

INDOOR ENVIRONMENT AND PRESERVATION

Climate control in museums and historic buildings

AMBIENTE INTERNO E CONSERVAZIONE

Il controllo del clima nei musei e negli edifici storici

edited by / a cura di
Davide Del Curto

NARDINI EDITORE

kermesquaderni

INDOOR ENVIRONMENT AND PRESERVATION
Climate control in museums and historic buildings

AMBIENTE INTERNO E CONSERVAZIONE

Il controllo del clima nei musei e negli edifici storici

edited by / a cura di Davide Del Curto

Authors and Printer copyright: All rights reserved; no part of this publication may be translated, reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the written permission of the publisher. Authors hold the copyright of their intellectual property and are authorized to make other use of their contributions

Edited within the research / Pubblicato nell'ambito della ricerca

Analisi e caratterizzazione delle condizioni microclimatiche della Villa Belgiojoso,

progetto finalizzato alla predisposizione di un protocollo programmatico di intervento nei musei edifici storici

Comune di Milano	
GAM	
Politecnico di Milano DIAP	

The research is supported by / La ricerca è cofinanziata da



ISSN 2036-1122

ISBN 88-404-4339-3

Redazione e traduzione a cura di
Davide Del Curto e Andrea Luciani

Impaginazione e coordinamento tecnico
Massimo Rubino

© 2010 per l'edizione:
Nardini Editore, Firenze
www.nardinieditore.it
info@nardinieditore.it

© 2010 per i testi e le immagini:
POLITECNICO DI MILANO – Dipartimento di Architettura e Pianificazione

La presente tiratura è stata stampata nel mese di marzo 2011
presso Grafiche Cesina, Calendasco (PC)

In copertina:

Galleria d'Arte Moderna di Milano, Room I (the old vestibule). Photographic and thermographic survey of the air ducts of the heating system (range 19-28°C; air conditions: T = 18°C, RH = 29,38%). Survey performed on February 2nd, 2010 by Politecnico di Milano - Laboratorio Analisi e Diagnostica del Costruito (DIAP), arch. Luca Valisi / *Galleria d'Arte Moderna di Milano, Sala I (l'antico atrio). Rilievo fotografico e termografico dei percorsi dell'impianto di riscaldamento ad aria (range 19-28°C; condizioni ambientali: T = 18°C, RH = 29,38%). Rilievo eseguito il 2 febbraio 2010 dal Politecnico di Milano - Laboratorio Analisi e Diagnostica del Costruito (DIAP), arch. Luca Valisi*

Contents / *Indice*

THE PAINTING BEGINS TO AGE ON THE ARTIST'S PALETTE. FOR A FIRST ANTHOLOGY OF THE NEEDS OF ART COLLECTIONS HOUSED IN HISTORIC BUILDINGS AS MUSEUMS <i>IL DIPINTO INIZIA A INVECCHIARE SULLA TAVOLOZZA DELL'ARTISTA. PER UNA PRIMA ANTOLOGIA DEI BISOGNI DELLE COLLEZIONI D'ARTE CONSERVATE IN EDIFICI STORICI A DESTINAZIONE MUSEALE</i> <i>Maria Fratelli</i>	p. 5
PROTECTION OF "MOVABLE" PROPERTY, PROTECTION OF "IMMOVABLES", INDOOR CLIMATE. SOME CONFLICTS TO OVERCOME <i>TUTELA DEGLI OGGETTI "MOBILI", TUTELA DEGLI "IMMOBILI", CLIMA INTERNO DEGLI EDIFICI. CONFLITTI DA SUPERARE</i> <i>Alberto Grimoldi</i>	» 19
BUILDING CLIMATE AND CULTURAL HERITAGE SAFEGUARD. INSTRUMENTS AND MODELS OF INVESTIGATION <i>IL CLIMA DEGLI EDIFICI E LA TUTELA DEL PATRIMONIO CULTURALE. STRUMENTI E MODELLI DI CONOSCENZA</i> <i>Davide Del Curto</i>	» 27
PART 1 - MICROCLIMATE SURVEY AND MONITORING IN HISTORIC BUILDINGS AS MUSEUMS <i>PARTE 1 - ANALISI E MONITORAGGIO DEL MICROCLIMA NEGLI EDIFICI STORICI A DESTINAZIONE MUSEALE</i>	
HUMIDITY AND ENVIRONMENTAL DIAGNOSTICS IN PALAZZO GRIMANI, VENICE <i>UMIDITÀ E DIAGNOSTICA AMBIENTALE IN PALAZZO GRIMANI, VENEZIA</i> <i>Dario Camuffo, Antonio della Valle, Chiara Bertolin, Chiara Leorato, Annalisa Bristot</i>	» 45
ANALYSING INDOOR CLIMATE IN ITALIAN HERITAGE BUILDINGS. EXPERIMENTAL MEASUREMENTS IN AN OLD MUSEUM <i>ANALISI DEL MICROCLIMA DEGLI EDIFICI DEL PATRIMONIO STORICO ITALIANO. MISURE SPERIMENTALI CONDOTTE IN UN EDIFICIO STORICO DESTINATO A MUSEO</i> <i>Carla Balocco, Roberto Boddi</i>	» 51
DISPLACEMENT VENTILATION IN THE MUSEUM ENVIRONMENT: A CASE STUDY <i>LA VENTILAZIONE A DISLOCAMENTO IN AMBIENTE MUSEALE: UN CASO STUDIO</i> <i>Henk Schellen, Edgar Neuhaus, Marcel van Aarle, Cor Pernot</i>	» 65
THE INDOOR CLIMATE IN SKOKLOSTER CASTLE <i>IL CLIMA INTERNO DEL CASTELLO DI SKOKLOSTER</i> <i>Tor Broström, Gustaf Leijonhufvud</i>	» 75
CONTROL OF INDOOR ENVIRONMENTS IN HERITAGE BUILDINGS: THE CASE STUDY OF PALAZZO ABATELLIS IN PALERMO <i>IL CONTROLLO DELLE CONDIZIONI AMBIENTALI INTERNE NEGLI EDIFICI STORICI: IL CASO STUDIO DI PALAZZO ABATELLIS A PALERMO</i> <i>Ermanno Cacciatore, Patrizia Ferrante, Vincenzo Franzitta</i>	» 89
PART 2 - SYSTEMS AND DEVICES FOR MICROCLIMATE CONTROL IN HISTORIC BUILDINGS AS MUSEUMS <i>PARTE 2 - SISTEMI ED IMPIANTI PER IL CONTROLLO DEL MICROCLIMA NEGLI EDIFICI STORICI A DESTINAZIONE MUSEALE</i>	
SUSTAINABLE BUILDING SERVICES AND CASE STUDIES IN AUSTRIA <i>INSTALLAZIONI SOSTENIBILI E CASI STUDIO IN AUSTRIA</i> <i>Jochen Kaeferhaus</i>	» 97

THE BAVARIAN NATIONAL MUSEUM AND ITS NEW BRANCH AT TRAUSNITZ CASTLE. THE TRANSFER OF ESTABLISHED STANDARDS OF PREVENTIVE CONSERVATION TO A MUSEUM IN A HISTORIC BUILDING <i>IL MUSEO NAZIONALE BAVARESE E LA SUA NUOVA ALA NEL CASTELLO DI TRAUSNITZ.</i> <i>IL TRASFERIMENTO IN UN EDIFICIO STORICO DI STANDARD PRESTABILITI PER LA CONSERVAZIONE PREVENTIVA</i> <i>Ute Hack</i>	p. 107
PASSIVE COOLING SYSTEMS IN THE HISTORICAL BUILDINGS OF THE VALAIS CANTON IN SION <i>SYSTÈMES DE REFOIDISSEMENT PASSIF INSTALLÉS DANS DES BÂTIMENTS HISTORIQUES DE L'ÉTAT DU VALAIS À SION</i> <i>Camille Ançay</i>	» 113
TEMPERING IN PALAZZO VIANI DUGNANI IN PALLANZA. THE PROJECT OF A CLIMATE CONTROL SYSTEM <i>LA TEMPERIERUNG IN PALAZZO VIANI DUGNANI A PALLANZA. IL PROGETTO DEL SISTEMA DI CONTROLLO DEL CLIMA</i> <i>Daniele Fraternali, Carlo Manfredi</i>	» 119
INDOOR INVESTIGATIONS AND COMPUTATIONAL FLUID-DYNAMICS ANALYSIS APPLIED FOR DESIGNING THE HVAC SYSTEM OF THE WEDDING CHAMBER (CAMERA PICTA) IN MANTOVA <i>INDAGINI AMBIENTALI E ANALISI TERMOFLUIDODINAMICA APPLICATE ALLA PROGETTAZIONE DELL'IMPIANTO</i> <i>DI CONDIZIONAMENTO DELLA CAMERA DEGLI SPOSI A MANTOVA</i> <i>Cesare Bonacina, Piercarlo Romagnoni, Antonio G. Stevan</i>	» 127
PART 3 - METHODS AND TOOLS FOR MICROCLIMATE EVALUATION AND MANAGEMENT IN MUSEUMS AND HISTORIC BUILDINGS <i>PARTE 3 - STRUMENTI E METODI PER LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE DEL MICROCLIMA NEI MUSEI E NEGLI EDIFICI STORICI</i>	
EVOLUTION OF THERMO-HYGROMETRIC STANDARDS FOR CULTURAL HERITAGE PRESERVATION. AN OVERVIEW <i>L'EVOLUZIONE DEI PARAMETRI TERMOIGROMETRICI PER LA CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI</i> <i>Andrea Luciani</i>	» 139
HUMIDITY AND INDOOR AIR QUALITY FOR COLLECTIONS IN HISTORIC BUILDINGS AND CASTLES IN THE UK. PROVIDING SUITABLE INDOOR ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR COLLECTIONS IN HISTORIC BUILDINGS <i>UMIDITÀ E QUALITÀ DELL'ARIA PER LE COLLEZIONI NEGLI EDIFICI STORICI E NEI CASTELLI NEL REGNO UNITO.</i> <i>GARANTIRE CONDIZIONI AMBIENTALI ADEGUATE PER LE COLLEZIONI NEGLI EDIFICI STORICI</i> <i>Frank Mills</i>	» 147
MUSEUMS IN HISTORICAL BUILDINGS: ACTUAL AND POTENTIAL OPPORTUNITIES FOR MICROCLIMATIC CONTROL <i>MUSEI IN EDIFICI STORICI: OPPORTUNITÀ ATTUALI E POTENZIALI PER IL CONTROLLO DEL MICROCLIMA</i> <i>Chiara Bonvicini, Stefano P. Corgnati, Valentina Fabi, Marco Filippi</i>	» 157
EVALUATION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE PINACOTECA OF BRERA IN MILAN <i>VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E AMBIENTALI DELLA PINACOTECA DI BRERA A MILANO</i> <i>Elena Lucchi</i>	» 167
A SOUND INDOOR CLIMATE FOR A MUSEUM IN A MONUMENTAL BUILDING <i>UN SANO CLIMA INTERNO PER UN MUSEO IN UN EDIFICIO MONUMENTALE</i> <i>Marco Martens, Henk Schellen</i>	» 183
COLOUR PLATES <i>TAVOLE A COLORI</i>	» 191

The painting begins to age on the artist's palette^{*}

For a first anthology of the needs of art collections housed in historic buildings as museums

Maria Fratelli

Conservator of Galleria d'Arte Moderna di Milano, maria.fratelli@comune.milano.it

The virtuous relationship between the collections and the historic buildings containing them seems, over the decades, have dissolved into an only apparent mismatch between the demands of conservation of the artifacts and of safeguard of the building.

This finding recalls the discussions that had animated the debate on the effectiveness of the restoration and reuse of historic buildings, since the late XIX century[1]. Actually, Italian museology has always focused on the recovery of old houses adapted to be used as museum spaces, instead of the construction of buildings for that purpose.

The most recent episode in Milan is the Museum del Novecento which has been inaugurated in November 2010 at the Arengario, a famous building by Muzio now revisited by Rota and Fornasari architects. This trend had already been confirmed during the last century with operations in buildings of different ages, from Castel Vecchio in Verona, to Palazzo Bianco and Rosso in Genoa and Castello Sforzesco in Milan, to cite key-examples of great architectural value, designed by architects like Carlo Scarpa, Franco Albini, BBPR [2]. These actions were always aimed at the recovery, on the border of the concept of restoration as they were aimed at the reconstruction or renovation of entire portions of the building and, always, with the implementation of modern technological systems. Also the Galleria d'Arte Moderna of is pleased to host a project designed by Ignazio Gardella in the Fifties, for the reusing of the attic to host the arrangement of the Grassi Collection. It is an intervention today surprising for both invasiveness and accuracy.

This disproportion between renovated buildings and new museums revealed today its limits, if not as choice as method. In fact, in Italy has been slow to be implemented, both by architects and by law, the need to assess the relevance of the places, not only for their architectural qualities, but for their ability to structurally accomplish the tasks of conservation, the first prerequisite for a museum.

This operational critical state comes from having applied a concept of "modern" comfort to houses, villas and palaces built with different parameters of well-being. If these parameters were respected, they would more than justify the reasons

for choosing old buildings such as museums, because of their value and quality. The search for constant conditions of microclimate has obscured the environmental effectiveness of the historical containers themselves, if their technical characteristics would have been recognized. The priority of conservation has also been rejected by the will of guaranteeing the public the environmental conditions of heat, humidity and light intensity commonly appreciated, if not demanded.

Thus, the continuous functioning of air conditioning has been preferred to the thermal inertia of the walls, in a process of modernization and adaptation that has had confidence, not always critically, in the possibilities offered by new technologies. This confidence in the effectiveness of management control can also be found in the criteria for conservation of the artworks often restored with a "preventive purpose", where the same semantic inconsistency between the two terms reveals the limit of the method: the presumption of tampering with the constituent materials to block or even avoid deterioration, without considering that any physical phenomenon is spontaneously reversible.

Moreover, the necessity to slacken the course of the aging process was entrusted to museums, as secure containers. Even for the locations, the direction taken was the search of ideal and unchanging environmental conditions, hardly available in a new building, almost unattainable in a historic dwellings without contemplate a radical tampering with their architectural specificity to implement the climate control systems. This without considering with sufficient clarity that the progress and the limits of technology, coupled with the ever increasing demands of comfort and security, would soon have made these systems obsolete. Camuffo writes: "it is unthinkable that a heating system can last more than one, two or more than three decades. Inevitably, the installation of any system requires work and mutilation to the walls and decorations of the building" [3].

Actually, many buildings could have taken advantage of intrinsic resources in the integrity of their original architecture and engineering, capable of mitigating the environmental excesses and to allow small alternations of temperature cycles in their rooms, offering comfort parameters broader than those

*Alberto Finozzi, 2011



Fig. 1 - Galleria d'Arte Moderna di Milano (2004). The construction of a crawspace in the basement



Fig. 2 - Galleria d'Arte Moderna di Milano (2004). One of the furnaces in the basement

considered optimal, even if far less unstable: very thick walls, double doors and windows, wall finishes able to insulate the environment.

This is the intention and ambition that brought the Galleria d'Arte Moderna to share with the Politecnico di Milano, a project whose goal is to recuperate some constitutive elements of the late XVIII century edifice some dwelling strategies still today able to accomplish the tasks of the museum with sufficient equilibrium.

The possibility for the visitor to suit the environment and be part of it, not as privileged beneficiary, but as responsible part of a relationship among places, people and things, requires a change of perspective and a new way to enjoy the heritage. The participation of this "inexpensiveness" of the system must rethink the offer of the Museum which, from a purely exhibition space, must find its own ontological status of institute for the conservation, study, research and communication, as ICOM professes [4].

The need to broaden the understanding of the historic Villa and to understand its climatic behavior is a prerequisite to the planning of further measures to improve the temperature and humidity, which now are recorded as not suitable for the conservation of heritage and not very agreeable for the public.

The building has suffered because of tampering which over time have compromised its original quality: from the removal of the shutters, to the introduction, over the years, of a heating system not adequate to carry out its functions.

The masonries, the ancient technical systems, the decorative parties have shared a time and a duration with the objects which has seen them in synergy and which today we would recuperate into this virtuous relationship. Intention that unites the approaches to the conservation of the built environment of the working group of the Politecnico, with those of conservation and restoration carried out on the artworks of the Museum, in the direction of minimum intervention, understood as respect for each structure and not just the surface, knowledge of the potential inherent in the matter and in the form of things, individuation of the balance achieved in the aging process of paintings and sculptures, recognition of the potentiality in deed[5].

That buildings and things in their proximity in space, but also in time, include virtuous solutions is really demonstrated at Villa Reale in Milan, designed by Pollack who provided it

with an innovative air heating system[6].

The existence of late XVIII century comfort elements, from running water in English-style bathrooms, to the heating system, provide tangible data to substantiate a project to study and gain thorough knowledge of the building in preparation for a conscious conversion project involving the structural components of the original systems (for example, pipelines crossing the walls), hopefully with a benefit for the conservation of the collections.

The studies shared by GAM and Politecnico are therefore oriented to the development of field research and analysis aimed at the collection of diagnostic data, on which to base more effective maintenance: aids which were not available during the building reorganization works conducted between 2002 and 2006. Some interventions have been made with methods and criteria adequate for new buildings, but, used on ancient building types, they have altered the physical and chemical dynamics that governed the life of the building. The construction of a crawspace to reduce moisture in the underground storage rooms triggered into the masonry structures a more evident decay than what was meant to be removed with conservation works, that have ultimately altered the secular equilibrium of the Villa.

After initially verifying the ineffectiveness of the restoration works carried out in the east wing basement, the works on the central section have been suspended and reconsidered. Here it has been possible to identify and save previously unknown pre-existing parts of the building, that is, the underground ducts that captured air outside, in the *plenum* below the staircase of the honour façade, to lead it into furnaces where it was heated before being diffused in the noble rooms. The correct interpretation of the surviving architectural structures was confirmed by Politecnico, which has taken charge of evaluating analytically the current potential of the old heating system, considering the feasibility of its conversion to naturally condition the Museum [7].

