

COLORIMETRY APPLIED TO THE FIELD OF CULTURAL HERITAGE: EXAMPLES OF STUDY CASES

Salvatore Lorusso, Andrea Natali, Chiara Matteucci

Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali
Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna)

1. Introduction

For a few years now, the Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali of the Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna) has been creating a Diagnostic Laboratory for the study on the “system: cultural heritage/conservation environment”.

In the present paper the results of different surveys concerning the use of colorimetry on different typologies of art works are reported:

- graphic documents (fig. 1);

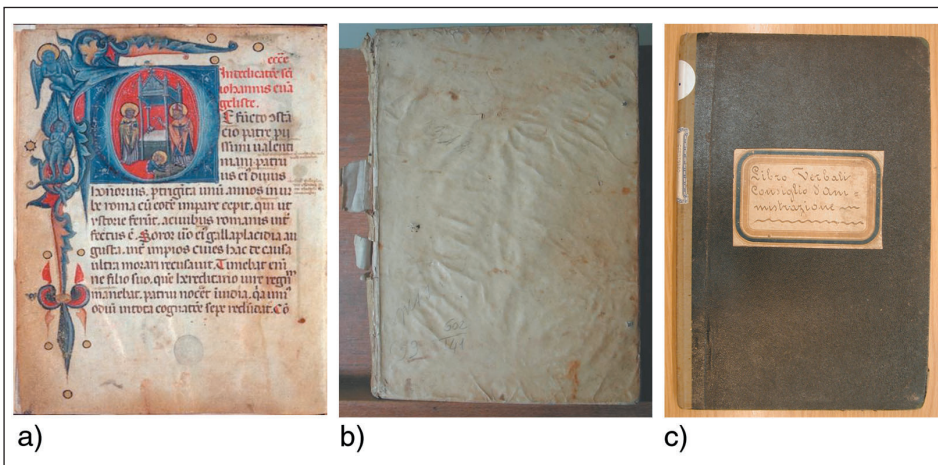


Figure 1. Graphic documents under study: a) Biblioteca Classense of Ravenna, Tractatus Hedificationis et Constructionis Ecclesie Johannis Evangeliste de Ravenna; XIV century (MS 406); b) Record Office of Florence, Manuscript 639; c) “Historical Fund” of Federazione delle Cooperative della provincia di Ravenna, Code 1, Book board minutes, from 4th December 1991 till 20th September 1912.



Figure 2. Oil painting under study: a) Oil painting on a wooden board Virgin with Jesus child and saints and Catherine of Siena probably by Domenico Beccafumi; b) Oil painting on canvas Young man view at three quarters probably by Anthony Van Dyck; c) Oil painting on canvas Man that reads at the light of lantern by an unknown artist.

- oil painting on board and canvas (fig. 2);
- wall painting (fig. 3);
- stony materials consolidated with ethyl silicate (fig. 4).

Before describing the experiment methodology carried out on different works located in the different environments under study and before reporting results, we should first of all emphasize some fundamental concepts settled by enforced regulations on measured quantities and on the most appropriate methodology to use.

2. Colorimetry

Without taking into consideration the common subjective answer of the observer, colorimetry refers to the science that measures the physical quantities that

characterize the colours. The colours as we perceive them through the senses don't represent inner properties of the elements, but they are sensations of the nervous system and they also involve emotional and cultural aspects of the observer.

The human eye sensitivity to the various radiations from the light is not steady for each wave length and changes from one person to another.

The eye is more specifically sensitive to radiations at about 550 nm, corresponding to yellow or yellow-green light. Sensitivity rapidly becomes lighter towards red and, even more lighter towards violet.

The colour as such is not an intrinsic property of the light: it is the eye that records the stimulations caused by different visible radiations with different sensations that are called colours.

The eye sensitivity cannot detect each single radiation, but can only do for some radiating ranges, i.e the colours with their specific name (violet, blue, green, etc.). The eye is also able to record the superimposition of different ranges of light that are perceived as different chromatic shades: for instance, the orange is a sensation that is registered when the eye is stimulated by bright radiations on the edge between yellow and orange, in other words it is the mixture of these two colours.



Figure 3. Rivera Palace in L'Aquila, monochrome Naked Woman figure with snake.



Figure 4. Sample of limestone with high granulometry (HG) 4 days before the consolidation treatment (RC 70 consolidating agent).

It is possible to get all the different shades mixing only “fundamental” colours, such as: blue, green and red. Thanks to their mixing in different quantities, the other colours are produced through the process of “additive synthesis”. The additive synthesis of the three fundamental colours determines a chromatic sensation of saturation called “white”. On the contrary, the absence of those three colours produces the sensation called “black”.

The radiations differ from one another both in terms of wave length and amplitude. The human eye records these differences in amplitude as different light intensities. This has a great importance in the formation of colours because it produces the very wide range of shades that we know.

Actually, the elements that are plunged into white light only reflect a part of the radiations composing the light, and as a consequence, we perceive colours on the elements. As an example, a material is red because it only reflects the radiations of the spectrum’s range corresponding to the red light. If we refer to the three fundamental colours that constitute the white, such a material absorbs the blue and the green from the white.

The colour shade resulting from the mixing of pigments arises from a synthesis that is different from the additive one and that is called “subtractive synthesis”.

The colour therefore depends on the subjective perception and interpretation. It also depends on the type of illuminating agent: indeed different results are reached whether the illuminating agent is the sun light, an incandescent lamp or a fluorescent lamp (variations also depend on the greater or smaller quantity of infrared and ultraviolet components).

Taking into account the sole standardized method useful to define colours, their definition becomes immediate and objective.

2.1. Colour parameters

The parameters that allow the identification of a colour are the tint, the saturation and the brightness:

- tint or colour (y), i.e the particular visual sensation produced in the observer by a bright radiation. Insofar as the light is made up with a mixture of different wave lengths, the tint corresponds to a specific intermediate wave length, called *dominant wave length*. Among all the possible tints, the human eye is able to perceive about 200 of them, because tints that are too close to each other tend to become indistinct. The colours that have one tint are called chromatic colours. On the contrary, white, black and grey (obtained for all its hues by a mixture of the first two colours) are called achromatic colours.

- quaver or saturation (x), i.e the sensation of the tint concentration degree as regards the content of white (or of grey or black). The saturation is variable from values near 0% – in the case of very pale colours, even almost white – up to 100%, limit level where the colour is given by the specific pure chromatic component;
- brightness or luminance (Y or L^*), it corresponds to the sensation we have of a colour; it can be very dark or very bright and can be measured independently from the tint. The luminance indicates the intensity of the sensation.

The other dimensions define the chromatic or qualitative characteristics of the colour and are sometimes all put together through the name of chromaticity.

Two colours are identical if these three indicators, i.e tint, saturation and luminance, are the same.

2.2. The CIE diagram

In 1931 the Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (International Commission of the Lighting) has defined a standard chromaticity diagram that includes all the tints visible to the human eye (fig. 5). Such a diagram is based, as other codifications previously described, on the use of three primary colours, mixed together in additive synthesis, which allow to obtain all the existing colours.

However, unlike the methods RGB or CMY (additive or subtractive synthesis), the diagram of chromaticity put forward by the CIE doesn't depend on that or on the visualisation or printing device, but it is founded on the concept of "Standard Observer". The Standard Observer is defined from the inner property of our visual system and is based on the systematic analysis carried out on a large sample of human observers.

According to numerous studies carried out in the first post-war period, the impossibility to manage to reproduce, by additive synthesis, all the colours, was emphasized, no matter the choice of the three real primary colours to be mixed. Adding a primary colour to the tint to codify was the only solu-

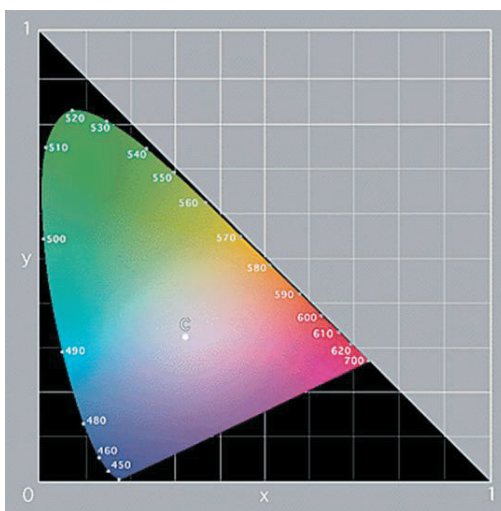


Figure 5. CIE chromaticity diagram.

tion to define three chromatic colours able to reproduce it faithfully: this is how it was supposed that the answer of our retinal photoreceptors (the cones) was negative for some frequencies of the visible spectrum. The primary colours chosen by the CIE to generate all the visible colours are hyper-saturated tints, that is to say colours (as they are not visible, they should not be actually indicated as colours) that are more saturated than what our retinal photoreceptors are capable of perceiving. The three “imaginary primary” colours were called *X*, *Y* and *Z*.

X corresponds to a hyper-saturated violet red marked by two peaks in the chromatic spectrum respectively around 450 nm and 600 nm; *Y* and *Z* correspond to spectral tints – still unreal hyper-saturated – with a dominant wave length respectively of 520 and 477 nanometres. Moreover, the *Y* tint (that corresponding to the “hyper-saturated green”) has a trend that is proportional to our sensitivity to the brightness of the tints. After choosing the primary colours with which we can obtain, by additive synthesis, any possible real tint, it is possible at this point to use a three-dimensional space to “catalogue” all of them, having as axis the three primary colours used.

At the centre of the CIE diagram, a point (a colour) is present and referred to with the “*C*” letter. It is the so-called “CIE illuminating agent” that stands as a reference point and corresponds to the radiation emitted by a white surface lit up by an average day light. Along the curved perimeter of the bell area, all the spectral tints are to be found with their maximum saturation. In the upper part of the diagram, there are the greens; in the left lower part the blues can be seen, and in the right lower part the reds can be found. The more they get close to the illuminating agent *C*, the less saturated the colours are. According to how the diagram is constructed, if we take two tints at random, the segment that joins them together represents all the possible additive mixtures of the two selected colours and the relative position along the junction segment represents the percentage of the tint mixture. In the middle of the segment, we can thus find the tint constituted exactly by 50% of the first colour and 50% of the second one. But, if we reach three-quarters of the segment, the tint corresponds to 75% of the first colour and 25% of the second one. The process is the same with the additive synthesis of three or more chromatic components: the tints that we get from their mixture are those to be found in the convex polygon area that bears as vertexes the points of the diagram corresponding to the used colours. If we consider the case with only two tints, if the segment that joins them together goes through the point *C*, the concerned colours are complementary to one another. If the point *C* “is located” at the barycentre of the segment, the two tints both have the same saturation (the distance separating them from the CIE illuminating agent is the same) and if we add them, we get the white colour.

2.3. The CIE diagram $L^*a^*b^*$

The chromaticity CIE x, y diagram (that may also be called CIE x, y) it is not “linearly compatible”: in the upper parts of the diagram, under the same distance, the colours are more similar to each other in comparison with the lower parts of the diagram, and in particular at the beginning of the pure spectral colour (blue-violet zone).

In 1976 the CIE has created a new diagram called $L^*a^*b^*$ (fig. 6). In this specific case, the colours are located inside of a three-dimensional space the axis of which are “ L^* ”, “ a^* ” and “ b^* ”. “ L^* ” indicates the luminance and can only have positive values from 0 to 100. “ a^* ” and “ b^* ” are the chromatic characteristics: the first one goes from green to red, the second one from blue to yellow. Their values range is usually included from -50 to $+50$, but different resolutions may be used in this case too. Once a chromatic space is defined as uniform, it is possible to measure quite easily how distant two colours are, or how different they are from one another. The ΔE , that represents the Euclidean distance between two tints – no matter which ones – of the CIELab chromatic space (fig. 7), is then defined.

