La diagnostica con i colori

Sergio Omarini

ENEA
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

LA DIAGNOSTICA CON I COLORI
Sergio Omarini

2002 ENEA
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente

Lungotevere Grande Ammiraglio Thaon di Revel, 76
00196 - Roma

ISBN 88-8286-017-5

In copertina: punti di misura di spettrofotometria colorimetrica su un frammento di affresco della casa del Narciso - Pompei

La diagnostica con i colori

Introduzione

Il colore non esiste, esiste perché l'uomo esiste; è una percezione del mondo esterno indotta da stimoli che altro non sono che le onde elettromagnetiche riflesse dall'oggetto che osserviamo e questo le riflette in modo diverso e dipendentemente dalla materia di cui è fatto.
Se la luce che illumina è la medesima, una variazione di colore implica necessariamente una variazione di materia mentre, in linea di principio, una variazione di materia può anche non comportare una variazione di colore.
La variazione materica che può indurre una variazione di colore può essere una variazione minimale. Come ha ben spiegato Nassau i meccanismi di formazione del colore sono suddivisibili in 14 categorie quasi tutti riconducibili a cambiamenti dello stato energetico degli elettroni nella materia e le transizioni elettroniche sono alla base di molti di questi meccanismi poiché le energie necessarie ad eccitare gli elettroni nelle orbite più esterne, e quindi a compiere delle transizioni, sono proprio energie dell'ordine di grandezza delle onde elettromagnetiche nel campo del visibile.

Il caso che qui è esposto quale esempio è quello degli affreschi. Nel campo del patrimonio artistico le tecnologie diagnostiche sono generalmente applicate a scopi conservativi, cioè per verificare un eventuale degrado sul manufatto oggetto di indagine, o per motivi semplicemente conoscitivi quali ad esempio conoscere i pigmenti impiegati da un autore in un determinato dipinto. Naturalmente il più delle volte le motivazioni si sovrappongono e l'acquisizione dei dati serve ad entrambe le finalità. Nel caso d'analisi condotte a scopo conservativo è opportuno osservare che queste sono suddividibili in due livelli: il primo è quello normalmente definito "monitoraggio" in altre parole il verificare

che qualche cosa sta variando, o meglio che qualcosa sta variando troppo rapidamente od in modo differente da quanto è ragionevole aspettarsi, e la variazione cui si fa riferimento è ovviamente una variazione materica sia essa morfologica o strutturale. Il secondo livello, di solito assai più difficile, è l'individuazione delle cause della variazione.

È ovvio che nel caso di pitture parietali il primo livello in cui ci si accorge che qual cosa non è regolare sono le variazioni di forma e/o di colore; per variazioni di forma s'intende la deformazione geometrica della superficie su cui insiste lo strato pittorico sia in termini di macro che di microvariazioni (un dissesto murario o la formazione di un "bottacciolo"), per variazione di colore si intende sia un cambiamento di valore cromatico che di saturazione o di luminosità.

Come già premesso, l'accorgersi che qualcosa sta troppo rapidamente mutando è il segnale di allarme ma assai più complesso sarà l'identificare le cause che inducono le mutazioni; nel caso di affreschi troppa luce, umidità, inquinamento chimico, sono solo alcune delle cause che possono indurre variazioni di colore. Analogamente assai complessa è la definizione di "troppo rapidamente" anche se poi, in ultima analisi, il buon senso e l'esperienza sono i parametri più importanti.

La colorimetria è già ampiamente usata in molti campi ma soprattutto come misura del colore in sé stesso, come ad esempio nel controllo di qualità industriale dove un definito colore di una autovettura deve essere assolutamente mantenuto uguale in tutta la produzione, ma poco usata invece nel senso di misurare la variazione di colore e quindi come strumento di indagine e di segnale di ciò che può sottintendere quella variazione.

Poco usata è pure come strumento di documentazione, nessuno può sapere quali fossero i colori delle case di Portofino o di Positano cento anni fa poiché, non solo per degrado ma anche ipotizzando una buona manutenzione, per motivi di gusto, per disponibilità di materiali e per mille altre ragioni, quei colori sono lentamente variati nel tempo ed anche laddove nel caso che l'uomo avesse voluto mantenerli uguali. Di quei colori non vi è più memoria precisa dato che anche quella fotografica, qualora esista, non è sufficientemente attendibile e si potrebbe in futuro perdere traccia di quella attuale essendo un vero peccato dato che la strumentazione d'oggi permette una facile e precisa documentazione.

Richiami di spettrofotometria colorimetrica

Per parlare di misurare il colore è opportuno definire cosa si intende per colore o perlo-

La diagnostica con i colori

meno cosa si vuole intendere in questo contesto.
Il colore è una elaborazione mentale dell'uomo, un suo modo di percepire il mondo esterno; tale percezione è indotta da uno stimolo di tipo biochimico che avviene nei suoi organi ricettori (fondamentalmente nei coni e nei bastoncelli dell'apparato visivo) che generano impulsi che vengono elaborati dalla mente; tale stimolo biochimico è a sua volta indotto da uno stimolo fisico che appartiene completamente al mondo esterno e altro non è che le onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda* nel campo del "visibile".

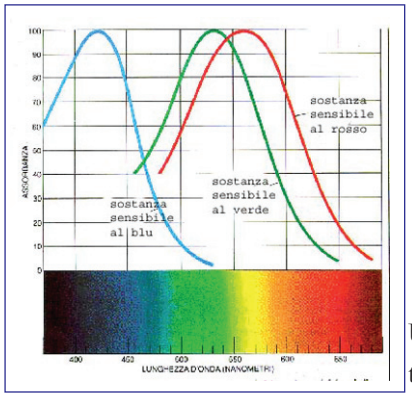
Il modello a cui attualmente si fa riferimento è il modello "tristimulus", fondamentalmente:

- La retina, una specie di pellicola di macchina fotografica degli occhi, contiene sistemi cellulari denominati bastoncelli e coni, i primi sono sensibili allo stimolo luminoso anche a basse intensità ma trasmettono una immagine acromatica, i secondi sono di tre tipi, rispettivamente sensibili al rosso, al verde ed al blu.
- La combinazione dei segnali trasmessi al cervello dal nervo ottico crea la visione in cui elemento fondamentale è la percezione cromatica.

* (Si rammenta che è indifferente esprimere lunghezza d'onda (λ) o frequenza (ν) essendo l'una inversamente proporzionale all'altra ($\nu = v / \lambda$) ove v è la velocità di propagazione dell'onda)

È evidente che dal punto di vista fenomenologico la creazione degli stimoli inducenti la percezione del colore si basa fondamentalmente sull'interazione radiazione-materia. Infatti nel modello "tristimulus" le tre sostanze contenute nei tre diversi tipi di coni reagiscono differentemente alle diverse frequenze e ciascuna con un massimo di risposta relativamente al rosso, al verde ed al blu secondo un andamento riportato nella seguente

figura.



Una stimolazione bilanciata delle tre sostanze genera il bianco, l'assenza di stimolo è il nero.