This could be the first step towards the transformation of the Gallery in a Green Museum, as proposed by Politecnico, that is, a structure capable of lowering energy consumption, even by reducing the expected results [8].

The research was then extended to other contemporary Villas, and identified the furnace type found in the Museum also in Villa Reale in Monza, which confirms the spreading of a



Fig. 3 - Galleria d'Arte Moderna, Room V (2010). Photographic and thermographic survey



Fig. 4 - Galleria d'Arte Moderna, Room V (2006). Andrea Appiani, *Ritratto di Madame Pétiet con i figli (Portrait of Madame Pétiet with her sons)*, 1800. Oil on canvas

Fig. 5 - Detail of the detachments on the painting by Andrea Appiani. The painting was restored in the past probably with a transfer of the painted layer. The damage is now extended to the whole surface, included the paint reintegrations

common technology in the XVIII century.

In fact, some important buildings of the time show a similar heating system based on the diffusion of air through ducts that run through the walls of the building, to strengthen the local Rumford-type fireplaces, clad in majolica, that decorate the halls. The furnaces, located in the basement, used to diffuse warm air in the state rooms and private apartments, through a system designed to heat several rooms above. The radiators, called Meissner type, were located in the basement and provided heat to the rooms above, on the ground floor and first floor, where perforated iron vents, with an average size of about 40x40 cm, are to be found. Further implementations of the original system, provided with heaters in the side wings, date back to the XIX century [9]. In the rooms vents are still kept, through which hot air is emitted into the atmosphere of the room, modulated by a grid whose opening can be adjusted as needed with a handle.

Such devices still diffuse the heat produced by a central boiler, which serves the purpose of heating both the air that circulates in the ducts and the water that reaches the radiators situated in the rooms in the side wings of the building.

In eight years, the monitoring of the conservation conditions of the works, exposed to several cycles of temperature change, not calibrated and with no control over the consequent humidity, showed how the process of degradation of the works is accelerating.

The characteristic response of the constituent materials of

the works and the possible imbalances, triggered by the restoration, play an important role in assessing the damage caused by the sudden or reiterated change of microclimatic conditions [10]. There are specific studies on the issue, also very refined ones, but mainly carried out on models, for obvious reasons. The use of models greatly simplifies the variables involved, but even so, the complexity that the interaction of the materials implies is immediately made clear and numerically demonstrable. Wood, canvas, chalk, pigments and adhesives respond differently to changes in microclimate, their interaction in a single artifact produces tensions, even opposing forces, able to alter the cohesion between layers [11].

The complexity within the individual artifact is therefore stressed, with the differences described, by the cycles of seasons, by temperature changes with the alternation of day and night, by air convection, by the presence of dust, by handling and by the flow of visitors [12].

Therefore many works are now in the collapse, for a variety of factors. It is worthwhile to continue research into the history of conservation and new studies designed to enable a more accurate understanding of what are the measurements to be carried out and parameters to consider.

Significant differences in the response to physical stress have been found in the paintings on canvas, depending to their degree of conservation. Paintings which are still laying on their original canvas combine the pictorial quality of the surface with a greater flexibility and allow for less heavy

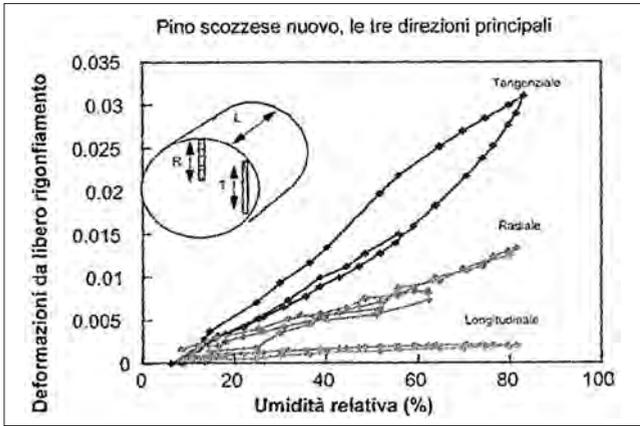


Fig. 6 - From Mecklenburg, p. 42

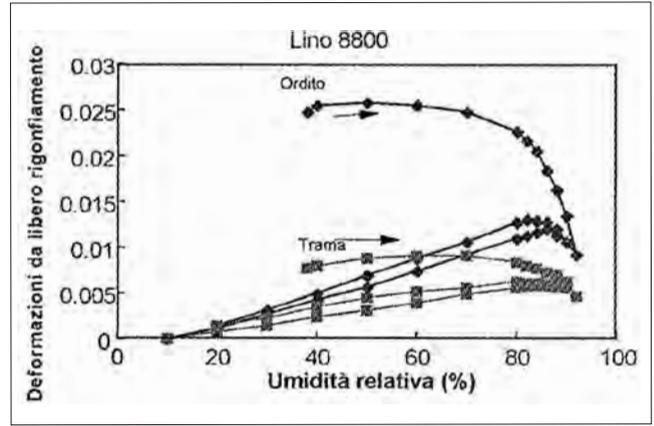


Fig. 7 - From Mecklenburg, p. 44

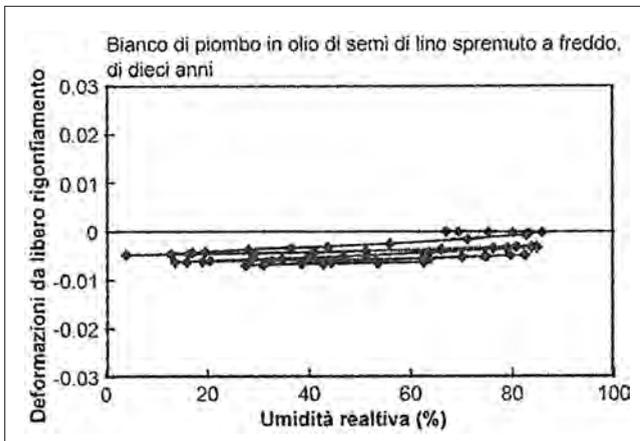


Fig. 8 - From Mecklenburg, p. 45

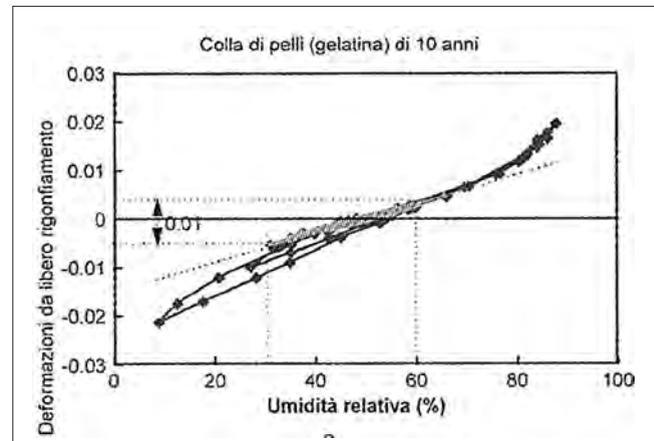


Fig. 9 - From Mecklenburg, p. 48

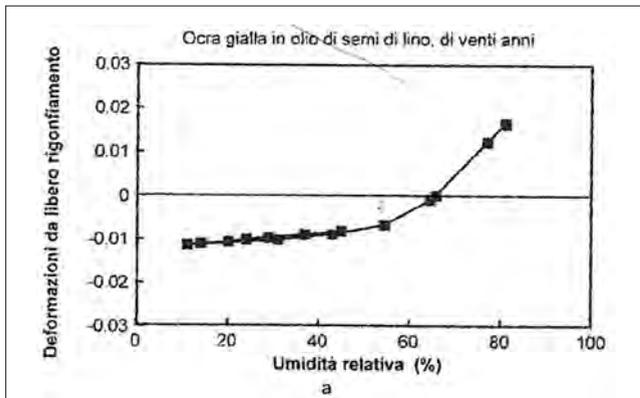


Fig. 10 - From Mecklenburg, p. 52

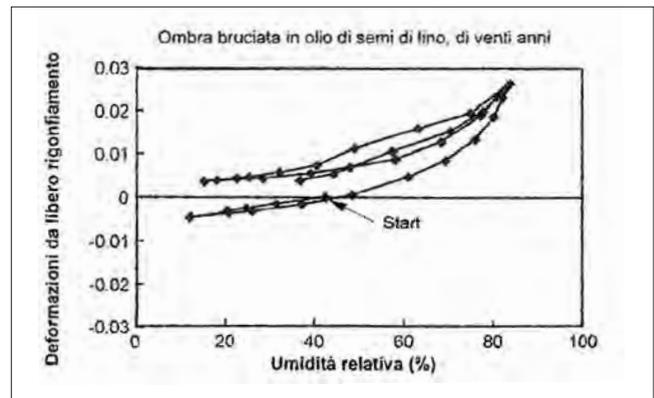


Fig. 11 - From Mecklenburg, p. 52

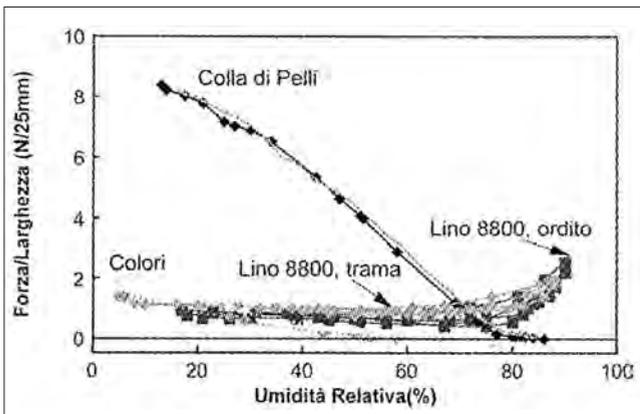


Fig. 12 - From Mecklenburg, p. 47

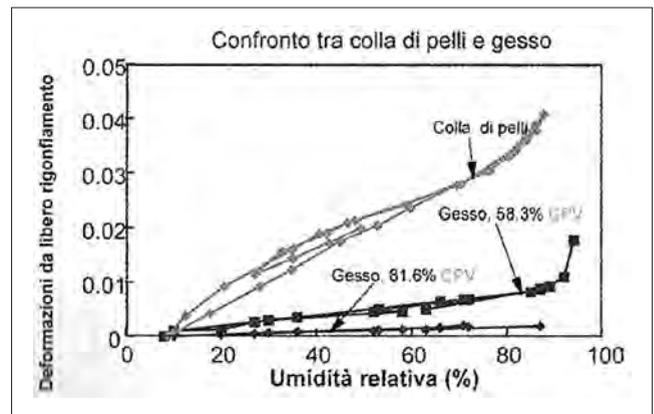


Fig. 13 - From Mecklenburg, p. 80

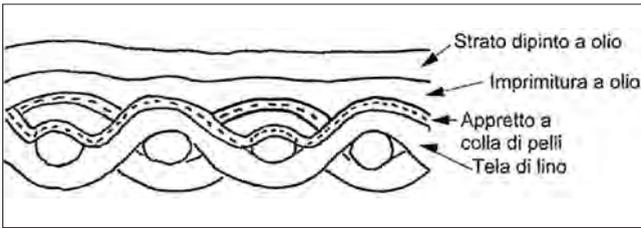


Fig. 14 - From Mecklenburg, p. 39

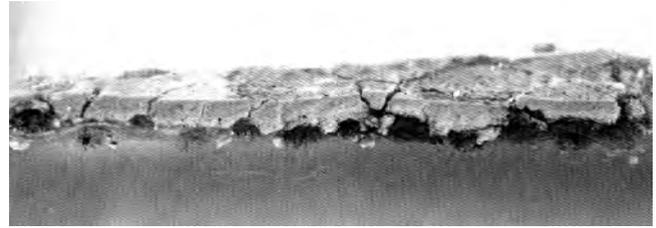


Fig. 15 - Stratigraphic section of a painted canvas showing how a pigmented adhesive (PARALOID B72) has penetrated

maintenance than required by paintings which underwent invasive restoration in time, such as transfer and lining, which show more and more limited ability to adapt, and later require new restoration [13].

The lack of moisture or the presence of specific air flows inside the exhibition halls, yet to be demonstrated analytically, caused deformations of the support. These deformations easily become detachments of the painted surface. This happens moreover in those paintings where a more suffering structure has been aggravated because of the presence of stiff cloth, lining, interspersed with layers consisting of glue-paste or wax-resin; conversely, failures recoverable with simple tensions are found in works on free canvas, ie without intervention of lining or consolidation with thermoplastic resins.

Without further investigation we cannot attribute the decay to a single reason and unambiguous. However, a mapping of the paintings displayed in the museum highlights as the most evident detachments of colors correspond to two recurring factors: on one hand, the evident closeness to the heat ducts, on the other hand a conservative history which has led to invasive restorations-type logically similar, such as transfer and linings.

Many side effects after restoration interventions are demonstrated. However, the aforementioned transfer and lining appear to be the most critical in relation to the Museum climate, which presents a range of heat/cold - wet/dry stresses, often carried to extremes. This is probably even due to the time passed since these interventions were performed.

These were two very common restoration practice during the XX century as they have been adopted by the restoration workshop inside the museum as preventive measures to "strengthen" the structure of the paintings [14]. They were considered as "minor maintenance", as conservative operations while today they are considered very invasive and thus applicable only in cases "extreme". Mario Bezzola, restorer of the Museum in the thirties wrote:

"For over a century has been ideated and implemented a procedure whereby, in the case of oil paints, after having assured the painted surface by pasting a coating of paper or canvas, the original wooden panel, or canvas support were destroyed and the deteriorated priming was removed. The remaining film, consisting of the single layer of coloring matter and glutinous material, was then applied to a new primer and a

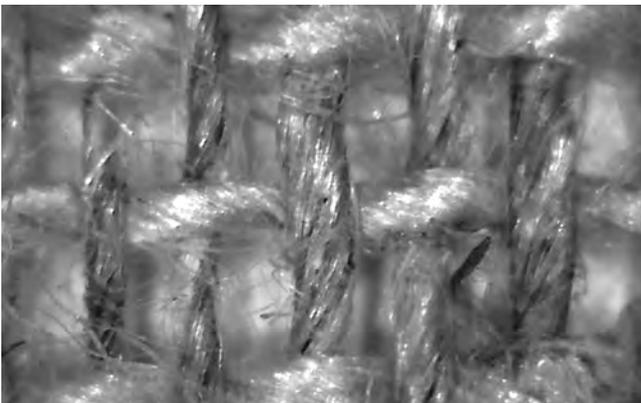


Fig. 16 - Sample of linen canvas

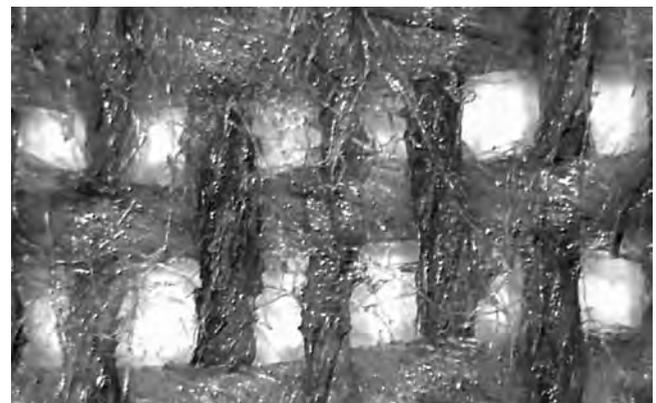


Fig. 17 - Sample of linen canvas soaked with BEVA 371

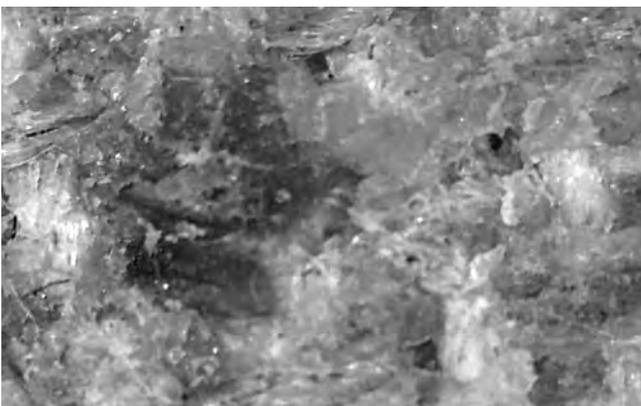


Fig. 18 - Sample of linen canvas soaked with glue-paste



Fig. 19 - Sample of linen canvas soaked with PLEXTOL thickened with hydroxypropyl cellulose



Fig. 20 – Galleria d’Arte Moderna, room XII. Francesco Hayez, *Ritratto della contessa Antonietta Negroni Prati Morosini* (Portrait of Countess Antonietta Negroni Prati Morosini), 1879. Oil on canvas. Stiff strain of the support of a lined painting

new canvas. Unfortunately, many oil paintings of the early XIX century are affected by this problem. These paintings are almost always conducted on canvas made in France and which present just an error in the composition of their ground mixture.

The operation of transfer means and requires no questionable technical difficulties, above all, intelligent patience, has often been performed in our laboratory with great success... The lining is much easier, which consists in the application on the back of the painting, a new fabric reinforcement placed up against the old usually with a mixture of animal glue and cereal flours. In our laboratory have been made interesting and compelling experiences with resin mixtures, in lieu of those based on animal glue and cereal flours, with the procedures commonly used in Holland, England and even in Germany.

The lining gives excellent results when it is necessary to give strength to a torn canvas, repair small or large tears, making the flat painted surface, when the canvas, for various reasons, has lost its tension, and the effort of the keys specially made in the frame is not enough. It also serves, sometimes, to give strength to the crust color, when shifted or raised... The most frequent activities of the laboratory is the cleaning of paintings. The generic name of cleaning includes a series of operations ranging from simple cleaning to a slight blemishes, to the removal of paint, for whatever reason yellowed, cloudy, broken up. Typical the filth that is thick onto the paintings placed in rooms of no great capacity and heated by a radiator. They are sometimes covered with a blackish-gray patina that, completely changing

the tone of the paintings and blurring their coloring, reduces them to a sort of dirty and uniform tapestry.

