



## Task 4.5 – Uso dei Laboratori Mobili

*Misure di spettroscopia in riflettanza mediante spettroradiometro portatile ASD FieldSpec per l'identificazione dei pigmenti adoperati per gli affreschi dell'abside nella Chiesa di San Nicola in Carcere, Roma*

### REPORT FINALE

Giuseppe Bonifazi\*, Giuseppe Capobianco\*, Anna Candida Felici\*\*, Silvia Serranti\*

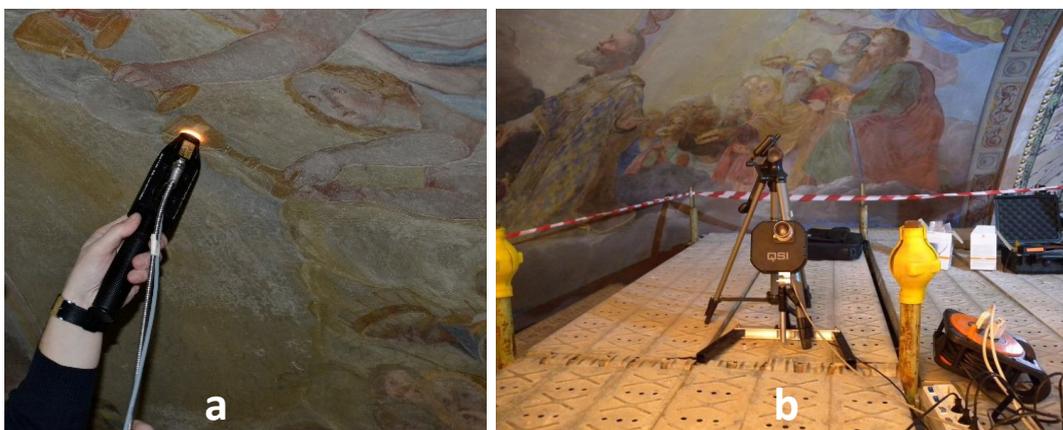
\* Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente

\*\* Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria

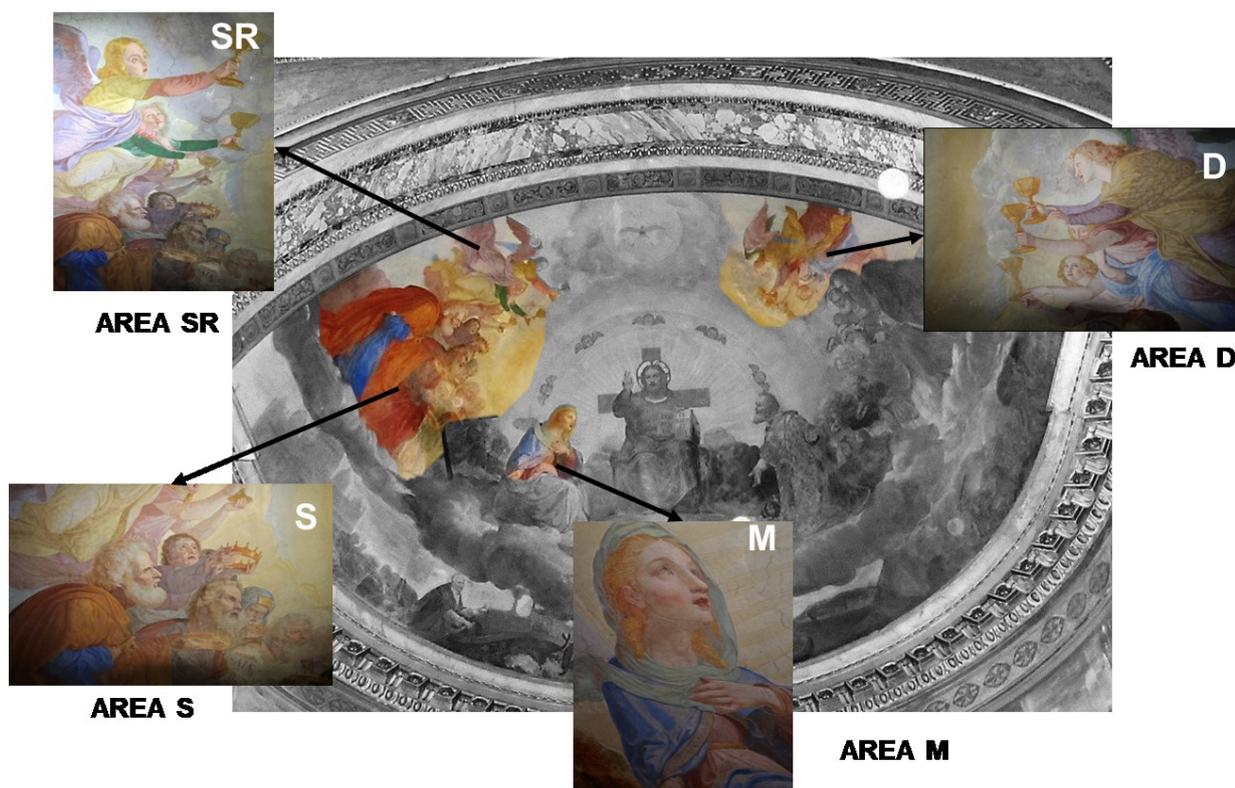
### INTRODUZIONE

Nell'ambito del Progetto ADAMO (Tecnologie di Analisi, DiAgnostica e MOnitoraggio per la conservazione e il restauro di beni culturali), sono state effettuate delle misure in riflettanza nel range spettrale VIS-SWIR (350 -2500 nm) mediante lo spettroradiometro portatile ASD FieldSpec® 4 Standard Res e in imaging multispettrale nel range spettrale da 380 a 1000 nm (Figura 1).

L'obiettivo della campagna di acquisizione è stato quello di definire la gamma di colori utilizzati per la realizzazione del dipinto ed ottenere una mappa predittiva della distribuzione dei pigmenti sulle immagini multispettrali acquisite utilizzando, come dataset di calibrazione, gli spettri identificati attraverso lo spettro-radiometro ASD FieldSpec Standard Res.



**Figura 1.** (a) ASD FieldSpec® 4 Standard Res, (b) Camera CCD per analisi d'immagine multispettrale



**Figura 2.** Aree in cui sono state effettuate le misure: porzione sinistra dell'abside raffigurante Isaia e San Pietro (area S), porzione superiore raffigurante coro angelico (area SR e D) e porzione raffigurante la Vergine Maria (area M)

## METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO

Le acquisizioni sono state effettuate nella porzione apicale dell'abside in quattro differenti aree schematizzate in Figura 2.

Per ogni area sono state analizzate diverse regioni in base alla varietà colorimetrica. Più in dettaglio: nell'area S sono state selezionate 10 regioni, nell'area SR sono state selezionate 9 regioni, nell'area D sono state selezionate 11 regioni ed infine nell'area M sono state campionate due regioni (Figura 3). Per ogni regione sono stati effettuati 10 punti misura e per ogni punto misura sono stati acquisiti 5 spettri nell'intervallo spettrale 400-2500 nm. Il totale degli spettri acquisiti è stato di 1600.

Le immagini multispettrali delle medesime aree sono state fornite dal Laboratorio di Analisi Non Distruttive e Archeometria (LANDA) dell'università Sapienza di Roma. Nel dettaglio per lo studio comparativo sono state selezionate le seguenti lunghezze d'onda: 400, 410, 420, 450, 470, 500, 550, 600, 650, 680, 700, 750, 800 e 1000 nm.

