

<sup>1</sup>Maria Francesca Alberghina  
maria.alberghina@unipa.it  
<sup>1</sup>Rosita Barraco  
rosita.barraco@unipa.it  
<sup>1,2</sup>Maria Brai  
maria.brai@unipa.it  
<sup>3</sup>Lorella Pellegrino  
pelegelino@libero.it  
<sup>4</sup>Fernanda Prestileo  
f.prestileo@icvbc.cnr.it  
<sup>5</sup>Salvatore Schiavone  
info@start-test.it  
<sup>2</sup>Luigi Tranchina  
luigi.tranchina@unipa.it

<sup>1</sup>Dipartimento di Fisica e  
Chimica, Università degli Studi  
di Palermo  
<sup>2</sup>UniNetLab, Università degli  
Studi di Palermo  
<sup>3</sup>Laboratorio di Restauro  
Manufatti di Origine Inorganica,  
Centro Regionale per la  
Progettazione e il Restauro,  
Regione Siciliana, Palermo  
<sup>4</sup>Consiglio Nazionale  
delle Ricerche, Istituto  
per la Valorizzazione e la  
Conservazione dei Beni  
Culturali, Roma (già Centro  
Regionale per la Progettazione  
e il Restauro, Regione Siciliana,  
Palermo)  
<sup>5</sup>S.T.Art-Test s.a.s, Niscemi (CL)

# Impiego della *Principal Component Analysis* per l'analisi statistica su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali progetto con sorgenti colorate al neon

## 1. INTRODUZIONE

Il progetto di recupero e conservazione del complesso archeologico della Villa Romana del Casale (Piazza Armerina, Enna) [1], avviato nel 2007 e ultimato nel 2012 - a cura del Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro di Palermo (C.R.P.R.), ha previsto, tra le tecniche diagnostiche per il monitoraggio dell'intervento, l'acquisizione di misure spettrofotometriche, allo scopo di controllare l'eventuale variazione delle coordinate cromatiche [2-5] dovuta agli interventi di pulitura e di consolidamento delle superfici musive pavimentali della Villa [6].

Ciò ha posto gli operatori di fronte alla necessità di individuare uno strumento analitico in grado di gestire un elevato numero di dati e di fornire un quadro sinottico funzionale per una migliore comprensione del comportamento cromatico dei materiali a seguito delle fasi dell'intervento e delle variazioni nel tempo.

In questo contesto si intende evidenziare come l'analisi di dati spettrofotometrici possa rappresentare un utile strumento conoscitivo per il restauratore, coadiuvandolo nelle scelte

operative. Un impiego efficace delle informazioni così fornite dipende però dall'immediatezza e dalla facilità di lettura dei dati anche da parte degli operatori degli interventi di restauro, per i quali le tematiche riguardanti la misura del colore e la sua rappresentazione spesso non sono familiari. Per ovviare a tale inconveniente, e quindi valutare nella maniera più immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici in seguito ai trattamenti di pulitura e di consolidamento, l'analisi delle componenti principali (PCA - *Principal Component Analysis*) è stata applicata ai dati colorimetrici acquisiti sulle tessere musive, proponendo in tal modo una possibile lettura più intuitiva dei fenomeni generati dalle variazioni colorimetriche. In generale la PCA viene impiegata in differenti campi applicativi: per esaminare la variabilità spaziale di contaminanti, nel caso di analisi ambientale [7]; per valutare l'entità e la distribuzione di fenomeni di degrado, nel caso di indagini diagnostiche nel campo dei beni culturali; come anche, più di recente, per il monitoraggio delle variazioni cromatiche di superficie di diversa tipologia sottoposte a trattamenti di pulitura, consolidamento e/o

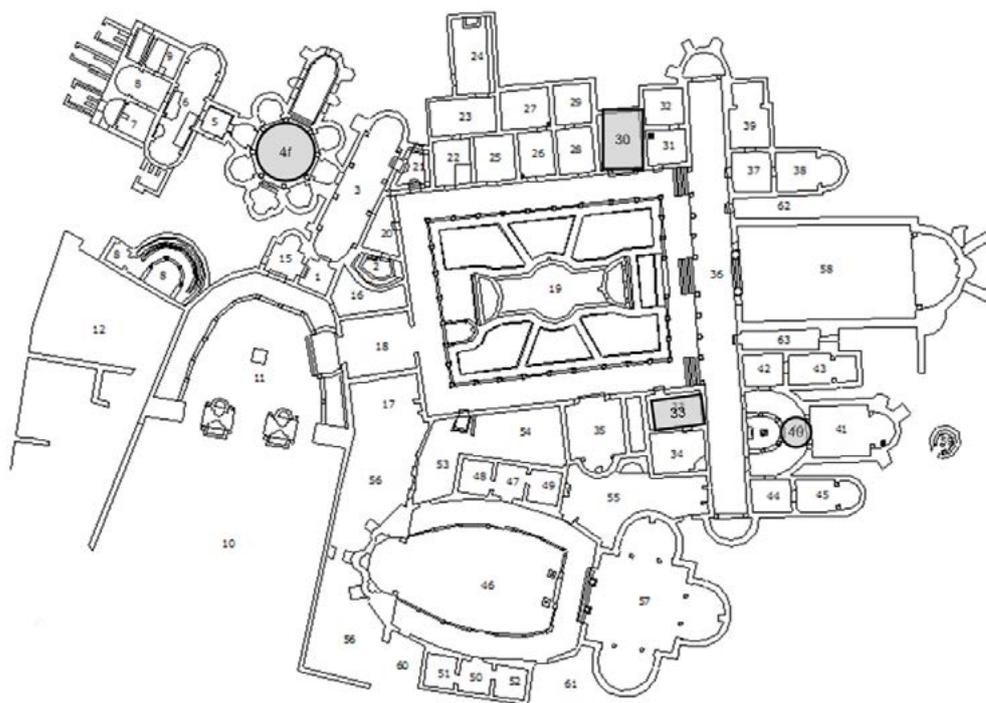


Figura 1 – Villa Romana del Casale di Piazza Armerina: planimetria con localizzazione delle stanze (evidenziate in grigio le stanze 4f, 30, 33, e 40) all'interno delle quali sono stati acquisiti i dati colorimetrici per il monitoraggio delle superfici musive.

protezione [8].