Instead, the exposure in humid environments gives rise to various changes in the paint. When the varnish suffers the most serious of offences, ie the molecular disintegration, for it loses all or part of its transparency, if it is absolutely necessary to remove it, we use the now old method of regeneration of the resin that makes up the paint by exposing the painting to air saturated with vapor of alcohol. Even the removal of deteriorated paint is very often necessary and was performed both with the dry system, both with the most suitable solvents... Among the smaller, more frequent interventions, it must be especially mentioned the consolidation of the crusts of color partially detached. It was gradually excluded in many cases such a practice, the traditional use of glue, to achieve the same result, and in a more secure and durable way, with a resin mixture". [15]

Completely different intentions and goals are now leading choices about restoration which must firstly meet a need for lightness and minimal impact, so that the composition of the constituent materials and the softness of the canvass still having the linen quality will be maintained, as well as the freshness of painted surfaces, which nowadays have too often to be read as "curled" by 90 degrees irons used, in the past and unfortunately still today, to weld the colors in the warp and weft canvas strips, by stamping them.

The shift from a culture of restoration, as a pride of Italian tradition, to good preventive maintenance actions, minimizing interventions on artworks and working on factors related to their conservation, is becoming a good practice [16].

Preservation means first of all to create a suitable environment surrounding the artwork. Reality is much more complex than a perfect model and museum environments, even considering those where the most effective strategies for climate control are in use, are real places, where objects live together and share common stress factors, though having different preservation needs and different variables which must be considered in their singularity and in their spatial and temporal dynamics. Evidence of scientific data is added to the awareness of the uniqueness of each artwork; in the evidence of how much knowledge data and information are inscribed in the matter and in the structure of things, then re-evaluating the empirical and deductive aspects of validation, not only experimental ones.

In a first codification of standard parameters for conservation concerning temperature, heat, humidity, ventilation, light, vibrations, biological decay, it has been realized that the indication of a range of variation for individual categories of artworks is an unrealistic criterion. Notwithstanding that relative humidity is the most important variable for hygroscopic organic materials.

Considering only the climate issue, we must however underline that data about temperature and relative humidity are just two of many measurable parameters. The interaction of the artwork with the wall, as an example, is still to be verified [17]. For this analysis we enabled specific measurements in the microenvironment created behind the painting, to verify deviations from room and wall parameters. The conservative value of frontal glazing – which is nowadays in vogue in museums with more economic resources – is still to be investigated as well as the juxtaposition of insulating materials on the back of the artwork [18]. Once, for example, it was common to cover walls with silk tapestries padded with wool or to decorate them with layers of plaster and wax, creating different surfaces,

whom different outcomes in relation to humidity parameters and surface temperatures, have still to be investigated as additional variables influencing the microclimate surrounding the artwork, as first surveys are showing.

On this front too investigations and measures started, with the aim to give guidance on topics which are so important for their museologic and economic impact, as the implementation of "conservation glazing" on a whole collection.

Other knowledge factors on the building and on the artworks, if compared each other, supply useful elements defining preservation possibilities other than the usual ones. The claimed application of standards led to two apparently extreme solutions: on one hand the air conditioning of each individual artwork in a confined micro-space, on the other hand to create within the exhibition halls conditioned walkways for visitors comfort only, as in the Castle of Schoenbrunn in Wien.

What we want to pursue in Villa Reale is rather a solution even more minimal and closer to the natural flow of time, just mitigating climate excesses, with common sense and minimally invasive interventions, as indicated by the natural order of things [19].

But it is not the place to anticipate solutions for the Villa Reale, but to learn and compare the problem of the Galleria d'Arte Moderna with what has been done in similar realities in Italy and Europe.

Each solution is firstly a consequence of a knowledge work on the limitations and the potentials of the building which has to be recovered towards a full exploitation of its resources: from window shutters to curtains, to fresh air flows that could arrive in the rooms through the pipes from the garden.

The project will provide suitable solutions to reduce harmful excesses, even broadening and re-discussing standard values imposed by literature. Overturning the prerequisites of a heating system, as listed by Dario Camuffo about churches, a museum will achieve the identification of the necessity to comply firstly the preservation needs of the artworks, through the choice of a conservative heating, secondly the limitation of system invasive impact (damage to structures), then the environmental and visual ones and, at the end of this order of priority, the thermal comfort of visitors.

Other evaluation criteria are also energy saving, installation, operation and maintenance costs, the restoration of artworks, in case the system will accelerate their decay, the local traditions, the taste of people involved [20].

Even the public should be persuaded that normality, in fact, is never in the middle value, but rather in the trend, and I use this word as a statistical concept, but with the pleasure of a double-meaning. A visitor could eventually suffer a little bit of summer heat and a colder climate in winter, if these will prove to be good criteria for heritage maintenance, applicable through minimal solutions which do not expose the entire collection to the risk involved and experienced of technology failures incurred in full air-conditioning systems. Italian legislation and technical standards acknowledged such requests and changed over time their legislative approach [21] which indicates, with *UNI 10969:2002 - Cultural heritage. General principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environments*, a method to achieve proper levels of conservation, aware of the specific history of each artwork, object or building [22]. Sculptures and paintings belonging to the XIX century are already a heterogeneous complex of artifacts that, in addition

to traditional materials, were made with new synthetic products and through sophisticated research and experimentation both in materic and technical terms. From sketches and gypsum models to the translations in bronze and marble of sculptures, from pottery to wax artworks in different variations of molding and patination, from paintings on wood to those on canvas prepared in various ways, to all the varieties of colors and varnishes offered by new companies of products for fine arts, all varied in size, intent and purpose, the two centuries of painting and sculpture hosted in the Gallery show different and complex conservation problems [23]. Further considerations should be given to different museologic and museographic choices occurred in about one hundred years of the museum activity, actively conducted or even simply assigned to the mere passage of time [24].

This volume edited by Davide Del Curto is therefore a necessary premise to these studies and research which have to be substantiated with other experiences carried into buildings and museums as complex as the one we are analyzing. The experiences in the book are stimulating case studies upon which the new research project can be set. The project aims to overcome the limitations and weaknesses of the current heating system of the museum, with excesses of heat in winter, caused by the heating current and the total lack of cooling apparatus in the summer.

Knowledge thus achieved lead us to the proposed approaches which are somehow innovative if compared to operative standards indicating values and parameters often unattainable by many Institutions, if not by mean of an operation of total, invasive, structural renovation of the building. This means to pass from the application of certain data to process new questions arising from the objective singularity of the analyzed situations. It is an unusual approach, but certainly very useful, in an era of monumental certainties where you need to ask yourself again what you really need, what are the real purposes and which needs they are based on.

To place yourself directly in front of the work of art, out of the infinite multiplication of his iconography in other media, in the age of mechanical reproduction, means to give again value to the handiwork as unique and unrepeatably entity capable of sustain the experience of meeting with its interlocutor. This means rethinking the restoration and conservation, but even more strongly emphasize the proper task of the museum: the presentation of the work in full respect of its status, as it has been transmitted to us through time, in the best conditions of availability. This means to prepare interventions of conservation innovative and respectful even in terms of energy resources, challenging both the traditional approaches, too slavishly iterated without criticism to the side effects which have occurred over the years, both resources channeled to the application of expensive technology or standardized operations while, among all the project phases, those for the knowledge and research were cut.

In reference to the guidelines for the planned conservation established by Regione Lombardia, the current project aims to achieve two results: "The first, specifically addressed to the situation of the Villa Belgiojoso and the Gallery of Modern Art: the purchase of the assets necessary to draw up a detailed design for the adaptation of plant equipment, and the drafting of the project in three phases: preliminary, final and enforceable as provided by Law 109/94 and s.m.i.. A second and more general goal is for the configuration of a protocol to guide the operations research, analysis, investigation and verification,

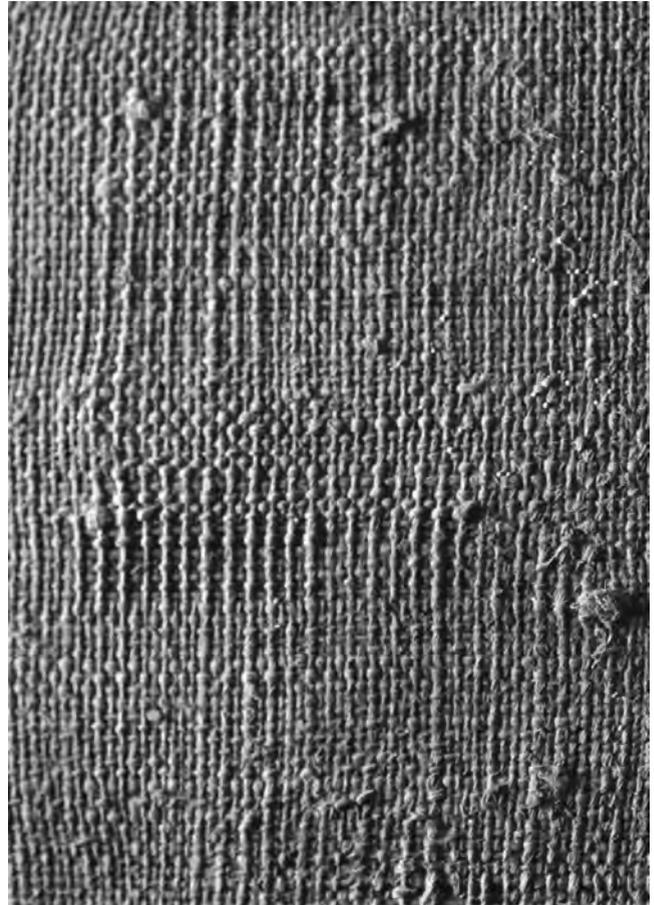


Fig. 21- Giovanni Carnovali detto il Piccio. Ritratto del sig. Filippo Guenzati (Portrait of Sir Filippo Guenzati), 1841. The same detail seen on the front and on the back. The painting was not treated by lining. (from M. FRATELLI, *I materiali dell'opera e della conservazione. Osservazioni attorno ai dipinti del Piccio nelle collezioni della Galleria d'Arte Moderna di Milano*, pp. 245-257, in (a cura di) F. MAZZOTTA, *Piccio l'ultimo romantico*, Cinisello Balsamo, Silvana Editoriale, 2007)

and possibly intervention, and that may be adopted during the approach to many other cases for which the city of Milan must in any case, prepare a schedule of maintenance and management". The expected result is therefore the "feasibility of realization of an intervention of low environmental impact, focusing on the management of moderate installation costs and operating and properly related to the needs of the building, of the collections, of the fruition".[25]

This way, the virtuous relationship between building and collection can be reactivated.

Achieving this goal requires a variety of skills supporting and extending the operative possibility of the conservator, generally an art historian with a liberal arts education, usually only in charge for the collection preservation.

In fact there is no interruption between project operations required for maintaining artworks in a comfortable environment and the restoration intended as a cognitive occasion. We really need a project contribution by the art historian / curator / superintendent, the chemist, the physicist, the biologist, the restorer, the diagnostician, the architect, the engineer, and all the other technicians able to offer useful data for the analytical understanding of the artifacts. The exchange among various skills is instructive and programmatic. It makes different knowledge and awareness available, since they are useful to identify conservation needs of the materials of the artworks and of the buildings. This way, it will be possible a complete and intended achievement of the Museum aim.

To Cariplo, precious partner sustaining the current research, goes my gratitude.

Notes

- [1] AMERIGO RESTUCCI, *Città e architetture nell'Ottocento*, in *Storia dell'Arte Italiana, Dal Cinquecento all'Ottocento. II. Settecento e Ottocento*, Torino Einaudi, pp.723-790
- [2] ANTONELLA HUBER, *Il Museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi, Attualità dell'esperienza museografica negli anni '50 - The Italian museum. The conversion of historic spaces into exhibition spaces. The relevance of the museographical experience of the Fifties*, Milano Lybra 1977; MARIA CECILIA MAZZI, *Musei anni '50: spazio, forma, funzione*, Firenze Edifir 2009
- [3] DARIO CAMUFFO, *Church heating and preservation of the cultural heritage: a practical guide to the pros. and cons. of various heating systems - Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali. Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Milano Electa Mondadori 2006, p. 24
- [4] About various definitions of "museum" see: LUCIANA CATALDO, MARTA PARAVENTI, *Il Museo oggi. Linee guida per una museologia contemporanea*, Milano Hoepli 2007
- [5] CESMAR7, *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti, Secondo Congresso internazionale Colore e Conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome*, Thiene 29-30 ottobre 2004, Saonara Il prato 2005
- [6] MARIA FRATELLI, *Villa Reale: da dimora Belgiojoso a Museo d'Arte Moderna*, in MARIA FRATELLI, DAVIDE DEL CURTO (a cura di), *Edifici storici e destinazione museale: conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e integrazione degli impianti esistenti*. Preprint del convegno, Galleria d'Arte Moderna 1-2 aprile 2010, Saonara Il prato editore 2010, pp. 11-22
- [7] FABIO FORNASARI, *Procedura Villa Reale*, in MARIA FRATELLI DAVIDE DEL CURTO, op. cit., p. 26
- [8] <http://www.das-gruene-museum.de/>
- [9] Emanuela Villa has reconstructed the history of the rooms heating throughout and archival research of documents about both ordinary and extraordinary maintenance made since 1805, when the Villa finished to be a private

- building, to 1958. See EMANUELA VILLA, *I sistemi di riscaldamento della Villa Belgiojoso Bonaparte di Milano tra Settecento e Novecento: il progetto, le manutenzioni, i restauri. Progetto e Riqualificazione dell'Esistente*, degree thesis in Architecture, Prima Facoltà di Architettura e Società, POLITECNICO DI MILANO, supervisor: Prof.ssa Marica Forni, co-supervisor: Arch. Carlo Manfredi, A.A. 2007/2008. The findings were then reconsidered, with the advice of professor Paolo Farina. We have placed the date of the heating system at the time of original construction of the building. See also D. DEL CURTO e C. MANFREDI, *Développement des systèmes de chauffage en Italie entre XVIIIe et XIXe siècle: étude de cas entre technique et société*, in *Edifice et artifice* (edited by R. Carvais, A. Guillerme, V. Nègre, J. Sakarovitch), Picard, Parigi 2010, vol. 1, pp. 817-824
- [10] ALAIN ROCHE, *Comportamento meccanico delle opere su tela. Valutazione della stabilità meccanica alle variazioni di umidità e temperatura*, in CESMAR7, op. cit., pp. 61-72
- [11] M.F. MECKLENBURG, *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento. Failure mechanisms in canvas supported paintings: approaches for developing consolidation protocols*, Saonara, Il prato 2008
- [12] MARIA FRATELLI, *Beni mobili: la movimentazione delle opere d'arte. Riflessioni, esperienze e progetti dalla Galleria d'Arte Moderna di Milano*, Saonara, Il prato 2009, pp. 352
- [13] MARCO CIATTI, ERMINIO SIGNORINI (edited by), *Dipinti su tela. Problemi e prospettive per la conservazione*, Saonara Il Prato 2006.
- [14] MARIO BEZZOLA, *Il laboratorio di conservazione delle pitture di proprietà del Comune*, in *Milano: Rivista mensile del Comune*, febbraio 1939, Fascicolo 2, pp. 77-80. English translation by the editor. See the original text.
- [15] *Ivi*, p. 80
- [16] Istituto per i Beni Artistici Culturali e Materiali dell'Emilia Romagna – ISAC Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Oggetti nel tempo. Principi e tecniche di conservazione preventiva*, Bologna CLUEB 2007
- [17] My thanks go to Alberto Finozzi restorer who has discussed with me and my colleagues from the Politecnico the problem of the microclimate between canvas and wall. I quote here his speeches to the conference *Historical buildings as museums* in April 2010 and during the seminar GAM - Polytechnic, at the Gallery of Modern Art in February 2011. http://www.gam-milano.com/fileadmin/sito/experience/vita_in_museo/POLIGAM.pdf
- [18] Some proposals on this issue, applied to the transport of the artworks, in MARIA FRATELLI (a cura di) *Beni Mobili*, op. cit., pp. 127-133
- [19] ADRIANA BERNARDI, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Saonara Il prato editore 2004
- [20] DARIO CAMUFFO, op. cit., *Scegliere un impianto termico in una chiesa*. p. 22
- [21] UNI 10829:1999, Works of art of historical importance. Ambient conditions for the conservation. Measurement and analysis and D.M. N 238 del 10 maggio 2001 Atto di indirizzo sui criteri tecnico scientifici e sugli standard di sviluppo e funzionamento dei musei. See D. DEL CURTO, A. LUCIANI, *Monitorare il microclima negli edifici storici. una pratica preventiva come strumento di conoscenza*, in atti del XXVI convegno internazionale "Scienza e Beni Culturali" – *Pensare la prevenzione, manufatti usi ambienti*, Bressanone 13 – 16 luglio 2010, Arcadia Ricerche, Venezia 2010, pp. 203-212.
- [22] National legislation must be integrated with the subsidiary tasks delegated to the Regions. On this topic see: Regione Lombardia, *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione consuntivo e scientifico*, Milano Guerini e Associati 2003, Regione Lombardia, *Accreditare i musei, L'esperienza della Lombardia*, Milano Guerini e Associati 2004.
- [23] MARIA FRATELLI, ERMINIO SIGNORINI (edited by), *Problemi Conservativi dei manufatti dell'Ottocento. I dipinti, la Carta, i Gessi*, Proceedings of the workshop in Milan, 2,8,15,23,30 May 2006, Spazio Oberdan, Saonara, Il prato 2008
- [24] MARIA FRATELLI, ANNA AFFEDE, EVA BERTI, ALESSANDRO SALAMONE, *Cento anni di restauro. I restauri della Galleria d'Arte Moderna di Milano nei documenti d'archivio*, in CESMAR7 and DIANA KUNZELMAN (edited by), *L'attenzione alle superfici pittoriche. Materiali e metodi per il consolidamento e Metodi per valutarne l'efficacia - 2*, IV conferenza *Colore e Conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome mobili*, Milan 21-22 November 2008, pp. 159-174. See also: MARIA FRATELLI (edited by) with archival researches and interviews by Anna Affede and Eva Berti, *Restauri e restauratori alla GAM 1927-1949. Primi esiti di una ricerca*, Saonara Il prato 2009, pp. 12
- [25] FONDAZIONE CARIPLLO. I BENI CULTURALI COME VOLANO PER LO SVILUPPO ECONOMICO E SOCIALE DEL TERRITORIO. Bandi "Arte e Cultura" 2009: Diffondere le tecnologie innovative per la conservazione programmata del patrimonio storico – architettonico

*Il dipinto inizia a invecchiare sulla tavolozza dell'artista**

Per una prima antologia dei bisogni delle collezioni d'arte conservate in edifici storici a destinazione museale

Il rapporto virtuoso tra le collezioni e gli edifici storici che le contengono pare essersi perso, nel corso dei decenni, in una incongruenza, solo apparente, tra le esigenze della conservazione dei manufatti e la salvaguardia dell'edificio.