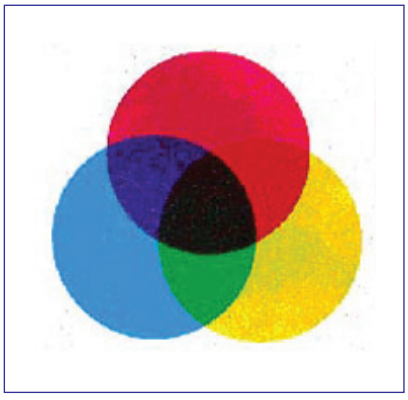
Naturalmente è assai raro il caso in cui lo stimolo sia indotto da onde tutte della stessa frequenza mentre nella maggior parte dei casi si tratta di un insieme di onde di frequenza diversa e l'effetto "colore" è determinato dalla combinazione dei singoli effetti.
Due frequenze, ad esempio, che stimolino nel campo una del rosso ed una nel verde creano la percezione del giallo che peraltro è inducibile anche con una sola frequenza di valore intermedio, analogamente due frequenze, una nel verde e l'altra nel blu creano il ciano ed una nel blu e una nel rosso il magenta.
Se definiamo **metamerico** un colore creato da più frequenze, ma il cui valore cromatico è creabile da una singola frequenza, tutti i colori che vanno dal fucsia al porpora passando per il rosso magenta sono considerabili metamerici primari non esistendo alcuna frequenza che possa indurre stimoli simultaneamente nel campo della sensibilità della sostanza del rosso e del blu. Si definiscono colori **spettrali** i colori inducibili da una sin-

gola frequenza.

Si definisce colore **complementare** quello che sommato ad un altro induce il colore bianco.

La composizione dei colori in base alle frequenze generanti è la così detta **sintesi additiva** ma nella osservazione della natura ciò che conta è la **sintesi sottrattiva** infatti:
la luce bianca (tutte le frequenze) del sole colpisce le sostanze che costituiscono la materia, parte della radiazione (alcune frequenze) viene assorbita, ad es. sotto forma di calore, la rimanente viene riflessa ed interagisce con i percettori.
Da questo punto di vista i fondamentali non sono più rosso, verde e blu ma bensì giallo, ciano e magenta. (stampa quadricromia aggiungendo come quarto il colore nero)

Gli schemi compositivi divengono quelli qua illustrati ove la prima figura rappresenta la sintesi additiva e la seconda la sottrattiva.
Lo spettro, e quindi le analisi spettrofotometriche nel campo del visibile, non è altro che un diagramma in assi cartesiani ove in ascissa sono indicate le lunghezze d'onda nel campo del visibile (da 380 a 800 nm.) ed in ordinate la riflettanza cioè la percentuale di radiazione che viene riflessa per quella specifica lunghezza d'onda.
Lo spettrofotometro è uno strumento che illumina con un predefinito illuminante standardizzato il punto di misura e rileva valori di riflettanza per ogni lunghezza d'onda. Si può ritenere di buona qualità uno spettrofotometro (portatile) che misuri con un inter-



vallo di 10 nm.

Quanto qua esposto è però attinente la misura dello stimolo primario inducente ma il termine "colore" implica un concetto più ampio e complesso anche se, ovviamente, intimamente connesso e strettamente correlato a questo stimolo.
Senza entrare in una esauriente trattazione di colorimetria è però opportuno richiamare i concetti fondamentali basati sulla teoria "tristimulus".
Per definire un colore sono necessarie tre grandezze: **croma**, **saturazione** e **riflettanza**.

Il **croma** è quello che genericamente viene detto colore o tinta ed è nel modello tristimulus definito dalle componenti rossa verde blu (XYZ); in termini fisici potrebbe essere rappresentato dalla lunghezza d'onda predominante che nel caso di più d'una sono riconducibili (vedi metamerismo) ad una soltanto.

La **saturazione** può essere intesa quanto un valore cromatico è diluito nel bianco andando dalla tinta pura (colore saturo) alla non possibilità di percezione (colore completamente desaturato); in termini fisici potrebbe essere rappresentato da quanto è predominante in termini di percentuale la lunghezza d'onda dominante sulle altre.

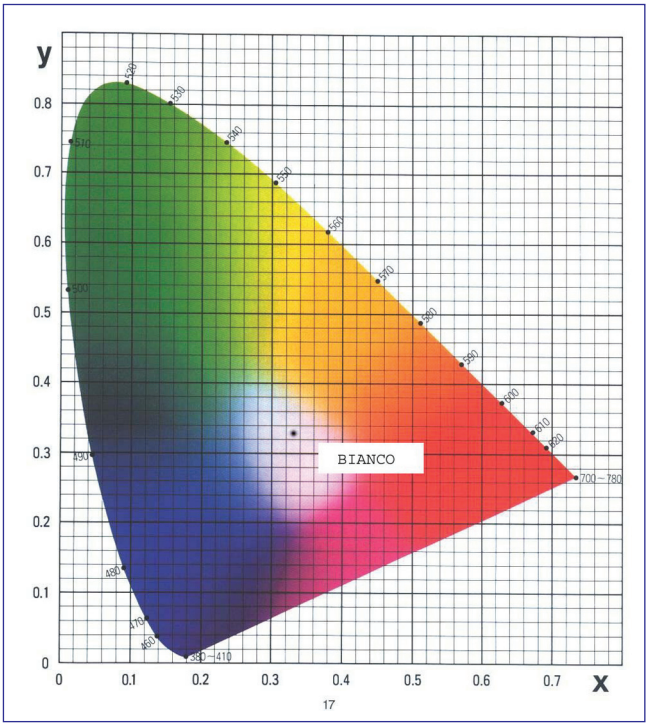
La **riflettanza** (in sintesi sottrativa, brillanza se additiva) è quanto riflette una superficie la luce che la colpisce, cioè quanto si suol dire è luminoso un colore; in termini fisici altro non è che la percentuale globale delle onde elettromagnetiche, cioè delle onde elettromagnetiche di tutte le lunghezze d'onda, che viene riflessa.
Se sono necessari tre valori per individuare un colore appare evidente che la rappresentazione grafica necessita di uno spazio.
Molti sono i modelli di rappresentazione che sono stati utilizzati, l'evoluzione è continua e non implica soltanto la bontà della rappresentazione ma anche la scala e gli standard di riferimento con ovvi riflessi economici nel campo delle applicazioni industriali.

Per meglio chiarire è opportuno richiamare lo spazio-colore definito dalla CIE (Commision Internazionale de l'Eclarage) osservando il diagramma di cromaticità qua di seguito rappresentato

Il diagramma si rifà al modello tristimulus ed esprime su un piano due dei valori necessari per individuare un colore, cioè la saturazione ed il croma per una determinata riflettanza. Il diagramma è importante soprattutto perché coniuga il concetto di colorimetria con il modello fisico della generazione del colore.