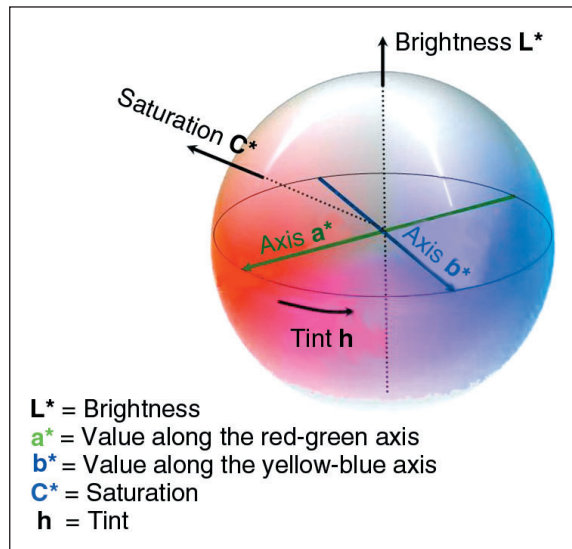


Figure 6. $L^*a^*b^*$ chromaticity diagram.

3. The Standard UNI 8941 Coloured surfaces. Colorimetry

The surveys were carried out according to what was fixed by the Standard of the Italian Unification Office (UNI) 8941: coloured surfaces – Colorimetry. The standard regulation provides the methods for instrumental determination of the three-chromatic coordinates and of the differences in colour of coloured surfaces. The aims may be:

- the objective description of differences in colour between a sample and a reference sample;

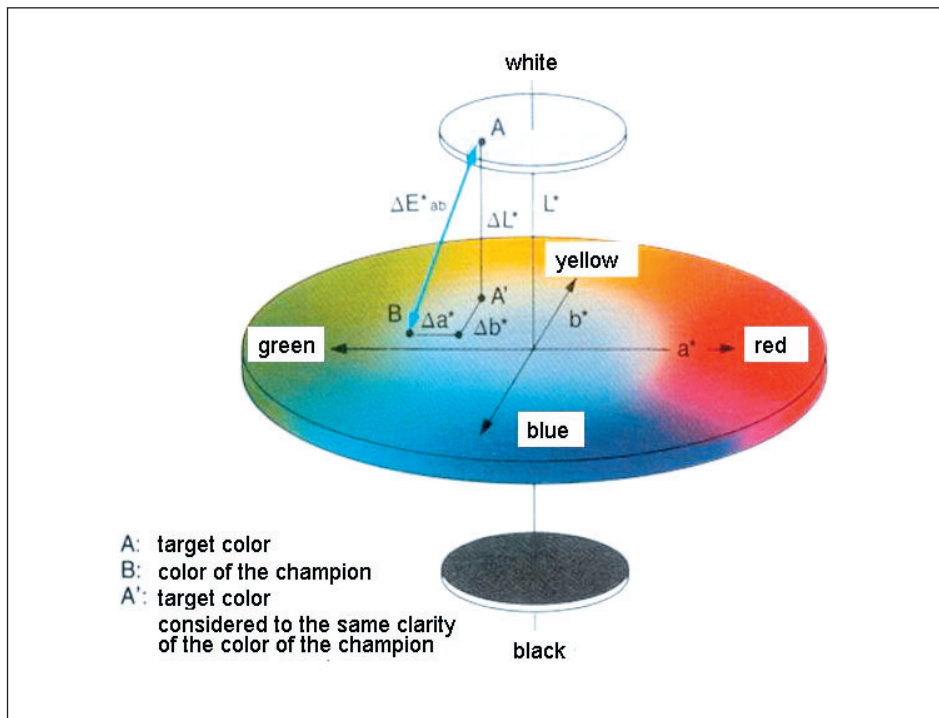


Figure 7. Representation of the ΔE in the chromaticity diagram $L^*a^*b^*$.

- the evaluation of variations in colour in the production of coloured surfaces;
- the objective description of alterations in colour caused by exposure to atmospheric agents or other chemical or physical factors;
- the objective control of reference samples of colour and colour atlas.

The regulation presents the field of colorimetry and the methods useful to the determination of the three-chromatic coordinates of a coloured surface.

Considering the possible coordinate systems, the present regulation recommends the use of the following systems:

- CIE 1931 colorimetric system
- CIE 1964 colorimetric system

The colorimetric functions in both systems cannot be converted into one another, because the two systems have different physiological bases.

As previously mentioned, insofar as the distances in the colorimetric spaces of the

two aforesaid systems are not proportional to the differences of visual perception in the whole space, it is advisable to use the three-chromatic coordinates of the CIELAB colorimetric space (also called CIE 1976 L*a*b*) that result more uniform than the two previous ones and that are calculated with the appropriate formulas.

As concerns the illuminating agents, it is important to remind that 3 types of *normalised illuminating agents* may be used:

- a) C illuminating agent: it represents the spectral distribution of day light with a colour temperature of 6774 K.
- b) D65 illuminating agent: it represents day light with a colour temperature of 6500 K.
- c) A illuminating agent: it represents the emission of the blackbody at 2856 K.

Among the various possible *spectral characteristics* that the reflecting properties of a surface describe, the standard regulation provides the following points:

- spectral factor of radiance;
- spectral factor of reflection;
- spectral factor of diffuse reflection.

Among the various measuring procedures of reflecting radiation, the standard regulation imposes four modalities, according to the lighting and observation conditions (45°/normal, normal/45°, diffuse/8°, 8°/diffuse).

The standard regulation defines the method to use to determinate the three-chromatic coordinates of coloured surfaces that is seen with the naked eye as a uniform colour.

The surfaces that are either luminescent, fluorescent or catadioptric (road signs for instance), transparent, translucent, or else metallized are not considered in the field of application of the standard regulation.

The spectral photometric characteristics must be chosen according to the type of sample and according to the aim of the measures (smooth, rough, mirror-like and non mirror-like surface).

We may emphasize at this point the possibility to preferably give the observer the extra colorimetric reference CIE 1964 and the D65 normalised illuminating agent.

The sampling must be carried out according to what was settled by the specific standards of the product. A reference sampling must be used in order to set the tools during normal use: it is usually composed of a tablet of barium sulphate or a disk of opal glass with adequate characteristics (secondary reference sample).

Follow the directions provided by the constructor of the tool.

In order to point out in each measure the presence of an error, the latter process must be repeated.

In the report of the test, state the mean of the value of the chromatic component Y and the three-chromatic coordinates x and y , the CIE 1976 colour coordinates (if required), the type of tool, the indication of the normal colorimetric observer and of the standardised illuminating agent, the indication of illumination and observation conditions specifying if the mirror-like component was used.

Many formulas may be used in order to calculate the difference in colour, starting from the colour coordinates of a reference sample and of a test.

For many a reason, the results obtained with each formula don't always correspond to the visual perception.

The standard regulation highlights a method for quantitative determination of small colour differences between the coloured surfaces (not exceeding 6 unities), using the CIE 1976 formula (L^*, a^*, b^*), which proved to be useful to represent colorimetric evaluations (CIELAB formula of colour difference).

The colour differences in brightness, saturation and tint are calculated by the three-chromatic coordinates of the CIELAB colorimetric space.

$$\frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n}$$

The colour difference between two coloured surfaces is the geometric distance between the two points of colour calculated in the CIELAB space and is calculated by the following formula:

$$\Delta L_{\text{CIELAB}} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]$$

where

$$\Delta L = L_p - L_r$$

$$\Delta a = a_p - a_r$$

$$\Delta b = b_p - b_r$$

and Δ_p, a_p, b_p are the chromatic coordinates of the test sample¹.

L_r, a_r, b_r are the chromatic coordinates of the reference sample.

The difference in brightness is defined by

$$\Delta L = L_p - L_r$$

The difference in saturation is defined by

$$\Delta C = C_p - C_r$$

where $C_p = \sqrt{(a_p^2 + b_p^2)}$ and $C_r = \sqrt{(a_r^2 + b_r^2)}$

The difference in tint is defined by

$$\Delta H = \sqrt{(\Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2)}$$

4. The spectrophotometric colorimeter Minolta model CM-2600 D

The measuring of the chromatic parameters on the studied works which, as described, refer to the CIE L*a*b* chromaticity diagram and to the UNI 8941 Standard, were carried out with the Minolta spectrophotometric colorimeter model CM-2600 D (fig. 8).

The tool was set with the following operative parameters:

- ✓ colour space: L*a*b* ΔE
- ✓ auto mean 3: it is the number of measures carried out on the same sample, the tool directly gives the mean of the measured levels;

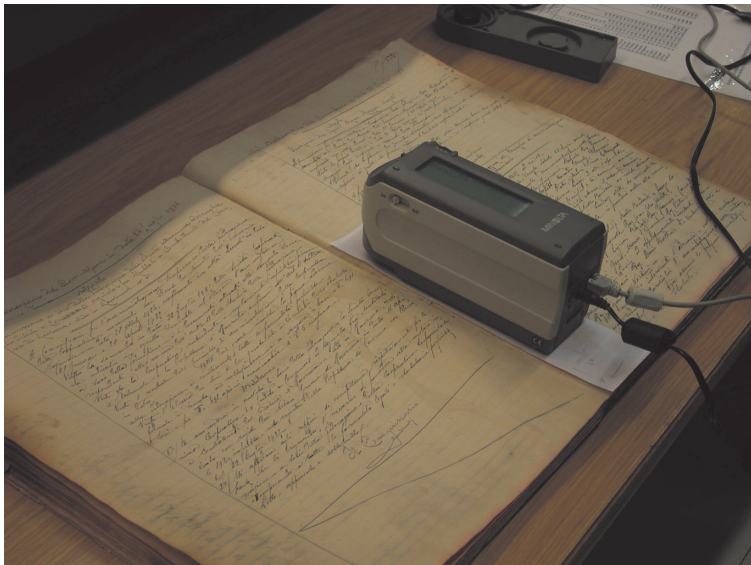


Figure 8. Spectrophotometric colorimeter Minolta CM-2600 D model.

- ✓ measure time 0,4 s: time in second that passes from when the measurement key is pressed till the measurement moment (it is useful to avoid any kind of influences on the measurement that may be due to a moving hand);
- ✓ M reading area: it means an area of reading of 8 mm;
- ✓ SCI: mirror-like component included;
- ✓ UV 100%: ultraviolet component activated;
- ✓ Illumination 1: D65;
- ✓ Illumination 2: switched off.

Before carrying out any measure, the tool must be calibrated by two different types of setting that reproduce the maximum reflection (white setting) and the maximum absorbing level of the light (zero setting).

A tablet of barium sulphate, contained in the proper cap of white setting that protects it from dust and alteration caused by light exposure, is used to carry out the first calibration.

The zero setting is carried out to compensate the effects of indirect light correlated to the characteristics of the optic system of the tool, caused by dust or possible spots appeared in the optic system. To set the zero, the measurement opening of the tool is directed toward the outer side. The presence of objects in the radius of one metre will then be avoided. The tool must not be directed toward a source of light or toward reflecting surfaces.

The used colorimeter is connected to the application “Spectramagic 3.6”. In each of the representations carried out by the aforesaid application (fig. 9) different points are indicated:

- the mean reflection values corresponding to each wave length are to be found in the left table;
- the mean reflecting spectrum is in the diagram;
- the L^* values (luminosity or luminance), a^* (value along the red-green axis), b^* (value along the yellow-blue axis), C^* (saturation), h (tint).