Questa constatazione rievoca discussioni che avevano animato il dibattito sull'opportunità e l'efficacia del restauro e del riuso degli edifici storici, fin dalla fine dell'Ottocento [1]. La museologia italiana ha infatti da sempre privilegiato il recupero delle antiche dimore adattate a spazi museali d'uso, rispetto alla costruzione di edifici ad hoc.

Ultimo recente episodio milanese è l'inaugurazione del Museo del Novecento nel novembre 2010 dentro l'Arengario di Milano, celebre architettura di Muzio oggi rivisitata da Rota e Fornasari. Questa tendenza era già stata confermata nel

corso dell'ultimo secolo con interventi in edifici di epoche diverse, da Castel Vecchio a Verona, ai Palazzi Bianco e Rosso a Genova, al Castello Sforzesco di Milano, per citare esempi da manuale, di indubbio pregio architettonico, firmati da architetti come Carlo Scarpa, Franco Albini, BBPR [2]. Sono azioni sempre finalizzate al recupero, ai limiti del concetto di restauro, perché volte alla ricostruzione o al rifacimento di intere porzioni di edificio e, sempre, con l'implementazione di moderni impianti tecnologici. Anche la Galleria d'Arte Moderna si pregia di ospitare un progetto firmato da Ignazio Gardella negli anni Cinquanta, ovvero il riuso dell'attico per l'ordinamento della Collezione Grassi; intervento che oggi stupisce per la sua invasività quanto per la sua accuratezza.

Questa sproporzione tra edifici riqualificati e musei nuovi

*Alberto Finozzi, 2011

rivela oggi i suoi limiti, se non di scelta, di metodo. In Italia ha tardato ad essere recepita, sia dagli architetti sia dalla normativa, la necessità di valutare la pertinenza dei luoghi, non solo per le loro qualità architettoniche, quanto per la capacità di assolvere strutturalmente ai compiti della conservazione, primo prerequisito di ogni museo.

Questa criticità operativa nasce dal fatto di aver applicato un concetto di comfort "moderno" a case, ville e palazzi, costruiti con altri parametri di benessere che, se rispettati, avrebbero più che giustificato le ragioni per scegliere, per pregio e qualità, edifici antichi come sedi museali. La ricerca di condizioni microclimatiche costanti ha oscurato l'efficacia di cui, proprio i contenitori storici, potevano essere capaci ove fossero state riconosciute le loro peculiarità tecniche. La priorità conservativa inoltre è stata disattesa dalla volontà di garantire al pubblico parametri di calore, umidità e intensità luminosa comunemente apprezzati, quando non pretesi.

Alla inerzia termica delle murature si è così preferita l'attività continua degli impianti di condizionamento, in un processo di modernizzazione e adeguamento che ha confidato, in modo non sempre critico, nelle possibilità offerte dalle nuove tecnologie. Questa fiducia nella efficienza del controllo gestionale si riscontra anche nei criteri di conservazione delle opere spesso restaurate a "scopo preventivo", dove la stessa incongruenza semantica tra i due termini svela il limite del metodo: la presunzione di manomettere i materiali costitutivi per bloccare o addirittura evitare il degrado, senza considerare che nessun fenomeno fisico spontaneo è reversibile.

La necessità di rallentare il decorso del processo di invecchiamento è stata inoltre affidata ai musei quali contenitori protetti. Anche per i luoghi si è andati nella direzione della ricerca di condizioni ideali e immutabili difficilmente raggiungibili in edifici nuovi e pressoché irraggiungibili in dimore storiche, senza contemplare una radicale manomissione delle loro specificità architettoniche per implementarvi impianti di controllo del clima; senza considerare con sufficiente lucidità che il progresso e i limiti della tecnologia, associati alle sempre crescenti esigenze di comfort e di sicurezza, li avrebbero resi ben presto obsoleti. Scrive Camuffo: "non è pensabile che un impianto di riscaldamento possa durare più di uno, due o al massimo tre decenni. Inevitabilmente, l'installazione di qualunque impianto richiede lavori e mutilazioni alle strutture murarie e alle decorazioni dell'edificio" [3].

In realtà, molte costruzioni avrebbero potuto beneficiare, nell'integrità della struttura architettonica e ingegneristica originaria, di risorse intrinseche capaci di mitigare gli eccessi e di consentire ridotte alternanze di cicli termici dentro le loro sale, offrendo parametri di confort più ampi di quelli considerati ottimali, ma sicuramente meno labili: pareti molto spesse, serramenti doppi, finiture murarie in grado di coibentare l'ambiente.

È questa l'intenzione e l'ambizione che ha portato la Galleria d'Arte Moderna a condividere, con il Politecnico di Milano, un progetto il cui obiettivo è quello di rivalutare elementi costitutivi propri del manufatto tardo Settecentesco e strategie dell'abitare ancora oggi capaci di assolvere con sufficiente equilibrio alle esigenze del Museo.

La possibilità del visitatore di adeguarsi all'ambiente e di farne parte, non come beneficiario privilegiato, ma come componente responsabile di una relazione tra i luoghi, le persone e le cose, richiede un cambiamento di prospettiva e un modo nuovo di fruire il patrimonio. La partecipazione di questa "economicità" di sistema deve partire da un ripensamento

dell'offerta del Museo che, da spazio meramente espositivo, deve ritrovare il proprio statuto ontologico di Istituto di conservazione, studio, ricerca e comunicazione, come professa ICOM [4].

La necessità di ampliare la conoscenza della Villa storica e di comprenderne il comportamento climatico è premessa indispensabile alla progettazione di ulteriori interventi atti a migliorare i valori di temperatura e umidità, che oggi si registrano come non idonei alla conservazione del patrimonio e di poco gradimento al pubblico.

L'edificio ha infatti sofferto di manomissioni che nel corso del tempo hanno compromesso le sue qualità originarie: dalla rimozione delle persiane, all'introduzione nel corso degli anni di un impianto di riscaldamento non adeguato ad assolvere le sue funzioni.

Le murature, gli impianti antichi, i partiti decorativi, condivedevano con gli oggetti contenuti, un tempo e una durata che li vedeva sinergici e che oggi si vorrebbero ripristinare in tale relazione virtuosa. Intenzione che accomuna gli approcci alla conservazione del costruito del gruppo di lavoro del Politecnico, con quelli della conservazione e del restauro condotti sulle opere del Museo, nella direzione del minimo intervento, inteso come rispetto di ogni struttura e non solo della superficie, conoscenza delle potenzialità intrinseche nella materia e nella forma delle cose, individuazione degli equilibri raggiunti nel processo di invecchiamento di dipinti e sculture, riconoscimento delle potenzialità in opera [5].

Che gli edifici e le cose racchiudano nella loro contiguità di spazio, ma anche di tempo, soluzioni virtuose lo dimostra proprio la Villa Reale di Milano, progettata dall'architetto Pollack che la dotava di un innovativo impianto di riscaldamento ad aria [6].

L'esistenza di elementi tardo settecenteschi di comfort, dall'acqua corrente nei bagni all'inglese, all'impianto di riscaldamento, offrono dati tangibili sui quali sostanziare un progetto volto allo studio e alla conoscenza approfondita dell'edificio, in previsione di un progetto consapevole di riconversione delle componenti strutturali degli impianti originari (per esempio le condutture che attraversano le murature) con una ricaduta che si auspica positiva sulla conservazione delle collezioni.

Gli studi condivisi da GAM e Politecnico sono quindi finalizzati alla messa a punto di campagne di ricerca ed analisi volte alla raccolta di dati diagnostici sui quali impostare più efficaci operazioni di manutenzione: ausili di cui non si disponeva durante i lavori di riordino edilizio condotti tra il 2002 e il 2006. Alcuni interventi sono stati eseguiti con criteri e metodi idonei in edifici di recente costruzione ma che, impiegati su tipologie edilizie antiche, ne hanno alterato le dinamiche fisiche e chimiche che presiedevano alla vita dell'edificio. La costruzione del vespaio per ridurre l'umidità nei depositi sotterranei ha comportato l'innescarsi di un degrado nelle murature molto più evidente di quanto si volesse bonificare con un intervento conservativo che ha snaturato l'equilibrio secolare della Villa.

Dopo una prima constatazione dell'inefficacia delle operazioni di restauro condotte nel sottoterraneo nell'ala est, si è arrivati alla sospensione e revisione dell'intervento nel corpo centrale dove, si sono così potute comprendere e salvare preesistenze edilizie fino ad allora misconosciute; ovvero i condotti interrati che pescavano aria all'esterno, nel plenum sotto la scalinata della facciata d'onore, per condurla in stufe dove era scaldata prima di essere diffusa nelle sale nobili. La correttezza

za dell'interpretazione delle strutture architettoniche superstiti è stata confermata dal Politecnico, che si è così fatto carico di valutare analiticamente il potenziale attuale del sistema di riscaldamento antico, considerando la fattibilità di una sua possibile riconversione per condizionare in modo naturale il Museo [7].

Potrebbe essere questo un primo passo verso la trasformazione, proposta dal Politecnico, della Galleria in un Museo Verde, ovvero in una struttura capace di abbassare i consumi, anche moderando i risultati attesi [8].

La ricerca si è poi ampliata alle altre Ville coeve, individuando la tipologia delle stufe del Museo, nella Villa Reale di Monza, a conferma dell'affermarsi nel Settecento di una tecnologia condivisa.

Alcuni importanti edifici dell'epoca presentano, infatti, un impianto di riscaldamento analogo basato sulla diffusione di aria attraverso condotti che percorrono le murature dell'edificio e vanno a potenziare il sistema puntuale dei camini di tipo Rumford, rivestiti in maiolica, che decorano le sale. La serie di stufe, poste nel seminterrato, distribuiva aria calda nelle sale di rappresentanza e negli appartamenti privati, attraverso il sistema ideato per il riscaldamento di più vani sovrapposti in altezza. I caloriferi, detti alla Meissner, erano collocati negli interra- ti e servivano le sale soprastanti, al piano terra ed al primo piano, nelle quali sono presenti delle bocchette traforate dalle dimensioni medie di circa 40x40 cm, realizzate in ferro. Ulteriori implementazioni del sistema originario con stufe nelle ali laterali risalgono poi all'Ottocento [9]. Nelle sale sono tutt'ora conservate le bocchette mediante le quali l'aria calda viene immessa nell'atmosfera del locale, modulata da una griglia la cui apertura può venir regolata secondo necessità mediante una apposita maniglia.

Da questi apparati esce ancora oggi il calore prodotto da una caldaia centralizzata a cui spetta il compito di scaldare sia l'aria che circola nei condotti, sia l'acqua che arriva ai termosifoni posti nelle sale dei bracci laterali dell'edificio.

In otto anni, il monitoraggio dello stato di conservazione delle opere, esposte a molteplici cicli di variazione di temperatura non calibrata e senza il controllo dell'umidità che ne consegue, hanno evidenziato come le opere stiano accelerando il loro processo di degrado.

Nella valutazione del danno causato dalla variazione repentina o iterata nel tempo delle condizioni microclimatiche, un ruolo importante rivestono le risposte caratteristiche dei materiali costitutivi delle opere e i possibili disequilibri innescati dai restauri [10]. Su questi temi non mancano studi ad hoc anche molto raffinati ma, per ovvie ragioni, condotti soprattutto su modelli. L'uso dei quali semplifica enormemente le variabili in atto ma, nonostante questo, rende immediatamente comprensibile e numericamente dimostrabile la complessità che l'interazione dei materiali comporta. Legno, tela, gesso, pigmenti e colle rispondono alle variazioni microclimatiche in modo diverso, la loro interazione in un unico manufatto produce tensioni che agiscono come forze, anche contrapposte, capaci di alterare la coesione tra gli strati [11].

La complessità all'interno del singolo manufatto è quindi sollecitata, con le difformità descritte, dai cicli delle stagioni, dal variare della temperatura nell'alternarsi del giorno e della notte, dai moti convettivi dell'aria, dalla presenza di polveri, dalle sollecitazioni della movimentazione e dall'afflusso dei visitatori [12].

Molte opere sono quindi oggi al collasso per molteplici fattori sui quali vale la pena continuare le ricerche sulla storia

della loro conservazione e attivare nuovi studi finalizzati a una sempre più puntuale comprensione di quali siano le misurazioni da condurre e i parametri da considerare come ottimali.

Differenze notevoli nelle risposte alle sollecitazioni fisiche si riscontrano tra le opere in relazione ai diversi stadi di conservazione. I dipinti in prima tela assestati nel loro invecchiamento associano alla qualità pittorica della superficie, una duttilità maggiore e permettono operazioni di manutenzione meno gravose di quanto richiesto dai dipinti sottoposti nel tempo a interventi di restauro invasivi come i trasporti e le foderature, che dimostrano sempre più limitate capacità di adattamento e pretendono nuovi interventi di restauro [13].

La mancanza di umidità o la presenza di particolari flussi dell'aria dentro le sale espositive, ancora da dimostrare analiticamente, hanno causato nei dipinti deformazioni del supporto che provocano distacchi della superficie pittorica. Anche in questa situazione, le opere dove la sofferenza della struttura è maggiore sono quelle irrigidite dalla presenza di tele da rifodero, inframezzate da consistenti strati di colla-pasta o cera-resina; viceversa, cedimenti recuperabili con semplici tensionamenti si riscontrano in dipinti a tela libera, senza cioè interventi di foderatura o consolidamento con resine termoplastiche.

Senza ulteriori approfondimenti non si può certo imputare il degrado a una ragione sola ed univoca, ma di fatto una mappatura dei dipinti esposti nelle sale del Museo, rivela come, più evidenti distacchi di cromia, corrispondano a due fattori ricorrenti: da un lato la vicinanza evidente ai bocchettoni di fuoriuscita del calore, dall'altra a una storia conservativa che ha comportato restauri invasivi tipo logicamente simili.

Numerosi e dimostrati sono gli effetti secondari degli interventi di restauro, quelli che però paiono comportare maggiori criticità in relazione al clima del Museo, -che presenta una tipologia di sollecitazioni di caldo e freddo, secco e umido, spesso portati a valori estremi-, e probabilmente in relazione agli anni trascorsi dalla loro esecuzione, sono i già citati trasporti e foderature.

Sono queste due pratiche di restauro molto comuni nel Novecento, tanto che erano state adottate in modo ricorrente dallo stesso laboratorio di restauro interno al museo come interventi preventivi atti a "rafforzare" la struttura dei dipinti [14]. Erano considerati interventi di "piccola manutenzione", operazioni conservative che oggi sono considerate molto invasive e quindi applicabili solo in casi "estremi". Scriveva Mario Bezzola, restauratore conservatore del Museo negli anni Trenta:

"Da oltre un secolo si è ideata ed attuata una procedura per la quale, quando si tratti di pitture ad olio, assicurata la superficie dipinta con un rivestimento di carta o tela su di essa incollate, si addivene alla distruzione della originale tavola o della tela di supporto, ed alla asportazione dell'imprimatura ammalorata. La pellicola residuale, costituita dal solo strato di materia colorante e delle materie glutinose, viene poi applicata, su una nuova imprimatura su di una nuova tela. Da codesto male sono, purtroppo affetti non pochi dipinti ad olio della prima metà dell'ottocento condotti su tele quasi sempre di fabbricazione francese e che presentano appunto un errore nella composizione della masticca.

L'operazione del trasporto, che affronta non dubbie difficoltà tecniche e richiede, soprattutto, intelligente pazienza, è stata più volte eseguita nel nostro laboratorio con ottimo successo... È assai più semplice la rintelatura o foderatura, che si risolve nell'applicazione sul rovescio del dipinto, di una

nuova tela di rinforzo, fatta aderire all'antica con una miscela composta solitamente di colla animale e di farine di cereali. Nel laboratorio sono state fatte interessanti e convincenti esperienze anche con miscele resinose, in sostituzione di quelle a base di colla e farine di cereali, con i procedimenti di uso comune in Olanda, in Inghilterra, ed anche in Germania.

La foderatura dà ottimi risultati quando occorre dar solidità ad una tela sdrucita, riparare piccole o grandi lacerazioni, ridurre piana la superficie dipinta, quando la tela, per le più diverse ragioni, abbia perduto la sua tensione, e non valga a restituirla lo sforzo delle chiavi appositamente messe nel telaio. Essa giova anche, talvolta, a ridare solidità alla crosta di colore, smossa o sollevata... La più frequente attività del laboratorio è intesa alla pulitura delle pitture. È compresa, nel generico nome di pulitura, una serie di operazioni che vanno dalla semplice detersione di un leggero sudiciume, fino all'asportazione di una vernice, per qualsiasi causa ingiallita, intorbidata, disgregata. Tipico il sudiciume che si addensa sui dipinti posti in locali di non grande capacità, riscaldati dal termosifone. Essi vengono talvolta ricoperti da una patina grigio-nerastra che, alterando completamente i toni dei quadri ed offuscandone il colorito, li riduce nelle condizioni di tappezzerie sporche ed uniformi.