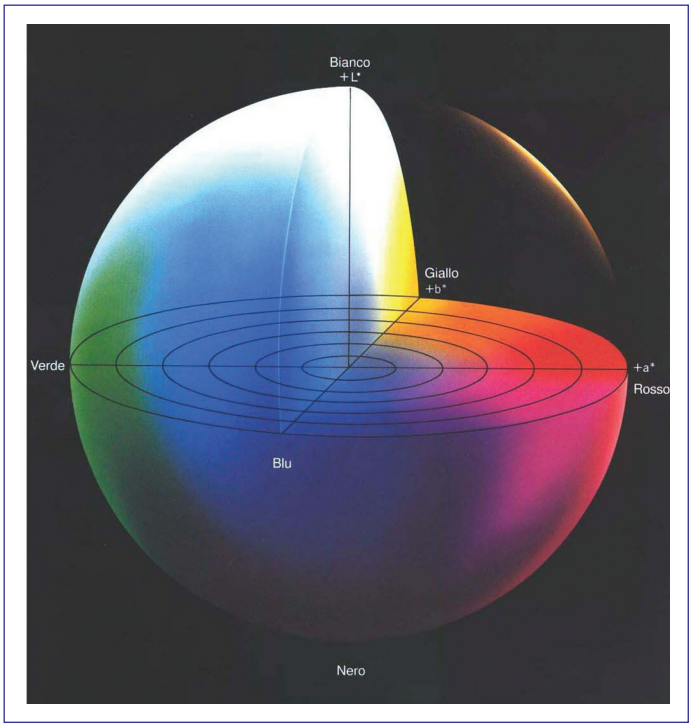
Nel diagramma l'asse x rappresenta la componente rossa normalizzata ed y quella verde. (Nel modello tristimulus XYZ rappresentano le percentuali delle componenti rossa verde e blu per un determinato colore. Posto $x = X/(X+Y+Z)$ $y = Y/(X+Y+Z)$ e $z = Z/(X+Y+Z)$ ne risulta $x + y + z = 1$ e conseguentemente è sufficiente esprimere due valori essendo il terzo determinato per differenza).

Ideologicamente il modello è rappresentato da un triangolo ove il rosso ha coordinate 1,0 il verde 0,1 il blu 0,0 ed il bianco avrà coordinate 1/3,1/3. La figura mostra il dia-



17

gramma CIE che rappresenta di fatto i colori realmente percepibili cioè una figura ritagliata dal triangolo ideale.
Sul contorno sono indicate le lunghezze d'onda corrispondenti alla lunghezza d'onda dominante per quel valore di croma ed il contorno rappresenta i valori cromatici al massimo della saturazione. Congiungendo un punto con il centro (il bianco di coordinate1/3,1/3) si percorre un percorso a parità di valore cromatico desaturando il colore. Continuando si va nel colore complementare. La base del triangolo a campana è una linea retta che rappresentando i colori dal rosso al blu (porpora magenta fucsia) non può avere lunghezze d'onda dominanti dato che sono, come già detto, metamerici primari. La superficie rappresenta una specie di sezione trasversale dello spazio colore CIE immaginandolo come una pera tagliata perpendicolarmente all'asse z che rappresenta la riflettanza (il modello è in realtà più complesso); le coordinate in tale spazio sono convenzionalmente indicate **Y** (riflettanza) **x** (componente rossa normalizzata) **y**



(componente verde normalizzata).

Naturalmente esistono altri spazi colore presi come riferimento, il più noto attualmente è lo spazio **L*a*b*** ove le differenze geometriche sono più proporzionali a quelle colorimetriche.

Gli attuali sistemi informatici permettono ad uno spettrofotometro di passare con facilità da un sistema di riferimento ad un altro ed anche ad indicare la corrispondenza con un eventuale sistema colorimetrico a cartelle colore (Munsell, Pantone, NCS, ecc…) a seconda delle differenti esigenze di rappresentazione.

Protocolli di misura e metodologie

Come sempre effettuare una buona misura significa definire a monte delle precise procedure, condizioni e criteri per l'effettuazione della misura stessa, cioè, appunto, definire un buon protocollo.
Nel caso specifico degli affreschi, cioè nell'esempio che qui si vuole trattare, il protocollo può essere suddiviso in tre parti:

- La taratura della strumentazione e le modalità di misura
- La scelta dei punti e la loro identificazione
- L'archiviazione dei dati

È sempre opportuno ricordare che un protocollo deve essere definito in funzione di quale è l'oggetto della ricerca ed in questo caso è opportuno fare riferimento a due possibili finalità: una finalità di tipo *conservativo* cioè il verificare una possibile variazione di colore a distanza di tempo e una finalità di tipo *conoscitivo* cioè acquisire informazioni sul colore in sé stesso e possibilmente sul pigmento usato per quel colore.
I criteri qui esposti hanno comunque una validità generale indipendentemente dell'esempio scelto degli affreschi, sono sempre necessari, naturalmente gli adattamenti del caso.

Diagnostica conservativa

La taratura della strumentazione e le modalità di misura. La taratura è un argomento che qua non è volutamente trattato in quanto le procedure che devono essere adottate sono quelle che sono rigorosamente riportate nei manuali di utilizzo della strumentazione impiegata, è ovvio che la qualità della misura effettuata dipende dalla qualità della strumentazione impiegata e che per misure quali qua descritte, che necessitano di strumentazione portatile, si suggerisce di utilizzare spettrofotometri con analisi spettrale che dia valori di riflettanza con intervalli non inferiori a 10 nm. perlomeno per gli spettrofotometri a piccolo "spot" (area della superfice misurata).
La modalità di misura implica innanzi tutto la scelta della strumentazione. A parità di qualità di strumenti disponibili, la prima cosa che sarà opportuno scegliere sarà il tipo di strumento in funzione dello spot e quindi in funzione della tipologia dell'opera che deve essere analizzata. Tanto più sono presenti campiture o perlomeno zone monocromatiche sufficientemente grandi, meglio sarà adottare strumenti a grande spot (sino a 2-3 cm. di diametro) dato che la misura ottenuta sarà un valore automaticamente più mediato.
Per quanto attiene la media delle misure quasi tutti gli spettrofotometri portatili attualmente in commercio offrono la possibilità di eseguire misure mediando i valori su più misure nello stesso punto e, dato che nel caso del patrimonio artistico il risparmio di tempo non è l'esigenza prioritaria, una media su almeno 5 valori sembra più che ragionevole.
E' evidente che se la finalità della misura non è quella del monitoraggio a fini conservativi ma ad esempio quella di cercare di avere informazioni sui pigmenti impiegati dall'osservazione dello spettro riflesso, quanto sopra esposto è privo di significato e sarà invece opportuna la definizione di un differente protocollo quale ad esempio la scelta di spot piccolissimi.

