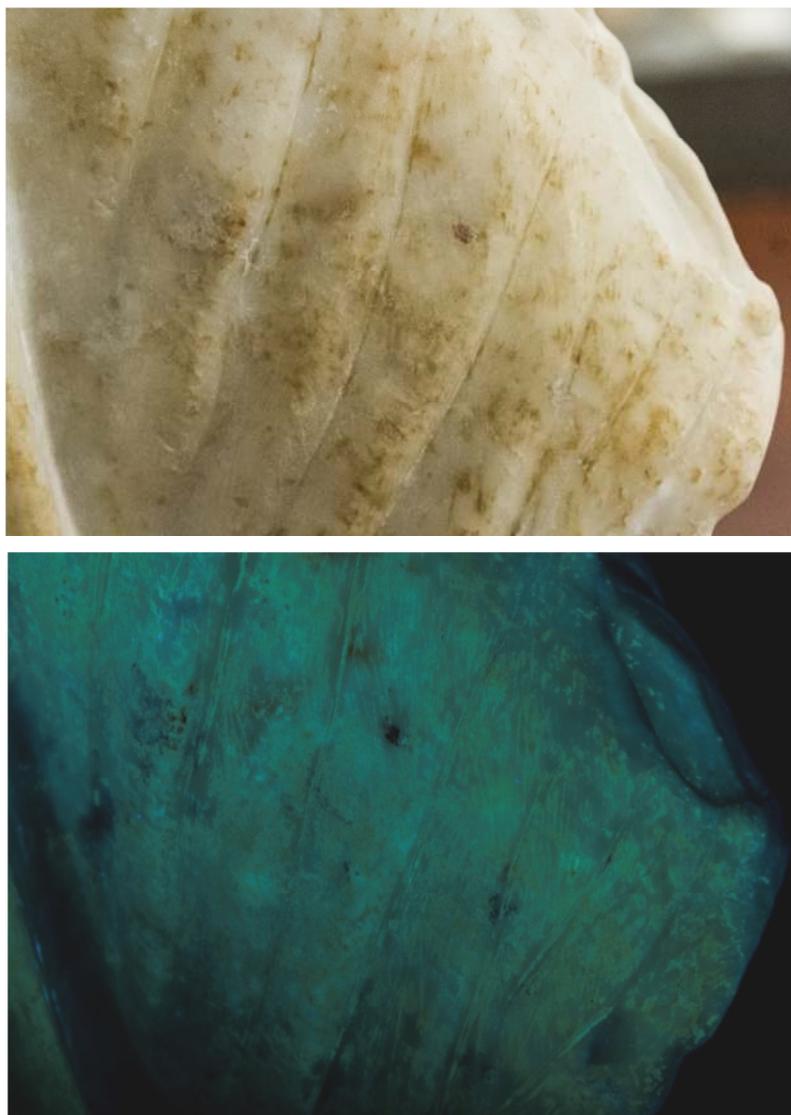


Fig. 222 - particolare in luce visibile e in fluorescenza ultravioletta della parte posteriore della toga.

Anche in questo caso le aree di colore rosso appaiono in fluorescenza ultravioletta come aree nere. Inoltre si nota, come nella statua di Livia, ci sia corrispondenza tra le zone fluorescenti e le aree con incrostazioni.

Le analisi effettuate su queste aree con la tecnica FORS mostrano l'andamento tipico degli ossidi idrossidi di ferro, confermati dalla presenza dei conteggi per le righe del ferro negli spettri XRF (Fig. 223).

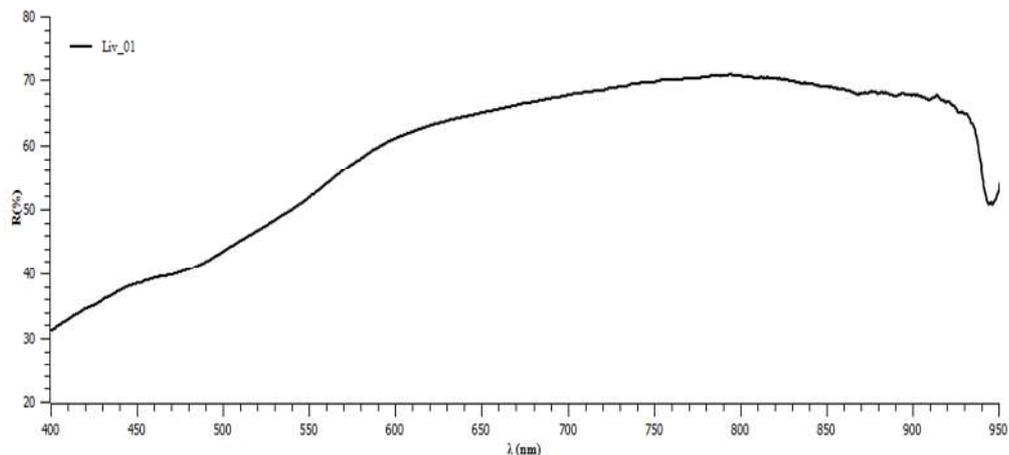


Fig. 223 - spettro FORS del punto LIV_01

In questa statua come nelle altre analizzate fino ad ora, le uniche tracce di colore sulla superficie sono da imputare alla presenza di ocre.

Statua di giovane ragazza (50 d.C. circa)

Questa statua non ha un'attribuzione certa, secondo alcuni studiosi si tratterebbe del ritratto della giovane Ottavia.



Fig. 224 - statua di giovane ragazza.

La statua presenta tracce di rosso soprattutto nella parte anteriore della tunica, mentre su tutto il resto della superficie non appare nessuna particolare evidenza di tracce di colore.

L'immagine in ultravioletto mostra la presenza di residui di organico dovuti all'adesivo usato per l'incollaggio di alcuni frammenti (Fig. 225).



Fig. 225 - particolare in fluorescenza ultravioletta della tunica.

Anche in questo caso le tracce trovate possono essere collegate a ossidi idrossidi di ferro.

In questa statua, come nella statua rappresentante Livia e Giulia Livilla, sono presenti nuovamente le aree con alta fluorescenza corrispondenti alle incrostazioni sulla superficie. In particolare la fluorescenza si nota nella zona della mano destra e in alcuni punti del viso (Fig. 226).



Fig. 226 - particolare in fluorescenza ultravioletta della mano destra e del viso.

Grazie alla fluorescenza ultravioletta è stato possibile osservare l'estensione dell'integrazione fatta in corrispondenza della base del collo che, qui come nelle integrazioni presenti su Augusto, non emettono fluorescenza.

Particolare è la zona dell'occhio sinistro che presenta delle aree dove la sostanza fluorescente si è condensata maggiormente.

Ritratto di Claudio

Questa scultura di cui è stato ritrovato solo il volto, rappresenta il ritratto di Claudio con la testa cinta da una corona di quercia (corona civica). Si tratta forse di una rilavorazione del ritratto di Caligola.

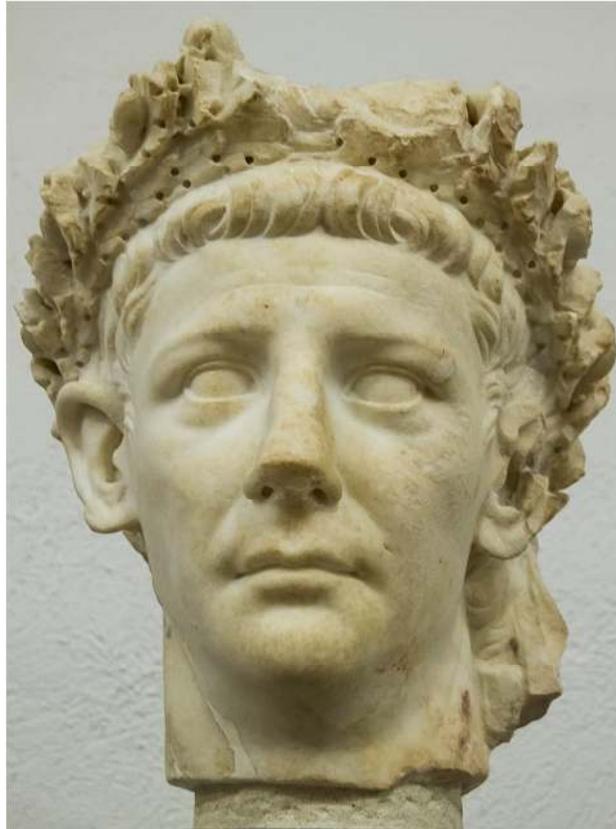


Fig. 227 - ritratto di Claudio.

Nelle immagini in fluorescenza ultravioletta si osservano delle emissioni più intense soprattutto in corrispondenza della corona di foglie di quercia.

Una particolarità che si nota immediatamente è la diversa fluorescenza dell'integrazione rispetto a quelle viste fino ad ora.

In questo caso l'integrazione appare chiara e presenta una fluorescenza bianca a differenza delle altre viste sulle statue di Augusto e della giovane ragazza (Fig. 228).