L'esposizione invece in ambienti umidi, dà luogo alle più svariate alterazioni della vernice. Quando questa subisce la più grave delle offese, e cioè la disgregazione molecolare, per cui perde in tutto od in parte la sua trasparenza, ove non si presenti l'assoluta necessità della rimozione, si ricorre all'ormai vecchio metodo di rigenerazione della resina che compone la vernice, mediante l'esposizione del dipinto all'aria satura di vapori d'alcool. Anche l'asportazione di vernici ammalorate si è presentata necessaria frequentissimamente, e venne eseguita, tanto col sistema a secco quanto con l'ausilio dei più adatti solventi... Tra i minori, più frequenti interventi, sono specialmente da notare i consolidamenti delle croste di colore parzialmente smosse. Si è gradatamente escluso in molti casi in cotale pratica, l'uso tradizionale della colla, per raggiungere lo stesso risultato, ed in modo più sicuro e duraturo, con una miscela resinosa". [15]

Ben diverse sono le intenzioni e le finalità che presiedono oggi alla scelta dell'intervento di restauro che deve ottemperare innanzi tutto a un bisogno di leggerezza e di non invasività, così da mantenere inalterata la composizione dei materiali costitutivi, la morbidezza delle tele che hanno ancora i pregi del lino, la freschezza delle superfici dipinte, che troppo spesso si leggono ormai "arricciate" dai 90 gradi dei ferri da stiro impiegati, un tempo e purtroppo ancora oggi, per saldare, imprimendoli, i colori nella trama e nell'ordito della tela.

Il passaggio da una cultura del restauro, quale vanto di una tradizione italiana, ad operazioni di buona manutenzione preventiva che limitino al minimo l'intervento sulle opere, operando piuttosto sui fattori legati alla loro conservazione, sta diventando buona prassi [16].

Conservare significa innanzi tutto creare attorno all'opera un ambiente idoneo. La realtà è molto più complessa di un modello perfetto e gli ambienti museali, persino considerando quelli dove sono attive le più efficaci strategie di controllo del clima, sono luoghi reali dove gli oggetti convivono e condividono fattori di stress comuni a fronte di esigenze conservative diverse e di variabili che devono essere considerate nella loro singolarità e nella loro dinamica spaziale e temporale. L'evidenza del dato scientifico si somma alla consapevolezza dell'unicità di ogni manufatto; nella evidenza di quanto i dati di

conoscenza e le informazioni siano iscritte nella materia e nella struttura delle cose, rivalutando quindi gli aspetti empirici e deduttivi della verifica, non solo sperimentale.

Da una prima codificazione di parametri standard di conservazione per quanto concerne temperatura, calore, umidità, ventilazione, luce, vibrazioni, degrado biologico, si è giunti alla consapevolezza che l'indicazione di un range di variazione applicabile a singole categorie di manufatti sia un criterio velleitario. Fermo restando che l'umidità relativa è la variabile più importante per i materiali organici igroscopici.

Limitandoci alla questione del clima, si deve però considerare quanto i dati di temperatura e umidità relativa ambientale siano solo due di molti parametri misurabili. Tutta da verificare è per esempio l'iterazione dell'opera con la parete [17], per questa analisi abbiamo quindi attivato misurazioni specifiche in nel microambiente che si crea dietro il quadro, per verificarne la difformità rispetto ai parametri della stanza e della muratura. È ancora da indagare il valore conservativo che hanno i vetri sul fronte - oggi molto di moda nei musei con maggiori risorse economiche - o la giustapposizione di materiali coibentanti sul retro dell'opera [18]. Un tempo, per esempio, si usava ricoprire le murature con tappezzerie di seta imbottite di lana o decorarle con strati di intonaco e cere, creando superfici di appoggio diverse, i cui differenti esiti sulla tenuta di parametri di umidità e temperatura delle superfici sono ancora oggi da indagare quali ulteriori variabili capaci di influenzare il microclima attorno all'opera, come già si evince dalle prime rilevazioni.

Anche su questo fronte sono state avviate ricerche e misurazioni atte a indicare linee guida su elementi che tanta importanza hanno per la loro ricaduta museografica ed economica, come la messa in opera di "vetri conservazione" su una intera collezione.

Altri fattori di conoscenza dell'edificio e delle opere forniscono, confrontati tra loro, elementi utili alla definizione di possibilità di conservazione diverse da quelle consuete. Dalla pretesa applicazione degli standard si è arrivati a due soluzioni apparentemente estreme: da un lato a climatizzare ogni singola opera in un microspazio confinato, dall'altra a creare entro le sale espositive passaggi climatizzati a solo beneficio del pubblico, come nel Castello di Schoenbrunn a Vienna.

Quanto si vuole perseguire in Villa Reale è invece una soluzione dalle intenzioni ancor più minimali, più affine al naturale scorrere del tempo, perché vuole mitigare solo gli eccessi del clima, con interventi di buon senso e minima invasività, come la naturalità dell'ordine delle cose insegna [19].

Ma non è qui il caso di anticipare soluzioni ancora in corso di elaborazione, per la Villa Reale, bensì di apprendere e confrontare il problema della Galleria d'Arte Moderna con quanto è stato fatto in realtà analoghe, in Italia e in Europa.

Ogni soluzione possibile è infatti conseguenza di un lavoro di conoscenza, prima di tutto, dei limiti e delle potenzialità dell'edificio da riqualificare nella direzione della piena valorizzazione delle sue risorse: dalla persiane, alle tende, ai flussi freschi dell'aria che potrebbero arrivare, attraverso i condotti dal giardino, nelle sale.

L'intervento dovrà prevedere soluzioni idonee alla riduzione degli eccessi più dannosi, anche ampliando e ridiscutendo i valori standard imposti dalla trattatistica. Ribaltando i prerequisiti di un impianto di riscaldamento, come elencati da Dario Camuffo per una chiesa, si arriva per un museo a individuare la necessità di ottemperare, con la scelta di un riscaldamento conservativo, in primo luogo alla esigenze della con-

servazione delle opere, poi alla limitazione dell'impatto invasivo del sistema (danni alle strutture), a seguire quello ambientale e visivo, per mettere poi, solo alla fine di questo ordine di priorità, il comfort termico per il visitatore.

Altri elementi di valutazione sono poi il risparmio energetico, i costi di installazione, il funzionamento e la manutenzione, il restauro di opere d'arte nel caso il sistema ne acceleri il decadimento, le tradizioni locali, il gusto delle persone coinvolte [20].

Anche il pubblico va convinto che la normalità, infatti, non sia mai nella media, ma semmai nella moda, e uso questa parola come concetto statistico ma nel piacere del doppio senso.

Il visitatore potrà soffrire un poco di calura estiva e un clima magari più rigido d'inverno, se questi si riveleranno criteri di buona manutenzione del patrimonio, applicabili attraverso soluzioni minime, che non espongono l'intera collezione al rischio connesso e sperimentato di guasti tecnologici incorsi ai sistemi di climatizzazione forzata. La legislazione e la normativa tecnica hanno recepito queste sollecitazioni e modificato nel tempo l'approccio legislativo [21] che indica, con la norma UNI 10969 del 2002 Beni culturali, Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni, un metodo per il conseguimento di livelli di corretta conservazione consapevoli della storia specifica di ogni manufatto, oggetto o edificio che sia [22].

Le sculture e i dipinti afferenti all'Ottocento sono già un complesso eterogeneo di manufatti che oltre ai materiali della tradizione sono stati realizzati con i nuovi prodotti di sintesi, attraverso ricerche e sperimentazioni sofisticate sia dal punto di vista materico, sia tecnico. Dai bozzetti e dai modelli in gesso, alle traduzioni in bronzo e marmo di opere scultoree, dalle terrecotte alle cere, nelle più svariate declinazioni di foggatura e patinatura, dai dipinti su tavola a quelli su tele variamente preparate, alle numerose varietà di colori e di vernici offerte dalle nuove ditte di prodotti per belle arti, variati poi per dimensioni, intenzioni, destinazione, i due secoli di pittura e scultura conservati dalla Galleria mostrano svariate e complesse problematiche conservative [23].

Un'ulteriore considerazione meritano le diverse scelte museologiche e museografiche che si sono succedute in quasi cento anni di attività del museo, condotta in modo attivo o anche solo affidata al mero scorrere del tempo [24].

Questo volume, curato da Davide Del Curto, è quindi la premessa necessaria a studi e ricerche che devono, infatti, sostanzarsi con altre esperienze avviate in edifici e musei complessi quanto quello che è nostro oggetto di indagine. Le esperienze raccolte nella pubblicazione sono stimolanti casi studio sui quali impostare il nuovo progetto di ricerca, volto ad ovviare i limiti e le criticità dell'attuale impianto termico del Museo, con eccessi di caldo in inverno, causati dal sistema di riscaldamento attuale e per la totale mancanza di apparati di raffreddamento in estate.

Le conoscenze conseguite hanno condotto agli approcci fin qui proposti, per alcuni aspetti innovativi rispetto alla stessa normativa in atto, che indica standard e parametri irraggiungibili per molti Istituti, se non con operazioni di totale, invasivo, rinnovamento strutturale. Questo significa passare alla applicazione di dati certi, alla elaborazione di nuove domande a partire dalla oggettiva singolarità delle situazioni analizzate. È questo un modo di procedere inconsueto, ma di certo molto utile, in un'epoca di monumentali certezze dove

è necessario tornare a chiedersi di cosa si ha veramente bisogno, quali siano i veri obiettivi da raggiungere e sulla base di quali necessità.

Porsi direttamente al cospetto dell'opera, fuori dalla moltiplicazione infinita della sua iconografia in altri supporti, nell'era della riproducibilità tecnica, significa ridare valore al manufatto quale unico e irripetibile soggetto capace di sostenere l'esperienza dell'incontro con il suo interlocutore. Questo implica un ripensamento delle ragioni e dei modi del restauro e della conservazione ma, ancor più, la necessità di ribadire con convinzione il compito proprio del Museo: la presentazione dell'opera nel pieno rispetto del suo stato, come trasmessoci attraverso il tempo, nelle migliori condizioni di fruibilità possibili. Significa predisporre interventi di conservazione innovativi e rispettosi anche in termini di risorse energetiche, mettendo in discussione sia gli approcci tradizionali, troppo pedissequamente iterati senza criticità verso gli effetti secondari verificati nel corso degli anni; sia la quantità di risorse convogliate nell'applicazione di costose tecnologie o di interventi standardizzati, tagliando, tra tutte le fasi di progetto, quelle destinate alla conoscenza e alla ricerca.

In riferimento alle linee guida per la conservazione programmata predisposte dalla Regione Lombardia, il progetto in corso si propone infine il conseguimento di due risultati: "Il primo, specificamente rivolto alla situazione della Villa Belgiojoso e della Galleria d'Arte Moderna: l'acquisizione degli elementi necessari alla redazione di un progetto esecutivo per l'adeguamento delle dotazioni impiantistiche e la redazione del progetto stesso, nelle tre fasi: preliminare, definitiva ed esecutiva, come previste dalla L. 109/94 e s.m.i.. Un secondo e più generale obiettivo è rivolto alla configurazione di un protocollo che orienti le operazioni di ricerca, analisi, indagini e verifica, ed eventualmente intervento, che possa essere adottato nell'approccio agli altri numerosi casi per i quali il Comune di Milano deve in ogni caso predisporre un programma di manutenzione e gestione". Il risultato atteso è quindi la "possibilità di realizzazione di un intervento di basso impatto ambientale, incentrato sulla gestione di moderati costi di impianto ed esercizio e correttamente relazionato alle esigenze dell'edificio, delle collezioni, della fruizione". [24]

Il conseguimento del rapporto virtuoso tra edificio e collezione può quindi essere riattivato.

Per raggiungere questo risultato è necessaria una molteplicità di conoscenze che supporti e ampli la possibilità operativa del conservatore, uno storico dell'arte con formazione umanistica normalmente incaricato della sola conservazione della raccolta. Non esiste, infatti, soluzione di continuità tra le operazioni progettuali necessarie a conservare le opere in un ambiente confortevole e quelle del restauro inteso come momento conoscitivo dell'opera. Indispensabile è quindi la partecipazione progettuale dello storico dell'arte/conservatore/soprintendente, del chimico, del fisico, del biologo, del restauratore, del diagnosta, dell'architetto, dell'ingegnere, dei diversi tecnici capaci di offrire i dati necessari alla conoscenza analitica dei manufatti. Il confronto tra diverse specializzazioni diventa formativo e programmatico perché mette a disposizione saperi e consapevolezze diverse, utili all'individuazione delle necessità conservative dei materiali di competenza: le opere e l'edificio; per arrivare, con intenzione, a conseguire pienamente le finalità del Museo.

A Cariplo, partner indispensabile a sostegno della campagna di studi in atto, va il mio più sentito ringraziamento.

Note

- [1] AMERIGO RESTUCCI, *Città e architetture nell'Ottocento*, in *Storia dell'Arte Italiana, Dal Cinquecento all'Ottocento. Il Settecento e Ottocento*, Torino Einaudi, pp.723-790
- [2] ANTONELLA HUBER, *Il Museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi, Attualità dell'esperienza museografica negli anni '50 - The Italian museum. The conversion of historic spaces into exhibition spaces. The relevance of the museographical experience of the Fifties*, Milano Lybra 1977; MARIA CECILIA MAZZI, *Musei anni '50: spazio, forma, funzione*, Firenze Edifir 2009
- [3] DARIO CAMUFFO, *Church heating and preservation of the cultural heritage: a practical guide to the pros and cons of various heating sistema - Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali. Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Milano Electa Mondadori 2006, p. 24
- [4] Sulle varie definizioni di Museo si veda: LUCIANA CATALDO, MARTA PARAVENTI, *Il Museo oggi. Linee guida per una museologia contemporanea*, Milano Hoepli 2007
- [5] CESMAR7, *Minimo intervento conservativo nel restauro dei dipinti, Secondo Congresso internazionale Colore e Conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome*, Thiene 29-30 ottobre 2004, Saonara Il prato 2005
- [6] MARIA FRATELLI, *Villa Reale: da dimora Belgiojoso a Museo d'Arte Moderna*, in MARIA FRATELLI, DAVIDE DEL CURTO (a cura di), *Edifici storici e destinazione museale: conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e integrazione degli impianti esistenti*. Preprint del convegno, Galleria d'Arte Moderna 1-2 aprile 2010, Saonara Il prato editore 2010, pp. 11-22
- [7] FABIO FORNASARI, *Procedura Villa Reale*, in MARIA FRATELLI DAVI-DE DEL CURTO, op. cit., p. 26
- [8] <http://www.das-gruene-museum.de/>
- [9] Una ricostruzione della storia del riscaldamento nelle sale è stata condotta da Emanuela Villa attraverso l'analisi archivistica dei documenti delle manutenzioni, sia ordinarie che straordinarie, che si sono susseguiti dal 1805, anno in cui la Villa cessa di essere privata, fino al 1958. Si veda EMANUELA VILLA, *I sistemi di riscaldamento della Villa Belgiojoso Bonaparte di Milano tra Settecento e Novecento: il progetto, le manutenzioni, i restauri. Progetto e Riqualificazione dell'Esistente*, tesi di laurea Specialistica in Architettura, Prima Facoltà di Architettura e Società, POLITECNICO DI MILANO, relatore: Prof.ssa Marica Forni, co-relatore: Arch. Carlo Manfredi, A.A. 2007/2008. I risultati della ricerca sono stati poi riconsiderati, con la consulenza del prof. Paolo Farina, riposizionando la data dell'impianto al momento originario della costruzione dell'edificio.
- [10] ALAIN ROCHE, *Comportamento meccanico delle opere su tela. Valutazione della stabilità meccanica alle variazioni di umidità e temperatura*, in CESMAR7, op. cit., pp. 61-72
- [11] M.F. MECKLENBURG, *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento. Failure mechanisms in canvas supported paintings: approaches for developing consolidation protocols*, Saonara, Il prato 2008
- [12] MARIA FRATELLI, *Beni mobili: la movimentazione delle opere d'arte. Riflessioni, esperienze e progetti dalla Galleria d'Arte Moderna di Milano*, Saonara Il prato 2009, pp. 352
- [13] MARCO CIATTI, ERMINIO SIGNORINI (a cura di), *Dipinti su tela. Problemi e prospettive per la conservazione*, Saonara Il Prato 2006
- [14] BEZZOLA MARIO, *Il laboratorio di conservazione delle pitture di proprietà del Comune*, in *Milano: Rivista mensile del Comune*, febbraio 1939, Fascicolo 2, pp. 77-80
- [15] *Ivi*, p. 80
- [16] Istituto per i Beni Artistici Culturali e Materiali dell'Emilia Romagna – ISAC Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Oggetti nel tempo. Principi e tecniche di conservazione preventiva*, Bologna CLUEB 2007
- [17] Un mio ringraziamento va al restauratore Alberto Fiozzi che ha problematizzato con me e con i colleghi del Politecnico la questione del microclima tra tela e parete, cito qui i suoi interventi al Convegno *Edifici storici e destinazione museale* dell'aprile 2010 e durante il seminario GAM-Politecnico, attivato presso la Galleria d'Arte Moderna nel febbraio 2011. http://www.gam-milano.com/fileadmin/sito/experience/vita_in_museo/POLIGAM.pdf
- [18] Alcune proposte sul tema, applicate ai trasporti delle opere, si trovano in MARIA FRATELLI (a cura di) *Beni Mobili*, op. cit., pp. 127-133
- [19] ADRIANA BERNARDI, *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Saonara, Il prato editore 2004
- [20] DARIO CAMUFFO, op. cit., *Scegliere un impianto termico in una chiesa*. p. 22
- [21] dalle norme UNI 10829 del 1999 *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione, misurazione e analisi*, e dal D.M.N 238 del 10 maggio 2001 *Atto di indirizzo sui criteri tecnico scientifici e sugli standard di sviluppo e funzionamento dei musei*. Vedi D. DEL CURTO, A. LUCIANI, *Monitorare il microclima negli edifici storici. una pratica preventiva come strumento di conoscenza*, in atti del XXVI convegno internazionale "Scienza e Beni Culturali" – *Pensare la prevenzione, manufatti usi ambienti*, Bressanone 13 – 16 luglio 2010, Arcadia Ricerche, Venezia 2010, pp. 203-212
- [22] La normativa nazionale deve essere integrata con i compiti sussidiari delegati alla Regioni. Si veda sul tema: Regione Lombardia, *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione consuntivo e scientifico*, Milano Guerini e Associati 2003, Regione Lombardia, *Accreditare i musei, L'esperienza della Lombardia*, Milano Guerini e Associati 2004.
- [23] MARIA FRATELLI, ERMINIO SIGNORINI (a cura di), *Problemi Conservativi dei manufatti dell'Ottocento. I dipinti, la Carta, i Gessi*, Atti delle giornate di studio, Milano 2,8,15,23,30 maggio 2006, Spazio Oberdan, Saonara, Il prato 2008
- [24] MARIA FRATELLI, ANNA AFFEDE, EVA BERTI, ALESSANDRO SALAMONE, *Cento anni di restauro. I restauri della Galleria d'Arte Moderna di Milano nei documenti d'archivio*, in CESMAR 7 e DIANA KUNZELMAN (a cura di), *L'attenzione alle superfici pittoriche. Materiali e metodi per il consolidamento e Metodi per valutarne l'efficacia - 2*, Quarto convegno *Colore e Conservazione materiali e metodi nel restauro delle opere policrome mobili*, Milano 21-22 novembre 2008, pp. 159-174. Si veda anche: MARIA FRATELLI (a cura di) con ricerche di archivio e interviste di Anna Affede e Eva Berti, *Restauri e restauratori alla GAM 1927-1949. Primi esiti di una ricerca*, Saonara Il prato 2009, pp. 12
- [25] FONDAZIONE CARIPOLO. I BENI CULTURALI COME VOLANO PER LO SVILUPPO ECONOMICO E SOCIALE DEL TERRITORIO. Bandi "Arte e Cultura" 2009: Diffondere le tecnologie innovative per la conservazione programmata del patrimonio storico – architettonico