Come esempio esplicativo di quest'ultimo utilizzo, viene qui presentato quello dell'indagine colorimetrica eseguita su alcune porzioni campione della pavimentazione realizzata a tessere musive della stanza della Piccola Caccia (stanza 30) della Villa, scelta quale area campione dell'intervento pilota di pulitura della superficie musiva, realizzato mediante impacchi di carbonato d'ammonio, nonché di differenti aree musive delle stanze *Frigidarium* (4f), *Stanza a mosaico a riquadri* (33) ed *Esedra* (40), scelte per il monitoraggio del trattamento protettivo tramite impacchi di ossalato di ammonio (Figura 1).

I valori colorimetrici, di seguito riportati, sono stati acquisiti sia prima che dopo i trattamenti, misurando i dati spettrofotometrici relativi alle fasi di ciascun trattamento.

Lo studio condotto ha evidenziato le potenzialità della PCA, permettendo di valutare in maniera immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici a seguito dei trattamenti di restauro ed evidenziando la correlazione esistente tra le variazioni delle tre variabili  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , relative ai dati colorimetrici acquisiti prima e dopo gli interventi. Nel caso delle tessere della stanza *Piccola Caccia* la distribuzione in cluster dei dati proiettati in un piano bidimensionale, evidenziata dalla PCA, ha consentito di individuare più chiaramente la variabile che, in seguito alla

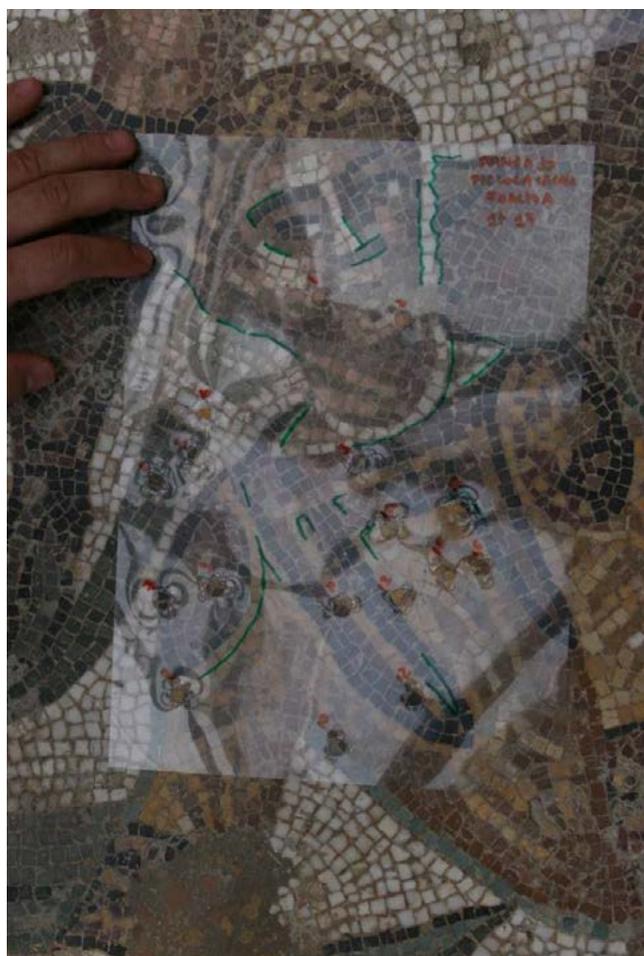
pulitura, contribuisce maggiormente al viraggio cromatico. Inoltre, grazie al raggruppamento in cluster dei dati è stato possibile monitorare, in maniera differenziata, il comportamento in superficie di tessere musive, aventi colore differente, sottoposte allo stesso trattamento di pulitura. L'obiettivo applicativo della PCA è stato, infatti, quello di valutarne l'efficienza analitica nell'interpretare i fenomeni sulla superficie musiva, dovuti non solo alla pulitura ma anche ai trattamenti di consolidamento e protezione.

## 2. MATERIALI E METODI

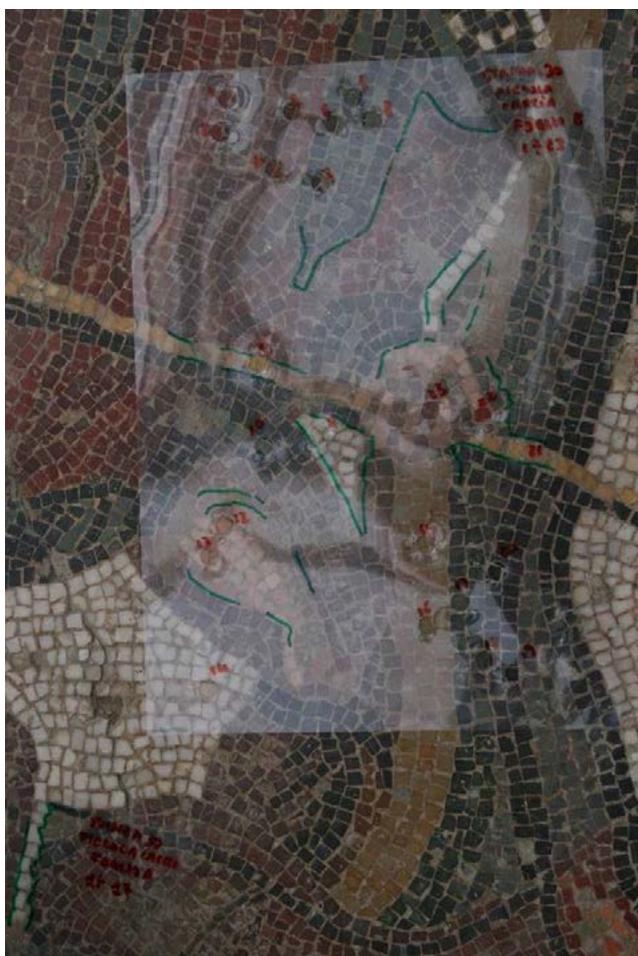
Le misure sono state effettuate mediante impiego di uno spettrofotometro portatile Minolta modello CM 2600d. Per ciascuna area campione degli ambienti oggetto di analisi sono state realizzate delle maschere in acetato sulle quali sono stati riportati alcuni punti di riferimento, al fine di assicurare la ripetibilità delle misure nel tempo, così come riportato in figura 2.a-b per la stanza 30 [2-5, 9-10].