The reflecting spectrum is calculated from the mean reflection values corresponding to each wave length. If we consider the left table, we can see that the wave lengths represented by the black column are included between 400 and 700 nm, with an interval every 20 nm; a specific reflection value corresponds to each wave length (in green colour for the Target², in blue to indicate the reflection values of a measure). In some cases, the reflection values show a peak, or else a value from which the trend, usually constantly increasing, actually decreases and then goes up again: this value represents the domi-

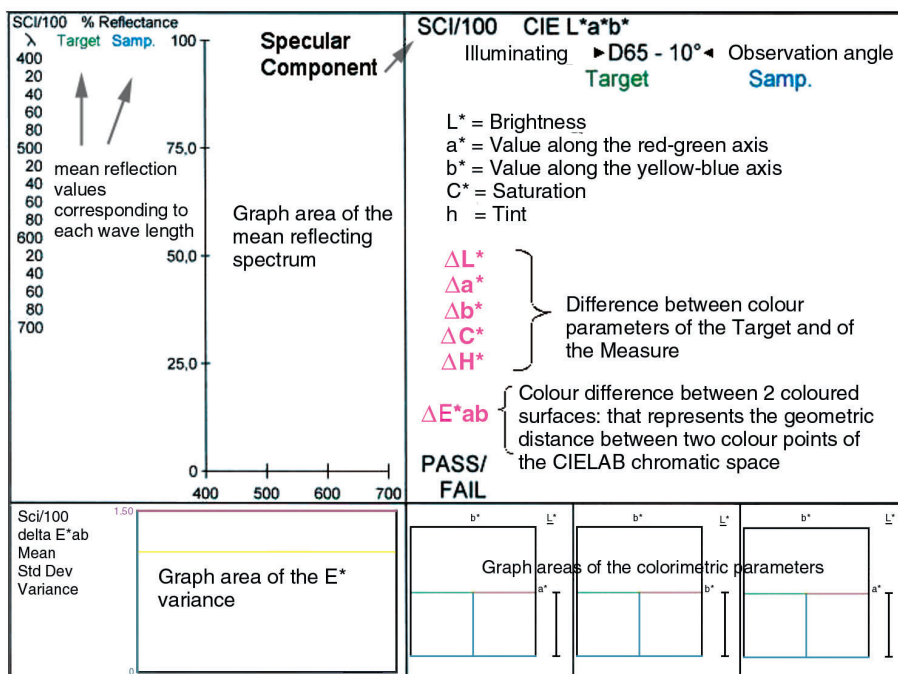


Figure 9. Graphic representation of the program "Spectramagic 3.6".

nating wave length. The diagram linked to the reflection spectrum shows the values of the wave lengths between 400 and 700 nm on the abscissa axis and the reflection values expressed in percentage on the ordinate axis.

5. Colorimetric surveys on the studied objects

In order to point out possible phenomenon of chromatic alteration and in order to understand to which extent the current condition of conservation are at the basis of alterations/degradations of the cultural heritage, different measurements of the chromatic parameters were carried out – in time – on the same studied surface. The main problem that appears in the colorimetric survey is linked to the repeatability of the measurement, that is the possibility to reproduce the same measurement conditions in time. The characteristics of the studied works don't allow us to directly lean the tools on the documents to delimit the surfaces to study. This is a specific problem which is quite common in the field of surveys for works of historical-artistic interest, and that also regards the shots carried out with image analysis videomicroscopy or with a tool³ that sometimes could

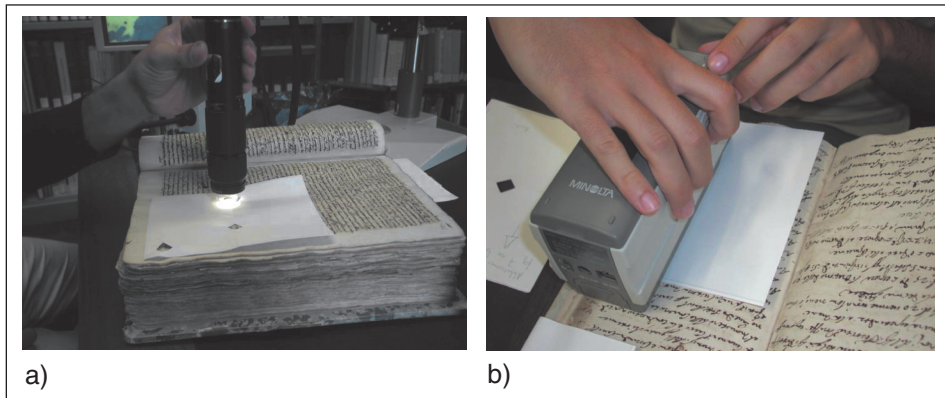


Figure 10. Videomicroscopic surveys (a) and colorimetry (b) carried out by means of some masks put between the tool and the art work.

strengthen colorimetric analysis and diagnostic analysis. In order to have appropriate conditions of repeatability of the surveying conditions, some “masks” were made up with non acid paper sheet previously perforated and delimited. Such masks are placed between the work and the tool supports allowing us to carry out measurements without any direct interaction with the work and providing at the same time reference points so as to repeat the measurements in the same areas. In fig. 10, an example of study carried out with the use of the aforesaid masks is showed.

The reference measurements (targets) were carried out on every typology of works. These targets have regarded areas of the art works considered as significant and testifying to the current condition of conservation. It is then possible to check and quantify the trend of the possible chromatic alteration as an effect of the interaction between the location-conservation environment on the work itself and consequently to define the causes and the environmental factors-agents. In this paper, only a few measurement examples carried out on graphic documents are presented (fig. 11-13).

As previously mentioned, colorimetric surveys allow to obtain a database of the reference measurements (target) testifying time 0. The comparison of such values with those obtained in the same studied zones of each art work will also allow, as soon as they will be located in the appropriate conservation environment, to check the possible phenomenon of alteration-degradation that could happen in time for sometimes unpredictable causes.

For graphic documents and wall paintings, the measurement of the chromatic param-

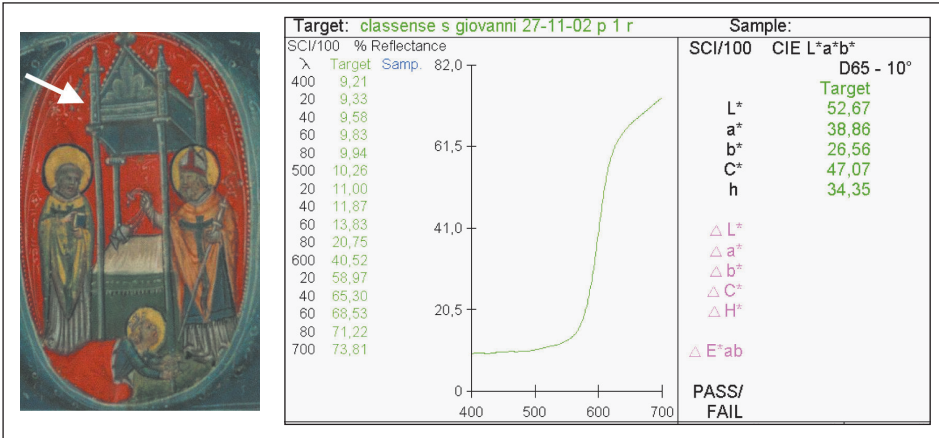


Figure 11. Tractatus Hedificationis and Constructionis Ecclesie Santi Johannis Evangeliste of Ravenna, colorimetric survey and graphic representation: target red miniature, page 1 front side.

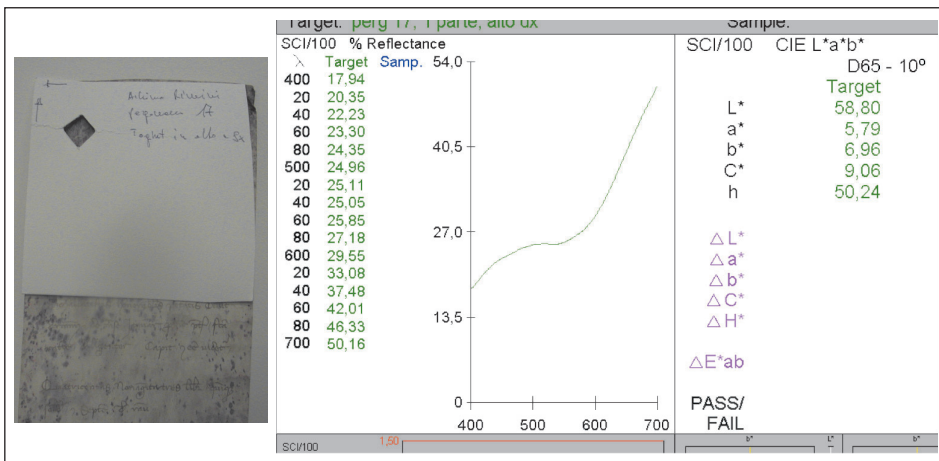


Figure 12. Record Office of Rimini, pergamena n. 17: colorimetric survey in a degraded area upper part on the left of the back side of the document and graphic representation.

eters has also allowed to establish if the modifications, caused by an inappropriate environment, refer to irreversible or reversible effects and if they can eventually be removed. It is, moreover, possible to emphasize the efficiency of restoration actions for the works for which this intervention is advisable.

As an example, the results of the colorimetric survey carried out before and after the

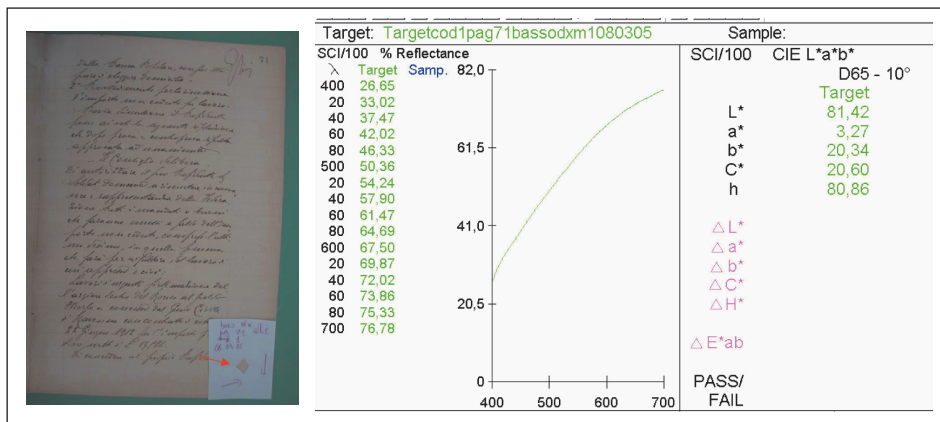


Figure 13. Code 1, Book board minutes, from 4th December 1991 till 20th July 1912, graphic representation of the colorimetric survey: target page 71 on the bottom part of the page on the right.

restoration intervention executed by the “Laboratorio di Restauro del Libro Abbazia di Santa Maria del Monte” on the code 1, Book board minutes, from December the 4th 1911 till July the 20th 1912 are reported in this paper. Such restoration regards:

- ✓ the dusting with soft bristle spatula of every double sheet;
- ✓ the repair of the binding or back covers;
- ✓ the repair of the back cover.

The software “Spectromagic 3.6” automatically executes the aforesaid comparison and reports the variations of the single components: L^* → the degree of luminosity; $+ a^*$ → the red degree; $- a^*$ → the green degree; $+ b^*$ → the blue degree; C^* → the saturation degree; h → the tint.

The analysis of the graphic in relation to the aforesaid survey (fig. 14) highlights that the quantity of gathered and removed dust was very limited and did not cause colour modification. Such colouration with a high yellow component (value b^*), is linked to the paper oxidation.