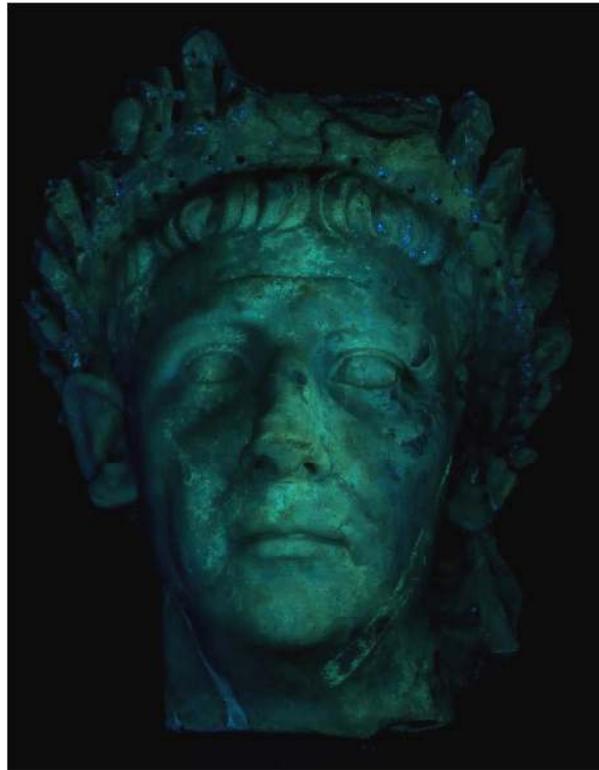


Fig. 228 - immagine in fluorescenza ultravioletta.

Questo ritratto di Claudio presenta una colorazione rossa molto intensa nella parte sinistra del collo e all'inizio della mascella.



Fig. 229 - immagine in luce visibile e in fluorescenza ultravioletta del lato sinistro del ritratto di Claudio.

Come si osserva dalla figura 229 le tracce di colore rosso appaiono scure in fluorescenza ultravioletta e questo ci può orientare sulla possibile composizione del pigmento.

Le analisi con le tecniche puntuali FORS e XRF hanno mostrato la presenza di ferro come si osserva negli spettri del punto n. 1, che corrisponde all'area alla base del collo dove il colore è più visibile.

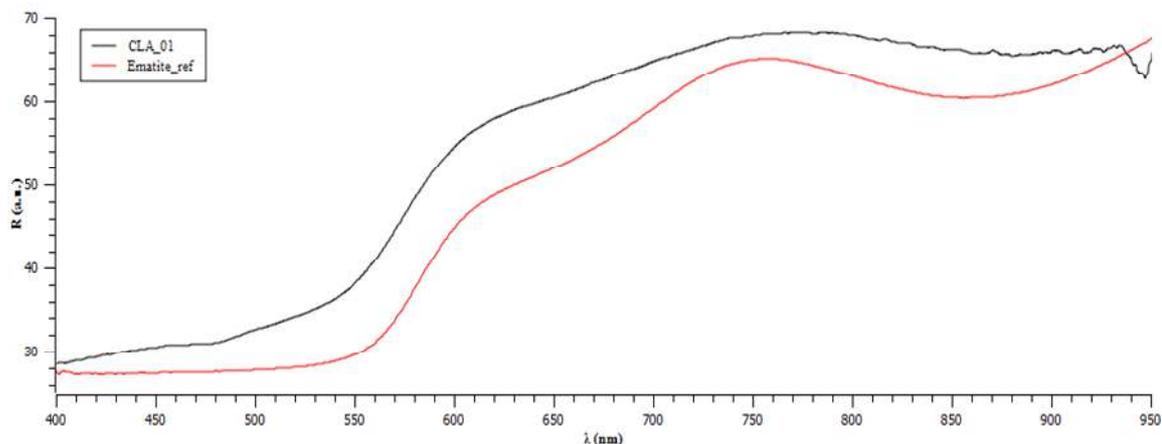


Fig. 230 - spettro FORS del punto n.1 confrontato con lo spettro di riferimento dell'ematite.

In questo caso lo spettro del punto n. 1 è stato confrontato con lo spettro delle stesure di riferimento create in laboratorio e caratterizzate con le tecniche usate in questo lavoro di ricerca. L'andamento della curva tra 450 nm e 520 nm fa pensare che non si tratti solo di ossidi di ferro puri ma che ci sia la presenza di idrossidi di ferro, anche se in misura minore.

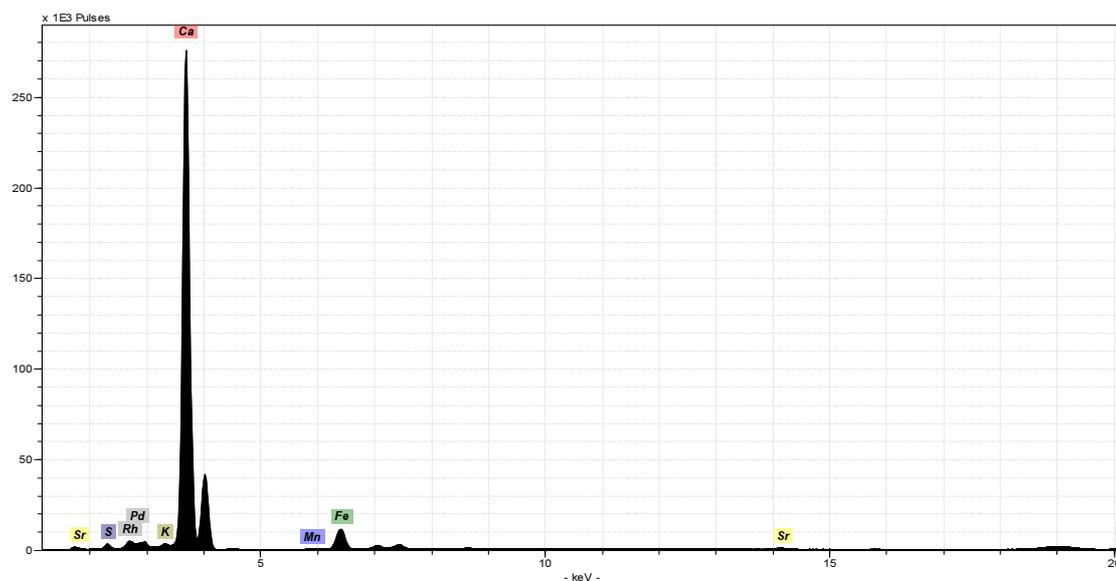


Fig. 231 - spettro XRF del punto n.1

È interessante osservare come sul mento e sulla guancia sinistra appaia una striscia con fluorescenza gialla, che, vista anche la forma, corrisponde a residui di nastro adesivo (Fig. 232).

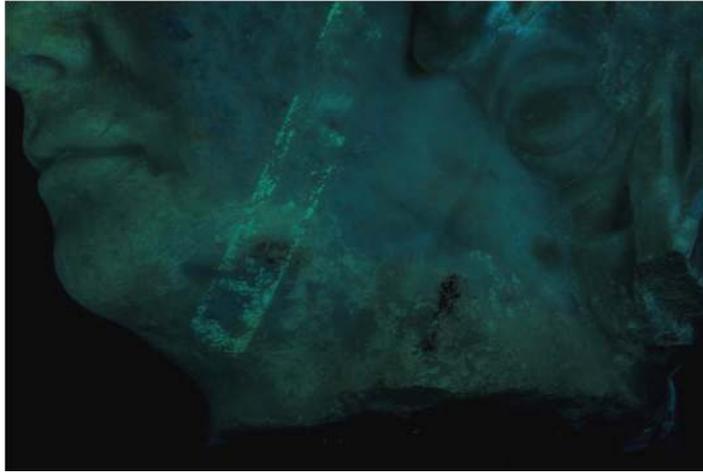


Fig. 232 - particolare della guancia sinistra in fluorescenza ultravioletta.

Questa statua, come le altre non presenta ulteriori tracce di pigmento sulla superficie. In ogni caso è stato eseguito tutto il protocollo per la fotografia multispettrale ma non è stata rilevata nessuna evidenza della presenza di tracce di altri pigmenti.

Frammento di statua di generale (prima metà del I secolo d.C.)

Questo frammento presenta una colorazione su quello che risulta essere lo sfondo su cui emergeva la figura e il basamento. Di questa statua rimane solo il basamento con un frammento di piede e della gamba e gli attributi che lo collegano alla vita militare come l'elmo e i calzari (*mulleus*).



Fig. 233 - frammento di statua di generale.

Non sono state riscontrate evidenze di altri colori eccezion fatta per alcuni residui di colore rosso sullo sfondo.

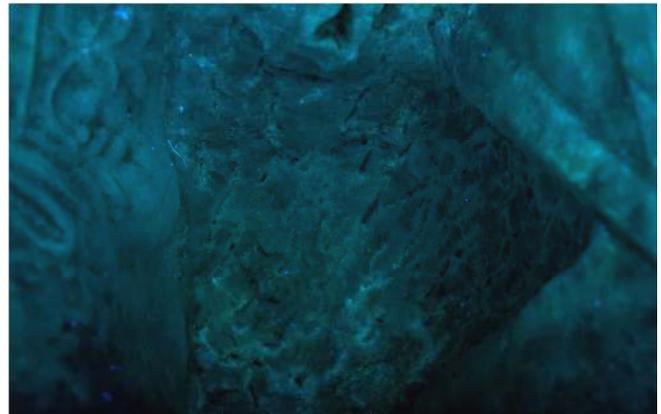


Fig. 234 - particolare in luce visibile e in fluorescenza ultravioletta dello sfondo con tracce di colore rosso.