La scelta dei punti e la loro identificazione. Questo è chiaramente un aspetto molto sensibile della bontà delle analisi ed è, tutto sommato, quello più legato al buon senso ed all'esperienza dell'operatore. Naturalmente un discorso corretto può essere fatto solo coinvolgendo il restauratore o chi è preposto alla conservazione dell'opera che di norma conosce la problematica nel suo insieme. Ciò che è comunque buona norma seguire è quella

di ripetere più di una misura nella stessa zona anche a parità di colore per poter avere un riscontro affidabile considerando il fatto che la velocità delle misurazioni è molto rapida. L'identificazione dei punti è l'elemento che rende valida la misura dato che, diversamente, si potrebbe sempre dubitare di differenze di valori rilevati dovute al semplice motivo che il punto scelto non è quello della precedente misura; ciò è particolarmente vero nel caso del patrimonio artistico ove quasi mai avviene che punti limitrofi siano dello stesso identico colore anche nel caso di estese campiture. Da un punto di vista concettuale il problema è insolubile dato che la possibilità di ripetere la misura perfettamente nella stessa area non esiste, ma come sempre deve prevalere il buon senso e qui, come si dirà parlando dei criteri di allarme, si vuole indicare una strada di tipo empirico. In ogni caso ciò che è importante sottolineare è che l'identificazione del punto misurato deve essere assolutamente univoca e ben delineabile soprattutto per chi non ha partecipato alle campagne di misura e che domani, magari, si ritroverà a rimisurare lo stesso punto. Le tecniche per ottenere quanto sopra sono molteplici e la più rapida e semplice attualmente è quella di riprendere una immagine digitale della zona analizzata ed elaborarla con sistemi tipo Photoshop apponendo graficamente ai punti un indice di numerazione. Tale sistema ha l'inconveniente che per poter ragionevolmente lavorare in modo comodo sono necessarie due persone che operano in parallelo e mantenendo sullo stesso P.C. la medesima numerazione per i punti immagine ed i corrispondenti valori misurati che di norma sono inviati dallo spettrofotometro in formato Excel. È ovvia la raccomandazione che il lavoro va eseguito in campo perché basarsi sulla memoria o su appunti scritti quando si tratta del centinaio di misure sarebbe quanto meno velleitario.

Punti di misura spettrofotocolorimetrica su un affresco della Villa di Arianna a Stabia.
Si può notare che l'individuazione di dove è effettuata la misura è sufficientemente precisa per uno "spot" piccolo (come in questo caso) di 2mm.
I medesimi punti sono stati rilevati anche con la tecnica della fluorescenza X..

L'archiviazione dei dati deve essere accuratamente programmata dato che per un ciclo di affreschi si arriva facilmente a 200 – 300 punti di misura e che per ciascun punto, a livello minimale, dovrà essere conservata la terna di valori colorimetrici (Yxy e/o L*a*b*) ma possibilmente anche lo spettro di riflettanza. È evidente che l'archiviazione dei dati significa anche riprendere con esattezza l'identificazione del punto in modo che esista una

corrispondenza biunivoca tra opera misurata, posizione del punto di misura e valori rilevati.
È altrettanto ovvio che gli attuali sistemi informatici permettono di superare tranquillamente ed in modo elegante tali tipi di problemi.

Quanto sopra esposto è ovviamente prioritario nel caso di misure per scopi diagnostici di tipo conservativo, cioè valutazioni della variazione di colore che può sottintendere

degrado materico, ed è opportuno osservare che in questo caso la misura assoluta di colore, cioè la identificazione esatta in una definita scelta scala colorimetrica, è, al limite, irrilevante in quanto ciò che conta è il poter valutare quanto una misura si discosta da una precedente misura eseguita nello stesso punto ed un errore di tipo sistematico può essere poco importante a patto di essere sicuri di mantenerlo ragionevolmente costante nel

tempo (in assoluto impossibile) anche con differenti operatori e differente strumentazione. I moderni spettrofotocolorimetri hanno la possibilità di misurare quanto un colore si discosti da uno di riferimento scelto arbitrariamente, ciò è naturalmente dovuto alle applicazioni di tipo industriale, ma questa funzione, ad avviso di chi scrive, è poco utilizzabile alle applicazioni in questione in quanto anche impostando la prima misura come riferimento primario si corre il rischio, per lo meno allo stato attuale, di una eccessiva complicazione nella archiviazione dei dati sempre partendo dal presupposto che essi debbono essere chiari ed univocamente determinabili ad un operatore che non abbia modo di confrontarsi ed interagire con il precedente operatore.

Diagnostica conoscitiva

Come già accennato la diagnostica eseguita a scopi conoscitivi nel caso di affreschi è soprattutto intesa come individuazione del o dei pigmenti impiegati.
Premesso che, naturalmente, per quanto attiene la taratura, la corretta individuazione di dove si sono fatte le misure e l'archiviazione dei dati valgono i criteri precedentemente esposti, va subito detto che molto raramente questa tecnica consente tale identificazione ma, come nella maggior parte dei casi l'accoppiamento ad una altra tecnica permette di raggiungere la finalità che ci si è posti; in questo caso si fa preciso riferimento alla fluorescenza X.
Tale tecnica consiste nell'irraggiare con un sottile fascio di radiazione X il punto di misura inducendo in tale punto una fluorescenza ancora in banda X dovuta alla eccitazione degli atomi colpiti che, decadendo allo stato stabile, emettono una radiazione caratteristica di ciascun tipo di atomo permettendone il riconoscimento.
È opportuna notare che tale tecnica permette l'individuazione degli elementi chimici costitutivi e non dei composti come in realtà sono la stragrande maggioranza dei pigmenti ma dal loro rapporto (la fluorescenza X permette analisi semiquantitative) molte volte si risale al pigmento senza contare i casi dove il riconoscimento di un elemento chimico è un "marker" del pigmento come ad esempio il Mercurio per il Cinabro.
Di contro ad una indicazione materica così puntuale la spettrofotometria ne fornisce una totalmente integrale in quanto mostra lo spettro di riflettanza che, come detto, può anche essere differente a parità di valori colorimetrici (metamerismo) e difficilmente caratteristico di un particolare pigmento. Ovviamente la disponibilità di una banca dati con spettri campione dei pigmenti puri è essenziale per analisi di questo tipo. A titolo esemplificativo sono qua mostrati due grafici di riflettanza per tre pigmenti. I grafici sono indicativi ma si può

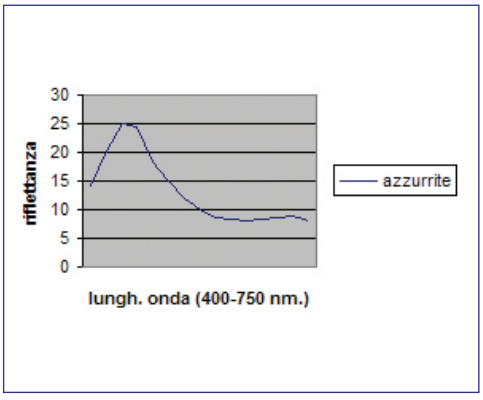
notare la differenza di forma che contraddistingue il minio dal cinabro i quali possono avere valori cromatici estremamente vicini.
In conclusione si può affermare che l'accoppiata delle due tecniche costituisce allo stato attuale un eccellente binomio per ricerche di questo tipo naturalmente considerando il fatto che le due tecniche rispettano due criteri fondamentali per le possibilità applicative nel campo del patrimonio artistico: la non distruttività (prove senza prelievo di campione) e la trasportabilità delle attrezzature.