The same survey was carried out on the monochrome *Naked Woman figure with snake* of Rivera Palace in L’Aquila. In this case too, the restoration intervention was only limited to the cleaning.

The graphic that regards the right leg of the aforesaid art work (fig. 15) shows that the intervention is quantifiable with a ΔE of 20,14.

The information regarding the variation of the parameters $+ b^*$ (yellow degree) is sig-

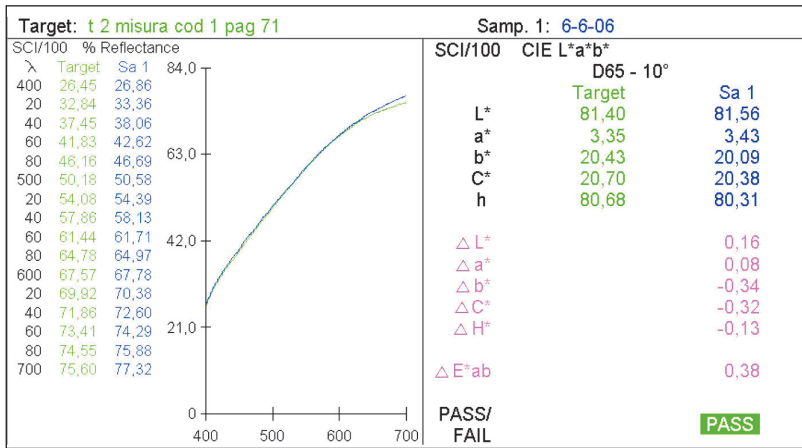


Figure 14. Code 1, Book board minutes, from 4th December 1991 till 20th July 1912, graphic representation of the colorimetric survey: comparison page 71 before and after the restoration intervention.

nificant: this may show that the removing process of the dirty layer was too excessive, also because the so-called “noble patina” was taken off. Such a patina was actually the layer of varnish that was spread on the work of art with the double aim to make the painting surface uniform and to protect it. Such a patina that is at the beginning transparent strives towards yellow in time through an oxidizing process. The decreasing of the parameter + b^* (yellow degree) from 23,66 before the intervention down to a value of 10,69 after the intervention testifies in this case to the removal of the layer of oxidized varnish that had striven towards a yellowish coloration. Such a removal has brought the monochrome back to the original colour, but it has contributed to removing forever the testimony of the past time (fig. 15).

The studies made on stony works consolidated with various products of ethyl silicate (Antares 80, RC 90, Phase 70) aimed at the evaluation of the chromatic alteration on samples of stone and mortar after the treatment. The survey has regarded samples of clear stones (limestone from Vicenza and corresponding mortars), samples of stones with intermediate tone (Tuscan sandstone) and samples of dark stones (Bolivian stone).

Before starting any treatment and two months before impregnating the samples, the CIE-LAB coordinates of the stone and mortar samples were first measured. The obtained results have proved different in the consolidated systems according to the different gran-

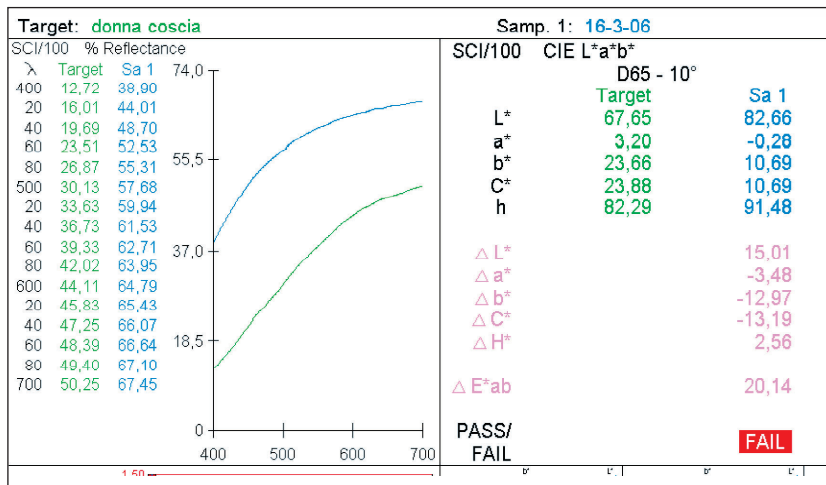


Figure 15. Monochrome, Naked Woman figure with snake, right leg: comparison before and after the restoration.

ulometry of the sandstone samples with maximal non cohesion. The higher granulometry (HG) (fig. 16) shows an important decreasing of the reflectance (darker colour, “wet” effect) and a light enrichment of the spectrum towards a “warmer” tone (relative increase of the spectral part with $\lambda > 550$ nm). As regards the samples with a finer granulometry (LG) (fig. 17), a smaller attenuation of the reflectance and a lower deviation of the dynamics of the reference spectrum (“dry” effect and light colour change towards warm tones) were recorded thanks to a better neutrality of the system. The comparison between fig. 16 (samples HG without cohesion) and fig. 17 (samples LG without cohesion) shows that, before and after two months’ treatment, the reflectance variation of the samples under the same consolidation treatment is greater in the samples with high granulation (HG) than in those with little granulation (LG).

The obtained results are significant as far as the choice of a product of consolidation is concerned: in fact, for the same quantity of consolidation product and substrate (incoherent material obtained from the same stony material), we can obtain different results from one case to another, because of a different degree of stony incoherence. In effective cases of conservation – that is when anisotropy and different factors linked with the environment make the superficial conditions of the art work various –, we could advise a treatment that would the surface a different aspect, even after the consolidation. In this case, in terms of aesthetic point of view, acceptability problems of the chosen treatment may appear.

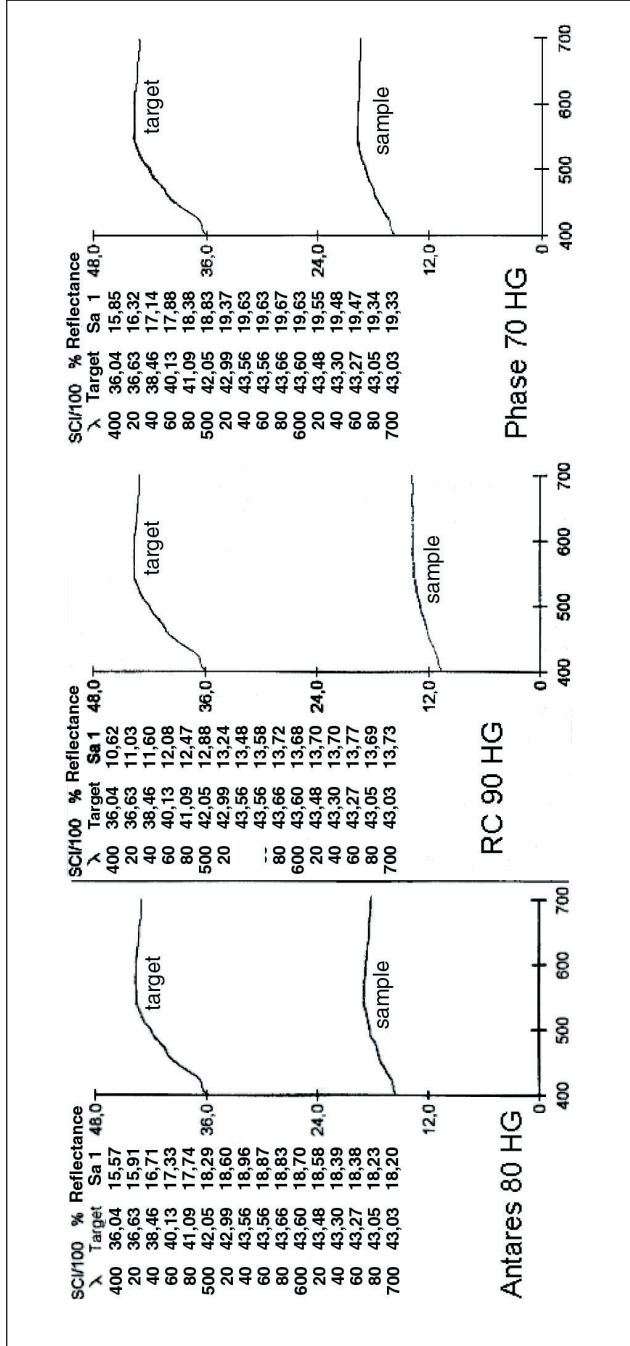


Figure 16. Spectrum of reflectance of incoherent samples HG.

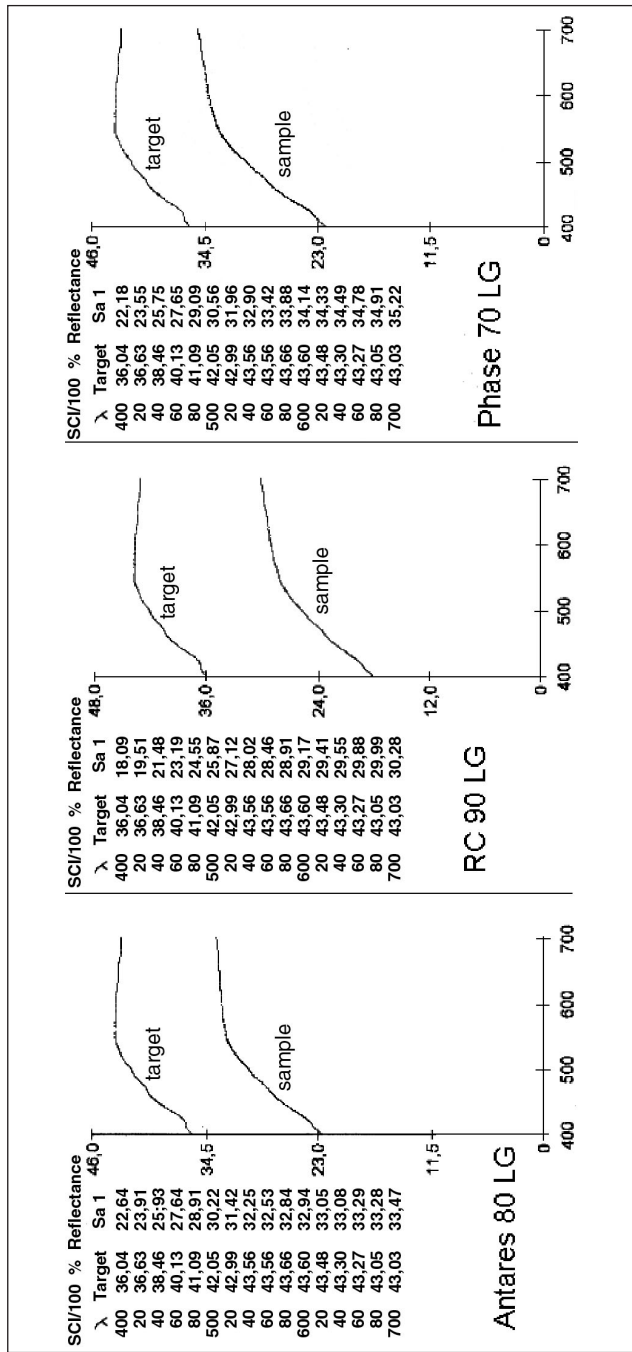


Figure 17. Spectrum of reflectance of incoherent samples LG.

6. Conclusion

Colorimetry applied to the field of cultural heritage and, as it is the case in this study, to graphic documents, oil painting on board and canvas, wall paintings, consolidated stony materials with ethyl silicate, has allowed us to assess (according to the UNI 8941 Standard Coloured surfaces – Colorimetry) and to quantify the trend of the chromatic alteration as an effect of the interaction of the environment of location-conservation with the art work and, then, to determine the causes, i.e the environmental factors.