Anche in questo caso le tracce sono miscele di ossidi e idrossidi di ferro.

Tali tracce risultano importanti per gli studi condotti dagli archeologi sui colori degli sfondi e di come questi cambino a seconda del periodo storico.

Statua di generale con armatura (lorica) da parata (prima metà del I secolo d.C.)

L'ultima statua presentata in questo caso studio è la statua di un generale con l'armatura da parata, alla quale mancano la testa, le mani ed entrambi i piedi.



Fig. 235 - generale con lorica.

La statua è stata ritrovata in tre pezzi, due all'interno dell'Augusteo e uno nella cisterna sottostante.

Dalla raffigurazione sulla corazza dei barbari vinti che offrono in ostaggio un bambino, sarebbe stata identificata come la statua dell'imperatore Domiziano, in accordo con le rappresentazioni nella 30ma scena della Colonna di Traiano (Settis, 1988) e nei frammenti di statue con corazze come quella presente alla NY Carlsberg Glyptotek (Muthmann, 1936), (Poulsen, 1962).

La comparazione con un piccolo gruppo di statue simili permette di datare la statua tra l'epoca dei Flavi e la prima età Traiana (Cadario, 2004).

Dal punto di vista delle analisi questa statua presenta tracce di diversi tipi di pigmenti, soprattutto sulla corazza e sulla veste.

Come menzionato in precedenza i pezzi della statua sono stati trovati in tre differenti luoghi, e ciò ha comportato un diverso stato di conservazione, tenendo conto anche che la cisterna in cui è stato trovato uno dei tre pezzi era in disuso da tempo e quindi non c'era più presenza di acqua al suo interno.

Questa diversità è visibile soprattutto nelle immagini in fluorescenza ultravioletta, dove si nota una marcata differenza, principalmente, tra la parte inferiore della corazza e la parte superiore.

La differenza tra la superficie delle due parti è leggermente visibile ad una osservazione ad occhio nudo, ma diventa chiara nelle immagini in fluorescenza ultravioletta (Fig. 236).



Fig. 236 - particolare in luce visibile e in fluorescenza ultravioletta delle due parti della statua.

Non è possibile al momento attribuire questo diverso comportamento della superficie ad un restauro o alla giacitura del pezzo, in quanto risultano dei documenti in cui si parla di un restauro, ma non sono indicati né i mezzi né i materiali usati.

Le indagini con le tecniche di fotografia multispettrale sono state effettuate su tutta la superficie della statua, concentrandosi in particolare sui decori dell'armatura che presentavano maggiori tracce di colore e su un punto particolare del manto che presenta una colorazione violacea.

In realtà la zona colorata non ha nessuna particolare risposta all'ultravioletto, viceversa leggermente più in alto appare una zona con forte fluorescenza gialla (Fig. 237).



Fig. 237 - particolare del manto in luce visibile e in fluorescenza ultravioletta. Nel riquadro la zona rosa, mentre indicato dalla freccia l'area con fluorescenza gialla.

Le immagini al microscopio ottico mostrano la presenza di residui d'oro nella parte di colore violaceo, l'esistenza di questa colorazione in corrispondenza di aree dorate o che erano dorate è stata studiata da Bourgeois e Jockey nelle statue di Delos (Bourgeois & Jockey, 2000), ma non è ancora del tutto chiarita la sua funzione. In alcuni casi sono state avanzate ipotesi sulla presenza di questo residuo come oro colloidale risultato dell'alterazione della foglia d'oro, in altri come strato di preparazione per accogliere la foglia d'oro o come base per rendere l'oro più caldo, con la stessa funzione del bolo nelle preparazioni dell'oro delle tavole medioevali (Artal Isbrand, Becker, & Wypyski, 2002).



Fig. 238 - particolare dell'area con colorazione violacea e particolare al microscopio digitale portatile.

In questo caso sono state effettuate anche delle misure tramite fluorescenza X per studiare la composizione della doratura.

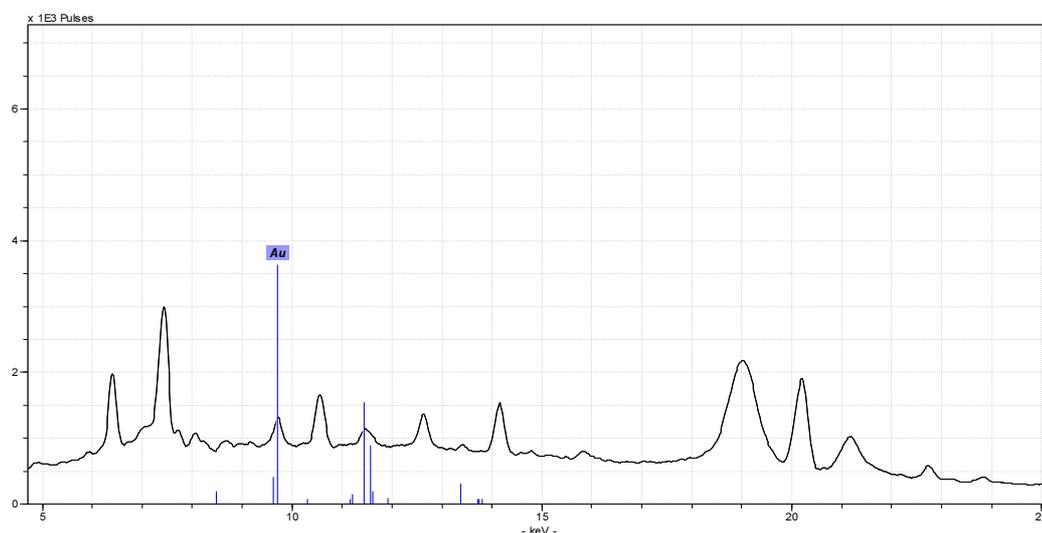


Fig. 239 - particolare dello spettro LOR_01 corrispondente all'area violacea.

Dallo spettro si notano i segnali dell'oro, anche se i conteggi sono bassi a causa della quantità esigua presente sulla superficie.

Ulteriori tracce di oro sono state trovate anche in alto sulla toga, sempre in una zona sul bordo. La posizione di questi residui di oro permette di ipotizzare la presenza di un decoro dorato per il bordo della toga.



Fig. 240 - particolare del bordo della toga con oro e immagine al microscopio ottico.

In questo caso, a differenza dell'area descritta in precedenza, le analisi in fluorescenza X mostrano la presenza di alti conteggi per il piombo insieme ai conteggi relativi all'oro (Fig. 241).

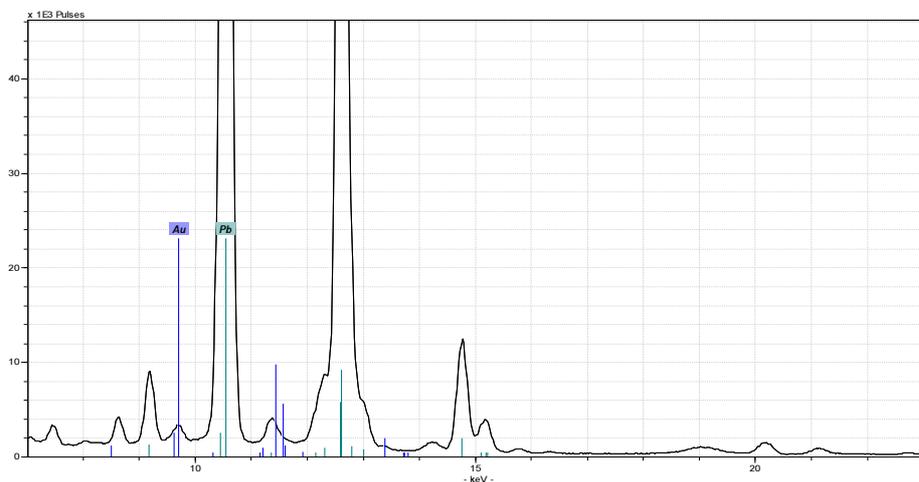


Fig. 241 - particolare dello spettro del punto LOR_05 corrispondente all'area con oro.

Le immagini acquisite con la tecnica della luminescenza indotta da luce visibile sulla corazza, mostrano la presenza di due zone in cui è stato impiegato il pigmento blu egizio. In particolare le zone individuate sono in corrispondenza della tunica del trofeo e sulla veste della donna barbara sul lato della corazza (Fig. 242).



Fig. 242 - particolari in VIL delle figure sulla corazza.

Altri spot luminosi appaiono disseminati su tutta la corazza, ma l'esigua quantità di materiale presente non può essere ricollegato ad una stesura intenzionale.

Le immagini acquisite in altre zone della statua non mostrano nessuna traccia di luminescenza.