Protection of “movable” property, protection of “immovables”, indoor climate

Some conflicts to overcome

Alberto Grimoldi

Politecnico di Milano – Dipartimento di Architettura e Pianificazione, grimoldi@polimi.it

How certain standards of temperature and humidity for the preservation of many classes of objects have been defined is a matter of great interest that in these years is being reconstructed in its own historical development: the more history is rigorous and makes its task, the more history is against “tradition”. It records a succession of events, which is not a rational sequence or the development of a coherent thought, but the product of fickle and even contradictory actions and wishes, the result of changing conditions, the parallel running of differently lasting processes.

Obviously these have not to be confused with a supposed “logic” of history, with the identification of large cycles following each other and ending with the demonstration that this is the best possible world. Historical research is an anatomy analyzing present as well as the “good old days”. It reveals the different meanings that complying with habits or repeating acts, which are seemingly equal may acquire.

If all of this may be admitted for society events in general, even with some naughty thoughts, much harder resistance appears when particular histories, transformations in one or another field of science or technology, a change in material conditions and tools allowing it, are at stake. In this fields the myth of progress is more difficult to be exploded as the idea that knowledge development would be governed by an internal coherence guaranteeing the highest level gradually reached by concepts and practices. Science and technology would not be conditioned – as it could seem – by practical questions, by contingent events encouraging one or another direction of research. There would not be any imbalance (even consistent) in the development of particular sectors of the techniques, nor desertions and subsequent renewals. To deny this, you are spoiled for choice: even limiting to extreme cases, you only have to look at wood distillation, in the beginnings of illuminating gas production, quoted by a 1849 patent [1], soon abandoned, appeared once again in war economy just before World War II [2], recently dusted off as an alternative energy...[3]

The introduction of climate control and lighting systems for visitors comfort in museums – intended as buildings designed exclusively for preservation of artworks extracted from their own context – as well as the transportation of artworks to safer places, have increasingly focused the attention upon the tem-

perature and humidity of rooms and spaces where artworks are preserved and upon their changes as a decay factor. At the same time, an increasing number of visitors, till the amount of the past thirty years, has gradually acted as an efficient cause of increasing importance in determining the environmental conditions and their slow - or more often sudden - variations.

The parameters, the measures defining climate, have then become a discriminating factor, and protection has come to coincide with the maintenance of certain values. Describing a phenomenon, considering all its variables, requires to introduce them gradually, making working hypothesis follow each other, that means, at first, to simplify. Only slowly observation can capture the interplay between different aspects, can introduce the corresponding increased number of unknowns, can reduce the error through progressive approximations. While this development occurs, the urgent problems are solved with the available data, which can sometimes lead to wrong conclusions, which are then strengthened as a practice not always wise - a set of procedures with their own technical and economic background - which is then more difficult to be questioned.

The idea of wondering why objects we want to preserve have survived even in conditions highly different from those required by the most common standards (which is the forefront of basic research) is something elementary only in appearances.

It involves, firstly, a multidisciplinary research whose first step is not only an history of maintenance of buildings but also an history of what they contain. During the “Restoration” period, Milan was an example of how the issues were already well fitted, following a pattern still actual today in some similar unusual cases [4]. Here, the Royal Imperial Office of Public Buildings (I.R. Ufficio delle Pubbliche Costruzioni) for its competences on buildings construction and management was divided into a “building service” and a “furniture service” [5], which were further specified for Royal Imperial Palaces (I.R. Palazzi di Corte [6]).

Secondly, this involves a conception of “building physics” that has ripened in forty years and has been developed while standards which building services design is based on have hardened. An old building has often been designed to withstand climatic variations, to absorb them through its inertia – a concept to be added to that one of insulating, introducing the essential parameter of duration – depending on the building

structure and size. Studies on this topic have taken place in Germany [7] since the Eighties with the high level of knowledge guaranteed by a long term surveys and they are beginning just nowadays to find equivalent ones in Italy.

Furthermore, studies on climate change occurred in the past become significant. On this topic, the measurements from the XVIII century to present days still offer space for reflection, whereas the previous non-quantitative sources, on which overall studies exist too, should also be carefully considered. An external factor comes into play indirectly, an extrinsic requirement directing the development of technology: conservation of buildings and objects cannot be separated from a more general need for energy conservation. Such a demand calls into question full and expensive indoor climate control systems but, on the other hand, if the answer is exclusively based on the simple concept of isolation, it could justify unnecessary measures, in the Seventies but even today, ignoring the needs of buildings preservation.

A constant control of temperature and relative humidity, with sophisticated equipments able to absorb changes induced by public, however, seemed since the Eighties a problematic general objective. High costs of installation and management, fragility and vulnerability of the machines and of measuring instruments were sustainable only in a few number of big institutions with a high number of visitors, which caused itself unfavorable conditions and justified the technical *tour de force*.

This "age of mechanization" hid other deficiencies, especially in Italy. In the rest of Europe and in the United States since the late XIX century, the creation of large museums had more often requested new buildings, giving rise to a new typology that had developed during that century. A new attention for purely functional problems was added to the relationship between environment and works and to distributive solutions. At first, above all, this concerned an effective natural lighting, obtained in part through the orientation of the whole building, or, in specific cases, through a deformation of the plan [8], while zenithal lighting made skylights a characterizing element both of internal and external building shape. For security reasons, both archives and museums were in general designed without artificial lighting, which involved an open flame until the introduction of electric light. One of the first protection measures in the Lombardo Veneto region was the prohibition of any flame inside the Palazzo Ducale in Venice [9] and in 1869-76 the Kunsthistorisches Museum in Vienna was designed to work with natural light only [10]. The use of gas was limited to a few service areas in the ground floor. Only in 1891 electric light was introduced in the British Museum and after a long debate, since 1892 to 1905, it was the turn of Palazzo Ducale in Venice [11].

Climate control was to assure visitors comfort rather than artworks preservation and, even if it was not a secondary tool, it seemed to be subordinated to fire protection. The Alte Pinakothek of Munich (1825-40), one of the most coherent realizations of the century, used hot air coming up from stoves located in the basement. These stoves were only reachable from the outside [12]. Fifty years later, the plans of Pennsylvania Academy of Fine Arts of Philadelphia [13] - Frank Furness studied in France, where hot air was used until the *calorifère* of Musée Camondo - show a systematic series of canalizations, while John Soane was - starting from his own house-museum - a paladin of Perkins' steam radiator [14].

Rarely air temperature was higher than 17°C, if not less, considering public spaces standards [15]. Natural air circula-

tion, inertia of the walls due to their thickness, wall coverings, wall heating in some applications of Perkins' radiator, the relatively limited number of visitors, generally aimed by their own specific interests, made temperature and relative humidity variations slow.

From the middle XVIII century, another parameter was an indicator for comfort in public spaces: natural or forced ventilation and air changes. In museums that was not considered essential because of the huge rooms dimensions compared to the exiguous number of visitors and for the wide and non airtight glass surfaces. Moreover, the lack of gas lamps - excepted for Kensington Museum, then Victoria and Albert - made not necessary to evacuate the products of combustion. At the beginning of XX century, the introduction, in the English speaking nations, of the air conditioning (which directly derived from ventilation) was due to air pollution [16] and to the relevant carbonaceous deposits that it caused [17].

The indoor conditions of museums and sumptuous houses, real art collections (many of them have become museum-houses), did not appear substantially different.

In Italy, even if working mechanisms and technical equipments were known, there was less justification for high costs and voluminous machines and ducts in relation with environmental conditions. Interventions on indoor climate in a few museums built between the two wars and in the famous "modern" museums of the postwar period, generally new exhibition designs or refurbishments in historical buildings, consisted in heated spaces for visitors and attendants.

Interior design changes and new exhibition choices, as the demolition of wall barriers of the loggias of Palazzo Rosso in Genova [18], their substitution with large windows and the removal of the doors between rooms, or the isolated artworks in huge rooms at Castelvecchio in Verona, defined unfavorable conditions for artworks preservation. Technical plants - the radiators in Palazzo Rosso - came from a common repertoire and what seemed to worry architects was to hide them without preventing them from working - e.g. the radiant floors in Castello Sforzesco in Milan and in Brera Picture Gallery, restored following traditional rules after World War Second [19] - or even reducing their efficiency - e.g. the famous radiator cases in the hall of Palazzo Querini Stampalia in Venice.

In a well known essay, Marisa Dalai Emiliani showed the close relation linking "modern" museology to neo-idealistic history of art and its indifference to artworks materiality and context; on the other side she even highlighted how this point of view tried to make museums and their contents more accessible, "popular", in a way that was at the same time more immediate and more cultured [20].

This approach consolidated the museum curator figure as a controller of history of art great periods and well known artworks, reintegrating under conservation activities a larger part of the "minor" patrimony, just reconnecting it to these more general categories.

This resulted in the postwar period in an even larger difference between Italy and the rest of Europe where the curator refines his own specific competences on categories of objects, their materiality and constructive techniques, and put on their specificity the quality of his own professional figure. In borderline cases the risk of a sectional vision could occur, which could make preservation correspond with maintaining temperature and humidity in empirically determined conditions, as it is widely known. This approach was surpassed by a more articulated knowledge comprehending factors determining indoor

climate, duration of considered phenomena and how fast fluctuations are, which is often a leading factor for decay.

Italian technical culture has always considered climate control just as a mechanical engineering problem, where the system works properly as long as it can insulate the space it is operating in rather than exploiting building peculiarities, which are generally ignored. A full air conditioning system had high installation and working costs, its dimension and piping length needed huge construction works, especially in existent buildings. Sometimes architects and conservators could not ignore damages created in buildings by holes, pipes and chases and tried to reduce dimensions. Gradually they tried a partial abolition of pipes, even with higher running costs, a principal air pipes section reduction with an induction system. Finally, since summer cooling was appreciated by visitors, they tried to use water as fluid because it offers – though insulating tiles- more compact systems, and they arrived to the fan coil unit - the "mobilètto" magic word- inserted in windows recess or, even better, behind curtains. With this kind of works division, architects just had to design the covering. Surely this was not the detail coherence that Semper had in designing Zurich Politecnico [21] stoves or that, even if results were not always homogeneous, was developed by well know figures during the Belle Epoque and the first postwar period. In Italian Thirties even not well known architects tried to design brass radiators, visible inside rooms, as Mario Loreti in the Palazzo della Provincia in Varese [22].

The mechanical complexity of a fan coil admits a superstructural *Verkleidung*: from the brass radiator frames designed by Carlo Scarpa and Arrigo Rudi for the new building for the Banca Popolare di Verona [23] to the precise design and the sober materials which were used by another Scarpa, Tobia, for Palazzo della Ragione, also in Verona [24], almost ten years ago. In these cases at least an ambiguous but consistent design effort is left, while in most of the current cases, as in the over-flowing painted wooden shields of doubtful nature which languish the main floor of the Royal Villa in Monza. The technical limits of these solutions, even in energy saving, are well known. Once again, a question of aesthetics and image refers to a much wider question.

A shared design is missing, patiently built up by all the actors: firstly by conservators, the real custodians of the artworks; secondly by the architects, both as experts of the construction from the past - the *Gelehrte* or Dehio's erudites – both as designers in charge of the entire building process, comprehending all the sacrifices eventually needed, as well as the use, the management and the image of a museum; thirdly by the physicists involving conceptions which have to be verified through measurements and through a correspondence between materials data and models; finally by engineers, who have to define and optimize mechanical aspects. Roles often overlap each others, tasks are not well separated and a common ground, a common basis of knowledge and language, is needed.

Without such a sharing of expertises, even the most appropriate systems could result disproportionate and invasive. The wall heating, born in smaller German museums at the end of the Eighties, already used in Wien [25] during nineteenth century and nowadays known as *Temperierung* [26], is, as everybody can see, an updated edition of the Perkins radiator. It should consist in two separated copper pipes with a twelve-eighteen mm diameter, laying behind the skirting board, next to the floor. These layout can be integrated with another pipe

circuit in higher rooms.

The advantages are obvious: air is not used as a fluid with relatively high temperatures, preventing both convective flows and consequent dust transport, both significant differences in temperature between the back side of the paintings near the cold surface of the wall and the hotter front side facing the public.

Still, environmental conditions are not enough to justify the use of *Temperierung*. It is necessary to exclude chases in plaster and masonry should never be touched. The skirting board at the base of the wall is usually achieved by adding material that provides thermal continuity between the pipes with hot water and the rest of the wall. Additional pipes may be laid if suitable locations are identified, overlapping the existing structure. This way, possible leaks could be easily identified and, in case of repairs, pre-existing wall layers have not to be sacrificed.

The wall tempering system can be integrated with other systems, when the room to be heated are huge and isolation is not enough

Systems filling the walls of pipes as a radiant floor, sacrificing almost all the plaster and making repairs difficult aiming to reach high temperatures must be avoided. The devastation of plasters is even less justified when it is performed for a formal purpose, in other words to avoid the presence of radiators considered, sometimes reasonably, cumbersome and contradictory.

An heavy impact in installation always correspond to an heavy thermal impact, breaking the precarious equilibrium between the current comfort standards, inertia and heat insulation, energy loads as limited as possible. The aim is to integrate and improve the water and thermal balance which is proper of each single building, not to substitute this equilibrium with an independent, when not conflicting, one.