Per effettuare le misure lo strumento è stato settato con i seguenti parametri: media auto 3 (numero delle misure eseguite su uno stesso campione e relativo valore medio); tempo di misura 0,3 secondi (tempo di presa); area di lettura "S" (circolare, con diametro efficace di 3 mm); SCI (componente speculare inclusa);

Figura 2 – *Piccola Caccia* (stanza 30): a) posizionamento della Maschera A, punti di misura da 1A a 17A; b) posizionamento della Maschera B, punti di misura da 1B a 23B.



a)



b)

illuminante primario D65; osservatore normale 10°. Lo spazio del colore adottato è quello L\* a\* b\* ΔE (CIE 1976) [11-12], più comunemente impiegato nel campo del restauro. Durante le misure è stata rilevata la temperatura ambientale.

I dati colorimetrici acquisiti sono stati elaborati tramite PCA. La tecnica di analisi delle componenti principali permette di visualizzare, in uno spazio bidimensionale, una matrice di dati multidimensionale, caratterizzati quindi da più di due variabili, identificando la distribuzione dell'insieme di dati ed evidenziando similarità e/o differenze tra questi.

La PCA, infatti, è una tecnica di riduzione delle variabili in base alla quale le nuove variabili (componenti principali o fattori) vengono calcolate dalle combinazioni lineari delle variabili originali, ossia, nel caso specifico, le tre coordinate colorimetriche L\*, a\* e b\*. Ciascuno dei fattori ricavati dall'analisi spiega una parte della varianza dei dati. In particolare, il primo fattore spiega una maggiore percentuale di questa varianza rispetto al secondo e così via fino all'ultimo; in maniera tale che il 100% della varianza venga spiegato da un numero di fattori pari al numero delle variabili analizzate.

I *Factor loadings* sono invece rappresentati dai coefficienti di correlazione esistenti tra le variabili originali ed i fattori ricavati. Questi sono generalmente utilizzati per investigare i processi che controllano la variabilità nei dati. La rappresentazione grafica rende di immediata comprensione l'interpretazione dei risultati ottenuti da questo tipo di analisi multivariata [7-8].

### 3. ANALISI DEI DATI COLORIMETRICI

Vengono di seguito riportati i dati spettrofotometrici acquisiti prima e dopo le fasi di pulitura sulle tessere della Piccola Caccia, corrispondentemente a ciascuna delle due zone indagate.

Per quanto riguarda la porzione musiva in corrispondenza della Maschera A, dal confronto dei valori colorimetrici dei punti campione acquisiti prima della pulitura e di quelli relativi agli stessi punti misurati dopo la prima fase consistente in impacchi di carbonato di ammonio, è stato possibile rilevare la presenza di forti variazioni cromatiche dovute soprattutto ad un aumento della luminosità L\* e, in quasi tutti i casi, una leggera diminuzione dei valori colorimetrici a\* e b\*, come mostrato dalle differenze calcolate e riportate in tabella 1 e dal grafico in figura 3.

Le medesime considerazioni valgono per le variazioni osservate nei punti di misura dell'area in corrispondenza della Maschera B, tra i valori acquisiti prima della pulitura e quelli misurati dopo gli impacchi di carbonato d'ammonio, riportati nel grafico di figura 4.

Anche in questo caso, i valori di ΔE sono spiegabili con un aumento della luminosità ed una diminuzione della saturazione, come si evince dai dati di variazione cromatica riportati in tabella 2.

Infine, nel grafico di figura 5, nel quale sono presi ad esempio i "rossi" e gli "incarnati", è chiaro che il trattamento a carbonato di ammonio non ha causato alcuna modifica dell'andamento della curva di Riflettanza (%) alle varie lunghezze

Tabella 1 - Variazione delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera A (Piccola Caccia) ottenute in seguito al trattamento con carbonato d'ammonio.

Punti di misura	Sigla	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE
<b>Punto 1A incarnato</b>	1A_I	10.97	2.77	-4.61	12,22
<b>Punto 2A incarnato</b>	2A_I	6.08	-2.46	-6.17	9,00
<b>Punto 3A rosso</b>	3A_R	2.12	2.00	-2.39	3,77
<b>Punto 4A bianco</b>	4A_W	2.65	-0.21	-1.71	3,15
<b>Punto 5A verde</b>	5A_G	15.54	-0.67	-2.13	15,70
<b>Punto 6A verde</b>	6A_W	15.03	-0.68	-2.86	15,32
<b>Punto 7A bianco</b>	7A_W	2.42	-0.18	-1.70	2,96
<b>Punto 8A verde</b>	8A_G	16.74	-0.50	-2.41	16,92
<b>Punto 9A rosso</b>	9A_R	7.75	-1.33	-3.30	8,53
<b>Punto 10A verde</b>	10A_G	8.40	0.83	-3.23	9,04
<b>Punto 11A rosso</b>	11A_R	6.64	-1.55	-2.79	7,37
<b>Punto 12A nero</b>	12A_B	1.23	-0.10	-0.91	1,53
<b>Punto 13A nero</b>	13A_B	2.53	-0.17	-1.67	3,04
<b>Punto 14A giallo</b>	14A_Y	4.16	-0.89	-3.76	5,68
<b>Punto 15A giallo</b>	15A_Y	2.46	-1.06	-4.45	5,20
<b>Punto 16A giallo</b>	16A_Y	9.04	-1.35	-2.32	9,44
<b>Punto 17A giallo</b>	17A_Y	5.19	0.61	2.89	5,97

d'onda nel visibile, ma ha apportato soltanto una variazione costante dei valori percentuali, lungo il range spettrale acquisito, uniformando la Riflettanza (%) per tessere musive simili.