Nei punti in cui è stato trovato il blu egizio sono stati acquisiti anche gli spettri FORS e XRF per ulteriore conferma della presenza di tale pigmento.

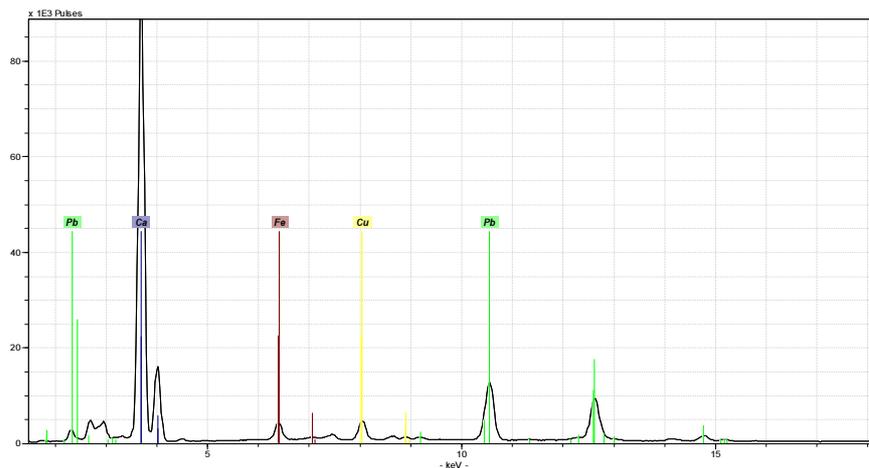


Fig. 243 - spettro XRF del punto LOR_07.

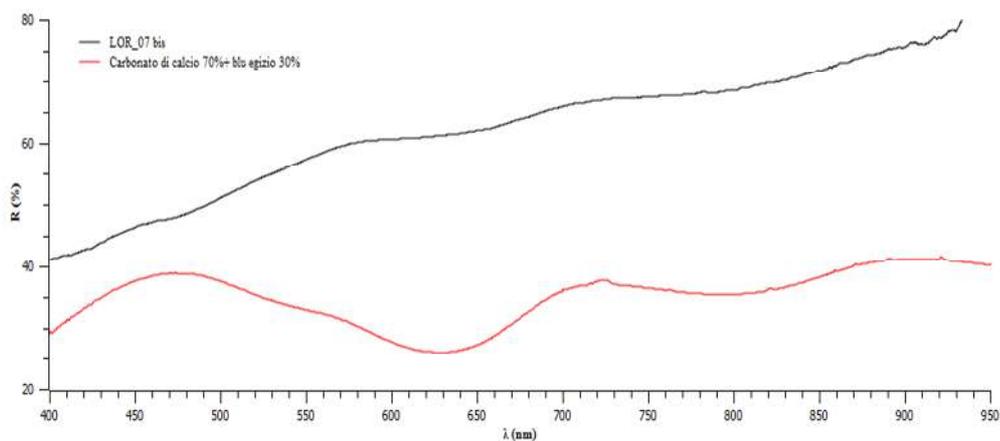


Fig. 244 - spettro FORS del punto LOR_07 comparato con il riferimento della miscela carbonato di calcio+ blu egizio.

Gli spettri in figura 243 e figura 244 si riferiscono al punto LOR_07, un'area tra pieghe della veste del trofeo, come indicato in figura 245.

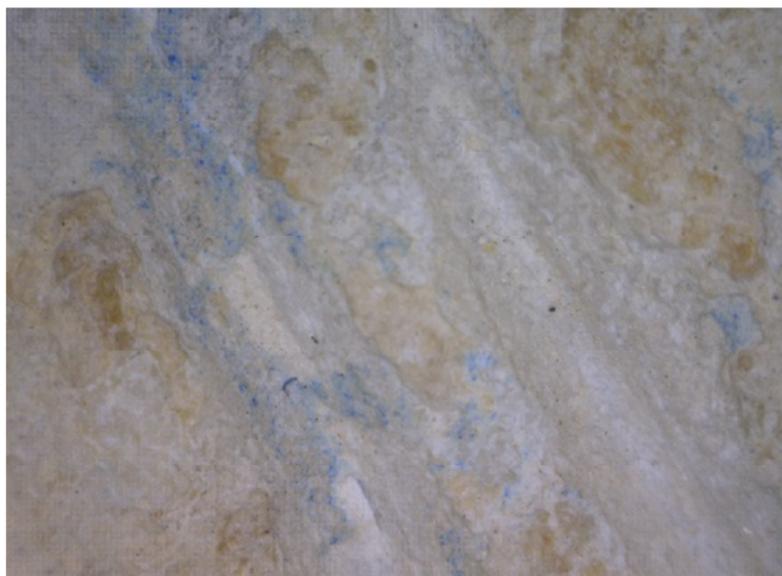


Fig. 245 - punto di misura LOR_07 e particolare al microscopio ottico.

Dalle immagini al microscopio ottico si osserva che il blu non è steso puro ma mescolato con un pigmento bianco.

Comparando, infatti, lo spettro FORS del punto LOR_07 con lo spettro acquisito in laboratorio su una miscela di carbonato di calcio al 70% e blu egizio al 30%, si vede come gli andamenti siano molto simili (Fig. 244).

Misure puntuali sono state acquisite anche sulla parte superiore del trofeo, dove si osservava una colorazione rosata (Fig. 246).



Fig. 246 - particolare della parte superiore del trofeo.

Lo spettro FORS mostra la presenza di ossidi idrossidi di ferro, ma lo spettro XRF, oltre ai conteggi del ferro, mostra anche apprezzabili conteggi per lo zinco (Fig. 247).

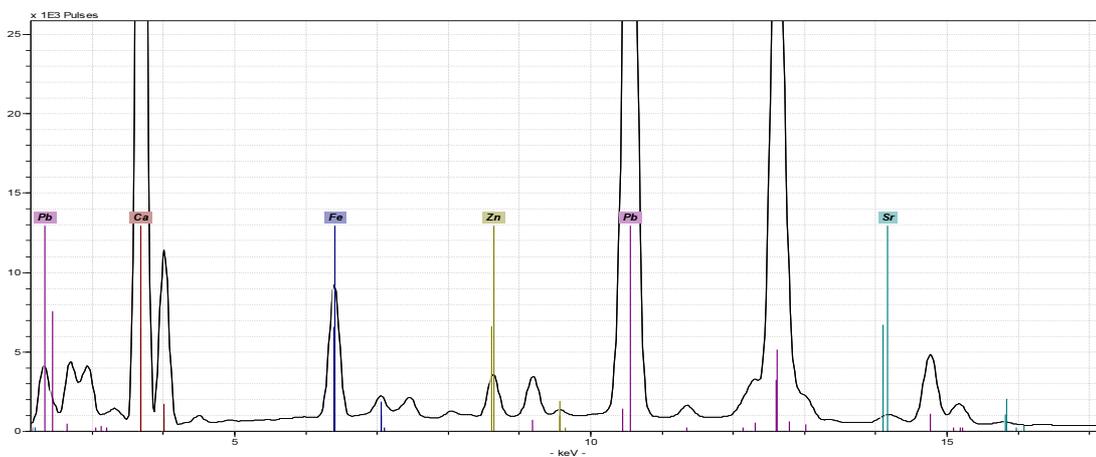


Fig. 247 - spettro XRF del punto LOR_08.

Ad una osservazione ravvicinata le acquisizioni in fluorescenza ultravioletta mostrano la presenza di piccole aree dalla forte fluorescenza gialla, soprattutto nelle zone incavate del decoro della corazza.

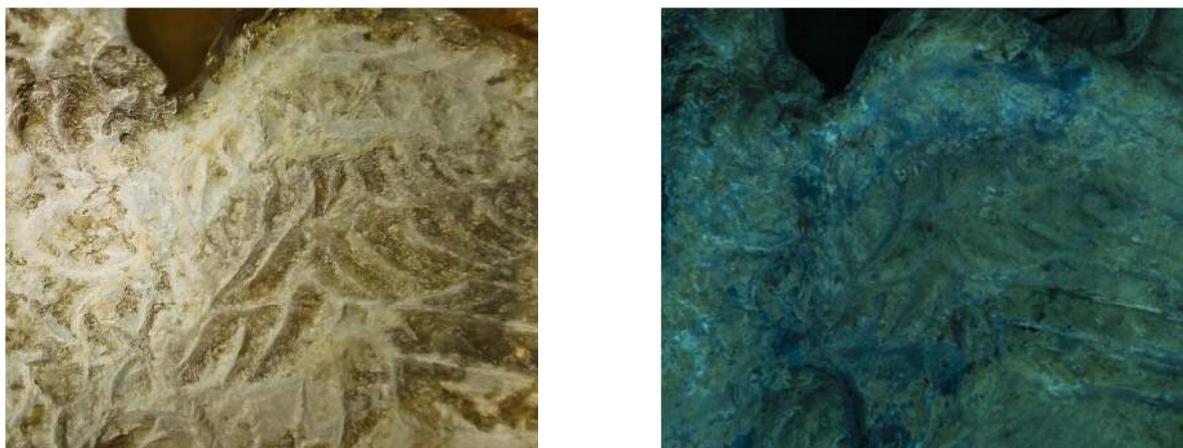


Fig. 248 - particolare dell'aquila in visibile e in fluorescenza ultravioletta.