Notes

- [1] Due to the clever and discussed Munich hygienist and chemical Max von Pettenkofer (see SCHILLING, N. H., *Handbuch für Steinkohlengas-Beleuchtung - Mit einer Geschichte der Gasbeleuchtung von Prof. Dr. F. Knapp*, München, Rudolph Oldenbourg, 1866 p. 15) very criticized even because of his suggestions for the restoration of paintings (*Über Ölfarbe und Conservirung der Gemälde, Gallerien durch das Regenerations, Verfahren*, Braunschweig, Vieweg, 1870)
- [2] PETER-MICHAEL STEINSIEK, *Forst - und Holzforschung im Dritten Reich*, Remagen, Kessel 2008
- [3] ERIK ECKERMANN, *Alte Technik mit Zukunft, Die Entwicklung des Imbert-Generators*, München, Oldenbourg, 1986, published by the same editor (see note 1) of many 19th century technical magazines and handbooks about gas-light
- [4] A significative anthology in (edit by) PAOLO MARIA FARINA, *Dal restauro alla manutenzione: Dimore Reali in Europa*, Saonara, il Prato, 2003
- [5] AGNESE DIONISIO, *L'amministrazione la direzione dei lavori pubblici in Lombardia nella stampa specialistica*, in (edited by) GIULIANA RICCI and GIOVANNA D'AMIA *La cultura architettonica nell'età della Restaurazione*, Mimesis, Milano, 2002, pp. 101 – 105, p. 104
- [6] FRANCESCO REPHISTI, *Le fabbriche della Corona. Uffici competenti a Milano da Giuseppe II a Francesco Giuseppe I*, ibidem, pp. 107-113.
- [7] See the studies upon the Ulm Cathedral by the Dombaumeister G. Lorenz quoted by HELMUT KUNZEL, *Bauphysik und Denkmalpflege*, Fraunhofer IRB Verlag, 207, pp. 67-68. See also the 10 years studies upon the Sans Souci Bildergalerie, edited by DANIEL FITZENREITER, *Bildergalerie Sanssouci: Umsetzung und Erfahrungen mit einem Klimakonzept in Klimagestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und Nutzerwünschen. Tagungsblatt 2007 des ersten Konservierungswissenschaftlichen Kolloquiums in Berlin \ Brandenburg vom 16.11.2007 in Potsdam; Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologische Landesmuseum...*, Berlin 2008
- [8] See the project by Johann Christian von Mannlich for a picture-gallery in the Hofgarten in Muchen which has been published in *Beschreibung*

- der churpfalzbaierischen Gemäldesammlungen zu München und Schleissheim, II, München 1805). In this project, beside the Residenz building, the main building is a long rectangle consistent with the alignment of the existing adjoining wings. The interior was laid a double row of rooms inclined along the heliothermic axis, and therefore not perpendicular to the external walls, for painting and sculpture in the North and South. Cfr. PETER BÖTTGER, *Die alte Pinakothek in Munchen : Architektur, Ausstattung und museales Programm / Mit einem Anhang: Abdruck der fruhesten Gemälde Verzeichnisses der Pinakothek aus dem Jahre 1838 von Georg von Dillis ; Nach den heutigen Inventarnummern identifiziert von Gisela Scheffler*, Munchen, Prestel-Verlag, 1972, pp. 63 -71 e figg. 307 - 308
- [9] This measure, which dates back 1821, was inspired by the Patriarch of Venice Pyrker, who won a *Handschrift* by Emperor Francis II in a few weeks, has been told by the protagonist himself. Cfr. (edited by) BRUNO BERTOLI e SILVIO TRAMONTIN, *La visita pastorale di Giovanni Ladislao Pyrker nella diocesi di Venezia (1821)* Roma, Storia e Letteratura, 1971, pp. 199 - 200, partially quoted by GIAN DOMENICO ROMANELLI, *Venezia Ottocento*, Roma, Officina Edizioni, 1977, pp. 154 e 238
- [10] About the Kunsthistorisches Museum, among the bibliography about Gottfried Semper and about his contribution, see: ULRIKE PLANNER-STELNER, KLAUS EGGERT, *Die Bauten und ihre Architekten: Friedrich von Schmidt, Gottfried Semper, Carl von Hasenauer*, Wiesbaden, Franz Steiner 1978; MANFRED WEHDORN, *Die Bautechnik der Wiener Ringstrasse, mit einem Katalog technischer Bauten und Anlagen in der Ringstrassenzone*, Wiesbaden, Franz Steiner 1979; BEATRIX KRILLER, GEORG KUGLER, *Das Kunsthistorische Museum: die Architektur und Ausstattung : Idee un Wirklichkeit des Gesamtkunstwerkes*, Wien, Christian Brandstätter 1991; CÄCILIA BISCHOFF, *Das Kunsthistorische Museum: Baugeschichte, Architektur, Dekoration*, Wien Brandstätter 2008
- [11] MARINA FRESA, *L'introduzione della luce elettrica nel Palazzo Ducale di Venezia (1892-1905). Un dibattito di fine Ottocento in bilico tra moderno e conservazione, sicurezza e pittoresco*, in *Recuperare*, n.44, nov.-dic. 1989, pp.649-651
- [12] BÖTTGER, op. cit. just mentions the exsence of these stoves, p. 63. Figg. 20 e 21 picture the project drawings of the thirteen stoves (in the cellar plant), and the hot air ducts (in the cross section)
- [13] JAMES F. O'GORMAN, *The Architecture of Frank Furness*. Philadelphia, Philadelphia Museum of Art, 1973 fig 3-9, p.85; GEORGE E. THOMAS, MICHAEL J. LEWIS AND JEFFREY A. COHEN, *Frank Furness, The Complete Works*, New York, Princeton Architectural Press, 1991, p. 161. About Furness and his bibliography see also MICHAEL G. LEWIS, *Frank Furness. The architecture and the violent mind*, New York, Norton 2001
- [14] See TODD WILLMERT, *Heating Methods and Their Impact on Soane's Work: Lincoln's Inn Fields and Dulwich Picture Gallery*, in *Journal of Society of Architectural Historians*, LII, 1, march 1993, pp. 26\55
- [15] A good reference can be the values exposed in CARLO RUMOR e HANS STROHMENGER, *Manuale teorico-pratico di riscaldamento, ventilazione e impianti sanitari*, Milano, Hoepli 1911, and in the previous handbook RINALDO FERRINI, *Scaldamento e ventilazione degli ambienti abitati*, prima ed. Milano Hoepli 1886.
- [16] Un quadro sintetico dell'inquinamento da carbone in Ercole Sorì "Il rovescio della produzione" Bologna, il Mulino, 1999 pp. 62-77 e bibliografia.
- [17] J.P. BROWN and WILLIAM B. ROSE, *Humidity and Moisture in Historic Buildings. The origin of Building and Object Conservation*, APT Bulletin Volume XXVII n.3 pp. 12-25
- [18] Over all the still grotesque CATERINA MARCENARO, *Una fonte barocca per l'architettura organica: il palazzo Rosso di Genova*, in *Paragone* a. XII, 1961, n.139 pp. 24-49, obviously disproved by ENNIO POLEGGI, *Strada Nuova, una lottizzazione del Cinquecento a Genova*, Genova, SAGEP 1967. For an up-to-date interpretation of the furnishings and collections, see (edited by) PIERO BOCCARDO e CLARIO DI FABIO, *I Musei di Strada Nuova: palazzo Rosso, palazzo Bianco, palazzo Tursi*, Torino, Allemandi 2004. For other interpretations of the furnishing, a complete bibliographic guide about Franco Albini's work, in ANTONIO PIVA, VITTORIO PRINA, *Franco Albini 1905 -1977*, Milano, Electa 1988 pp. 443-448. See also Augusto Rossari, *I musei genovesi* in AUGUSTO ROSSARI, FEDERICO BUCCI, *I musei e gli allestimenti di Franco Albini* Milano, Electa, 2005, pp 42, 62. For the apartment in Palazzo Rosso, today no more existing, see CATERINA MARCENARO, *Casa di un amatore d'arte.*, See also GIANPIETRO BOSONI, FEDERICO BUCCI, *Il design di Franco Albini*, Milano, Electa 2009, pp. 112-115
- [19] About Brera Picture Gallery, see LEONARDO BORGESE, *Brera sarà la più bella pinacoteca del mondo*, il Corriere della Sera, 26.3.1949, now ID, *L'Italia rovinata dagli Italiani*, Milano, Rizzoli, 2005, pp. 59 - 63. In p. 60 is a description of the underfloor heating system which guaranteed a 12-14°C indoor temperature and substituted a previous warm-air heating system
- [20] *Musei della ricostruzione in Italia, tra disfatta e rivincita della storia in Carlo Scarpa a Castelveccchio*, Milano, Edizioni di Comunità 1982, pp. 149-170.
- [21] MARTIN FRÖHLICH, *Gottfried Sempers Zeichnerischer Nachlaß an der ETH Zürich. Kritischer Katalog*, Basel, Birkhäuser, 1974, p. 277.
- [22] An overview of the Loreti's work is in *Casabella*, n. 81, September 1934
- [23] These frames have not pictured in the brochure, (edited by) ARRIGO RUDI e WALTER ROSSETTO, *La sede centrale della banca Popolare di Verona, nel progetto di Carlo Scarpa e Arrigo Rudi*, Verona BPVR 1983. For a complete bibliography, see *Carlo Scarpa, Opera Completa*, Milano, Electa 1984, p.139
- [24] Cfr. *Architetti Verona*, n. 76, 2006 pp. 7 -57, moreover pp. 54-57
- [25] A. SCHOLZ, *Allgemeine Baukonstruktionslehre... Band IV, Verschiedene Konstruktionen... fünfte, gänzlich neubearbeitete Auflage*, Gebhardt's Verlag, Leipzig 1905, p. 148 and figg. 194\198. This school is the V Burgerschule in Koflergasse, designed by Johann Haag
- [26] A first outcome of the Eighties experiences is in HENNING GROßESCHMIDT, *Die Temeperierung – Verfahren zur thermischen Bausanierung, Raumtemperierung und Klimastabilisierung in Museen und anderen Gebäuden*, München, Landesstelle für die Nicht-staatlichen Museen in Bayern, 1992. *Klima in Museen und Historischen Gebäuden: die Temperierung*, Wissenschaftliche Reihe Schonbrunn band 9, Ed. Schloss Schoenbrunn Kunstforum Ostdeutsche Galerie, Wien 2004. A critical position can be read in THOMAS LÖTHER and OLAF FREYTAG, *Temperierung historischer Gebäude – eine kritische analyse in Klimagestaltung... cit. pp. 38-46*

Tutela degli oggetti "mobili", tutela degli "immobili", clima interno degli edifici

Conflitti da superare

Come si siano determinati i valori di temperatura ed umidità per la conservazione di numerose categorie di oggetti è vicenda di indubbio interesse che proprio in questi anni viene ricostruita nel suo storico sviluppo: la storia, quanto più è rigorosa, quanto più realizza il suo compito, tanto più è nemica della "tradizione", registra il succedersi dei fatti, che non è una sequenza razionale, lo sviluppo coerente di un pensiero, ma il prodotto di azioni e volontà mutevoli e spesso contraddittorie, il risultato di condizioni che cambiano, lo scorrere parallelo di processi di diversa durata. Questi non vanno ovviamente confusi con una presunta "logica" della storia, con l'individuazione di grandi cicli che si succedono e che si concludono con la dimostrazione che il presente è il migliore dei mondi possibili. La ricerca storica è anatomia non meno del presente che del "buon tempo antico", svela il senso via via diverso che assume l'attenersi alle consuetudini, ripetere gesti solo in apparenza eguali.

Se tutto questo, non senza qualche retropensiero, può essere ammesso per le vicende della società, molto maggiori sono le resistenze quando sono in gioco le storie particolari, le trasformazioni di questo o quel campo della scienza o delle tecnologie, il mutare delle condizioni materiali e delle attrezzature che le permettono. Su queste è più difficile sfatare il mito del progresso, l'idea che lo sviluppo del sapere sarebbe governato da un'interna coerenza che garantisce il superiore livello che via via assumerebbero le conoscenze e le pratiche. Scienza e tecnica non sarebbero – parrebbe – condizionate da domande concrete, da vicende contingenti che incentivano questa o quella direzione della ricerca. Non si darebbero squilibri anche rilevanti nello sviluppo di singoli settori delle tecniche, e neppure abbandoni e successive riprese. Per smentire, c'è solo l'imbarazzo della scelta: limitandosi ai casi limite, basta citare la distillazione del legno per la produzione del gas, alle origini della produzione del gas illuminante, ripresa da un brevetto nel 1849 [1], ma presto abbandonata, ricomparsa nell'economia di guerra che precede il secondo conflitto mondiale [2], rispolverata di recente come energia alternativa...[3]

L'introduzione nei musei – intesi come edifici esclusivamente destinati alla conservazione di opere astratte dal loro contesto – di sistemi di controllo del clima a beneficio dei visitatori e di sistemi di illuminazione artificiale, e il trasporto delle opere in luoghi più sicuri, hanno progressivamente concentrato l'attenzione sulla temperatura e l'umidità delle sale e degli spazi dove si conservano le opere e sulle loro modificazioni come fattore di degrado. Al tempo stesso, la crescente affluenza di pubblico, fino alle quantità degli ultimi trent'anni, è progressivamente divenuta una causa efficiente di peso sempre maggiore nel determinare le condizioni ambientali e le loro variazioni, lente o più spesso repentine.

I parametri, le misure che definiscono il clima sono quindi diventate una discriminante, e la conservazione ha finito per coincidere con il mantenimento di determinati valori. Descrivere un fenomeno, considerarne tutte le variabili, richiede di introdurle progressivamente, formulando successive ipotesi di lavoro, cioè, in prima battuta, di semplificare. Solo lentamente l'osservazione riesce a cogliere le interrelazioni fra molteplici

aspetti, ad introdurre il corrispondente e sempre maggiore numero di incognite, a ridurre, per progressive approssimazioni, l'errore. Mentre questa maturazione si compie, i problemi urgenti si risolvono con i dati disponibili, che possono talora indurre a conclusioni errate, e su di esse si consolida una prassi non sempre felice – una serie di procedimenti con il loro retroterra tecnico ed economico – che è poi più faticoso mettere in discussione.

L'idea di chiedersi perché gli oggetti che si desidera conservare siano sopravvissuti anche in condizioni fortemente differenti da quelle richieste dagli standard invalsi, il fronte più avanzato della ricerca, è solo in apparenza elementare. Comporta, in primo luogo, una ricerca multidisciplinare di cui il primo passo è una storia della manutenzione, non solo degli edifici, ma anche di quanto contengono. La Milano della Restaurazione, in cui l'I.R. Ufficio delle Pubbliche Costruzioni per le sue competenze sulle "fabbriche" si articola in un "Servizio Edile" ed un "Servizio Mobiliare" [4], che si sotto specificano ulteriormente per gli I.R. Palazzi di Corte [5] è esempio di come le questioni fossero ben presenti, secondo uno schema che per certi versi continua ancor oggi in simili casi singolari [6].

In secondo luogo, comporta una concezione della "fisica dell'edificio" che è maturata in quarant'anni, che si è sviluppata mentre si sclerotizzavano gli standard alla base della progettazione degli impianti. Un edificio del passato è sovente concepito in modo da resistere alle variazioni climatiche, a riassorbirle attraverso la sua inerzia – un concetto che si aggiunge a quello di isolamento e introduce un essenziale parametro di durata – in modo mutevole a seconda della sua struttura e delle sue dimensioni. Gli studi in atto fin dagli Anni Ottanta in Germania [7] a questo riguardo con il livello di conoscenza che danno i rilievi condotti su tempi lunghi cominciano solo ora a trovare paralleli in Italia.

Ancora, diventano significativi gli studi sui mutamenti climatici avvenuti nel passato, sui quali le misurazioni dal Settecento ad oggi offrono ancora spazio alla riflessione, mentre le precedenti fonti non quantitative sulle quali pure esistono studi d'insieme andrebbero ancora attentamente considerate. Entra indirettamente in gioco un fattore esterno, un'esigenza estrinseca che indirizza lo sviluppo della tecnica: la conservazione di edifici e oggetti non può prescindere da una più generale esigenza di risparmio energetico. Da un lato, questa esigenza mette in discussione il costoso controllo totale del clima interno, d'altro canto, se basata sul troppo semplice concetto di isolamento, negli Anni Settanta e anche oggi può legittimare misure inutili, che prescindono dalle esigenze di conservazione degli edifici.

Il controllo costante di temperatura e umidità relativa, con apparecchiature sofisticate in grado di riassorbire le variazioni indotte dal pubblico, era però apparso fin dagli Anni Ottanta problematico come obiettivo generalizzato: gli alti costi di costruzione e di gestione, la delicatezza e la vulnerabilità delle macchine e degli strumenti di misura erano sostenibili solo in pochi grandi complessi con elevata affluenza di pubblico, affluenza che, determinando a sua volta condizioni sfavorevoli, giustificava i *tours de force* tecnici.

Questa “età della meccanizzazione” nascondeva – soprattutto in Italia – altre carenze. Nel resto d’Europa, negli Stati Uniti dalla seconda metà dell’Ottocento, la formazione dei grandi musei aveva richiesto più sovente nuove costruzioni, dato luogo ad una nuova tipologia che si era sviluppata nel corso del secolo. Al rapporto fra ambiente e opere, alle soluzioni distributive, si aggiungeva l’attenzione a problemi più squisitamente funzionali. Dapprima, soprattutto un’efficace illuminazione naturale, risolta in parte attraverso l’orientamento dell’edificio nel suo insieme, o, in casi specifici, con vere e proprie deformazioni della pianta [7], mentre l’illuminazione zenitale faceva dei lucernari un elemento caratterizzante sia degli interni sia degli esterni. Per ragioni di sicurezza, i musei come gli archivi erano progettati in generale senza illuminazione artificiale, che comportò fiamme libere fino all’introduzione della luce elettrica. Uno dei primi provvedimenti di tutela del Lombardo Veneto fu il divieto di qualsiasi fuoco nel Palazzo Ducale di Venezia [9], e ancora nel 1869-76 il *Kunsthistorisches Museum* a Vienna fu concepito per la sola luce naturale [10]. Il gas era circoscritto a pochi ambienti di servizio del piano terreno. Solo nel 1891 la luce elettrica fu introdotta nel *British Museum*, e dopo un lungo dibattito, dal 1892 al 1905, toccò al Palazzo Ducale di Venezia [11].

Il controllo del clima era volto ad assicurare il benessere dei visitatori, più che la conservazione delle opere, ed era apparso subordinato, anche se non secondario, comunque subordinato alla protezione dal fuoco. La *Alte Pinakothek* di Monaco (1825-40), una delle più coerenti realizzazioni del secolo, faceva appello all’aria calda che saliva dalle stufe poste nelle cantine, non accessibili se non dall’esterno [12]. Cinquant’anni dopo le piante della *Pennsylvania Academy of Fine Arts* di Philadelphia [13] – Frank Furness si era formato in Francia, in cui l’aria calda rimarrà egemone fino al calorifere del *Musée Camondo* - mostrano una sistematica serie di canalizzazioni mentre John Soane fu – a partire dalla sua casa-museo - un paladino di Perkins e del suo calorifero a vapore [14].

La temperatura dell’aria di rado superava i 17°, anzi inferiori, dati gli standard comunemente accettati per gli spazi pubblici [15]. La circolazione naturale, l’inerzia dei muri connessa al loro spessore, gli stessi rivestimenti delle pareti, o il loro diretto riscaldamento in talune applicazioni del calorifero Perkins, il numero relativamente limitato dei visitatori, in generale animati da precisi interessi, facevano sì che le variazioni di temperatura e umidità relativa avvenissero lentamente.

Un altro parametro, a partire dalla metà del XVIII secolo, misurava il benessere negli spazi collettivi, la ventilazione naturale o forzata, il ricambio dell’aria. Per i musei non appariva essenziale, sia per le vaste dimensioni degli ambienti in rapporto al numero dei visitatori, sia per le ampie e non stagne superfici vetrate. Inoltre, la pressoché generale mancanza di lampade a gas – il *South Kensington Museum*, poi *Victoria and Albert*, costituiva un’eccezione - faceva venir meno la necessità di evacuare i prodotti della combustione. L’introduzione, a partire dai primi del Novecento del suo diretto derivato, il condizionamento dell’aria, nel mondo anglosassone, è legato all’inquinamento atmosferico [16], e alla rilevanza di depositi carboniosi cui dava origine [17].