#### 4. PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS DEI DATI SPETTROFOTOMETRICI

I valori delle coordinate colorimetriche acquisiti per ciascun punto campione, prima e dopo i trattamenti, sono stati successivamente analizzati statisticamente tramite PCA.

I dati colorimetrici sottoposti ad analisi statistica, oltre a quelli già presi in considerazione nel paragrafo precedente relativi alla *Piccola Caccia* (stanza 30), sono stati acquisiti in corrispondenza di differenti aree musive delle stanze *Frigidarium* (4f), *Stanza a mosaico a riquadri* (33) ed *Esedra* (40). La PCA, dunque, è stata applicata all'analisi di due casi studio: 1) valutazione degli effetti cromatici conseguenti agli interventi di pulitura (Figura 6a); 2) monitoraggio del trattamento protettivo tramite impacchi all'ossalato di ammonio (Figura 6b) [2, 4-5, 10].

Nel primo caso, allo scopo di evidenziare gli effetti della pulitura, sono state scelte due tipologie di tessere musive "acromatiche" (tessere bianche e nere) (Figura 6a). In particolare, le misure sono state acquisite su aree campione selezionate all'interno delle seguenti stanze: 4f, 30, 33 e 40. Prima e dopo la pulitura, i valori delle coordinate colorimetriche  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , acquisiti per ognuno dei punti campione, sono stati analizzati statisticamente tramite PCA (Figura 7). Le due componenti principali (F1 e F2) isolate dall'analisi multivariata spiegano complessivamente il 97% della varianza dei dati. In particolare, il fattore F1 l'85% ed F2 il 12%. Come atteso, l'analisi produce raggruppamenti (*cluster*) dei punti campione differenziando chiaramente i bianchi dai neri: le variabili  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  mostrano valori più alti per i campioni bianchi (asse x positivo in Fig. 7) e valori inferiori per i campioni neri (asse x negativo in Figura 7). La presenza dei due *macrocluster* permette, quindi, di monitorare gli effetti di pulitura per singolo raggruppamento attraverso la correlazione esistente tra le variazioni delle coordinate cromatiche. Per quanto riguarda il cluster relativo alle tessere nere, la PCA rivela un'ulteriore raggruppamento dei dati (prima e dopo la pulitura) per stanza di appartenenza (stanze 30, 33).

I punti appartenenti alle misure effettuate nella stanza 40, data la loro l'esiguità, non possono considerarsi raggruppamento statisticamente significativo. Per l'intero set di dati relativi alle tessere nere, la variabile che maggiormente evidenzia l'effetto della pulitura è  $L^*$  che aumenta dopo il trattamento, a differenza delle altre due coordinate cromatiche pressoché costanti. Si sottolinea, altresì, che l'aumento della luminosità

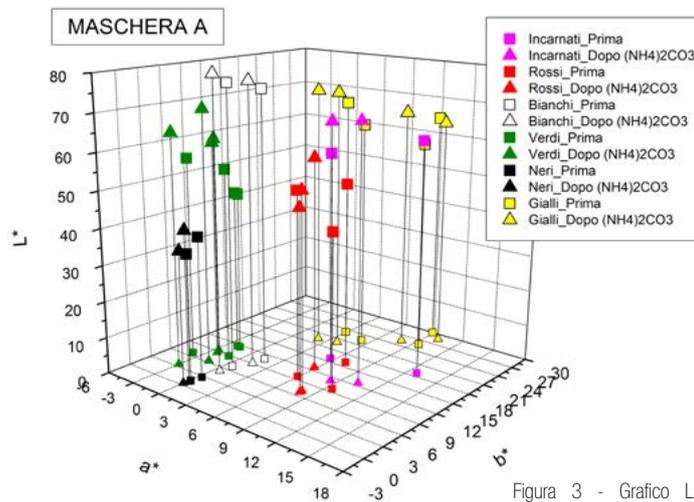


Figura 3 - Grafico  $L^*a^*b^*$  delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera A (*Piccola Caccia*) prima e dopo il trattamento con carbonato d'ammonio.

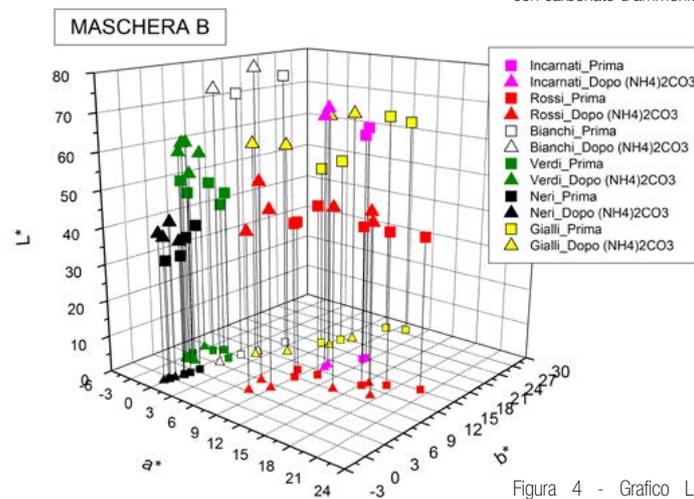


Figura 4 - Grafico  $L^*a^*b^*$  delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera B (*Piccola Caccia*) prima e dopo il trattamento con carbonato d'ammonio.