Queste zone corrispondono principalmente a dei punti in cui sono maggiormente concentrate le incrostazioni sulla superficie, anche se in alcune aree la fluorescenza è più intensa (Fig. 249).



Fig. 249 - particolare della donna barbara in visibile e in fluorescenza ultravioletta.

L'emissione di fluorescenza molto forte sembra provenire da questa sostanza di colore giallo chiaro presente in alcuni punti della superficie, soprattutto nella zona della corazza.

Per caratterizzare le sostanze che provocano questa emissione molto intensa e capirne la tipologia, è stato necessario il prelievo di un microcampione la cui analisi è ancora in corso.

Grazie all'utilizzo delle tecniche di indagine multispettrale anche in questo caso è stato possibile limitare il numero dei prelievi eseguiti solo in due aree per l'identificazione certa di materiale non altrimenti identificabili.

Conclusioni

Le informazioni raccolte nella prima fase di questo studio sono risultate utili per comprendere in maniera più approfondita i possibili materiali e pigmenti utilizzati in questo ciclo di statue che possono essere considerate un unico corpo dal punto di vista stilistico, come nel caso del ciclo di Veleia. (Marini Calvani, 2005).

Il ciclo di Veleia è un ciclo di statue di marmo lunense, datate intorno al I sec. d.C. e raffiguranti la famiglia giulio-claudia, ritrovate negli scavi dell'antica città romana di Veleia, vicino Pavia. Questo gruppo di statue, attualmente conservate nel Museo Archeologico Nazionale di Parma, come il gruppo di Roselle, presenta delle tracce di pigmenti.

Il ciclo di Roselle è uno dei rari casi in cui è possibile studiare non una sola statua ma un intero gruppo, appartenente allo stesso ciclo.

Le analisi in fluorescenza ultravioletta sono state di grande interesse per la descrizione, dal punto di vista dell'estensione sulla superficie, dei depositi presenti sulle statue. La fluorescenza, dovuta a delle sostanze organiche, probabilmente passati restauri o manutenzioni, ha permesso di individuare tutte le zone in cui erano presenti queste incrostazioni, fornendo una mappa dettagliata delle aree interessate.

Di particolare interesse, è la differente risposta nelle immagini in fluorescenza UV dei due frammenti principali di cui è costituita la statua del generale con armatura. Questo aspetto dovrebbe essere studiato sia con altre analisi sia con un'approfondita ricerca d'archivio per conoscere la storia conservativa dei pezzi.

Le immagini acquisite su tutte le statue con la tecnica VIL non hanno mostrato la presenza di blu egizio sulle superfici ad eccezione di alcuni decori sulla lorica del generale.

In questo caso le immagini VIL mostrano aree di intensa luminescenza collegata alla presenza di blu egizio nelle vesti dei barbari, soprattutto della donna sulla destra, e sul trofeo, scolpiti sulla corazza.

Le analisi con tecniche puntuali hanno convalidato i risultati ottenuti con le tecniche di fotografia multispettrale. Inoltre grazie al confronto degli spettri FORS acquisiti sulla veste del trofeo con gli spettri acquisiti sui provini preparati in laboratorio, è stato possibile ipotizzare la presenza di una miscela tra il blu e un pigmento bianco.

In questo caso la possibilità di collocare precisamente le tracce di blu sulla superficie, anche in zone dove non è più visibile ad occhio nudo, ha permesso agli archeologi di avanzare nuove ipotesi sulla colorazione di questa tipologia di ritratti nel periodo che va da I secolo a.C. al I secolo d.C. (Liverani, 2004), (Santamaria & Morresi, 2004)

Per quanto riguarda le altre tracce di colore, queste sono riconducibili tutte alla classe delle ocre. In particolare sulle statue sono state trovate tracce di colore rosso che mostrano negli spettri FORS l'andamento tipico degli ossidi di ferro e negli spettri XRF la presenza dei picchi del ferro.

Dal punto di vista tecnico l'utilizzo dei flash come sorgenti di radiazione ultravioletta ha permesso di acquisire le immagini e documentare tutti i lati delle statue.

Alcune di queste statue, infatti, sono posizionate a poche decine di centimetri dal muro e con le tradizionali luci dotate di un appoggio su stativo non sarebbe stato possibile il corretto posizionamento per

manca di spazio. Al contrario l'utilizzo dei flash ha permesso di raggiungere la maggior parte di questi punti. L'unica limitazione è data dalla distanza minima di messa a fuoco dell'obiettivo. Infatti, ogni obiettivo dispone di una distanza minima tra il piano focale del sensore e il piano focale dell'oggetto. Al di sotto di questo valore, solitamente espresso in metri, non è possibile mettere a fuoco l'oggetto per una limitazione dovuta alle leggi di fisica ottica alla base del sistema di lenti.

Conclusioni sul protocollo e sul suo utilizzo

Il lavoro di ricerca svolto in questi tre anni di dottorato si è concentrato sulla messa a punto di un protocollo che potesse essere applicato per la caratterizzazione delle tracce di colore su manufatti antichi senza la necessità, o comunque limitando al minimo, il prelievo di campioni per le analisi invasive.

Inoltre un aspetto molto importante della ricerca è stata la creazione di un sistema che potesse essere facilmente trasportabile *in situ* senza dover muovere l'oggetto da analizzare.

Gli studi sono stati focalizzati principalmente sulle tecniche di fotografia multispettrale, poiché queste tecniche, che comprendono l'acquisizione e l'analisi di immagini ottenute dall'interazione della materia con le diverse lunghezze d'onda, non prevedono il contatto diretto con le opere analizzate.

Le tecniche di fotografia multispettrale sono ampiamente diffuse e sono tra le prime tecniche utilizzate per le analisi scientifiche su opere d'arte, in particolar modo per la caratterizzazione di vernici e leganti, attraverso la fluorescenza ultravioletta, o per l'identificazione di ritocchi pittorici e disegni preparatori, con l'infrarosso.

Tra le tecniche di diagnostica tuttavia sono quelle che presentano meno di tutte le altre, dei protocolli per la standardizzazione delle procedure di analisi.

Dalla necessità di avere un risultato confrontabile tra i diversi operatori è stata sviluppata una proposta di protocollo che tenesse in considerazione tutti i fattori che concorrono alla formazione dell'immagine finale, dalla macchina fotografica, alla scelta delle sorgenti, dei filtri e del protocollo di post-processing.

Anche se la matrice di base di ogni fotocamera digitale è costituita da un buffer di silicio, le lenti, i materiali usati per i fotodiodi e l'elettronica per trasformare il segnale da analogico a digitale, concorrono alla formazione dell'immagine, ciascuno con un proprio contributo nella restituzione finale.

Per questo motivo sono state testate, in primo luogo, una serie di fotocamere di diverse marche e modelli (Canon, Nikon e Sony).

Gli esperimenti condotti in laboratorio, hanno messo in luce le differenze, seppur minime, tra le varie case costruttrici. Ad esempio, i coloranti usati per i filtri posti sopra i fotodiodi di un sensore possono essere più o meno sensibili alla radiazione infrarossa. Tali differenze non si percepiscono quando la fotocamera acquisisce le immagini in luce visibile, perché al suo interno ciascuna casa costruttrice predispone un filtro termico che bilancia questo effetto. Le differenze diventano significative nel momento in cui viene rimosso il filtro interno per aumentare la sensibilità della fotocamera.

L'esempio più evidente di questa differenza è la diversa risposta in fluorescenza ultravioletta dello Spectralon[®], ottenuta fotografandolo con gli stessi parametri di ripresa, stesse sorgenti di radiazione ultravioletta, ma con due differenti fotocamere entrambe Canon, ma di diverso modello.

In generale, i risultati ottenuti dalle prove effettuate con le fotocamere semiprofessionali, sia Canon che Nikon, risultano i migliori sia per la qualità dei sensori montati e dell'elettronica collegata alla trasmissione e conversione del segnale, sia per la possibilità di intervenire in maniera indipendente sui parametri di acquisizione dell'immagine. La fotocamera Sony, seppur provvista di un'opzione per rimuovere temporaneamente il filtro termico interno, non fornisce la stessa libertà di intervento delle semiprofessionali.

Un altro fattore che può influenzare l'immagine finale è il tipo di sorgente utilizzato per le analisi.

Oggigiorno in commercio sono presenti molti modelli di sorgenti, le comuni lampade con tubi a fluorescenza, i LED e i flash.

In particolare i LED e i flash sono strumenti molto versatili rispetto alle comuni lampade a fluorescenza, sia per dimensione sia per il maggior controllo della radiazione emessa.

La fluorescenza ultravioletta e la VIL sono le due tecniche di fotografia multispettrale che risultano più suscettibili delle altre alle differenze nello spettro di emissione delle sorgenti. Per questo motivo i test si sono concentrati soprattutto sulla scelta delle migliori sorgenti per queste due tecniche di *imaging*.