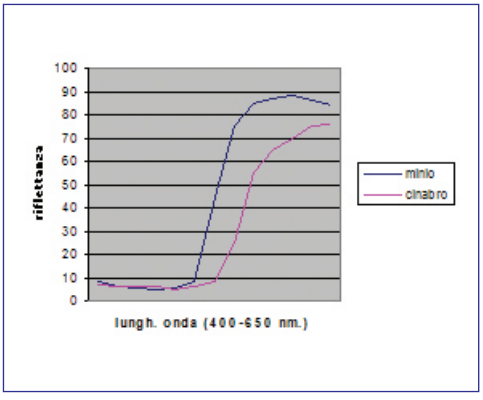
Ciotole contenenti pigmenti rinvenute a Pompei. Sono ritrovamenti fondamentali per lo studio dei pigmenti usati nell'antichità e permettono confronti e verifiche degli antichi ricettari e delle fonti quali Plinio o Vitruvio.
Sono attualmente oggetto di indagine da parte della Soprintendenza.

L'esempio degli affreschi

Come esemplificatori si sono scelti due esempi: gli affreschi della Villa di Arianna a Stabia ed il confronto con altri affreschi Pompeiani e quelli altomedioevali del complesso abbaziale di San Vincenzo al Volturno.

La Villa di Arianna, coi suoi 14000 mq., è, in termini dimensionali, una delle più grandi ville romane ed è oggetto di studio per la messa a punto di tecnologie per la conservazione e la fruizione. Gli affreschi, o più in generale le pitture parietali, sono moltissimi oltre al ciclo di quelli rappresentanti il mito di Arianna, da cui il nome della Villa, ed in occasione del restauro di una porzione della Villa e della realizzazione del sistema di protezione si è proceduto ad una campagna di misure spettrofotocolorimetriche dei decori parietali.
Nel caso che stiamo considerando le misure dovranno essere ripetute appena finiti i restau-





ri per l'opportuna verifica del mantenimento dei valori cromatici ed è importante che i punti originari siano stati scelti con logica ed univocamente ed il più precisamente possibile individuabili. L'importanza della scelta dei punti è ovvia se si pensa che questi facilmente rimarranno sempre quelli nei successivi monitoraggi, infatti gli stessi usati per la verifica dell' intervento restaurativo, verranno presumibilmente ancora rimisurati a distanza di due anni per controllare eventuali variazioni.

Le misure fatte alla villa di Arianna sono state confrontate con analoghe misure su affreschi

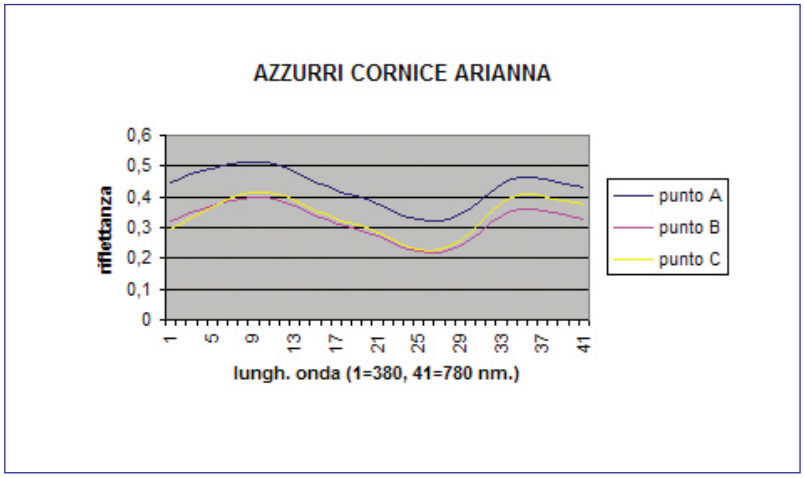
della Casa di Polibio a Pompei ed in questo caso ciò che si è cercato di individuare è stato il diverso impiego di pigmenti delle maestranze che hanno eseguito i lavori; naturalmente, come già accennato, si è usato la combinazione delle due tecniche fluorescenza X e spettrofotocolorimetria. Una tesi presentata all'Istituto Suor Orsola Benincasa di Napoli, utilizzando tali dati, ha messo in luce alcune interessanti particolarità. A titolo di esempio può risultare interessante il confronto tra diversi rossi con valori colorimetrici molto vicini (in termini di valore di croma). Nelle rilevazioni di XRF nei rossi della villa di Arianna non si è rilevato mercurio (quindi Cinabro) invece rilevato nella casa di Polibio e naturalmente nelle ciotole contenenti pigmenti; nella figura attinente il confronto tra i rossi si può infatti notare che il punto di inizio dello scalino è decisamente spostato nel caso di Arianna, anche se bisogna sempre rammentare che i confronti sono resi difficili dai differenti valori di riflettanza.
San Vincenzo al Volturno è, come noto, un grande ritrovamento archeologico che rappresenta uno dei più grandi complessi abbaziali dell'epoca Carolingia. I decori pittorici parietali, intendendo come decori le figurazioni geometriche o floreali prive di iconografia, perlomeno nota, sono estremamente vari sia nella forma che negli accostamenti cromatici, una recente catalogazione ha identificato ben 36 tipologie differenti solo nella cripta di San Vincenzo Maggiore.

Recentemente restaurati, più che altro puliti, sono stati documentati sia in termini fotografici che colorimetrici con un sistema di "schedatura" che appunto esplicita i valori di colorimetria sia per eventuali riproduzioni fotografiche che per eventuali controlli futuri.

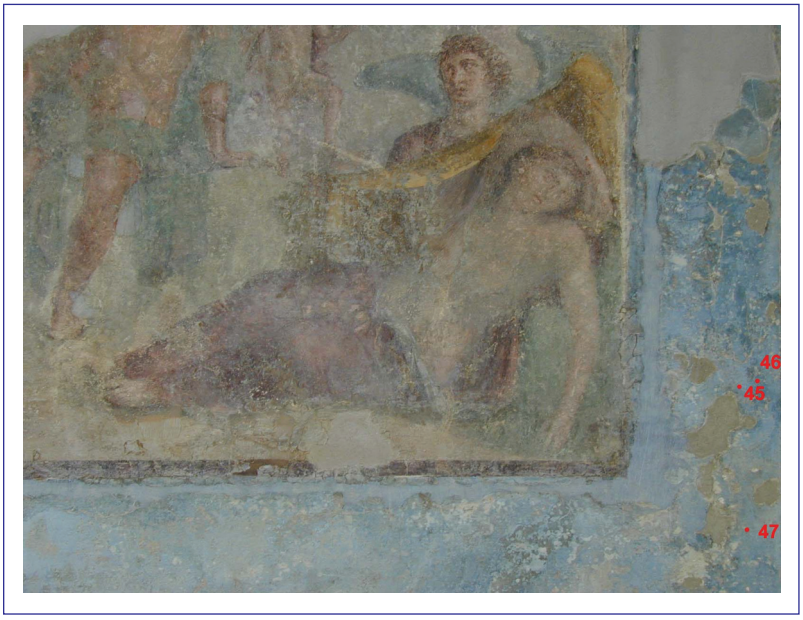
Se è vero che le variazioni geometriche dei decori sono molteplici non lo è altrettanto per le variazioni di colore il che è normalmente attribuibile alla non grande disponibilità di differenti tipologie di pigmenti. In termini colorimetrici si è potuto osservare che i valori rilevati stanno quasi tutti, se ci si riferisce allo spazio Yxy, tra valori di 0,350 e 0,430 per la x e di 0,355 e 0,370 per la y e se ci si riferisce allo spazio L*a*b* i valori stanno tutti nel 1° settore sferico.