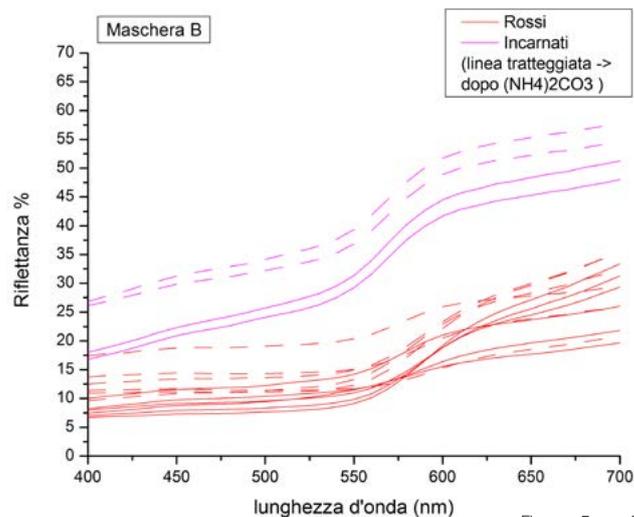


Figura 5 - Curve di Riflettanza spettrale (%) relative ai punti di misura 1-4, 12, 13, 22, 23 della Maschera B prima (linea continua) e dopo il trattamento con  $(NH_4)_2CO_3$  (linea tratteggiata).

Tabella 2 - Variazione delle coordinate colorimetriche delle tessere musive relative ai punti di misura della Maschera B (*Piccola Caccia*) ottenute in seguito al trattamento con carbonato d'ammonio.

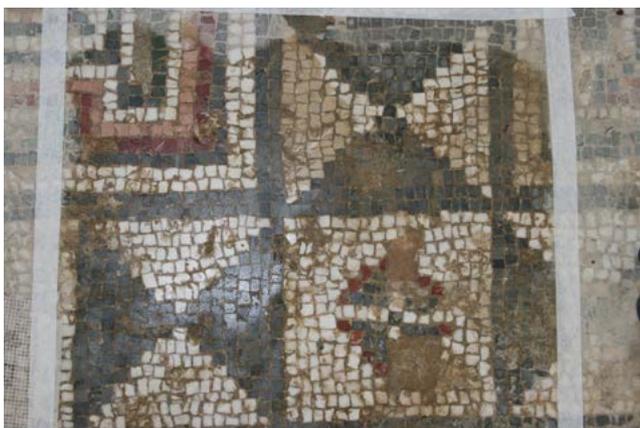
Punti di misura	Sigla	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
<b>Punto 1B rosso</b>	1B_R	5.64	-1.62	-2.69	6,46
<b>Punto 2B rosso</b>	2B_R	5.05	-1.62	-0.81	5,36
<b>Punto 3B rosso</b>	3B_R	0.99	-0.44	-7.23	7,31
<b>Punto 4B rosso</b>	4B_R	5.30	-0.11	-3.68	6,46
<b>Punto 5B verde</b>	5B_G	11.99	-0.36	-2.88	12,34
<b>Punto 6B nero</b>	6B_B	-3.31	-0.29	-2.14	3,95
<b>Punto 7B nero</b>	7B_B	5.07	-0.35	-1.91	5,43
<b>Punto 8B verde</b>	8B_G	12.05	0.52	-1.69	12,18
<b>Punto 9B giallo</b>	9B_Y	2.17	-0.98	-5.38	5,89
<b>Punto 10B verde</b>	10B_G	10.60	0.76	-0.46	10,64
<b>Punto 11B bianco</b>	11B_W	1.99	-0.27	-3.10	3,69
<b>Punto 12B incarnato</b>	12B_I	5.95	-1.67	-4.59	7,70
<b>Punto 13B incarnato</b>	13B_I	5.87	-1.93	-4.19	7,47
<b>Punto 14B bianco</b>	14B_W	2.99	-0.51	-4.03	5,04
<b>Punto 15B giallo</b>	15B_Y	7.88	-1.15	-4.55	9,17
<b>Punto 16B giallo</b>	16B_Y	6.87	-4.32	-9.68	12,63
<b>Punto 17B verde</b>	17B_G	5.64	-2.16	-2.93	6,71
<b>Punto 18B verde</b>	18B_G	13.81	-2.15	-0.81	14,00
<b>Punto 19B nero</b>	19B_B	7.08	-0.51	-2.48	7,52
<b>Punto 20B nero</b>	20B_B	6.32	-0.07	-0.16	6,32
<b>Punto 21B giallo</b>	21B_Y	3.83	-3.75	-9.67	11,06
<b>Punto 22B rosso</b>	22B_R	4.73	-2.92	-4.51	7,16
<b>Punto 23B rosso</b>	23B_R	7.03	-3.43	-4.91	9,24

è correlabile ad un miglioramento delle proprietà ottiche delle superfici in seguito all'intervento. Nel caso delle tessere bianche, non è possibile distinguere le stanze all'interno del *macrocluster*. La PCA mostra gli effetti della pulitura attraverso la simultanea diminuzione di  $a^*$  e  $b^*$ , correlabile ad una decolorazione delle tessere (rimozione di depositi superficiali) ed un aumento di  $L^*$  conseguente all'aumento della luminosità.