Per la tecnica della fluorescenza ultravioletta sono state testate le comuni lampade di Wood, delle lampade messe a punto dall'IFAC-CNR e i flash della Quantum Instruments modello Qflash T5dR.

Le lampade di Wood presentano molti problemi dal punto di vista dello spettro emesso. Infatti, oltre ad avere un picco centrato a 365 nm circa con una distribuzione molto larga, tali lampade emettono una piccola quantità di radiazione infrarossa che appare come dominante magenta nell'immagine finale.

Le lampade messe a punto dall'IFAC - CNR permettono un maggior controllo della radiazione in uscita, grazie alla presenza di un filtro DUG 11 che taglia efficacemente tutta la radiazione parassita, sia nel primo visibile che nella prima parte dello spettro infrarosso. Dal punto di vista dello spettro di emissione queste lampade sono le migliori per ottenere una restituzione fedele della fluorescenza emessa dall'oggetto.

I flash risultano essere un ottimo compromesso tra le due sorgenti tradizionali. Questi hanno il vantaggio di avere tempi di acquisizione molto brevi, versatilità della strumentazione e poca dipendenza dalle fonti di illuminazioni presenti negli ambienti.

Il potente e rapido impulso dei flash permette, infatti, di limitare al minimo la radiazione parassita che raggiunge il sensore e ne rende possibile l'utilizzo anche con condizioni di illuminazione non ideali. Un tipico esempio sono le riprese in fluorescenza ultravioletta, nelle quali è di fondamentale importanza avere il buio completo nell'ambiente in cui si acquisisce, condizione non sempre possibile, soprattutto quando le riprese vengono effettuate *in situ*.

Inoltre, l'utilizzo dei flash rende la strumentazione ancora più compatta e trasportabile. L'emissione dei flash copre tutto lo spettro elettromagnetico, dalla radiazione ultravioletta alla radiazione infrarossa e abbinata alla possibilità di filtrare selettivamente la radiazione in uscita, ci permette di adoperare una sola sorgente di radiazione elettromagnetica per tutte le tecniche di fotografia multispettrale.

Di contro però, i flash, presentano una minore intensità della radiazione ultravioletta rispetto alle tradizionali lampade con tubi fluorescenti, dovuta alla presenza di alcuni componenti dei bulbi in vetro che tendono ad assorbire la radiazione ultravioletta.

Oltre alle sorgenti, sono stati testati anche diversi filtri sia in gelatina sia in vetro. Questi ultimi sono risultati i più maneggevoli, facili da conservare e pulire, ma anche i più accurati dal punto di vista della capacità di filtraggio.

L'uso delle fotocamere digitali, in più, ha introdotto il problema della correzione di alcuni parametri quali il bilanciamento del bianco e la tinta, che possono influire sulla restituzione finale dell'immagine. Il bilanciamento del bianco e la tinta possono variare a seconda del tipo di fotocamera, del filtro e del tipo di sorgente. Per questo motivo sono state studiate diverse soluzioni per risolvere il problema a seconda del tipo di set-up strumentale usato per acquisire le immagini.

Messe a punto tutte le correzioni, il protocollo è stato testato, inizialmente, in laboratorio con provini appositamente preparati per lo scopo, e in seguito con la sua applicazione in situ.

I casi studio presentati in questo lavoro di ricerca mettono in luce l'importanza di un protocollo che possa essere valido sempre e in qualsiasi condizione. Infatti, nella maggior parte dei casi le condizioni che si creano in laboratorio, non sono facilmente riproducibili *in situ*.

I motivi possono essere di varia natura, quali ad esempio: la posizione dell'oggetto, la grandezza e il luogo in cui è conservato.

Casi estremi sono lo studio effettuato sul sarcofago tardo romano nelle catacombe del complesso di San Callisto, oppure le statue dell'Augusteo di Roselle del Museo di Grosseto, dove non era possibile spostare gli oggetti indagati.

In questi due casi, come negli altri il protocollo messo a punto durante i tre anni di dottorato si è dimostrato efficace per una prima caratterizzazione non invasiva dei materiali presenti sulla superficie.

La possibilità di integrare le indagini fotografiche con metodi puntuali come la spettroscopia in riflettanza a fibre ottiche e la fluorescenza a raggi X permette di ottenere una serie di informazioni valide per avere una buona caratterizzazione dei pigmenti utilizzati, senza la necessità di prelevare campioni da analizzare con tecniche invasive.

La tipologia di manufatti scelti per questo lavoro di ricerca, permette raramente il prelievo di un campione anche se di dimensioni microscopiche.

Un caso esemplare sono le analisi svolte sui Monocromi del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, che per le loro caratteristiche di unicità, ma anche per la delicatezza della pittura, non permettevano in alcun modo dei prelievi. In questo caso l'applicazione del protocollo con la comparazione dei risultati tra le varie tecniche ha permesso una diagnostica in grado di fornire risposte ai quesiti sollevati dagli archeologi.

Naturalmente questo tipo di indagini non invasive non può essere esaustivo delle domande riguardo lo studio dei leganti o delle tecniche usate nell'antichità per decorare le statue, ma può essere fortemente di supporto nello studio e nella eventuale scelta, nei casi in cui non è possibile altrimenti, dei punti di prelievo con una valutazione più accurata e mirata, limitandone in questo modo il numero.

Grazie alla caratterizzazione e allo studio dei vari componenti è stato possibile effettuare una scelta accurata della strumentazione per ottenere i massimi risultati.

Questa ricerca ha permesso la creazione di un set di strumenti estremamente trasportabile e affidabile, totalmente non invasivi e di facile applicazione, capaci di lavorare in ambienti estremi dove altri sistemi, più raffinati non potrebbero accedere. Infine, soprattutto per le tecniche di fotografia multispettrale, sono state usate strumentazioni disponibili in commercio e relativamente economiche.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare prima di tutto i miei genitori e mio fratello Stefano, che hanno sempre creduto in me e nelle mie capacità, anche quando io stessa nutro dei dubbi e che mi hanno sempre sostenuto e consigliato.

Più di un ringraziamento va alla Dott.ssa Susanna Bracci, il mio tutor, per tutto il sostegno, per il tempo dedicatomi, per avermi aiutato a crescere professionalmente e come persona, per aver creduto in me e dandomi la possibilità di portare avanti questo lavoro di ricerca.

Un ringraziamento al mio cotutor il Prof. Franco Lucarelli, al Dott. Giovanni Bartolozzi per l'aiuto e i preziosi suggerimenti non solo in fase di scrittura ma anche di correzione della tesi.

Un grazie alle mie amiche più care, Natalia e Ilenia che mi sono state vicine anche nei momenti bui, alla mia famiglia "fiorentina", Anna e Italo, che mi hanno sopportato anche quando ero insopportabile!

Senza voi quattro non ce l'avrei mai fatta ad arrivare fin qui..grazie.

Un grazie alle mie colleghe e amiche, la mia collega di stanza Silvia, Donata, Rachele e Oana e a tutte le colleghe e i colleghi dell'ICVBC - CNR. Un grazie speciale alla Dott.ssa Emma Cantisani per le analisi XRF, ma soprattutto perché in ogni nostra collaborazione ho avuto sempre la fortuna di trovare qualche reperto con il blu egizio.

Vorrei ringraziare il Prof. Paolo Liverani, del dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo dell'Università degli Studi di Firenze, per la splendida collaborazione e per avermi dato la possibilità di lavorare su bellissimi oggetti, scoprendo il mondo della policromia antica. Un grazie alla Dott.ssa Sara Lenzi con cui spero di poter collaborare anche in futuro e con cui ho condiviso tanti viaggi, stanze di albergo e ansie pre-presentazioni.

Vorrei ringraziare la direttrice del Museo Archeologico Nazionale di Napoli, la Dott.ssa Valeria Sampaolo, la Dott.ssa Barbara Mazzei della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra (Roma), la direttrice del Museo Nazionale Romano - Palazzo Altemps (Roma), la Dott.ssa Alessandra Capodiferro, la Dott.ssa Sabrina Violante, la Dott.ssa Letizia Rustico, la direttrice del Museo di Archeologia e d'Arte della Maremma (Grosseto), la Dott.ssa Mariagrazia Celuzza e la Dott.ssa Cristina Barsotti.

Ringrazio il gruppo di tecniche imaging dell'IFAC-CNR, Andrea Casini e Lorenzo Stefani, per avermi prestato le lampade UV e la fotocamera Nikon, la restauratrice Gabriella Tonini della Nike Restauro Opere d'Arte per la consulenza sul metodo di stesura dei pigmenti.

Infine ringrazio le mie amiche e colleghe di dottorato Dott.ssa Floriana Salvemini e la Dott.ssa Veronica Marchiafava per gli utili consigli durante questi anni.

Bibliografia

AA.VV. (1978). *Roselle. Gli scavi e la mostra*. Pisa.

Accorsi, G., Verri, G., Bolognesi, M., Armaroli, N., Clementi, C., Miliani, C., et al. (2009). The exceptional near infrared luminescence properties of Cuprorivaite (Egyptian blue). *Chem. Com.* (23), p. 3392-3394.