Moreover, as far as graphic documents and wall paintings are concerned, the measures of the chromatic parameters have also allowed to know if the modifications caused by an inappropriate environment are to be linked with irreversible and reversible effects and then with the possibility of being removed.

As regards wall paintings, the respect of the “noble patina” was showed, as established by the Card of Restoration, by means of the measurement of the $+ b^*$ parameters (yellow degree).

The studies on stony materials aimed at the evaluation of the chromatic alterations of the art works previously consolidated with various products based on ethyl silicates: different results were reached according to the different degree of stone cohesion, anisotropy of the material and different exposure conditions of the works.

Such researches may contribute to applying colorimetry in the field of cultural heritage.

Notes

- ¹ In the diagrams obtained with the Minolta spectrophotometer (CM-2600 model), the test sample is marked with Target and the reference sample with Sample.
- ² The target indicates a reference measure that could be used to draw a comparison with another measure. The target could be recorded in the tool or in the computer and could be recalled to draw a comparison in time with the same studied surface.
- ³ The image analysis videomicroscope is a mobile tool equipped with a software useful to the storage and image processing. It is useful to identify the three-chromatic components of the colors R, G, B (Red, Blue, Green) and to carry out surveys on works, with qualitative and quantitative enlargement up to 200x.

Bibliography

- [1] PALAZZI S. 1995, *Colorimetria*, Firenze, Nardini Editore.
- [2] HUNT R.W.G. 1991, *Measuring Colour*, New York, Ellis Horwood.
- [3] OLEARI C., 1998, *Misurare il colore*, Milano, Ed. Hoepli.
- [4] LORUSSO S., SCHIPPA B. 2004, *Le metodologie scientifiche per lo studio dei beni culturali. Diagnosi e valutazione tecnico-economica*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [5] LORUSSO S. 2002, *La diagnostica per il controllo del Sistema Manufatto-Ambiente: alcune applicazioni nel settore dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [6] RINALDI S., QUARTULLO G., MILANESCHI A., PIETROPAOLI R., OCCORSIO S., COSTANTINI SCALA F., MINUNNO G. 1995, *La Fabbrica dei colori, pigmenti e coloranti nella pittura e nella tintoria*, Roma, Bagatto Libri.
- [7] FRANCESCHI E., LETARDI P., LUCIANO G. 2006, *Colour measurements on patinas and coating system for outdoor bronze monuments*, Journal of Cultural Heritage, vol. 7, Issue 3, July-September, Pages 166-170.
- [8] UNI 8941, 1987, *Superfici colorate. Colorimetria*.
- [9] LORUSSO S. 2000, *Conservazione e trattamento dei materiali costituenti i Beni Culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [10] UNI 10586 1997, *Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*.
- [11] LORUSSO S., NATALI A. 2002, *La conservazione dei documenti grafici: alcune considerazioni sui parametri climatici secondo la normativa vigente*, Scienza e Tecnica, 383-384, 2-7.
- [12] LORUSSO S., PRESTILEO F., GENTILE M.T., NATALI A. 2002, *La diagnostica dei codici delle cronache veneziane e ravvenati inedite (secoli VI-XIX)*, Conferenza Organizzativa "La Ricerca Applicata ai Beni Culturali. La chimica, l'ambiente, la diagnostica, il restauro, la conservazione", Urbino, 3-4/10/2002.
- [13] CENTRO DI FOTORIPRODUZIONE LEGATORIA E RESTAURO DEGLI ARCHIVI DI STATO, 2002, *Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi*, Roma, Union Printing.
- [14] LORUSSO S., MATTEUCCI C. NATALI A. 2007, *Anamnesi storica, indagini analitico-diagnostiche e monitoraggio ambientale: alcuni casi di studio nel settore dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.

LE APPLICAZIONI DELLA COLORIMETRIA AI BENI CULTURALI: ALCUNI CASI DI STUDIO

1. Premessa

Il Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna) da diversi anni ha allestito un Laboratorio Diagnostico per lo studio sul "Sistema: bene culturale/ambiente di conservazione".

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di alcune indagini relative all'impiego della colorimetria su diverse tipologie di manufatti:

- documenti grafici (fig. 1);*
- dipinti ad olio su tavola e tela (fig. 2);*
- dipinti murali (fig. 3);*
- dipinti materiali lapidei consolidati con silicati di etile (fig. 4).*

Prima di descrivere la sperimentazione condotta sui manufatti collocati nei diversi ambienti oggetto di studio e riportare i risultati, si ritiene opportuno premettere alcuni concetti fondamentali presenti nella normativa vigente sulle grandezze che sono oggetto di misura e sulla metodologia da impiegare.

2. La colorimetria

Con il termine colorimetria si indica la scienza che misura le grandezze fisiche caratterizzanti il colore, prescindendo dalla risposta soggettiva dell'osservatore: i colori come noi li percepiamo, non sono proprietà intrinseche dei corpi ma sensazioni del sistema nervoso che coinvolgono anche aspetti emotivi e culturali dell'osservatore.

La sensibilità dell'occhio umano alle varie radiazioni della luce non è costante per ogni lunghezza d'onda e varia inoltre da individuo a individuo.

L'occhio è soprattutto sensibile alle radiazioni collocate intorno a 550 nm, corrispondenti alla luce gialla o giallo-verde. La sensibilità diminuisce rapidamente sia in direzione del rosso che, ancor più, del violetto.

Il colore come tale non è una proprietà intrinseca della luce: è l'occhio che registra gli stimoli provocati dalle diverse radiazioni visibili con differenti sensazioni che vengono chiamate colori.

La sensibilità dell'occhio non è tale da poter discriminare ogni singola radiazione, ma solo certi intervalli: i colori appunto, a ciascuno dei quali viene associata una denominazione (violetto, blu, verde, etc.).

L'occhio è capace di registrare anche le sovrapposizioni dei diversi intervalli di luce che vengono recepite sotto forma di diverse tonalità cromatiche: ad esempio l'arancio è una sensazione che si registra quando l'occhio viene stimolato da radiazioni luminose al confine tra il giallo ed il rosso, in pratica quindi da una mescolanza di questi due colori.

È possibile ottenere tutte le differenti tonalità miscelando solo alcuni colori, detti fondamentali, che sono: il blu, il verde e il rosso. Dalla loro combinazione in differenti proporzioni si formano per "sintesi additiva" gli altri colori. La sintesi additiva dei tre colori fondamentali determina una sensazione cromatica di saturazione chiamata "bianco". D'altra parte l'assenza di questi tre colori produce la sensazione definita come "nero".

Le radiazioni differiscono, oltre che per la lunghezza d'onda, anche per l'ampiezza. L'occhio umano registra tali differenze di ampiezza come differenti intensità di luce. Ciò ha molta importanza nella formazione dei colori poiché produce quella gamma vastissima di sfumature cui siamo normalmente abituati.

In pratica, le sostanze, investite da luce bianca, riflettono solo una parte delle radiazioni di cui questa è composta e, di conseguenza, ci appaiono colorate. Così, ad esempio, una sostanza è rossa poiché riflette solo le radiazioni

dell'intervallo dello spettro corrispondenti alla luce rossa. Riferendosi ai tre colori fondamentali che complessivamente formano il bianco, tale sostanza sottrae dal bianco il blu e il verde.

Le tonalità di colore risultanti dalle mescolanze di pigmenti derivano da una sintesi diversa da quella additiva, che viene chiamata "sintesi sottrattiva".

Il colore è dunque dipendente dalla percezione e dall'interpretazione soggettiva. Esso dipende anche dal tipo di illuminante: risultati diversi si hanno a seconda che esso sia la luce solare, una lampada ad incandescenza o una lampada a fluorescenza (variazioni si hanno anche in base alla maggiore o minore componente infrarossa e ultravioletta).

Solo facendo riferimento ad un metodo normalizzato con cui poter esprimere i colori, la definizione degli stessi diventa immediata ed oggettiva.

2.1. I parametri del colore

I parametri che consentono l'identificazione di un colore sono la tinta, la saturazione e la luminosità:

- tinta o colore (y), ovvero la particolare sensazione visiva prodotta nell'osservatore da una radiazione luminosa. Dal momento che la luce è composta da una miscela di più lunghezze d'onda, la tinta corrisponde ad una specifica lunghezza d'onda intermedia, detta lunghezza d'onda dominante. Tra tutte le tinte possibili, l'occhio umano riesce a percepirne circa 200, perché tinte troppo vicine tra loro tendono ad essere confuse. I colori che possiedono una tinta sono detti cromatici; sono invece detti acromatici il bianco, il nero e il grigio che viene ottenuto, in tutte le sue gradazioni, da una miscela dei primi due;
- croma o saturazione (x), ovvero la sensazione del grado di concentrazione della tinta rispetto al contenuto di bianco (o di grigio o di nero). La saturazione varia da valori prossimi allo 0%, nel caso di colori pallidissimi, quasi bianchi, fino al 100%, limite in cui il colore è dato dalla specifica componente cromatica pura;
- luminosità o brillantezza (Y o L^*), corrisponde all'impressione che si ha di un colore: essa può essere molto cupa o molto brillante e può essere misurata indipendentemente dalla tinta.

La luminosità indica l'intensità della sensazione.

Le altre dimensioni ne definiscono le caratteristiche cromatiche o qualitative e vengono talvolta riunite sotto il nome di cromaticità.

A parità di queste tre grandezze, cioè tinta, saturazione e luminosità, due colori sono identici.

2.2. Il diagramma CIE

Nel 1931 la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) (Commissione Internazionale per l'Illuminazione) ha definito un diagramma di cromaticità standard che comprende tutte le tinte visibili dall'occhio umano (fig. 4). Tale diagramma si basa, come altre codifiche di cui abbiamo parlato in precedenza, sull'utilizzo di tre colori primari che, opportunamente miscelati tra loro in sintesi additiva, permettono di ottenere tutti i colori esistenti in natura. A differenza, però, dei metodi RGB o CMY (sintesi additiva e sottrattiva), il diagramma di cromaticità proposto dalla CIE non dipende dal comportamento di questo o quel dispositivo di visualizzazione o stampa bensì è basato sul concetto di "Osservatore Standard". L'Osservatore Standard è definito a partire dalle proprietà del nostro sistema visivo e si basa su analisi sistematiche effettuate su un vasto campione di osservatori umani. Da numerosi studi effettuati nel primo dopoguerra, fu notata l'impossibilità di riuscire a riprodurre per sintesi additiva tutti i colori comunque si scegliesse la terna di primari reali da miscelare. Solo aggiungendo un colore primario alla tinta da codificare era possibile individuare una terna cromatica che la riproducesse fedelmente: fu ipotizzato così che la risposta dei nostri fotorecettori retinici (i coni) avesse un andamento negativo per alcune frequenze dello spettro visibile. I primari scelti dalla CIE per generare tutti i colori visibili sono tinte ipersature: colori (in realtà, non essendo visibi-

li, non dovrebbero essere indicati come tali) più saturi di quanto i nostri fotorecettori retinici siano in grado di decifrare. I tre "primari immaginari" sono stati denominati X, Y, e Z.

X corrisponde a un rosso violaceo ipersaturo contraddistinto da due picchi nello spettro cromatico rispettivamente intorno ai 450 nm e ai 600 nm, Y e Z corrispondono a tinte spettrali – sempre irrealisticamente ipersature – con lunghezza d'onda dominante rispettivamente di 520 e 477 nanometri. Inoltre la tinta Y (quella corrispondente al "verde ipersaturo") ha un andamento proporzionale alla nostra sensibilità alla luminosità delle tinte. Scelti i tre primari tramite i quali è possibile ottenere, per sintesi additiva, qualsiasi tinta reale è possibile a questo punto utilizzare uno spazio tridimensionale, avente per assi i tre primari utilizzati, per "catalogarle" tutte.