Il secondo caso studio ha riguardato l'analisi PCA di dati inerenti tessere musive di differenti cromie (rosso, rosa, giallo e varie tonalità di verde) (Fig. 6b) acquisite in tre differenti

intervalli temporali dal trattamento (I fase: subito dopo; II fase: dopo 11 mesi; III fase: dopo 41 mesi). Per facilitare la lettura degli effetti del trattamento protettivo, la PCA è stata effettuata separando i dati appartenenti alle tessere rosse, rosa e gialle (primo gruppo) da quelle di cromia verde (secondo gruppo). Oltre le coordinate colorimetriche  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , nella PCA sono stati considerati anche i valori misurati di  $C$ ,  $h$ , ed i valori, calcolati nel range 400 nm - 700 nm, sia dell'integrale della curva di Riflettanza ( $I_{(R\%)}$ ) che della lunghezza d'onda in nm corrispondente al valore massimo della derivata ( $\lambda$  nm). L'utilizzo

Figura 6 - Villa Romana del Casale: a) area campione stanza 33, maschera C: esempio di tessere bianche e nere sottoposte al trattamento di pulitura; b) area campione stanza 30, maschera F: esempio di tessere musive di differente cromia trattate con ossalato d'ammonio.



a)



b)

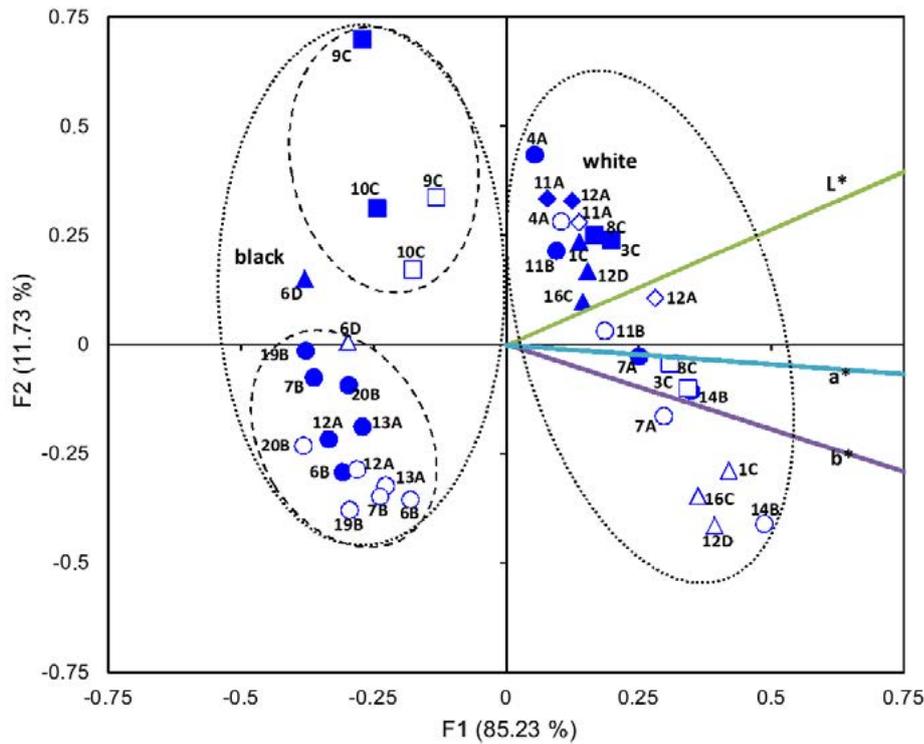


Figura 7 - Grafico PCA: confronto tra i valori acquisiti prima (simboli vuoti) e quelli acquisiti dopo l'intervento di pulitura (simboli pieni) per ognuno dei punti indagati. I simboli grafici sono identificativi delle stanze, in dettaglio: il quadrato identifica la stanza 33, il cerchio la stanza 30, il triangolo la stanza 40 ed infine il rombo la 4f (per la localizzazione vedi figura 1). Le linee a punti individuano i cluster omogenei per colorazione (*black* a sinistra e *white* a destra), le linee tratteggiate raggruppano i punti appartenenti alle stesse stanze.

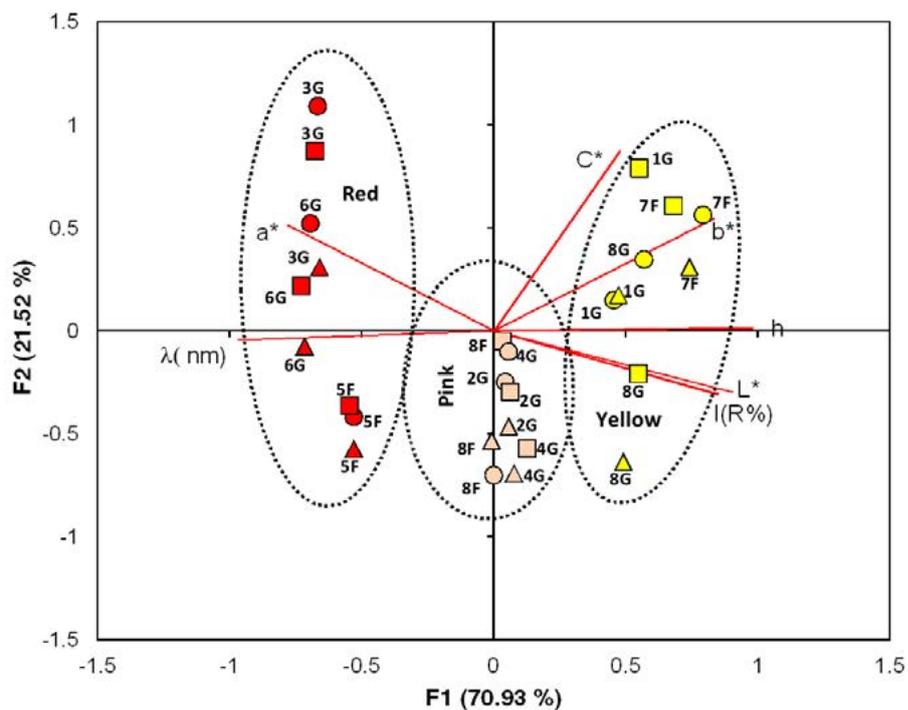
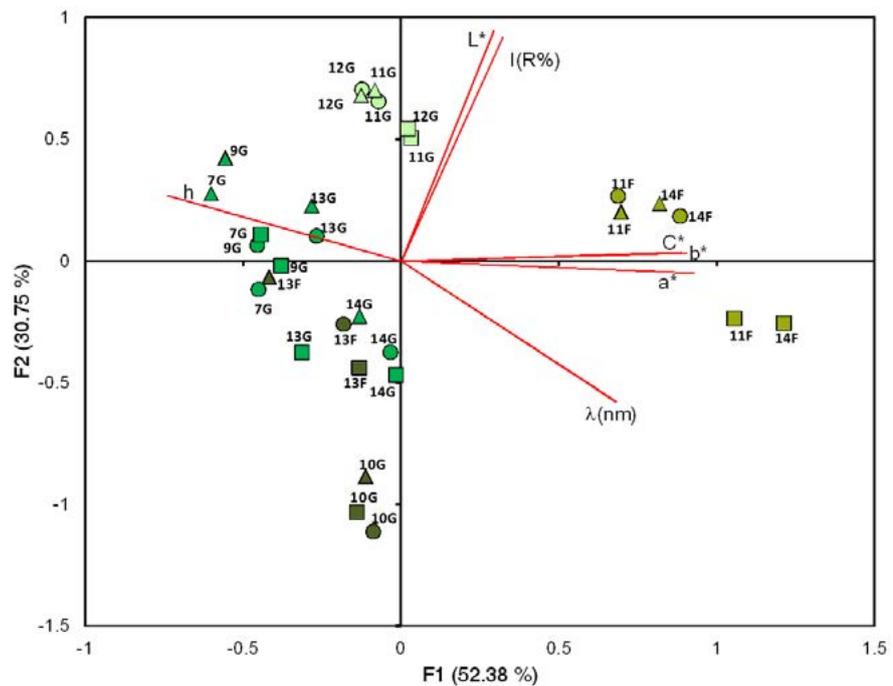