Ajò, D., Chiari, G., De Zuane, F., Favaro, M., & Bertolin, M. (1996). Photoluminescence of some blue natural pigments and related synthetic materials. *Proceeding 5th International Conference of non-destructive testing, microanalytical methods and environmental evaluation for the study and conservation of Works of Art*, (p. 33-47). Budapest.

Ajò, D., Polato, P., & De Zuane, F. (1998). Photoluminescence spectroscopy as an attractive technique for quantitative determination of Fe³⁺ in industrial glasses. *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*, 4 (37), p. 315-318.

Aldrovandi, A., & Picollo, M. (2007). *Metodi di documentazione e indagini non invasive sui dipinti*. Saonara (Pd): Editore Il Prato.

Aliatis, I., Bersani, D., Campani, E., Casoli, A., Lottici, P. P., Mantovan, S., et al. (2009). Green pigments of the Pompeian artists' palette. *Spectrochimica Acta A Mol Biomol Spectrosc.*, p. 532-538.

Artal Isbrand, P., Becker, L., & Wypyski, M. (2002). Remains of gilding and ground layers on a Roman marble statue of the goddess Hygieia. *Asmosia V - Interdisciplinary Studies in Ancient Stone*, (p. 196-200). London.

Bacci, M. (2000). UV - Vis - NIR, FT - IR, and FORS spectroscopies, Modern Analytical Methods in Art and Archaeology. *Chemical Analysis Series*, 155, 321-361.

Bacci, M., Orlando, A., Picollo, M., Radicati, B., & Lanterna, G. (2000). Colour analysis of historical red lakes using non-destructive reflectance spectroscopy. *Proceedings of the Compatible materials for the protection of cultural heritage PACT 58*, (p. 21-35).

Bevilacqua, N., Borgioli, L., & Adrover Gracia, I. (2010). *I pigmenti nell'arte dalla preistoria alla rivoluzione industriale*. Saonara: Il Prato.

Bianchetti, P., Talarico, F., Vigliano, M. G., & Ali, M. F. (2000). Production and Characterization of Egyptian blue and Egyptian green frit. *Journal of Cultural Heritage* (1), p. 179-188.

Bisulca, C., Picollo, M., Bacci, M., & Kunzelman, D. (2008). UV-VIS-NIR reflectance spectroscopy of red lakes in paintings. *9th International Conference on NDT of Art*. Jerusalem.

Bourgeois, B., & Jockey, P. (2000). Polychrome Hellenistic Sculpture in Delos: Research on Surface Treatments of Ancient Marble Sculpture. *Asmosia VI - Sixth International Conference*, (p. 497-506). Venezia.

Bridgman, C. F., & Lou, G. H. (1963). Infrared Luminescence in the Photographic Examination of Paintings and other Art Objects. *Studies in Conservation* 8, 3, 77-83.

- Brinkmann, V. (2004). Colori e tecnica pittorica. In P. Liverani, *I colori del Bianco: policromia nella scultura antica* (p. 315-324). De Luca.
- Brinkmann, V. (2004). La ricerca sulla policromia della scultura antica. In M. V. Documentazione, *I colori del Bianco - policromia nella scultura antica* (p. 29-40). Roma: De Luca editori d'Arte.
- Cadario, M. (2004). *La corazza di Alessandro. Loricati di tipo ellenistico dal IV sec. a.C. al II d.C.*. Milano.
- Camagna Pagès, S., & Colinart, S. (2003). The Egyptian green pigment: its manufacturing process and links to Egyptian blue. *Archaeometry*, 4 (45), p. 637-658.
- Capodiferro, A. (A cura di). (2013). *Evan Gorga la collezione di archeologia. Museo Nazionale Romano*. Mondadori Electa.
- Casini, A., Lotti, F., Picollo, M., Stefani, L., & Aldrovandi, A. (2002). Fourier transform interferometric imaging spectrometry: a new tool for the study of reflectance and fluorescence of polychrome surfaces. *Conservation in Science*.
- Church, A. H. (1915). *The chemistry of paints and painting*. London: Seeley Service.
- Citter, C. (A cura di). (1996). *Grosseto, Roselle e il Prile in Documenti di Archeologia 8 SAP*. Mantova.
- Cotte, M., Susini, J., Metrich, N., Moscato, A., Gratziu, C., Bertagnini, A., et al. (2006). Blackening of Pompeian cinnabar paintings: X-ray microspectroscopy analysis. *Analytical chemistry*, 21 (78), p. 7484-7492.
- Daniels, V., Stacey, R., & Middleton, A. (2004). The Blackening of Paint Containing Egyptian Blue. *Studies in Conservation*, 4 (49), p. 217-230.
- Delamare, F. (2007). *Blue Pigments - 5000 Years of Art and Industry*. London: Archetype Publications Ltd.
- Dyer, J., Verri, G., & Cupitt, J. (2013). *Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-induced Luminescence mode: a user manual*.
- Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2004). *Pigment Compendium - a Dictionary of Historical Pigments* (Vol. I). Oxford: Elsevier.
- Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2004). *Pigment Compendium - a Dictionary of Historical Pigments* (Vol. II). Oxford: Elsevier.
- Edreira, M. C., Feliu, M. J., Fernandez-Lorenzo, C., & Martin, J. (2003). Spectroscopic Study of Egyptian Blue Mixed with Other Pigments. *Helvetica Chimica Acta*, 86, 29-49.
- Feller, R. L. (A cura di). (2012). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 1). London: Archetype.
- Fiedler, I., & Bayard, M. (2012). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 1). (R. Feller, A cura di) London: Archetype Publication Ltd.
- Gettens, R. J., Feller, R. L., & Chase, W. T. (2012). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Gettens, R. J., Kuhn, H., & Chase, W. T. (1993). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Gettens, R. J., & West Fitzhugh, E. (1993). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype.

Gettens, R. J., & West Fitzhugh, E. (1993). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Gettens, R. J., & West Fitzhugh, E. (1966). Azurite and Blue Verditer. *Studies in Conservation*, 11 (2), p. 54-61.

Gettens, R. J., West Fitzhugh, E., & Feller, R. L. (1993). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Ghilardi, M. (2004). Gli scavi di Roma sotterranea cristiana. In F. Coarelli (A cura di), *Lexicon Topographicum Urbis Romae, Supplementum II.1, Gli scavi di Roma 1878-1921* (p. 117-130). Roma: edizioni Quasar.

Giustetto, R., Seenivasan, K., & Bordiga, S. (2010). Spectroscopic characterization of a sepiolite-based Maya Blue pigment. *Periodico di mineralogia* (Special Issue), p. 21-27.

Goldsmith, J. A., & Ross, S. D. (1968). The infrared spectra of azurite and malachite. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy*, 12 (24), p. 2131-2137.

Grimssom, C. A. (2012). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 1). (R. L. Feller, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Guineau, B. (1984). Analyse non destructive des pigments par microsonde Raman laser: exemples de l'azurite et de la malachite. *Studies in Conservation*, 1 (29), p. 35-41.

Helwig, K. (2007). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics*. (B. H. Berrie, A cura di) London: Archetype.

Jaksch, H., Seipel, W., Weiner, K. L., & El Goresy, A. (1983, November). Egyptian Blue - Cuprorivaite, a window to Ancient Egyptian Technology. *Die Naturwissenschaften* 70, 525-535.

Johnson Mc Daniel, D., Barrett, C. A., Sharafi, A., & Salguero, T. T. (2013). Nanoscience of an Ancient Pigment. *JACS* (135), p. 1677-1679.

Kakoulli, I. (2002). Late Classical and Hellenistic painting techniques and materials: a review of the technical literature. *Reviews in Conservation* 3, 56-67.

Kendrick, E., Kirk, C., & Dann, S. (2007). Structure and colour properties in the Egyptian Blue Family, $M_1-xM'_x Cu Si_4O_{10}$, as a function of M, M' where M, M' = Ca, Sr and Ba. *Dyes and Pigments* (73), 13-18.

Kenue, K., & Boon, J. J. (2005). Analytical Imaging Studies Clarifying the Process of the Darkening of Vermilion in Paintings. *Analytical Chemistry*, 15 (77), p. 4742-4750.

Kuhn, H. (1993). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

Kuhn, H., & Curran, M. (2012). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 1). (R. L. Feller, A cura di) London: Archetype Publications Ltd.

La Lettre du Club ECLIPSE n.48. (s.d.). Tratto da Astrosurf: http://www.astrosurf.com/club_eclipse/le_club/lettre/lettre48/lettre48.html

Lazzarini, L. (1982). The discovery of Egyptian blue in a Roman fresco of the mediaeval period (ninth century A.D.). *Studies in Conservation* (27), p. 84-86.

LDP LLC. (s.d.). Tratto da LDP LLC: www.maxmax.com

Lebourgeois, V., Bégué, A., Labbé, S., Mallavan, B., Prévot, L., & Bruno, R. (2008). Can Commercial Digital Cameras Be used as Multispectral Sensor? A CropMonitoring Test. *Sensor* (8), p. 7300-7322.