Quanto sopra si può interpretare col fatto normalissimo che i pigmenti disponibili venivano utilizzati con differenti diluizioni e che conseguentemente i valori di croma sono praticamente sempre gli stessi ma con diversi valori di saturazione.

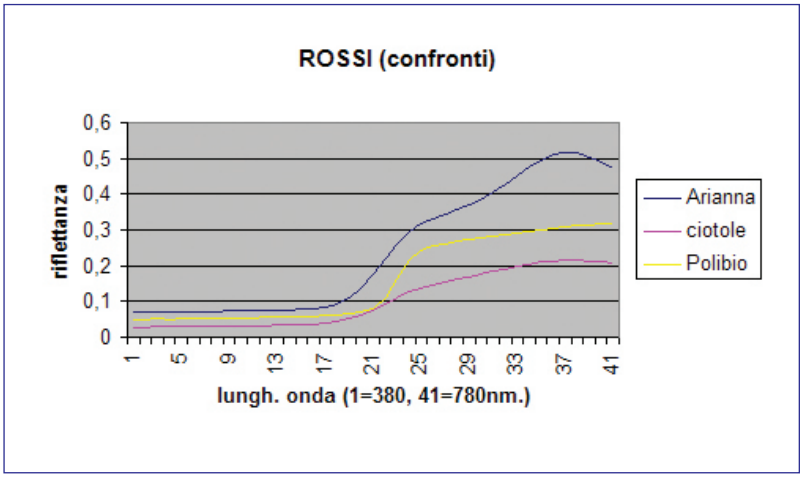
E' sufficiente osservare queste due immagini per rendersi conto della quantità di punti di misura necessari. A destra è un particolare del decoro dipinto sulla parete nel quale è presente una grande quantità di colori ed è evidente la necessità, in questo caso, di utilizzare uno spettrofotometro a "spot" molto piccolo.

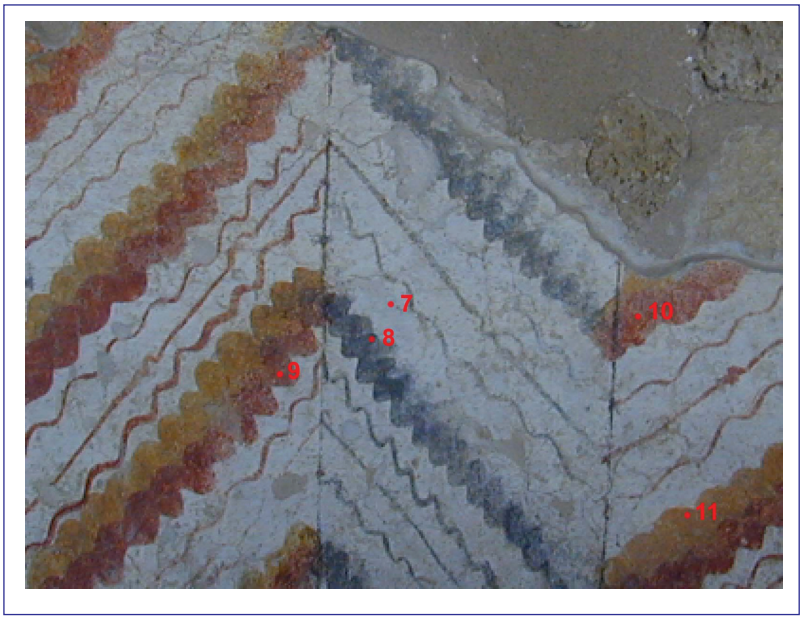


I tre punti di misura forniscono un diagramma spettrale che è caratteristico con gobbe e di fatto quasi certamente si tratta di blu egizio, tali considerazioni si possono fare sempre rammentando che la spettrofotometria del visibile non permette l'identificazione certa dei pigmenti ma può solo fornire indicazioni. (A = punto 45, B = 47, C = 46)



Parte dell'affresco rappresentante Arianna e che dà il nome alla grande villa Romana di Stabia.





Rilievi colorimetrici in un decoro nella sala dei Profeti a S. Vincenzo Minore

L'individuazione dei pigmenti utilizzati richiederebbe, parlando di esami senza prelievo di campioni, perlomeno esami di fluorescenza X dato che di norma la solo spettrofotometria nel campo del visibile non è in grado di fornire indicazioni sufficienti e che la accoppiata delle due tecniche è la metodologia vincente.

Comunque sia lo spettro di riflettanza, il modo di riflettere le onde elettromagnetiche e quindi generare lo stimolo primario che induce la percezione del colore, è intrinsecamente legato al contenuto materico e quindi in ultima analisi anche al pigmento, sempre rammentando che colore non vuol dire pigmento e che lo stesso colore può essere dato da differenti spettri di riflettanza.
Alcune considerazioni possono comunque essere fatte ricordando che la forma dello spettro può essere un elemento indicativo per caratterizzare il pigmento in questo tipo di analisi:

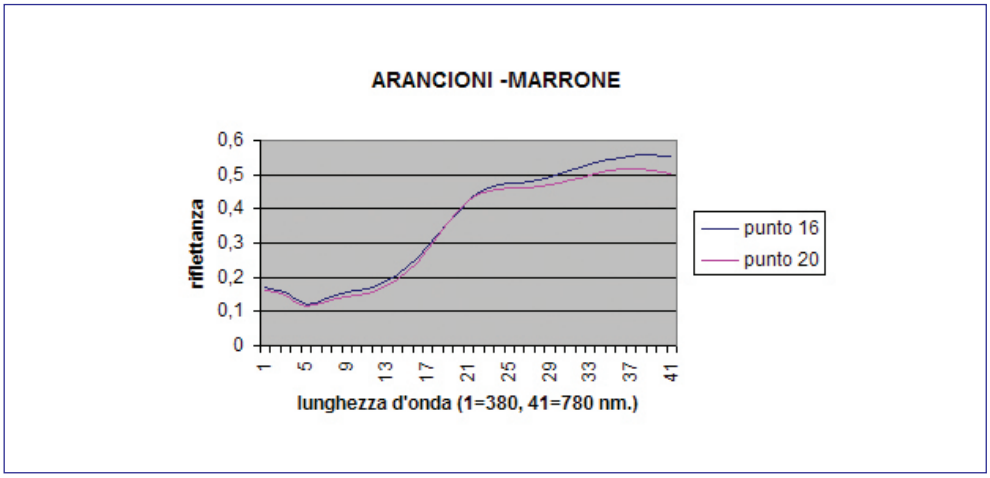
a titolo esemplificativo è sufficiente osservare gli spettri relativi ai punti 16 e 20; non sono necessarie analisi numeriche per constatare la quasi totale sovrapposizione e ciò vale per parecchi altri casi.
Le considerazioni effettuate hanno,come detto, un margine di aleatorietà ma anche senza entrare in merito a considerazioni storico stilistiche appare evidente, a fronte della ricchezza di fantasia decorativa di tipo geometrico, una povertà cromatica con l'utilizzo probabile di tre o tutto al più quattro pigmenti.