Figura 8 - Grafico PCA rispetto alle variabili  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h$ ,  $I(R\%)$  e  $\lambda$  nm: confronto tra i valori acquisiti subito dopo il trattamento protettivo (cerchio), dopo 11 mesi dal trattamento (triangolo) e dopo 41 mesi dal trattamento (quadrato). I colori dei simboli sono identificativi delle cromie: rosso, rosa e giallo.

delle variabili  $I_{(R\%)}$ ,  $\lambda$  nm, più significativo in questo caso che per le tessere bianche e nere, nasce dalla necessità di monitorare la curva di Riflettanza (%) in termini rispettivamente di area e di andamento nell'intero *range* spettrale di interesse. Nel primo gruppo di cromie, le componenti F1 e F2 spiegano complessivamente il 92.45% della varianza dei dati (Figura 8). La PCA di questo gruppo separa le tessere per cromia, distinguendo rossi, rosa e gialli ed evidenziando la maggiore omogeneità, in termini di andamento della curva di Riflettanza (%), dei rossi e dei rosa rispetto al cluster dei gialli. In

generale, per quanto riguarda il monitoraggio del trattamento nelle tre fasi di misura, l'analisi mostra la tendenza ad un riavvicinamento ai valori spettrofotometrici misurati subito dopo il trattamento, dopo un iniziale allontanamento registrato in corrispondenza della II fase. Questo comportamento sembra suggerire la presenza di un'alterazione che influenza le proprietà ottiche della patina di trattamento le cui peculiarità dovranno essere evidenziate da specifiche analisi chimico-fisiche. Ulteriori dati temporali intermedi avrebbero permesso una valutazione più significativa dell'evoluzione del

Figura 9 - Grafico PCA rispetto alle variabili  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C$ ,  $h$ ,  $l$  (R%) e  $\lambda$  nm: confronto tra i valori acquisiti subito dopo il trattamento protettivo (cerchio), dopo 11 mesi dal trattamento (triangolo) e dopo 41 mesi dal trattamento (quadrato). I colori dei simboli sono identificativi delle differenti tonalità di tessere verdi misurate.



trattamento nel tempo. I dati relativi alle tessere di colore rosa, in funzione della fase di misura, si differenziano per una minore variazione riconducibile ad una probabile maggiore stabilità del trattamento.

Nella PCA del secondo gruppo di cromie (differenti tonalità di verde), le componenti F1 e F2 spiegano complessivamente l'83.13% della varianza dei dati (Figura 9). In questo caso, l'analisi statistica separa le tessere per tonalità di verde (verde scuro, verde chiaro e verde oliva, rispettivamente da sinistra verso destra), collocando in due semipiani distinti, perpendicolari all'asse di  $L^*$ , i più chiari e i più scuri. In relazione al trattamento, per il *cluster* dei verdi scuri la tendenza generale è quella già riscontrata per i dati relativi al primo gruppo (Figura 9). Al contrario, per i rimanenti dati spettrofotometrici relativi agli altri due *cluster*, la III fase rivela un ulteriore allontanamento dai valori che caratterizzano la I fase, molto più marcato nel caso dei verdi oliva. Inoltre, questi ultimi in corrispondenza dell'ultima fase, risultano caratterizzati da una maggiore saturazione (spostamento verso valore positivi dell'asse x: aumento di  $a^*$ ,  $b^*$  e  $C^*$  e simultanea diminuzione di  $h$  e  $L^*$ ).

#### 4. CONCLUSIONI

L'analisi dei dati colorimetrici finora condotta ha evidenziato le potenzialità della PCA, permettendo di valutare in maniera immediata e corretta gli effetti generati sulle superfici a seguito dei trattamenti di restauro e di approfondire le osservazioni deducibili dalla sola analisi dell'andamento dei valori delle coordinate colorimetriche e della riflettanza.

Dall'analisi dei risultati delle misure

spettrofotometriche qui presentati è stato possibile rilevare, in seguito al trattamento di pulitura con impacchi di carbonato di ammonio, la presenza di variazioni cromatiche caratterizzate da un aumento della luminosità  $L^*$  unitamente, in quasi tutti i casi indagati, ad una diminuzione della saturazione cromatica ( $a^*$  e  $b^*$ ). La variazione dei valori di  $a^*$  e  $b^*$  potrebbe essere imputabile all'eliminazione dello strato di cera che, pur saturando i colori, aveva inglobato depositi di sporco con conseguente diminuzione della luminosità.