Leona, M., Casadio, F., Bacci, M., & Picollo, M. (2004). Identification of the precolumbian pigment Maya blue on works of art by non invasive UV-Vis and Raman spectroscopic techniques. *JAIC*, 43, 39-54.

Lermann, W. (1907). *Altgriechische Plastik*. Munich: Beck.

Lermann, W. (1907). *Altgriechische Plastik*. Munich: Beck.

Liu, Z., Metha, A., Tamura, N., Pickard, D., Rong, B., Zhou, T., et al. (2007). The influence of Taoism on the invention of the purple pigment used on the Qin terracotta warriors. (34), 1878-1883.

Liverani, P. (2004). L'Augusto di Prima Porta. In *I colori del bianco. Policromianella scultura antica* (p. 235-242). Musei Vaticani Collana Studi e Documentazioni.

Liverani, P. (2014). Per una "Storia del colore". La scultura policroma romana, un bilancio e qualche prospettiva. In P. Liverani, & U. Santamaria (A cura di), *Diversamente bianco - la policromia della scultura romana* (p. 9-32). Roma: Edizioni Quasar.

Marini Calvani, M. (2005). I colori del ciclo statuario della Basilica di Veleia. *Bollettino d'Arte* 132, p. 73-88.

Matteini, M., & Moles, A. (2003). Tecniche fotografiche speciali. In M. Matteini, & A. Moles, *Scienza e Restauro - Metodi di indagine* (p. 171-195). Firenze: Nardini Editore.

Matteini, M., Moles, A., & Tiano, P. (1980). L'infrarosso colore nell'indagine dei dipinti. *Le Scienze*, Giugno, p. 40-48.

Mazzocchin, G., Rudello, D., Bragato, C., & Agnoli, F. (2004). A short note on Egyptian blue. *Journal of Cultural Heritage* (5), 129-133.

Mirti, P., Appolonia, L., Casoli, A., Ferrari, R. P., Laurenti, E., Amisano Canesi, A., et al. (1995). Spectrochemical and structural studies on a Roman sample of Egyptian blue. *Spectrochimica Acta A* 51, 437-446.

Moles, A., Matteini, M., & Tiano, P. (1982). L'infrarosso a colori e altre tecniche fotografiche. In *Metodo e Scienza - Operatività e ricerca nel restauro* (p. 295-300). Firenze: Sansoni editore.

Moon, T., Schilling, M. R., & Thirkettle, S. (1992). A note on the use of false-colour infrared photography in conservation. *Studies in Conservation*, 1 (37), p. 42-52.

Muhlethaler, B., & Thissen, J. (1993). *Artists Pigments - A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype.

Muthmann, F. (1936). *Bruchstücke einer Panzerstatue RM 51*.

- Pagès Camagna, S., Reiche, I., Brouder, C., Cabaret, D., Rossano, S., Kanngießer, B., et al. (2006). New insights into the colour origin of archaeological Egyptian blue and green by XAFS at the Cu K-edge. *X-Ray Spectrometry* (35), 141-145.
- Plester, J. (1996). Ultramarine blue, natural and artificial. *Studies in Conservation*, 11 (2), p. 62-75.
- Plesters, J. (1993). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 2). (A. Roy, A cura di) London: Archetype.
- Poulsen, V. (1962). Les portraits romains. In *Republique et dynastie julienne* (p. Vol. 1). Copenhagen.
- Pozza, G., Ajò, D., Chiari, G., De Zuane, F., & Favaro, M. L. (2000). Photoluminescence of the inorganic pigments Egyptian Blue, Han Blue and Han Purple. *Journal of Cultural Heritage* 1, 393-398.
- Riederer, J. (1997). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 3). (E. West Fitzhugh, A cura di) Oxford: Oxford University Press.
- Roy, A. (2007). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 4). (B. H. Berrie, A cura di) London: Archetype.
- Santamaria, U., & Morresi, F. (2004). Le indagini scientifiche per lo studio della cromia dell'Augusto di Prima Porta. In *I colori del bianco. Policromia nella scultura antica* (p. 242-248). Musei Vaticani Collana Studi e Documentazioni.
- Santamaria, U., Morresi, F., Agresti, G., & Pelosi, C. (2014). Studi analitici della policromia antica e sperimentazione sul nano incapsulamento di coloranti con nanosilici. *Diversamente bianco, la policromia della scultura romana* (p. 33 - 49). Edizioni Quasar.
- Schiegl, S., Weiner, K., & El Goresy, A. (1990). Zusammensetzung und Provenienz von Blau- und Grünpigmenten in Altägyptischen Wandmalereien: ein Beitrag zur exakten Chronologie der Bronzetechnologie in Altägypten. *Erzmetall* 43, 6, 265-272.
- Schweppe, H. (1997). *Artists' Pigments - A handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 3). (W. Fitzhugh, A cura di) Oxford: Oxford University Press.
- Schweppe, H., & Winter, J. (1997). *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 3). (E. West Fitzhugh, A cura di) Oxford: Oxford University Press.
- Scott, D. A. (2002). *Copper and Bronze in Art - corrosion, colorants, conservation*. Los Angeles: Getty Publications.
- Scott, D. A., & Eggert, G. (2009). *Iron and Steel in Art, corrosion, colorants, conservation*. London : Archetype.
- Scott, D. A., Taniguchi, Y., & Koseto, E. (2001). The verisimilitude of verdigris: a review of the copper carboxylates. (2), 73 - 91.
- Seccaroni, C. (2004). *Fluorescenza X*. Firenze: Nardini.
- Settis, S. (1988). *La Colonna Traiana*. Torino.
- Sodo, A., Artioli, D., Botti, A., De Palma, G., Giovagnoli, A., Marottini, M., et al. (2008). The colours of Etruscan painting: a study on the Tomba dell'Orco in the necropolis of Tarquinia. *Journal of Raman Spectroscopy* (39), p. 1035-1041.

- Ullrich, D. (1987). Egyptian blue and green frit: characterization, history and occurrence, synthesis. *PACT*, 17, p. 323-332.
- Ulrich, D. (1987). Datation-caractérisation des peintures pariétales et murales. *Council of Europe* (p. 323). Ravello: Delamare, F.; Hackens, T. and Helly, B.;
- Van Espen, P. (2000). ED-XRF spectrum evaluation and quantitative analysis using multivariate and nonlinear techniques. *JCPDS*, 43, 560-569.
- Verhoeven, G. (2008). Imaging the invisible using modified digital still cameras for straightforward and low-cost archaeological near-infrared photography. *Journal of Archaeological Science* (35), 3087-3100.
- Verri, G. (2009). The application of visible-induced luminescence imaging to the examination of museum objects. *Proceeding SPIE 7391, O3A: Optics for Arts, Architecture and Archeology II, 739105*.
- Verri, G. (2009). The spatially resolved characterization of Egyptian Blue, Han blue and Han purple by photo-induced luminescence digital imaging. *Anal. Bioanal. Chem.* 394, 1011-1021.
- Verri, G., & Saunders, D. (2014). Xenon flash for reflectance and luminescence (multispectral) imaging in cultural heritage applications. *The British Museum Technical Research Bulletin*, 8, p. 83-92.
- Verri, G., Comelli, D., Cather, S., Saunders, D., & Pique, F. (2008). Post-capture data analysis as an aid to interpretation of ultraviolet-induced fluorescence images. *Proceeding SPIE 6810, Computer Image Analysis in the Study of Art* (pp. 681002-681012). San José: D.G. Stork and J. Coddington.
- Verri, G., Gleba, M., Swaddling, J., Long, T., Ambers, J., & Munden, T. (2014). Etruscan women's clothing and its decoration: the polychrome gypsum statue from the 'Isis Tomb' at Vulci. *The British Museum Technical Bulletin* (8), p. 59-71.
- Verri, G., Opper, T., & Deviese, T. (2010). The "Treu Head": a case study in Roman sculptural polychromy. *The British Museum Technical Research Bulletin*, 4, p. 39-54.
- Verri, G., Saunders, D., Ambers, J., & Sweek, T. (2010). Digital Mapping of Egyptian Blue: Conservation implications. *Conservation and the Eastern Mediterranean: Contributions to the 2010 IIC Congress*, (p. 220-224). Istanbul.
- West Fitzhugh, E. (1997). *Artists Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics* (Vol. 3). (E. West Fitzhugh, A cura di) Oxford: Oxford University Press.
- Whalen, M. (2010, 07 05). *Definition Magazine*. Tratto da www.definitionmagazine.com
- Wiedermann, H. G., & Berke, H. (1999). Chemical and Physical Investigation of Egyptian and Chinese Blue and Purple. *The Polychromy of Antique Sculptures and the Terracotta Army of the First Chinese Emperor: Studies on Materials, Painting Techniques and Conservation, International Conference* (p. 154170). Xi'an: Shaanxi History Museum.
- Wilperts, G. (1967). Drei Fragmente aus Front eines(?) Säulen-S. (Taf. 94). In F. W. Deichmann (A cura di), *Deutsches Archäologisches Institut, Repertorium der Christlich-Antiken Sarkophage Erster Band Rom und Ostia* (p. 622-626). Wiesbaden: Franz Steiner Verlag GMBH .