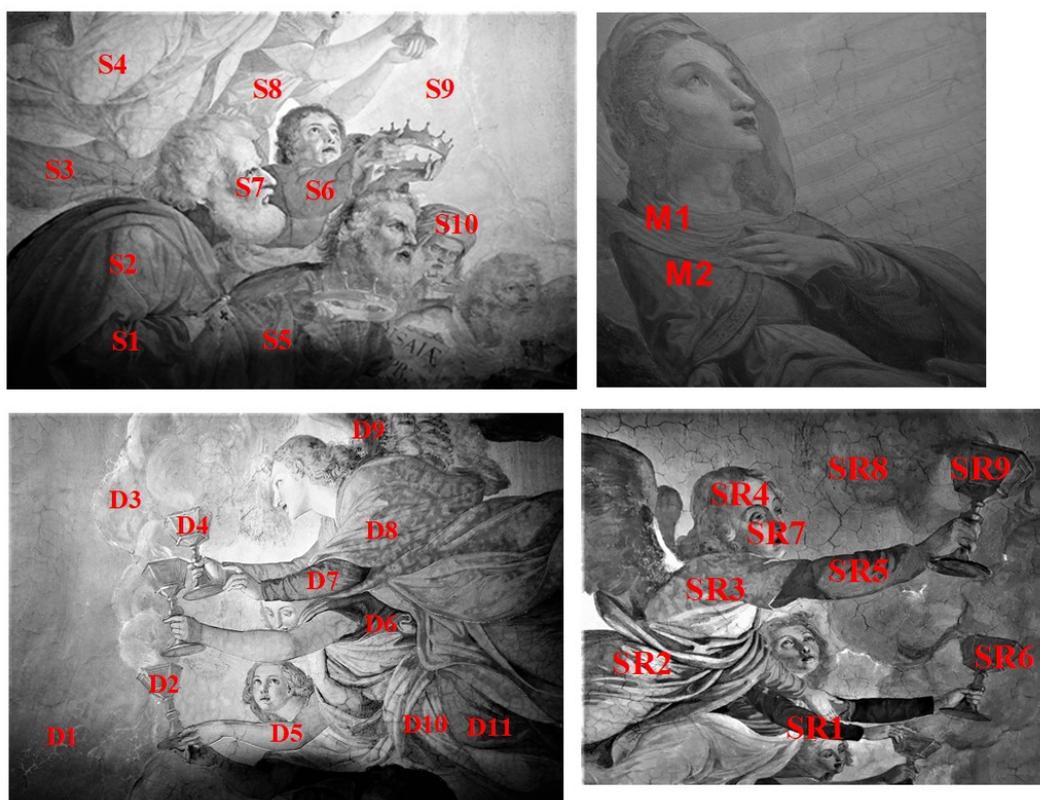


Figura 3. Regioni analizzate per ogni area

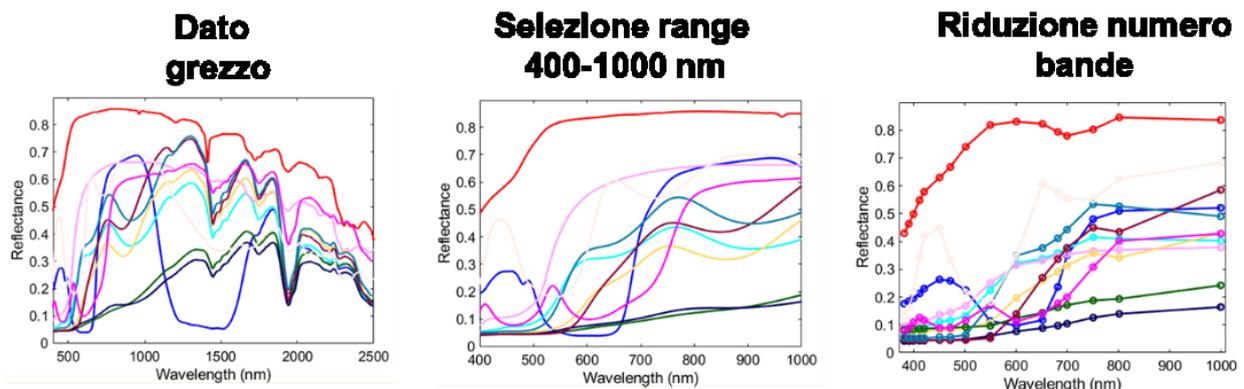
## ELABORAZIONE DEI DATI:

L'elaborazione dei dati è stata effettuata in ambiente Matlab attraverso l'uso di tecniche di analisi multivariata. Sono stati adoperati due dataset di riferimento per l'identificazione di pigmenti. Il primo dataset comprende un'ampia gamma di pigmenti inorganici, organici naturali ed artificiali e permette una prima identificazione delle tipologie presenti sull'affresco. Il secondo dataset comprende ocre, terre naturali e prodotti commercialmente utilizzati nel restauro e ha come obiettivo l'identificazione di aree sottoposte ad interventi di ripristino.

Sono state inoltre utilizzate diverse tecniche di classificazione in base alle caratteristiche dei dataset utilizzati e i risultati sono stati comparati fra loro al fine di verificarne la concordanza o discordanza. Nel dettaglio per il dataset 1 sono stati utilizzati come tecniche di classificazione la *hierarchical partial least squares discriminant analysis* (HY-PLSDA) e la *principal component analysis + K-nearest*