In corrispondenza del centro del diagramma CIE è presente un punto (un colore) indicato con la lettera "C". È il cosiddetto "Illuminante CIE", assunto come riferimento e corrispondente alla radiazione emessa da una superficie bianca illuminata da luce diurna media. Lungo il perimetro curvo della campana si trovano tutte le tinte spettrali alla loro massima saturazione. Nella parte alta del diagramma si trovano i verdi; in basso a sinistra i blu, in basso a destra i rossi. Più ci si avvicina all'illuminante C, più i colori sono sempre meno saturi. Per come è costruito il diagramma, prendendo due tinte qualsiasi, il segmento che le unisce rappresenta tutte le possibili mescolanze additive dei due colori prescelti e la posizione relativa lungo il segmento di congiunzione rappresenta la percentuale di mescolanza delle tinte. Così a metà del segmento troviamo la tinta esattamente formata dal 50% del primo colore e dal 50% del secondo colore. Spostandoci ad esempio ai "tre quarti" del segmento, la tinta individuata corrisponde alla somma del 75% del primo colore e del 25 % del secondo colore e così via. Lo stesso discorso vale per la sintesi additiva di tre o più componenti cromatiche: le tinte ottenibili dalla loro mescolanza sono tutte quelle delimitate dal poligono convesso che ha come vertici i punti del diagramma che corrispondono ai colori utilizzati. Tornando al caso di due sole tinte, se il segmento che le unisce passa per il punto C, i colori presi in considerazione sono tra loro complementari. Se il punto C "cade" nel baricentro del segmento, le due tinte hanno la medesima saturazione (è uguale la loro distanza dall'illuminante CIE) e sommandole tra di loro si ottiene il colore bianco.

2.3. Il diagramma CIE L*a*b*

Il diagramma di cromaticità CIE_{xy} (che può essere definito anche come CIE x,y) non è, tuttavia, linearmente compatibile: nelle zone alte del diagramma, a parità di distanza, i colori sono assai più simili tra loro di quanto succeda nelle zone basse, in particolar modo verso l'inizio dei colori spettrali puri (zona del blu-violetto).

Nel 1976 la CIE ha formulato un nuovo diagramma denominato L*a*b* (fig. 5). In questo caso i colori vengono disposti all'interno di uno spazio tridimensionale i cui tre assi sono "L", "a" e "b". "L" identifica la luminosità e può avere solo valori positivi, da 0 a 100. "a" e "b" sono le caratteristiche cromatiche: la prima spazia dal verde al rosso, la seconda dal blu al giallo. Il loro range di valori varia di norma da -50 a +50, ma anche in questo caso possono essere utilizzate risoluzioni differenti. Definito uno spazio cromatico percettibilmente uniforme è possibile misurare in maniera piuttosto agevole quanto siano "distanti" tra loro due colori, ovvero quanto siano tra loro diversi. Nasce così il ΔE che rappresenta la distanza euclidea tra due qualsiasi tinte dello spazio cromatico CIElab (fig. 6).

3. La Norma UNI 8941 Superfici colorate. Colorimetria

Le indagini sono state effettuate nel rispetto di quanto stabilito dalla Norma dell'Ente Italiano di Unificazione (UNI) 8941: Superfici colorate – Colorimetria. La norma stabilisce i metodi per la determinazione strumentale delle coordinate tricromatiche e delle differenze di colore di superfici colorate. Le finalità possono essere:

- la descrizione oggettiva di differenze di colore tra un campione ed un campione di riferimento;
 - la valutazione di variazione di colore nella produzione di superfici colorate;
 - la descrizione oggettiva di alterazioni del colore causate da esposizione agli agenti atmosferici o ad altri fattori chimici o fisici;
 - il controllo oggettivo di campioni di riferimento di colore e atlanti di colore.
- Essa contiene i termini colorimetrici ed i metodi necessari per la determinazione delle coordinate tricromatiche di una superficie colorata.

Tra i possibili sistemi di coordinate, la presente norma raccomanda i seguenti:

➤ sistema colorimetrico CIE 1931

➤ sistema colorimetrico CIE 1964

Le funzioni colorimetriche nei due sistemi non sono reciprocamente convertibili, in quanto i due sistemi hanno differenti basi fisiologiche.

Poiché, come già fatto presente, le distanze negli spazi colorimetrici dei due sistemi sopra riportati non sono proporzionali alle differenze di percezione visiva in tutto lo spazio, è consigliabile usare le coordinate tricromatiche dello spazio colorimetrico CIELAB (indicato anche come CIE 1976 L*a*b*) che risultano più uniformi dei due precedenti e che sono calcolate con le appropriate formule.

Per quanto riguarda gli illuminanti si fa presente che possono essere impiegati 3 tipi di Illuminanti normalizzati:

a) Illuminante C: rappresenta la distribuzione spettrale della luce del giorno con una temperatura di colore di 6774 K.

b) Illuminante D65: rappresenta la luce del giorno con una temperatura di colore di 6500 K.

c) Illuminante A: rappresenta l'emissione del corpo nero a 2856 K.

Tra le varie possibili caratteristiche spettrali che descrivono le proprietà riflettenti di una superficie, la norma adotta le tre seguenti:

- fattore spettrale di radianza;
- fattore spettrale di riflessione;
- fattore spettrale di riflessione diffusa.

Tra le varie modalità di misura della radiazione riflessa, nella norma vengono adottate quattro modalità, in funzione delle condizioni di illuminazione e di osservazione (45°/normale, normale/45°, diffusa/8°, 8°/diffusa).

La norma specifica il metodo per determinare le coordinate tricromatiche di superfici colorate che appaiono ad occhio nudo di colore uniforme.

Non rientrano nel campo d'applicazione le superfici luminescenti, fluorescenti o catodiottriche (per esempio, segnali stradali), trasparenti, traslucide e metallizzate.

Le caratteristiche fotometriche spettrali devono essere scelte in relazione al tipo di campione ed allo scopo della misura (superficie liscia, rugosa, speculare, non speculare).

Si fa presente l'opportunità di fornire preferibilmente all'osservatore il riferimento colorimetrico supplementare CIE 1964 e l'illuminante normalizzato D65.

Il campionamento deve essere effettuato secondo quanto prescritto nelle specifiche norme di prodotto.

Si deve utilizzare un campione di riferimento per la taratura della strumentazione durante il normale impiego: esso è solitamente costituito da una pasticca di solfato di bario o da un disco di vetro opale avente caratteristiche adeguate (campione di riferimento secondario).

Seguire le istruzioni d'uso fornite dal costruttore dello strumento.

Per rilevare la presenza di un errore in ogni misura, la stessa dovrà essere ripetuta.

Nel resoconto di prova bisogna riportare, tra l'altro, la media del valore della componente cromatica Y e le coordinate tricromatiche x e y, le coordinate di colore CIE 1976 (se richiesto), il tipo di strumento, l'indicazione dell'osservatore colorimetrico normale e dell'illuminante normalizzato, delle condizioni di illuminazione e di osservazione, precisando se sia stata considerata la componente speculare.

Esistono molte formule per calcolare una differenza di colore a partire dalle coordinate del colore di un campione di riferimento e di una prova.

Per varie ragioni i risultati ottenibili per ciascuna formula non concordano sempre in modo soddisfacente con la percezione visiva.

La norma specifica un metodo per la determinazione quantitativa di piccole differenze di colore (non superiore a 6 unità) tra le superfici colorate, utilizzando la formula CIE 1976 (L^*, a^*, b^*), che si è dimostrata utile per rappresentare le valutazioni colorimetriche (formula di differenza di colore CIELAB).

Le differenze di colore in chiarezza, saturazione e tinta sono calcolate dalle coordinate tricromatiche nello spazio colorimetrico CIELAB.

$$\frac{X}{X_n}, \frac{Y}{Y_n}, \frac{Z}{Z_n}$$

La differenza di colore tra 2 superfici colorate è la distanza geometrica tra i 2 punti di colore calcolati nello spazio CIELAB e viene determinata con la seguente formula:

$$\Delta L_{\text{CIELAB}} = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]$$

dove

$$\Delta L = L_p - L_r$$

$$\Delta a = a_p - a_r$$

$$\Delta b = b_p - b_r$$

e L_p, a_p, b_p sono le coordinate cromatiche del campione di prova 1. L_r, a_r, b_r sono le coordinate cromatiche del campione di riferimento.

La differenza di chiarezza è definita da

$$\Delta L = L_p - L_r$$

La differenza di saturazione è definita da

$$\Delta C = C_p - C_r$$

dove $C_p = \sqrt{a_p^2 + b_p^2}$ e $C_r = \sqrt{a_r^2 + b_r^2}$

La differenza di tinta è definita da:

$$\Delta H = \sqrt{(\Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2)}$$

4. Il colorimetro spettrofotometrico Minolta modello CM-2600 D

Le misurazioni dei parametri cromatici sui manufatti oggetto di studio che, come descritto, fanno riferimento al diagramma di cromaticità CIE $L^*a^*b^*$ ed alla Normativa UNI 8941, sono state effettuate con il colorimetro spettrofotometrico Minolta modello CM-2600 D (fig. 7).

Lo strumento è stato impostato con i seguenti parametri operativi:

- ✓ spazio colore: $L^* a^* b^* \Delta E$
- ✓ Media auto 3: è il numero delle misure eseguite su uno stesso campione, per cui lo strumento fornisce direttamente la media delle letture;
- ✓ Tempo di misura 0,4 s: tempo in secondi che intercorre da quando si preme il tasto di misura al momento della misura (serve per evitare influenze sulla misurazione dovute a movimenti della mano);
- ✓ area di lettura M: significa un'area di lettura di 8 mm;
- ✓ SCI: specular componed included;

- ✓ UV 100%: componente ultravioletta attiva;
- ✓ Illuminazione 1: D65;
- ✓ Illuminazione 2: non inserita;

Prima di effettuare qualsiasi misurazione, lo strumento deve essere calibrato mediante due diversi tipi di taratura che ripropongono la massima riflessione (taratura del bianco) e il massimo assorbimento della luce (taratura dello zero).

Per la prima calibrazione si fa uso di una pasticca di solfato di bario contenuta nell'apposito cappuccio di taratura del bianco che la protegge dalla polvere e dai cambiamenti dovuti ad esposizioni alla luce.

La taratura dello zero si esegue per compensare gli effetti della luce indiretta, legati ai cambiamenti delle caratteristiche del sistema ottico dello strumento, dovuti alla polvere o ad eventuali macchie formatesi nel sistema ottico stesso. Per la taratura dello zero si dirige l'apertura di misurazione dello strumento verso l'esterno, evitando la presenza di oggetti nel raggio di un metro e avendo cura di non dirigere lo strumento verso una fonte luminosa o verso delle superfici riflettenti.

Il colorimetro impiegato è collegato al programma "Spectramagic 3.6". In ognuna delle rappresentazioni effettuate tramite il suddetto programma (fig. 8) vengono riportati:

- nel tabulato di sinistra, i valori medi di riflessione corrispondenti ad ogni lunghezza d'onda;
- ✓ nel diagramma, lo spettro di riflessione media;
- ✓ nel tabulato di destra, i valori di L^* (chiarezza o luminosità), a^* (valore lungo l'asse rosso-verde), b^* (valore lungo l'asse giallo-blu), C^* (saturazione), h (tinta).