Aspetti conservativi

Per quanto attiene gli aspetti conservativi è importante definire quello che potremmo chiamare il "criterio di allarme" e cioè quali sono i valori delle differenze di misura che ripetuta a distanza di tempo nel medesimo punto deve destare preoccupazione. Preoccupazione significa, come già detto, approfondimento di indagine dato che il verificare una variazione di colore implica una variazione materica ma senza alcuna indicazione delle cause che la inducono.
È opinione di chi scrive che sia estremamente complesso determinare un criterio con validità generale ed è meglio un criterio empirico che si adatti a caso a caso a patto che

sia ben definito.
Nella seguente fotografia sono stati memorizzati i punti di misura di una campagna condotta per il monitoraggio della così detta Villa Imperiale a Pompei.
Quali sono o meglio saranno i valori delle differenze che, ripetendo le misure, dovranno

generare allarme?
Come già descritto nella definizione dei protocolli di misura la ripetibilità del dato rilevato dipende da molti fattori, attrezzatura scelta, tarature, precisione dell'operatore di



riprendere il medesimo punto ecc…e si è suggerito pertanto alla Soprintendenza un criterio assolutamente empirico:

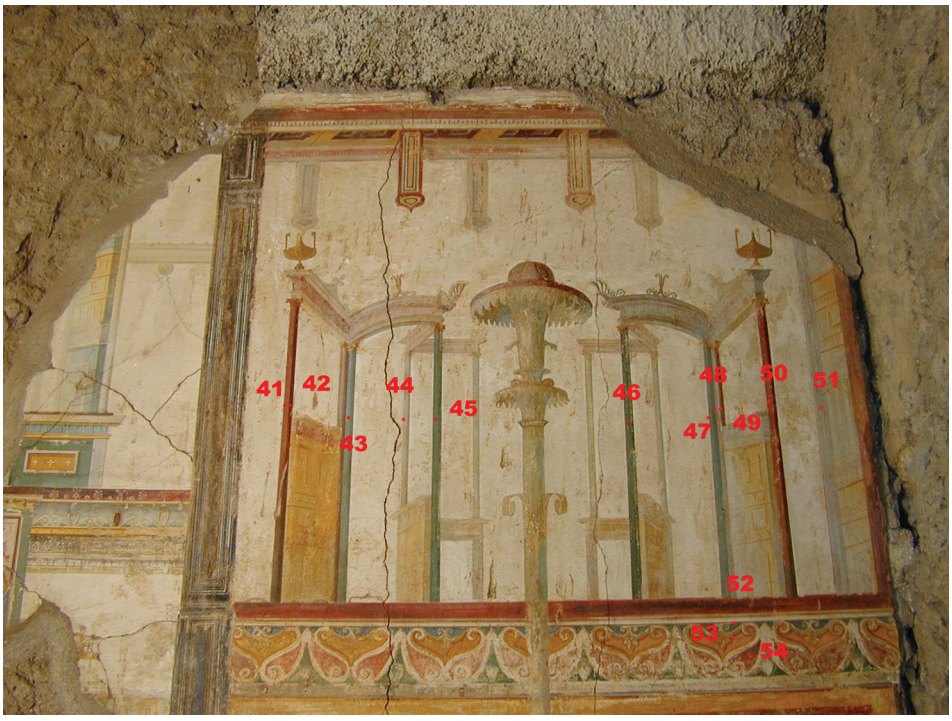
– Terminata la campagna di misure sul ciclo degli affreschi si ripetono, con un altro operatore e possibilmente con differente attrezzatura, le misure sul 10% dei punti

– Il nuovo operatore non deve essere affiancato da chi ha precedentemente condotto la campagna sperimentale ma basarsi solo sulla documentazione che gli viene consegnata

– La verifica deve essere effettuata a distanza di pochi giorni

– Si calcola la differenza in termini di percentuale dei valori numerici tra la prima e la seconda campagna (è evidente che le differenze percentuali sono più omogeneamente significative nello spazio L*a*b*)

Il rilevare a distanza di qualche anno una differenza percentuale superiore al doppio di quella riscontrata con tale metodologia potrà ragionevolmente essere ritenuto un segnale di allarme.
Si ribadisce ancora il concetto, peraltro valido per molte tecniche diagnostiche, che il dato prodotto non deve essere considerato "l'assoluto" ma una indicazione che può essere un valido strumento di conoscenza soprattutto per la valutazione dell'evoluzione di certe



fenomenologie non percettibili dalla semplice osservazione umana.

Nuove applicazioni ?

Applicazioni nel campo dell'ambiente e dell'agricoltura non sono più elemento innovativo così come nel campo alimentare per quanto attiene controlli di processo e probabilmente più che parlare di nuovi campi di applicazione è meglio pensare a nuove procedure e metodologie; una parola forse va spesa per quanto attiene le applicazioni nel campo della diagnostica medica che peraltro già utilizza la spettrofotometria colorimetri-

ca ma da un altro punto di vista.

Il parallelismo tra le funzioni di chi opera nel campo della medicina e in quello dell'arte è ormai divenuto un classico e l'accostare il restauratore al chirurgo, chi fa diagnostica al tecnico di laboratorio di analisi mediche ed il clinico allo storico dell'arte è un luogo comune, conseguentemente l'estrapolare l'applicabilità della spettrofotometria colorimetrica intesa nel senso precedentemente descritto cioè al segnalare la variazione dello stato materico, in questo caso biologico, può essere una interessante suggestione. L'irragionevolezza sta nel non approfondito studio della fenomenologia, la ragionevolezza nel fatto che in ultima analisi si tratta sempre di variazioni dello stato materico e che "che brutta, o che bella cera hai" probabilmente nasconde antiche verità.
Non si tratta di correlare il colore alla temperatura ne di analizzare in "falsi colori" come la termografia che restituisce l'immagine, originaria in toni di grigi, in elaborati più leggibili, ma proprio di analizzare il colore del corpo umano nel suo significato più intrinseco, o meglio, come nel caso del patrimonio artistico, di analizzare le variazioni di colore di un determinato corpo.

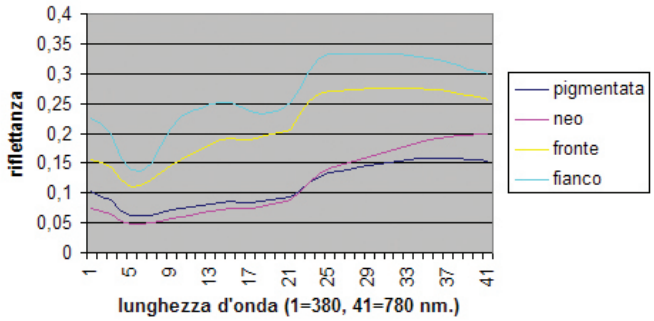
Come noto la radiazione elettromagnetica attraversa più facilmente la materia tanto più alta è la sua frequenza, naturalmente dipende anche dal tipo di materia ed in generale in modo correlato alla densità ed ovviamente allo spessore; la radiazione nel campo del visibile è fermata molto facilmente ma soprattutto nei liquidi ha una certa capacità di penetrazione.
La pelle si comporta come un liquido denso ed è abbastanza penetrabile anche da radiazione nel campo del visibile, i bambini coprono una pila col palmo della mano e si fanno una "radiografia", il colore della pelle è dato da molti fattori e non solo dallo strato più superficiale e probabilmente "che brutta, o che bella cera" tiene inconsciamente conto di componenti non ben definibili che travalicano l'abbronzatura od il trucco degli strati più superficiali. Forse è tentabile una diagnostica che non riguardi solo ed esclusivamente le malattie della pelle ma che possa tener conto, senza però esagerare, di altre possibilità di correlazione.