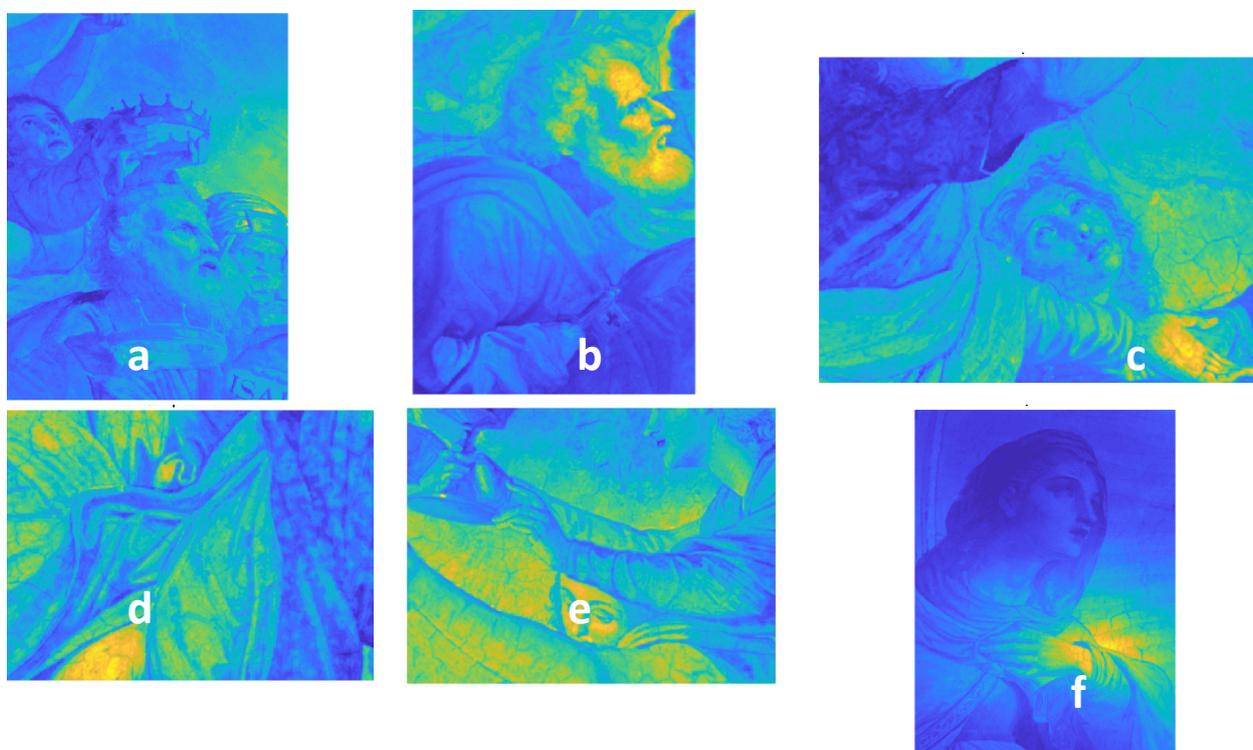


*neighbor* (PCA-KNN). Per il secondo dataset sono stati utilizzati come tecniche di classificazione *support vector machine discriminant analysis* (SVM DA) e la *K-nearest neighbor* (KNN). Infine, sui pigmenti blu e gialli è stata testata la multivariate *curve resolution* (MCR) al fine di identificare e quantificare il contributo di più pigmenti nel medesimo punto analisi. Al fine di comparare gli spettri ottenuti dallo spettrometro VIS-NIR-SWIR con le immagini multispettrali acquisite nel range da 400 a 1000 nm è stato effettuato un pretrattamento degli spettri puntuali che ha previsto la selezione del range spettrale da 400 a 1000 nm, la riduzione della risoluzione spettrale da 3 a 10 nm ed infine la selezione delle lunghezze d'onda acquisite con il sistema multispettrale ovvero: 400, 410, 420, 450, 470, 500, 550, 600, 650, 680, 700, 750, 800, 1000 nm. Lo schema della procedura è mostrato in figura 4.



**Figura 4.** Procedura di preparazione del dataset di calibrazione per l'identificazione sulle immagini multispettrali dei pigmenti.

Per quanto riguarda le immagini multispettrali è stato fatto un pretrattamento per allineare le immagini e ridurre i disturbi in modo da poter essere comparati con le medesime lunghezze d'onda acquisite con lo spettrometro puntuale. Gli ipercubi generali sono mostrati in figura 5. Per l'identificazione dei pigmenti su immagini come metodo di classificazione è stata utilizzata la *partial least squares discriminant analysis* (PLS-DA)



**Figura 5.** Ipercubi ottenuti dalle immagini multispettrali: le acquisizioni (a) e (b) corrispondono alla regione in cui è rappresentato Isaia e San Pietro nella porzione sinistra dell'abside; le acquisizioni (d) ed (e) corrispondono alla porzione destra dell'abside mentre l'acquisizione (f) corrisponde al volto della Vergine