Lo spettro di riflessione si ottiene dai valori medi di riflessione corrispondenti ad ogni lunghezza d'onda. Analizzando il tabulato di sinistra, si vede che le lunghezze d'onda rappresentate dalla colonna in carattere nero vanno da 400 a 700 nm, con un intervallo ogni 20 nm; ad ogni lunghezza d'onda corrisponde un determinato valore di riflessione (in verde per il Target², in blu per indicare i valori di riflessione di una misura). In alcuni casi i valori di riflessione presentano un picco, ovvero un valore a partire dal quale l'andamento, di solito crescente, decresce, per poi risalire: questo valore costituisce la lunghezza d'onda dominante. Il diagramma relativo allo spettro di riflessione presenta sull'asse delle ascisse i valori relativi alla lunghezza d'onda compresi tra 400 e 700 nm, sull'asse delle ordinate i valori di riflessione espressi in percentuale.

5. Le indagini colorimetriche sui manufatti oggetto di studio

Al fine di evidenziare, in maniera oggettiva, eventuali fenomeni di alterazione cromatica e in che misura le attuali condizioni di conservazione sono causa di alterazioni/degradazioni per i beni culturali, si è ritenuto opportuno effettuare misurazioni, da ripetere a distanza di tempo, dei parametri cromatici relativi alla medesima superficie oggetto dell'indagine.

Il problema principale che si presenta nella conduzione dell'indagine colorimetrica è quello inerente alla ripetibilità della misurazione, cioè la possibilità di riproporre le stesse condizioni di misurazione nel corso del tempo. Le peculiarità dei manufatti oggetto di studio non consentono di poggiare direttamente gli strumenti sui documenti per delimitare, sugli stessi, le superfici da indagare. D'altra parte questo è un problema che, presentandosi spesso nell'ambito delle indagini relative ai manufatti di interesse storico-artistico, ha riguardato anche le riprese effettuate con il videomicroscopio ad analisi di immagine ovvero con uno strumento³ che opportunamente può a volte completare l'indagine colorimetrica e, in genere, le analisi diagnostiche. Allo scopo di porsi nelle condizioni più idonee di ripetibilità delle condizioni di sperimentazione, sono state realizzate delle "maschere" ricavate da fogli di carta non acida appositamente forati e delimitati, che si interpongono fra il manufatto ed i supporti dello strumento, permettendo le misurazioni senza interagire direttamente con il manufatto e fornendo, allo stesso tempo, punti di riferimento per ripetere le misurazioni sulle

stesse zone. In fig. 8 è riportato un esempio di rilevazione condotto con l'utilizzo di dette maschere.

Le misure di riferimento (target) sono state effettuate su tutte le tipologie di manufatti. Tali target, hanno riguardato zone dei manufatti ritenute significative e testimonianti della attuale condizione di conservazione. È così possibile controllare e quantificare l'andamento della eventuale alterazione cromatica quale effetto dell'interazione dell'ambiente di collocazione-conservazione sul manufatto e, conseguentemente, risalire alle cause ovvero ai fattori-agenti ambientali.

Per motivi di spazio si riportano soltanto alcuni esempi di misurazioni effettuate su documenti grafici (fig. 9-11)

Come già fatto presente le indagini colorimetriche permettono di ottenere una banca dati delle misure di riferimento (target) testimonianti il tempo 0. Il confronto di tali valori, con quelli ottenuti nelle stesse zone indagate di ciascun manufatto, permetterà anche, quando saranno collocati nell'idoneo ambiente di conservazione, di controllare gli eventuali fenomeni di alterazione-degradazione, che possono intervenire nel corso del tempo per cause a volte anche imprevedibili.

Per i documenti grafici e per i dipinti murali le misure dei parametri cromatici hanno anche permesso di stabilire se le modificazioni, a causa dell'ambiente non idoneo, sono da ricondursi ad effetti di carattere irreversibile o reversibile e, quindi, alla possibilità di essere rimosse. In tal modo, inoltre, è possibile evidenziare l'efficacia delle azioni di restauro per quei manufatti per i quali tale intervento è opportuno.

A scopo esemplificativo si riportano, nel presente lavoro, i risultati dell'indagine colorimetrica prima e dopo l'intervento di restauro effettuato dal "Laboratorio di Restauro del Libro dell'Abbazia di Santa Maria del Monte" sul codice 1, Libro verbali consiglio d'amministrazione, dal 4-12-1911 al 20-7-1912. Tale restauro ha riguardato:

- ✓ la spolveratura con spatola a setole morbide di tutti i bifogli;
- ✓ il risarcimento della cucitura e dei dorsetti;
- ✓ il risarcimento del piatto posteriore.
- ✓ Il programma "Spectramagic 3.6" che effettua, in maniera automatica, il suddetto confronto e riporta anche le variazioni delle singole componenti: L^* → il grado di luminosità; $+ a^*$ → il grado di rosso; $- a^*$ → il grado di verde; $+ b^*$ → il grado di giallo; $- b^*$ → il grado di blu; C^* → il grado di saturazione; h → la tinta.

L'esame del grafico relativo alla suddetta indagine (fig. 12) evidenzia che la quantità di polvere che si era accumulata e che è stata asportata era molto limitata non causando, quindi, modificazione del colore. Tale colorazione, con un'alta componente gialla (valore b^*), è da ricondursi, pertanto, all'ossidazione della carta.

Analoga indagine è stata effettuata sul monocromo Figura femminile nuda con serpente di Palazzo Rivera a L'Aquila. Anche in questo caso l'intervento di restauro si è limitato alla pulitura.

Dalla lettura del grafico relativo alla gamba destra del monocromo (fig. 13), si nota come l'intervento sia quantificabile con un ΔE pari a 20,14.

Un dato significativo è quello relativo alla variazione del parametro $+ b^*$ (grado di giallo): ciò può significare una eccessiva rimozione dello strato di sporco che ha interessato anche la cosiddetta "patina nobile". Tale patina riguarda lo strato di vernice che veniva steso sull'opera d'arte con il duplice scopo di uniformare la superficie pittorica e di proteggerla. Inizialmente trasparente, attraverso processi ossidativi nel corso degli anni, la suddetta patina ingiallisce. La diminuzione del parametro $+ b^*$ (grado di giallo) da 23,66 prima dell'intervento, ad un valore 10,69 dopo l'intervento, testimonia, in questo caso, la rimozione dello strato di vernice ossidata che aveva assunto, nel tempo, una colorazione giallognola. Tale rimozione ha riportato il monocromo alla colorazione originaria, tuttavia ha tolto, in maniera definitiva, la testimonianza del tempo trascorso (fig. 13).

Le indagini sui manufatti lapidei consolidati con vari prodotti a base di silicati di etile (Antares 80, RC 90, Phase 70) sono state rivolte alla valutazione delle alterazioni cromatiche su campioni di pietre e malte dopo il trattamento. La sperimentazione ha riguardato campioni di pietre chiare (calcare vicentino e corrispondenti malte), campioni di pietre di tono intermedio (arenaria toscana) e campioni di pietre scure (pietra Boliviana).

Si è proceduto innanzitutto col misurare le coordinate CIE-LAB dei provini di pietra e di malte prima di qualsiasi trattamento e a due mesi dall'impregnazione. I risultati ottenuti hanno mostrato un comportamento diverso dei sistemi consolidati in relazione alla differente granulometria dei provini di arenaria a massima decoesione. La granulometria maggiore (HG) (fig. 14) mostra una notevole diminuzione della riflettanza (colore più scuro, effetto "bagnato") ed un leggero arricchimento dello spettro verso un tono più "caldo" (aumento relativo della porzione spettrale con $\lambda > 550$ nm). Per quanto riguarda i provini a granulometria più fine (LG) (fig. 15) si è registrata una minore attenuazione della riflettanza ed uno scostamento inferiore dalla dinamica dello spettro di riferimento (effetto "asciutto" e minore viraggio verso toni caldi) per una migliore neutralità del sistema. Dal confronto fra la fig. 14 (provini decoesi HG) e la fig. 15 (provini decoesi LG) si evidenzia che la variazione della riflettanza dei provini a parità di trattamento consolidante, prima e a due mesi dal trattamento, è maggiore nei provini ad alta granulazione (HG) rispetto a quelli a bassa granulazione (LG).

I risultati ottenuti sono significativi per quel che riguarda la scelta di un prodotto consolidante: infatti a parità di consolidante e di substrato (materiale incoerente ricavato dallo stesso materiale lapideo) si possono avere risultati discosti dovuti al diverso grado di decoesione della pietra. In casi reali di conservazione, dove l'anisotropia e differenti fattori espositivi rispetto all'ambiente rendono molto varie le condizioni superficiali del manufatto, si potrebbe avere un trattamento che, alla prova dei fatti, lascerebbe la superficie con un aspetto diversificato anche dopo il consolidamento, ponendo problemi di accettabilità – stavolta dal punto di vista estetico – del trattamento adottato.

6. Conclusioni

Le applicazioni della colorimetria ai beni culturali e, per quanto qui compete a documenti grafici, dipinti ad olio su tavola e tela, dipinti murali e materiali lapidei consolidati con silicati di etile, hanno permesso di valutare in maniera opportuna – nel rispetto della Normativa UNI 8941 Superfici colorate. Colorimetria – e di quantificare l'andamento dell'alterazione cromatica quale effetto dell'interazione dell'ambiente di collocazione-conservazione con il manufatto e, conseguentemente, di risalire alle cause ovvero ai fattori-agenti ambientali.

Inoltre per i documenti grafici e per i dipinti murali le misure dei parametri cromatici hanno permesso di stabilire se le modificazioni, a causa dell'ambiente non idoneo, sono da ricondursi ad effetti di carattere irreversibile o reversibile e, quindi, alla possibilità di essere rimosse.

Per i dipinti murali è stato altresì verificato il rispetto della "patina nobile", stabilito dalle Carte del Restauro, attraverso la misurazione del parametro $+ b^*$ (grado di giallo).

Le indagini sui manufatti lapidei sono state rivolte alla valutazione delle alterazioni cromatiche sui manufatti consolidati con vari prodotti a base di silicati di etile: sono stati registrati risultati diversi in base al diverso grado di coesione della pietra, all'anisotropia dei materiali e alle differenti condizioni espositive dei manufatti.

Tali ricerche possono, a ragione, fornire un valido contributo alle applicazioni della colorimetria nel settore dei beni culturali.

Note

¹ Nei diagrammi ottenuti con il colorimetro spettrofotometrico Minolta (modello CM-2600 D) impiegato nella presente indagine, il campione di prova è indicato con Target ed il campione di riferimento con Sample.

- ² Il target indica una misura di riferimento che può essere utilizzata per un confronto con un'altra misura. Il target può essere memorizzato nello strumento o nel computer e può essere richiamato per effettuare un confronto, nel tempo, della stessa superficie oggetto di indagine.
- ³ Il videomicroscopio ad analisi di immagine è uno strumento portatile corredato di programma per la memorizzazione e per la conseguente elaborazione delle immagini. Esso permette la determinazione delle componenti tricromatiche del colore R, G, B (Red, Blue, Green) e l'effettuazione di indagini conoscitive sui manufatti, con ingrandimenti fino a 200x, a livello sia qualitativo che quantitativo.

Summary

For a few years now, the Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali of the Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna) has been creating a Diagnostic Laboratory for the study on the "system: cultural heritage/conservation environment".

In the present paper the results of different surveys concerning the use of colorimetry on different typologies of art works are reported: graphic documents (fig. 1); oil painting on board and canvas (fig. 2); wall painting (fig. 3); stony materials consolidated with ethyl silicate (fig. 4).

Measurements of the chromatic parameters, according to the CIE L*a*b* chromaticity diagram and to the UNI 8941 *Standard Coloured surfaces*, were carried out with the spectrophotometric colorimeter Minolta CM-2600D model.