Attualmente alcune case che producono strumentazione stanno proponendo colorimetri non a contatto anche per usi medicali, probabilmente l'accoppiata con misure spettrali

darà migliori risultati con nuove indagini, d'altro canto una accurata indagine sui picchi di assorbimento nel campo del visibile non è mai stata fatta al di là della constatazione che 430nm. è uno dei picchi di assorbimento per la pelle di qualunque persona. E'opportuno comunque ricordare che, in questo, caso come nel campo del patrimonio artistico, la diagnostica spettrofotocolorimetrica va soprattutto intesa come diagnosi di primo livello cioè accorgersi che qualcosa sta cambiando in modo anomalo e non tanto come valore assoluto di quanto rilevato. E' interessante osservare, a livello quasi di curiosità, gli spettri rilevati su una persona in una porzione di pelle abbronzata (fronte), in una zona non abbronzata (fianco), in una parte di pelle fortemente pigmentata e su di un neo anch'esso sul fianco. E' ovvio che la parte di pelle non abbronzata (fianco), e quindi più chiara, abbia la riflettanza più alta di quella abbronzata (fronte) ma comunque con un andamento simile anche se con uno spostamento del secondo minimo, andamento che per altro è mantenuto anche nella zona pigmentata anche se con bassa riflettanza. Il neo mostra invece un andamento differente in quanto la curva rimane ascendente anche oltre 750 nm. mentre le differenze colorimetriche sono praticamente inapprezzabili.

Come già detto quanto qua sopra esposto va considerato una curiosità che può essere solo casuale ma che forse può meritare una più approfondita analisi statistica, mentre si ribadisce che ciò che conta è il verificare le variazioni di colore e di spettro nel tempo cercando i criteri per determinare quando tali variazioni debbano essere considerate anomale.

In generale si può affermare che la misura del colore è ancora poco usata, o perlomeno in alcuni campi in cui potrebbe trovare utile applicazione quale quello della semplice funzione di documentazione. Per tornare al patrimonio artistico, quasi mai, terminato un restauro, si eseguono dei rilievi di colorimetria così che non si ha un riscontro di quale sia stato il colore ne prima ne dopo il restauro. Neppure i dipinti contemporanei vengono rilevati e tra non molto non si avrà alcuna informazione di quali fossero i colori originari voluti dall'autore anche indipendentemente dalla necessità di restauri ma proprio come mera informazione tenendo presente che la documentazione fotografica non è certo sufficiente, a distanza di tempo, per fornire precise informazioni sul colore a meno, naturalmente, che non sia in fotocolorimetria.
Le misure colorimetriche di dipinti quale quello sopra rappresentato sono un raro esem-



pio di documentazione di arte contemporanea ed è interessante notare che, usando spot molto piccoli, si determinano sufficientemente bene i punti di misura anche in un dipinto a tratti molto elaborati.
Gli aspetti di documentazione valgono anche per le strutture architettoniche. Goa, in India, od Olinda, patrimonio dell'UNESCO in Brasile, sono fondamentalmente nel loro contenuto estetico legate al colore degli intonaci delle loro case ma come si trasformano nel tempo quei colori? Cambiano non solo per l'intrinseca variazione materica dei pigmenti dell'intonaco stesso ma semplicemente per il fatto che debbono essere, come ogni casa, periodicamente assoggettate a manutenzione e non è detto che ogni volta i colori vengano rispettati. Senza entrare in merito all'intervento manutentivo, che può più o meno variarne i colori, è senza dubbio auspicabile che rimanga documentazione e memoria univoca dei colori originari e come e se sono variati nel tempo soprattutto ora che la tecnica permette una così precisa e semplice documentazione per il futuro.

Uno dei gravi difetti di questa tecnica è che le misure debbono essere fatte a contatto. Nel caso di molti affreschi o più in generale di strutture architettoniche la cosa è pressoché impossibile, a meno di costosi e complicati ponteggi, il che fa sì che di le misure vengono fatte in concomitanza ai restauri. Ciò implica che la funzione di monitoraggio viene

a mancare e le misure si fanno quando già è stata segnalata una macrovariazione.
Si sta attuando una ricerca per effettuare misure di spettrofotometria colorimetrica a distanza seguendo un concetto di taratura fittizia ossia, dato che l'illuminante standard non può essere usato, tenere conto dell'illuminazione reale e, rilevando in ogni misura un campione di riflettanza noto, ricondurre i valori a quelli corrispondenti ad una misura con illuminante standard. È evidente che solo dopo una opportuna campagna sperimentale di verifica il metodo potrà essere validato ma bisogna tener conto del fatto che anche se i valori rilevati non avranno validità di valore assoluto, nel caso di diagnostica a scopi conservativi, ciò che soprattutto conta è, come già detto, misurare la variazione dei valori nel tempo a patto che questi siano rilevati sempre con le stesse procedure ed in questo caso,

Antonio Sanfilippo – Verde abete. (Le misure sono state effettuate, a titolo esemplificativo, in occasione di una mostra su Forma1 e i suoi artisti su richiesta della prof. Simonetta Lux, curatrice della mostra, e su suggerimento del prof. Giuseppe Basile dell'ICR di Roma)

anche se in modo virtuale, nelle stesse condizioni.
Naturalmente solo se sarà verificata una reale estrapolabilità la tecnica potrà essere usata a fini di documentazione. Comunque sia la spettroradiometria a distanza sta avendo un notevole sviluppo ed alcune case stanno proponendo strumentazione sempre più idonea alla risoluzione dei problemi.

Bibliografia

A. Frova	Luce, colore, visione	Editori riuniti	Roma 1984
K. Nassau	The origins of colors	The American minaralogist	1978
D.L. Mac Adam	Color measurament	Springer	Berlin 1981
C.I.E.	AA.VV.	Colorimetry ed. CIE	Vienna 1986
C. Oleari	Misurare il colore	Hoepli	Milano 1998
P.G. Centauro et. al.	"Antichi colori"su muro.. Centro Editoriale Toscano	in Colorimetria e Beni Culturali	
A. Aldovrandi et. al.	Misure di colore…..	Firenze 2000 a cura di C. Oleari "	"
G. Barbiroli et. al.	La misura oggettiva….	"	"

ISBN 88-8286-017-5

Edito dall'ENEA
Progetto grafico: B. Giovannetti
Stampa: Grafiche Ponticelli SpA
Finito di stampare nel mese
di febbraio 2003