## RISULTATI AREA S

Gli spettri medi e le relative aree sono mostrati in figura 6. I risultati della predizione sull'area S hanno evidenziato la presenza nelle aree blu scuro di pigmenti a base di cobalto (regione S1) e nelle porzioni celesti chiaro la presenza di blu oltremare artificiale (regione S10). Le regioni color rosso sono risultate composte principalmente da ocra rossa (regione S2, S3, S5, S6, S8), mentre le regioni color giallo sono composte da ocra gialla probabilmente mista a orpimento (area S4, S7, S9). La porzione bassa (area S1 ed S5) del dipinto nell'analisi con il dataset 2 ha evidenziato la probabile presenza di pigmenti compatibili con prodotti commerciali da restauro da verificare eventualmente con altre tecniche analitiche.

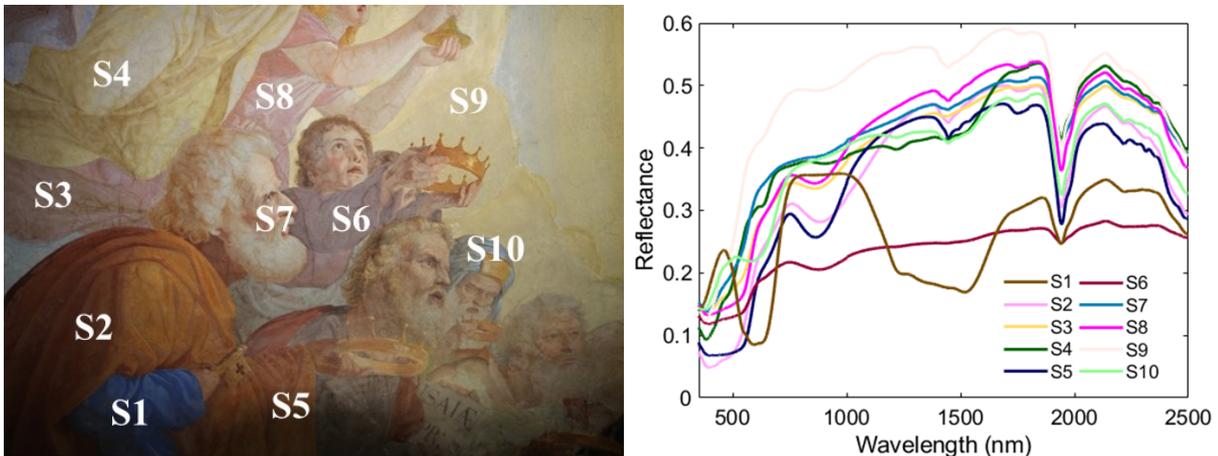


Figura 6. Immagine delle aree di acquisizione e spettri medi corrispondenti ottenuti dalle regioni dell'area S.

## RISULTATI AREA SR

Gli spettri medi e le relative aree sono mostrati in figura 7. I risultati della predizione sull'area SR hanno evidenziato la presenza nelle aree blu e grigio di pigmenti a base di cobalto (regione SR2 e SR8). Le regioni color rosso sono risultate composte principalmente da ocre rossa (regione SR5), mentre le regioni color giallo sono composte da ocre gialla probabilmente mista a orpimento (area SR3, SR4, SR6, SR7, SR9). La regione verde è stata identificata come pigmento a base di verde cromo (SR1).