The reference measurements (targets) were carried out on every typology of works. Such targets, recorded on the tool or in the computer, could be considered in order to draw a comparison in time on the same studied surface. It is then possible to check the trend of the chromatic alteration as an effect of interaction of the environment of location-conservation with the art work and, then to determine the causes, i.e the environmental operating-factors.

The measurements of the chromatic parameters for graphic documents and for wall paintings have also allowed us to establish if the modifications, caused by an inappropriate environment, must be linked to irreversible or reversible effects and, then, with the possibility of being removed.

As regards wall paintings, the respect of the "noble patina" was showed, as established by the Card of Restoration, by means of the measurement of the + b* parameters (yellow degree).

The studies on stony materials aimed at the evaluation of the chromatic alterations of the art works previously consolidated with various products based on ethyl silicates: different results were reached according to the different degree of stone cohesion, anisotropy of the material and different exposure conditions of the works.

Such researches may contribute to applying colorimetry in the field of cultural heritage.

Riassunto

Il Dipartimento di Storie e metodi per la Conservazione dei Beni Culturali Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna) da diversi anni ha allestito un Laboratorio Diagnostico per lo studio sul "sistema: bene culturale/ambiente di conservazione".

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di alcune indagini relative all'impiego della colorimetria su diverse tipologie di manufatti: documenti grafici, dipinti ad olio su tavola e tela, dipinti murali, materiali lapidei consolidati con silicati di etile.

Le misurazioni dei parametri cromatici, che fanno riferimento al diagramma di cromaticità CIE L*a*b* ed alla Normativa UNI 8941 *Superfici colorate. Colorimetria*, sono state effettuate con il colorimetro spettrofotometrico Minolta modello CM-2600 D.

A tal proposito, per tutte le tipologie di manufatti sono state effettuate misure di riferimento (target). Tali target, memorizzati nello strumento o nel computer, possono essere richiamati per effettuare un

confronto, nel tempo, della stessa superficie oggetto di indagine. È possibile così controllare e quantificare l'andamento dell'alterazione cromatica quale effetto dell'interazione dell'ambiente di collocazione-conservazione sul manufatto e, conseguentemente, risalire alle cause ovvero ai fattori-agenti ambientali.

D'altra parte per i documenti grafici e per i dipinti murali le misure dei parametri cromatici hanno anche permesso di stabilire se le modificazioni, a causa dell'ambiente non idoneo, sono da ricondursi ad effetti di carattere irreversibile o reversibile e, quindi, alle possibilità di essere rimosse.

Per i dipinti murali inoltre è stato verificato il rispetto della "patina nobile", stabilito dalle Carte del Restauro, attraverso la misurazione del parametro $+ b^*$ (grado di giallo).

Le indagini sui manufatti lapidei sono state rivolte alla valutazione delle alterazioni cromatiche sui manufatti consolidati con vari prodotti a base di silicati di etile: sono stati registrati risultati diversi in base al diverso grado di coesione della pietra, all'anisotropia dei materiali e alle differenti condizioni espositive dei manufatti.

Tali ricerche possono fornire un valido contributo alle applicazioni della colorimetria nel settore dei beni culturali.

Résumé

Depuis quelques années, le Département *Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali* de l'Université Alma Mater Studiorum de Bologne (division de Ravenne) a créé un laboratoire de diagnostic pour l'étude sur le "système: patrimoine culturel / environnement de conservation". Dans cet article, les résultats de différents travaux effectués sur l'utilisation de la colorimétrie dans différentes typologies d'oeuvre sont reportés: documents graphiques (fig. 1); peinture à l'huile sur support ou toile (fig. 2); peinture murale (fig. 3); matériaux en pierre consolidés avec de l'éthyle silicate (fig. 4). Des mesures des paramètres chromatiques, selon le diagramme de chromaticité CIE $L^*a^*b^*$ et la législation UNI 8941 *Standard Coloured surfaces* ont été effectuées avec le spectromètre spectrophotométrique Minolta CM-2600D model.

Les mesures de référence (appelés *targets*) ont été menées sur chaque typologie d'oeuvre. Ces *targets* enregistrés sur l'instrumentation ou sur l'ordinateur peuvent être pris en considération afin d'effectuer des comparaisons dans le temps sur la même surface étudiée. Il est ainsi possible de vérifier le rythme de l'altération chromatique en tant qu'effet direct de l'interaction entre l'environnement de localisation-conservation et l'oeuvre d'art; cela permet également de déterminer les causes, c'est-à-dire les facteurs environnementaux de ces altérations.

Les mesures de paramètres chromatiques pour les documents graphiques et les peintures murales ont aussi permis de déterminer si les modifications – causées par un environnement peu approprié – sont liées à des effets irréversibles ou non et donc à la possibilité d'être éradiquées.

En ce qui concerne les peintures murales, le respect de la patine noble a été souligné, comme établi par la Charte de Restauration, par le biais de mesures des paramètres $+ b^*$ (degré de jaune).

Les études sur les matériaux en pierre ont pour but l'évaluation des altérations chromatiques des oeuvres d'art consolidées au préalable à l'aide de produits variés basés sur l'éthyle de silicate: différents résultats sont atteints selon les différents degrés de cohésion de la pierre, l'anisotropie des matériaux et les conditions d'exposition.

De telles recherches peuvent contribuer à l'application de la colorimétrie dans le domaine du patrimoine culturel.

Zusammenfassung

Der Fachbereich von *Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali* der Universität Alma Mater Studiorum in Bologna (Stadt Ravenna) hat seit vielen Jahren ein diagnostischen Labor für das Studium über das "System: kultureller Gut/Erhaltungsumgebung" herrichtet.

In diesem Werk werden die Ergebnisse von einigen auf die Verwendung der Farbmeterik über verschiedene Typologien von Manufakturen bezüglichen Untersuchungen wiedergegeben: graphische

Dokumenten, Ölgemälde über Tafel und Leinwand, Wandgemälde, durch Ethylsilikaten gefestigte Grabstoffen.

Die Messungen der chromatischen Parameter, die sich auf das chromatischen Diagramm CIE L*a*b* und auf die Normativ UNI 8941 gefärbte Oberflächen beziehen, sind durch den spektrophotometrischen Farbmeter Minolta CM-2600 D Modell durchgeführt worden.

In dieser Hinsicht, für alle Typologien von Manufakturen sind Bezugmaßen (Targets) durchgeführt worden. Wenn im Instrument oder im Computer gespeichert, können diese Targets zurückgerufen werden, um einen Vergleich der selben Oberfläche Gegenstand der Untersuchung durchzuführen. Auf diese Weise ist es möglich den Fortgang der chromatischen Veränderung als Effekt der Interaktion der Erhaltungsumgebung über den Manufaktur zu kontrollieren und zu bestimmen, und folglich ist es möglich den Veranlassungen oder den Umweltagenten nachzugehen.

Außerdem für die graphischen Dokumenten und die Wandgemälde haben die Messungen der chromatischen Parameter auch erlaubt es festzusetzen, wenn die Veränderungen, wegen der nicht befähigten Umgebung, auf unwiderrufliche oder widerrufliche Effekten zurückgeführt werden können, die abgerungen werden können.

Für die Wandgemälde ist die Beachtung der bei den Karten der Restaurierung festgesetzten "nobel Patina" durch die Messung der Parameter + b* (Gelb Grad) überprüft worden.

Die Untersuchungen über die Grabmanufakturen sind auf die Bewertung der chromatischen Veränderungen über die durch verschiedene Produkte auf der Grundlage von Ethylsilikaten gefestigten Manufakturen gerichtet worden: verschiedene Ergebnisse sind auf Grund des verschiedenen Grad von Kohäsion des Steines, der Anisotropie der Stoffen und der verschiedenen Ausstellungszustände der Manufakturen aufgezeichnet worden.

Diese Untersuchungen können einen wirksamen Beitrag den Anwendungen der Farbmeter im Abschnitt der kulturellen Guten beliefern.

Resumen

Ya desde hace unos años, el Departamento de Historia y Métodos para la Conservación de Bienes Culturales de la Universidad de Bolonia (sede de Rávena) ha creado un Laboratorio de Diagnóstico para el estudio del "sistema: bien cultural/medio ambiente de conservación".

En la presente nota se han presentado los resultados de aquellas investigaciones relacionadas con el utilizo de la colorimetría en diferentes tipos de obras artísticas: documentos gráficos, pinturas al óleo sobre tabla y lienzo, pinturas murales, materiales lapídeos consolidados con silicatos de etilo. Las mediciones de los parámetros cromáticos, que hacen referencia al diagrama de cromaticidad CIE L*a*b* y a la Normativa UNI 8941 Superficies coloreadas – Colorimetría, se han realizado con el colorímetro espectrofotómetro Minolta CM-2600 D.

Para todas las tipologías de obras artísticas se han realizado medidas de referencia (target), que, memorizadas en un aparato o en el ordenador, se pueden volver a utilizar para hacer una comparación, en el tiempo, de la misma superficie objeto de la investigación. De este modo es posible controlar y calificar el curso de la alteración cromática como efecto de la interacción del medio ambiente de colocación-conservación sobre la obra artística y, en consecuencia, remontar a las causas, es decir a los factores-agentes medioambientales.

Además, las medidas de los parámetros cromáticos también han permitido determinar para los documentos gráficos y las pinturas murales si las modificaciones causadas por un medio ambiente inadecuado tienen efectos irreversibles o reversibles y por lo tanto si se pueden remover.

Con respeto a las pinturas murales, también se ha averiguado el respeto de la "pátina noble" determinado por las Cartas del Restauo, a través de la medición del parámetro +b* (grado de amarillo).

Las investigaciones sobre las obras lapídeas se ha centrado en la evaluación de las alteraciones cromáticas en obras consolidadas con diferentes productos a base de silicatos de etilo: se han registrado diferentes resultados según el diferente grado de coesión de la piedra, la anisotropía de los materiales y las diferentes condiciones expositivas de las obras.

Резюме

В течение нескольких лет при Отделении Истории и сохранения культурного наследия Болонского Университета Alma Mater Studiorum (филиал в Равенне) работает диагностическая лаборатория по исследованию темы: «Система: культурное достояние / среда сохранения». В представленной работе приведены результаты нескольких исследований, касающихся применения колориметрии к различным произведениям и памятникам искусства: графические документы, масляные рисунки на досках и на полотне, настенные росписи, каменные произведения, скрепленные этиловыми силикатами. Измерения хроматических параметров согласно хроматической таблице CIE L*a*b и норме UNI 8941 (цветные поверхности) были проведены при помощи спектрофотометрического колориметра «Минольта», модель CM-2600 D. Кстати, для всех типов произведений были разработаны шкалы измерений (target). Эти шкалы, внесённые в приборы или компьютеры, могут быть использованы при сравнительном анализе временных видоизменений поверхности исследуемого предмета. Таким образом, представляется возможным контролировать и квантифицировать ход хроматических изменений, в частности, эффект взаимодействия окружающей среды с местом нахождения произведения, и, следовательно, установить причины, т.е. вещества-факторы окружающей среды. Более того, что касается исследования графических документов и настенных рисунков, шкалы хроматических параметров позволили выяснить зависимость между непригодными условиями сохранения предметов и сооружений и необратимым характером их видоизменений, всё это предоставляет возможность предотвращения и устранения этих изменений. При исследовании настенных росписей была выявлена, путём измерения параметра +b* (степень пожелтения), причина «благородного налёта» (описанная в Хартии реставраторов). Изучение каменных построек было направлено на оценку хроматических изменений изделий, скреплённых с другими предметами при помощи этила-силиката. Были получены различные результаты, варьирующиеся в зависимости от степени скрепления камней, от анизотропии материалов и от различных климатических условий, в которых находятся каменные сооружения. Эти исследования могут внести ценный вклад в применение колориметрии в области сохранения предметов культурного наследия.