È apparso evidente, inoltre, che il trattamento a carbonato di ammonio non ha causato alcuna modifica dell'andamento della curva di Riflettanza (%) alle varie lunghezze d'onda nel visibile, ma soltanto una variazione dei valori percentuali, costante lungo il *range* spettrale acquisito, uniformando la Riflettanza (%) per tessere musive simili (colore e rugosità superficiale). Infatti, l'indagine condotta ha verificato e documentato la maggiore uniformità cromatica ottenuta grazie all'intervento di pulitura che ha permesso di eliminare i depositi che alteravano i reali valori di Riflettanza (%) delle superfici musive.

Inoltre, questo studio, attraverso l'analisi statistica di un elevato numero di dati spettrofotometrici, ha permesso di monitorare, in maniera differenziata, il comportamento della superficie di tessere musive di cromia differente. La PCA, infatti, si è rivelata un efficiente strumento analitico per valutare gli effetti di interventi di pulitura e trattamenti protettivi superficiali. Inoltre, è stato possibile verificare la capacità della PCA di facilitare l'interpretazione simultanea del comportamento delle variabili spettrofotometriche dell'intero set analizzato, raggruppando i dati per tipologia di cromia e

fase di misura. In generale, l'integrazione dei dati già analizzati con ulteriori dati provenienti da misure di tipo chimico-fisico (XRF, SEM, FT-IR, etc.) potrebbe permettere di spiegare il comportamento spettrofotometrico evidenziato dalla PCA e di individuarne le cause.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l'Arch. Guido Meli, già Direttore del Parco Archeologico della Villa Romana del Casale e delle Aree Archeologiche di Piazza Armerina e dei Comuni limitrofi, e l'intero gruppo di lavoro del "Progetto di restauro e conservazione della Villa Romana del Casale".

Il presente articolo è frutto del lavoro di revisione e integrazione dei due contributi presentati alla VI (Lecce 2010) e alla VII (Roma 2011) Conferenza Nazionale del Colore, così come riportato in bibliografia.

## BIBLIOGRAFIA

[1] C.R.P.R., "Progetto di recupero e conservazione della Villa Imperiale del Casale di Piazza Armerina", I Quaderni di Palazzo Montalbo, I Grandi Restauri, n. 12/1, Palermo, 2007.

[2] M.F. Alberghina, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Analisi statistica tramite PCA su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VI Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi del Salento - Lecce, 16-17 settembre 2010, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 19, Maggioli Editore, Rimini, 2010, pp. 255-264.

[3] F. Prestileo, M.F. Alberghina, S. Schiavone, L. Pellegrino, G. Meli, D. Perrone, "L'analisi colorimetrica a supporto dell'intervento di restauro sui mosaici della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VII Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi Sapienza, Roma, 15-16 settembre 2011, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 20, Maggioli Editore, Rimini, 2011, pp. 429-436.

[4] M.F. Alberghina, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Ulteriori valutazioni sull'impiego della Principal Component Analysis su dati colorimetrici di tessere musive pavimentali", in M. Rossi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della VII Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Università degli Studi Sapienza, Roma, 15-16 settembre 2011, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 20, Maggioli Editore, Rimini, 2011, pp. 443-448.

[5] M.F. Alberghina, R. Barraco, S. Basile, M. Brai, L. Pellegrino, F. Prestileo, S. Schiavone, L. Tranchina, "Mosaic floors of roman Villa del Casale: Principal component analysis on spectrophotometric and colorimetric data", *Journal of Cultural Heritage*, 15, pp. 92-97 (2014)

[6] C. Colombo, F. Fratini, M. Matteini, L. Pellegrino, M. Realini, S. Rescic, L. Rosi, "The mosaic paving of Villa del Casale (Piazza Armerina - EN): proposal of conservation treatments", Atti del III Convegno Internazionale La Materia e i Segni della Storia. Scienza e Patrimonio Culturale nell'Area del Mediterraneo, Palermo, 18-21/10/2007, I

Quaderni di Palazzo Montalbo, n. 15, C.R.P.R., Palermo, 2009, pp. 367-375.

[7] Tranchina, L., S. Basile, M. Brai, A. Caruso, C. Cosentino, S. Micciché, "Distribution of heavy metals in marine sediments of Palermo Gulf (Sicily, Italy)", in *Water Air and Soil Pollution*, 191 (1-4), 2008, pp. 245-256.

[8] G. Luciano, R. Leardi, P. Letardi, "Principal component analysis of colour measurements of patinas and coating systems for outdoor bronze monuments", in *Journal of Cultural Heritage*, 10, 2009, pp. 331-337.

[9] E. Cacciatore, F. Prestileo, G. Bruno, L. Pellegrino, D. Perrone, M. F. Alberghina, S. Schiavone, "Monitoring the Decorated Surfaces of the Roman Villa del Casale in Piazza Armerina (Italy)", in P. Tiano, C. Pardini (a cura di), *Proceedings of International Workshop - SMW08 In Situ Monitoring of Monumental Surfaces*, Florence, 27-29/10/2008, Edifir Edizioni, Firenze, 2008, pp. 301-306.

[10] F. Prestileo, G. Bruno, M. F. Alberghina, S. Schiavone, L. Pellegrino, "I mosaici della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina: il contributo delle indagini colorimetriche per la stesura del protocollo di intervento", in A. Rizzi (a cura di), *Colore e Colorimetria: contributi multidisciplinari*, Atti della III Conferenza Nazionale del Gruppo del Colore, Torino, 24-26/10/2007, Collana Quaderni di Ottica e Fotonica, 16, CET, Firenze, 2007, pp. 45-55.

[11] C. Oleari (a cura di), "Misurare il colore", Ed. Hoepli, Milano, 2002.

[12] UNI EN 15886:2010, *Conservation of Cultural Property - Test Methods - Colour Measurement of Surfaces*.