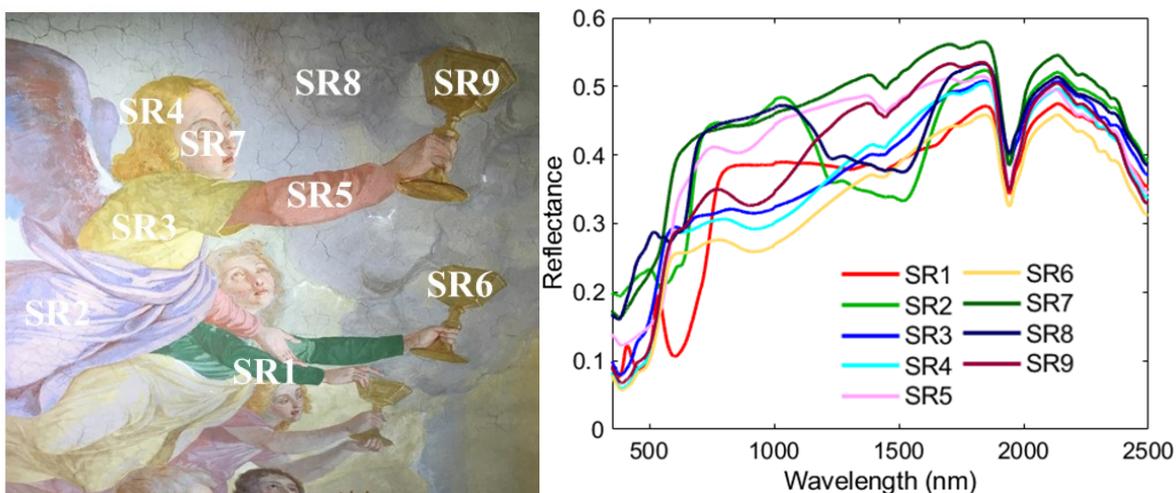


Figura 7. Immagine delle aree di acquisizione e spettri medi corrispondenti ottenuti dalle regioni dell'area SR.



## RISULTATI AREA D

Gli spettri medi e le relative aree sono mostrati in figura 8. I risultati della predizione sull'area D hanno evidenziato la presenza nelle aree blu di pigmenti a base di cobalto e blu oltremare (regione D10). Le regioni color rosso sono risultate composte principalmente da ocra rossa (regione D6) mentre nelle regioni D7 e D11 vi è la probabile copresenza di un pigmento a base di cobalto addizionato ad ocra rossa. Le regioni color giallo sono composte da ocra gialla probabilmente mista a orpimento (area D1, D2, D3, D4, D5, D8). La regione verde è stata identificata come pigmento a base di verde cromo (D9).

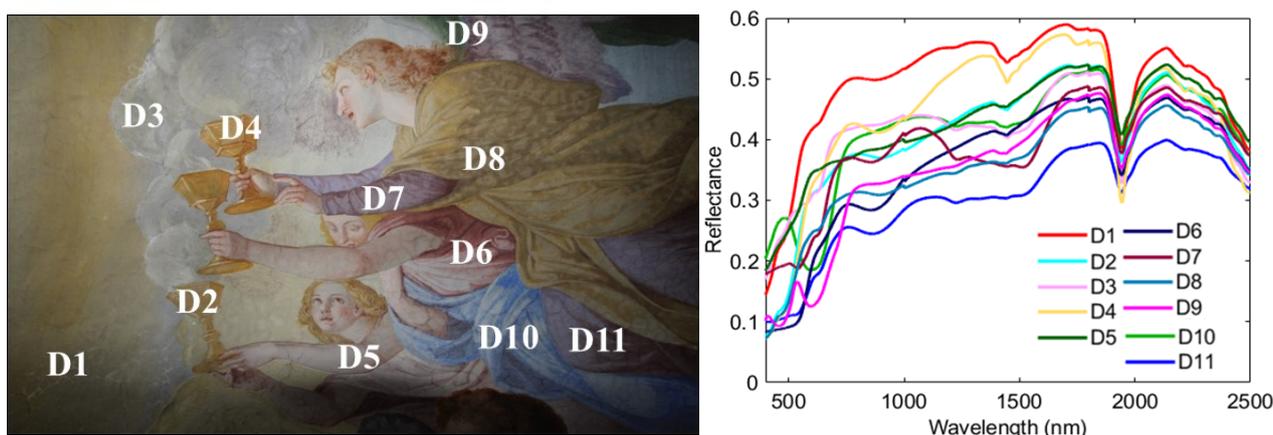


Figura 8. Immagine delle aree di acquisizione e spettri medi corrispondenti ottenuti dalle regioni dell'area D.

## RISULTATI AREA M

Gli spettri medi e le relative aree sono mostrati in figura 9. I risultati della predizione sull'area M hanno evidenziato la presenza nelle aree blu di pigmenti a base di cobalto (regione M2). Le regioni color verde invece sono state identificate come malachite o terra verde con presenza di malachite (regione M1).

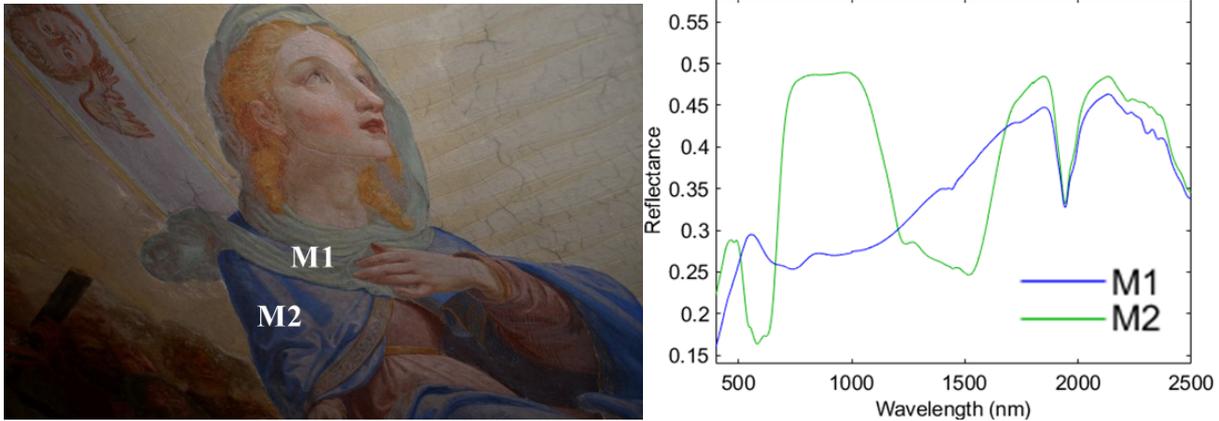


Figura 9. Immagine delle aree di acquisizione e spettri medi corrispondenti ottenuti dalle regioni dell'area M.

## RISULTATI TEST MCR

Il test della MCR effettuato sui blu ha evidenziato un contributo del pigmento Blu a base di cobalto e del bianco variabile differente nelle varie zone. Le diverse proporzioni probabilmente hanno permesso la creazione delle diverse sfumature di colore ottenute. Nell'immagine in figura 10 è schematizzata la procedura analitica.

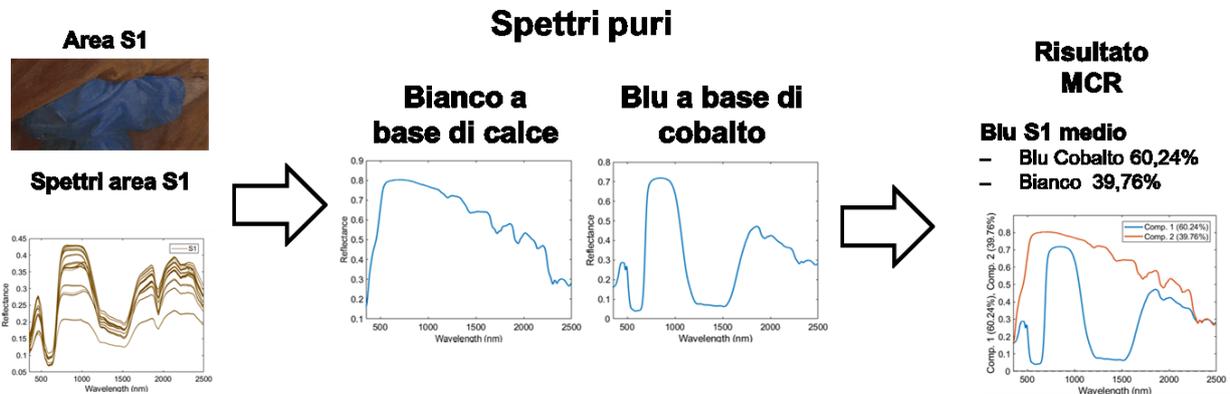


Figura 10. Schema per l'identificazione mediante MCR dei contributi dei blu a base di cobalto e del bianco sugli spettri acquisiti nella regione S1



Il risultato preliminari ottenuti e ancora oggetto di studio hanno evidenziato un contributo medio del 60 % del blu a base di cobalto rispetto al bianco di calce nelle stesure di blu a tonalità più scura mentre il contributo del blu a base di cobalto scende fino al 6 % nelle stesure di colore blu dalle tonalità più chiare.

## RISULTATI PLS-DA IMAGING MULTISPETTRALE

I risultati ottenuti dalle predizioni PLS-DA sulle mappe multispettrali hanno permesso l'analisi distribuzionale dei pigmenti identificati. Nel dettaglio l'ocra rossa è stata identificata nel mantello di san Pietro (figura 11a) e nella manica del vestito della vergine (figura 11b)

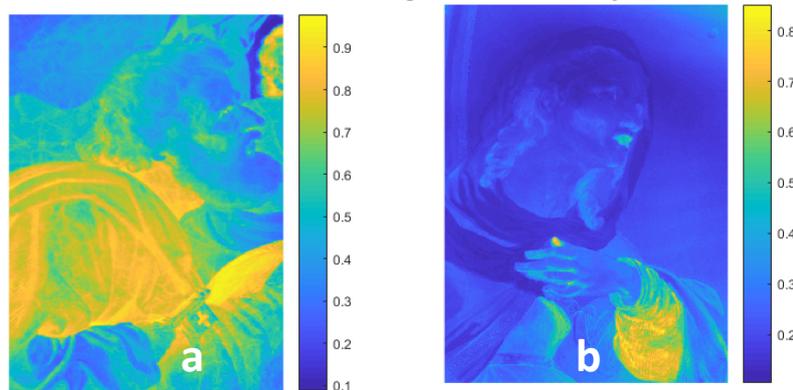


Figura 11. PLS-DA Prediction probability dell'ocra rossa

L'ocra gialla mista a orpimento è stata rilevata principalmente sui volti dei vari personaggi dipinti (figura 12a) sulle vesti color giallo (figura 12b) e per le coppe e per gli incarnati in generale (figura 12c)

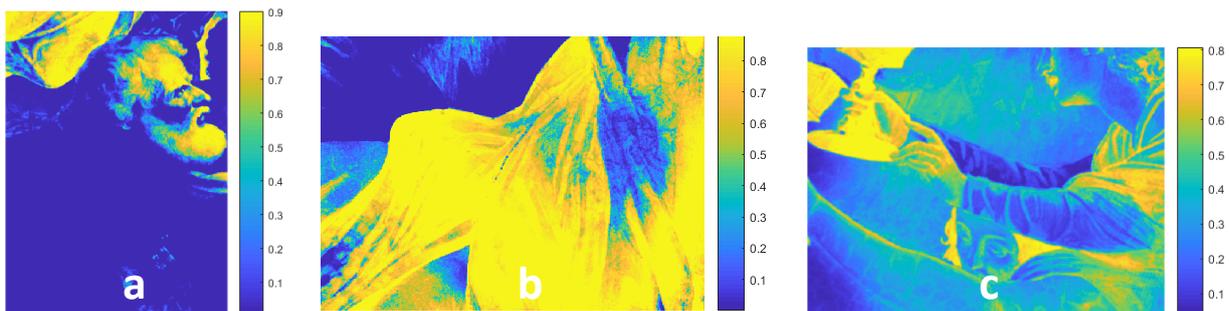
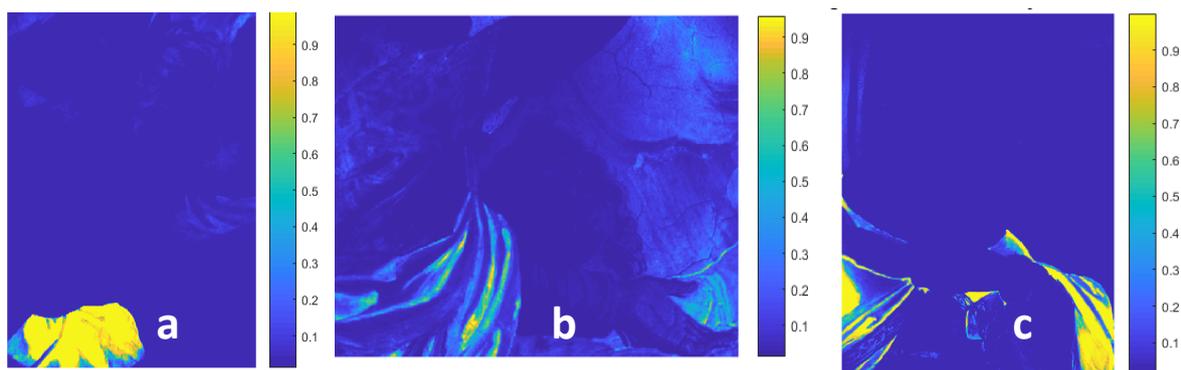


Figura 12. PLS-DA Prediction probability dell'ocra gialla mista a orpimento

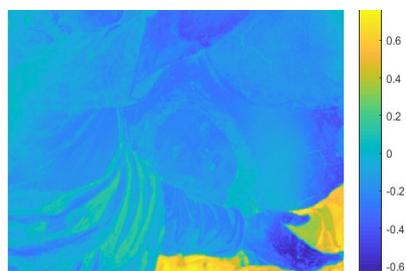


Il blu a base di cobalto è stato identificato nella manica del vestito di San Pietro (13a) e nei diversi vestiti dei personaggi analizzati (figura 13 b) tra cui il manto blu della vergine (13 c)



**Figura 13.** PLS-DA Prediction probability del blu a base di cobalto

Il verde cromo è stato identificato nella manica dell'angelo (figura 14)



**Figura 14.** PLS-DA Prediction probability del verde cromo