Di fatto, le condizioni del clima interno fra i musei e le abitazioni più sontuose, vere e proprie raccolte d’arte (fra esse rientravano le future case museo) non apparivano sostanzialmente differenti.

In Italia, quantunque i principi di funzionamento e le apparecchiature fossero noti, i costi elevati e gli ingombri di macchi-

ne e canalizzazioni trovavamo minori giustificazioni nelle condizioni ambientali. Gli interventi sul clima interno si limitano al riscaldamento ad uso dei custodi e dei visitatori sia nei pochi musei costruiti fra le due guerre, sia nei celeberrimi musei “moderni” del dopoguerra, in generale nuovi allestimenti con interventi edilizi anche considerevoli in edifici storici. In questo caso anzi, sia le modifiche degli spazi interni sia le scelte di allestimento determinano condizioni sfavorevoli alla conservazione delle opere, come la demolizione dei diaframmi in muratura delle logge di Palazzo Rosso a Genova [18], la loro sostituzione con vetrate e la rimozione delle porte fra le sale, o le opere isolate nei vasti ambienti di Castelvecchio a Verona. Gli impianti – i radiatori a Palazzo Rosso – fanno parte del repertorio più corrente, e la preoccupazione degli architetti sembra più quello di nasconderli, senza pregiudicarne il funzionamento, nei pavimenti radianti del Castello Sforzesco di Milano e della Pinacoteca di Brera, ripristinata secondo canoni tradizionali dal Portalluppi dopo la seconda guerra mondiale [19], o riducendone significativamente l’efficienza, nelle celebri teche dei caloriferi dell’atrio di Palazzo Querini Stampalia a Venezia.

Marisa Dalai Emiliani – in un giustamente notissimo saggio - ha dimostrato lo stretto nesso esistente fra la museografia “moderna” e la storia dell’arte neoidealista, la sua sostanziale indifferenza alla materia delle opere, al loro contesto, ma ha anche sottolineato come questa visione cercasse di rendere di nuovo accessibili, “popolari” i musei e il loro contenuto, in modo al tempo stesso più immediato e più colto [20].

Questa prospettiva aveva consolidato una figura di conservatore del museo che controlla i grandi momenti e le grandi opere della storia dell’arte, e che reinserisce nell’attività di tutela un patrimonio più vasto giudicato “minore”, solo ricollegandolo a queste più generali categorie.

Si era così approfondita – nel dopoguerra - la differenza con il resto d’Europa, dove il conservatore invece affina le sue competenze specifiche su categorie di oggetti, e di conseguenza si sofferma sui loro materiali, sulle loro tecniche costruttive, fonda sulle loro specificità la qualità stessa della propria figura professionale. Nei casi limite si rischia quindi una visione settoriale che, per quanto attiene l’ambiente, potrebbe far coincidere la conservazione con il mantenimento di quelle precise condizioni di temperatura e umidità cui, come è noto, si è giunti empiricamente. Le stesse condizioni sono inoltre superate da una concezione più articolata sia dei molteplici fattori che determinano il clima interno, sia della durata dei fenomeni, sia della rapidità delle variazioni, che è apparsa non di rado determinante a provocare il degrado.

D’altro canto, la cultura tecnica italiana ha visto il controllo del clima come mero problema di ingegneria meccanica, come progettazione di un impianto che è tanto più sicuro nei suoi risultati quanto più isola lo spazio in cui opera e meno si affida alle caratteristiche, che conosce poco, dell’edificio in cui si inserisce. Un impianto a tutt’aria comportava ovviamente costi elevati di esercizio e di costruzione, e la dimensione e la lunghezza delle canalizzazioni richiedevano lavori edilizi aggiuntivi spesso onerosi quando si opera in edifici esistenti. Talvolta gli architetti e i conservatori non potevano ignorare il danno che fori, tracce, canali, avrebbero determinato in finiture e strutture e cercavano almeno di contenere le dimensioni. Progressivamente si passava alla soppressione parziale dei canali di ripresa, a costo di un esercizio meno economico, o alla riduzione delle sezioni dei canali dell’aria primaria, con un impianto ad induzione. Infine, poiché il raffrescamento estivo ha un buon impatto sul pubblico e l’acqua, come fluido, offre ingombri più

contenuti, nonostante le coppelle isolanti, si arrivava trionfalmente al ventilconvettore, il "mobilëtto" - parola magica da pronunciarsi con deciso accento grave - infilato preferibilmente negli sguanci delle finestre, ancor meglio dietro i tendaggi. In questa radicale divisione dei compiti, all'architetto spettava al più il progetto del rivestimento. Non si trattava certo della coerenza del dettaglio che aveva suggerito a Semper il disegno delle stufe del Politecnico di Zurigo [21], e che, con risultati non sempre omogenei, avevano spesso sviluppato altre grandi figure della Bell'Époque e del primo dopoguerra. Nell'Italia degli Anni Trenta, perfino architetti non di prima grandezza si cimentavano con il disegno di caloriferi in ottone da lasciarsi a vista, come Mario Loretì nel palazzo della Provincia a Varese [22].

La complessità meccanica del fan coil ammette una Verkleidung meramente sovrastrutturale: si va dalle scocche di ottone di Carlo Scarpa e Arrigo Rudi nel nuovo edificio della Banca Popolare di Verona [23] al disegno accurato e ai materiali più sobri che un altro Scarpa, Tobia, ha disegnato quasi dieci anni fa per il Palazzo della Ragione sempre a Verona [24]. Qui rimane almeno la dimensione ambigua ma in sé coerente del design, altro sono i casi correnti, vedi i trabordanti schermi in legno verniciato di incerta natura che intristiscono il primo piano nobile della Villa Reale di Monza. I limiti tecnici, anche nel risparmio energetico, di queste soluzioni sono noti; ancora una volta il problema di gusto e di figura rinvia ad una dimensione ben altrimenti complessiva.

Manca un disegno comune, pazientemente costruito fra tutti gli attori, i conservatori, custodi degli oggetti, gli architetti sia come esperti della costruzione del passato, i Gelehrte, i dotti di Dehio, sia come progettisti, responsabili complessivi dell'intervento edilizio e dei sacrifici che può comportare, ma anche dell'uso, della gestione e infine dell'immagine del museo, i fisici con le loro concezioni che debbono essere verificate nelle misure e nella corrispondenza fra dati materiali e modelli, e gli impiantisti, cui è demandata la definizione e l'ottimizzazione dei meccanismi. Spesso le figure si sovrappongono, ma soprattutto i compiti non sono separati e occorre un terreno condiviso, una base comune di conoscenze e di linguaggio.

Se questa condivisione manca, allora possono diventare incongrui e invasivi anche impianti più astuti e in sé di scarso impatto. Il riscaldamento delle pareti, nato nei musei minori tedeschi alla fine degli anni ottanta, ora noto sotto il nome di Temperierung [25] – a ben vedere una variante aggiornata del calorifero Perkins non sconosciuto neppure nella Vienna dell'Ottocento [26] dovrebbe consistere in due tubi di rame fra dodici e diciotto millimetri di diametro fra loro distanziati, in corrispondenza dello zoccolo, a contatto con il pavimento, integrato al più, in ambienti di altezza rilevante, da un ulteriore circuito.

I vantaggi sono evidenti: non si usa l'aria come fluido, a temperature relativamente elevate, si evitano sia moti convettivi e trasporto di polveri, sia rilevanti differenze di temperatura fra il lato delle opere rivolto alla parete fredda e l'opposto, verso il pubblico, più caldo.

Non basta però che le condizioni ambientali nel complesso ne giustifichino l'impiego, occorre anche che siano escluse tracce diffuse negli intonaci, e mai comunque si deve toccare la muratura. Lo zoccolo alla base della parete generalmente consiste in un'aggiunta di materiale, che stabilisce continuità termica fra i tubi di acqua calda e il resto della muratura, e ulteriori tubazioni possono essere posate se si identificano percorsi definiti, che si sovrappongano all'esistente. Eventuali perdite si possono facilmente identificare e la riparazione non sacrifica strati

preesistenti. Dove i volumi siano imponenti e l'isolamento insufficiente, si integra il sistema con altri mezzi; vanno respinte le applicazioni che – per raggiungere temperature elevate – riempiono le pareti di tubi come un pavimento radiante, sacrificando quasi completamente gli intonaci e rendendo problematiche le riparazioni. Ancor meno la devastazione degli intonaci si giustifica se la scelta è di natura formale, mira ad evitare la presenza di corpi scaldanti considerati, talvolta non a torto, ingombranti e incongruenti. Un pesante impatto edilizio coincide sempre con un altrettanto greve impatto termico, infrange un difficile equilibrio fra standard correnti di benessere, inerzia ed isolamento, apporti di energia il più possibile limitati. L'obiettivo è integrare, migliorare l'equilibrio idrico e termico proprio di ciascuna costruzione, non sostituirla con un altro, autonomo, quando non contrastante.

Note

- [1] Dovuto al geniale e discusso igienista e chimico monacense Max von Pettenkofer (cfr. SCHILLING N. H., *Handbuch für Steinkohlengas-Beleuchtung - Mit einer Geschichte der Gasbeleuchtung* von Prof. Dr. F. Knapp, München, Rudolph Oldenbourg, 1866 p. 15) assai criticato anche per le sue proposte sul restauro dei quadri (*Über Ölfarbe und Conservierung der Gemälde-Galerien durch das Regenerations-Verfahren*, Braunschweig, Vieweg, 1870)
- [2] PETER-MICHAEL STEINSIEK, *Forst und Holzforschung im Dritten Reich*, Remagen, Kessel, 2008
- [3] Basti ERIK ECKERMAN, *Alte Technik mit Zukunft, Die Entwicklung des Imbert-Generators*, München, Oldenbourg, 1986, pubblicato dallo stesso editore (nota 1) delle riviste e dei manuali ottocenteschi sul gas.
- [4] AGNESE DIONISIO, *L'amministrazione la direzione dei lavori pubblici in Lombardia nella stampa specialistica*, in (a cura di) Giuliana Ricci e di Giovanna D'Amia, *La cultura architettonica nell'età della Restaurazione*, Mimesis, Milano, 2002, pp. 101 – 105, p. 104.
- [5] FRANCESCO REPHISTI, *Le fabbriche della Corona. Uffici competenti a Milano da Giuseppe II a Francesco Giuseppe I*, ibidem, pp. 107-113.
- [6] Un'antologia significativa in (a cura di) PAOLO MARIA FARINA, *Dal restauro alla manutenzione: Dimore Reali in Europa*, Saonara, il Prato, 2003.
- [7] Vedi i dati sulla Cattedrale di Ulm rilevati dal Dombaumeister G. Lorenz citati da HELMUT KUNZEL, *Bauphysik und Denkmalpflege*, Fraunhofer IRB Verlag, 207, pp. 67-68 o i rilievi decennali nella Bildergalerie di Sans Souci pubblicati da DANIEL FITZENREITER *Bildergalerie Sansouci: Umsetzung und Erfahrungen mit einem Klimakonzepet in Klimagegestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und Nutzerwünschen* Tagungsblatt 2007 des ersten Konservierungswissenschaftlichen Kolloquiums in Berlin \ Brandeburg vom 16.11.2007 in Potsdam; Brandenburgischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologische Landesmuseum..., Berlin 2008
- [8] Nel progetto di Johann Christian von Mannlich per una Pinacoteca nell'Hofgarten a Monaco inciso e pubblicato in *Beschreibung der churfürstlich-baierischen Gemäldesammlungen zu München und Schleissheim*, Il München 1805) accanto alla Residenz, mentre il corpo di fabbrica, un rettangolo allungato, è coerente con l'allineamento delle ali contigue già esistenti, all'interno era prevista una doppia serie di vani inclinati secondo l'asse eliotermico, e quindi non perpendicolari ai muri d'ambito, per la pittura a Nord e la scultura a Sud. Cfr. PETER: BÖTTGER, *Die alte Pinakothek in München : Architektur, Ausstattung und museales Programm / Mit einem Anhang: Abdruck der frühesten Gemälde Verzeichnisses der Pinakothek aus dem Jahre 1838 von Georg von Dillis; Nach den heutigen Inventarummern identifiziert von Gisela Scheffler*, München, Prestel-Verlag, 1972, pp. 63 -71 e figg. 307 – 308.
- [9] Il provvedimento, che risale al 1821 ed ebbe come ispiratore il Patriarca di Venezia Pyrker, che ottenne dall'Imperatore Francesco II un Handschrift a riguardo in poche settimane, è narrata dallo stesso protagonista (cfr. (a cura di) BRUNO BERTOLI e SILVIO TRAMONTIN, *La visita pastorale di Giovanni Ladislao Pyrker nella diocesi di Venezia (1821)* Roma, Edizioni di Storia e Letteratura, 1971, pp. 199 – 200, citato parzialmente in Gian Domenico Romanelli, *Venezia Ottocento*, Roma, Officina Edizioni, 1977, pp. 154 e 238.
- [10] Sul Kunstistorisches Museum, oltre la bibliografia su Gottfried Semper e sul suo apporto, sono utili, ULRIKE PLANNER-STEINER, KLAUS EGGERT, *Die Bauten und ihre Architekten. Friedrich von Schmidt, Got-*

- tried Semper, Carl von Hasenauer*, Wiesbaden, Franz Steiner, 1978. MANFRED WEHDORN, *Die Bautechnik der Wiener Ringstrasse, mit einem Katalog technischer Bauten und Anlagen in der Ringstrassenzone*, Wiesbaden, Franz Steiner, 1979. BEATRIX KRILLER, GEORG KUGLER, *Das Kunsthistorische Museum: die Architektur und Ausstattung: Idee un Wirklichkeit des Gesamtkunstwerkes*, Wien, Christian Brandstätter, 1991. CÄCILIA BISCHOFF, *Das Kunsthistorische Museum: Baugeschichte, Architektur, Dekoration*, Wien Branstätter 2008.
- [11] MARINA FRESA, *L'introduzione della luce elettrica nel Palazzo Ducale di Venezia (1892-1905). Un dibattito di fine Ottocento in bilico tra moderno e conservazione, sicurezza e pittoresco*, in *Recuperare*, n.44, nov.-dic. 1989, pp.649-651
- [12] BÖTTGER, op. cit. si limita a citarne l'esistenza a p. 63. Alle figg. 20 e 21 i disegni di progetto con le tredici stufe indicate sulla pianta delle cantine, e in sezione i condotti dell'aria calda.
- [13] JAMES F. O'GORMAN, *The Architecture of Frank Furness*, Philadelphia, Philadelphia Museum of Art, 1973, fig 3-9, p.85; GEORGE E. THOMAS, MICHAEL J. LEWIS AND JEFFREY A. COHEN, *Frank Furness, The Complete Works*, New York, Princeton Architectural Press, 1991, p. 161. Su Furness e la sua biografia anche MICHAEL G. LEWIS, *Frank Furness. The architecture and the violent mind*, New York, Norton, 2001.
- [14] Cfr. TODD WILLMERT, *Heathings Methods and Their Impact on Soane's Work, Lincoln's Inn Fields and Dulwich Picture Gallery* in *Journal of Society of Architectural Historians*, LII, 1, march 1993, pp. 26\55
- [15] Possono fare da riferimento i valori esposti da CARLO RUMOR e HANS STROHMENGER nel *Manuale teorico-pratico di riscaldamento, ventilazione e impianti sanitari*, Milano, Hoepli 1911, o anche nel precedente manuale *Scaldamento e ventilazione degli ambienti abitati* di Rinaldo Ferrini, prima ed. Milano Hoepli 1886
- [16] Un quadro sintetico dell'inquinamento da carbone in ERCOLE SORI, *Il rovescio della produzione*, Bologna, Il Mulino, 1999 pp. 62-77 e bibliografia.
- [17] J.P. BROWN and WILLIAM B. ROSE *Humidity and Moisture in Historic Buildings The origin of Building and Object Conservation APT Bulletin*, Volume XXVII, n. 3, pp. 12-25
- [18] Sulle quali il tuttora grottesco CATERINA MARCENARO, *Una fonte barocca per l'architettura organica: il palazzo Rosso di Genova*, in *Paragone* a. XII, 1961, n.139 pp. 24-49, ovviamente smentito dalle ricerche di ENNIO POLEGGI, *Strada Nuova, una lottizzazione del Cinquecento a Genova*, Genova, SAGEP 1967, e per un'interpretazione aggiornata estesa al dettaglio dell'arredo e delle collezioni: (a cura di) PIERO BOCCARDO e CLARIO DI FABIO, *I Musei di Strada Nuova: palazzo Rosso, palazzo Bianco, palazzo Tursi*, Torino, Allemandi, 2004, che rinvia alla bibliografia precedente dei due autori; per altre interpretazioni dell'allestimento serve da guida la bibliografia completa sull'opera di Franco Albini in ANTONIO PIVA, VITTORIO PRINA, *Franco Albini 1905 -1977*, Milano, Electa 1988 pp. 443-448, e ancora Augusto Rossari, *I musei genovesi* in AUGUSTO ROSSARI, FEDERICO BUCCI *I musei e gli allestimenti di Franco Albini* Milano, Electa, 2005. pp 42-62, e per l'abitazione in palazzo Rosso, oggi non più esistente, di CATERINA MARCENARO, *Casa di un amatore d'arte* anche GIANPIETRO BOSONI, FEDERICO BUCCI, *Il design di Franco Albini*, Milano, Electa 2009, pp. 112-115.
- [19] Per Brera cfr. LEONARDO BORGESSE, *Brera sarà la più bella pinacoteca del mondo*, il Corriere della Sera, 26.3.1949, ora in id. *L'Italia rovinata dagli Italiani*, Milano, Rizzoli, 2005, pp. 59 - 63. La descrizione dei pannelli a pavimento che assicuravano una temperatura di 12 - 14° è a p.60. L'impianto a pannelli sostituiva un precedente impianto ad aria calda.
- [20] *Musei della ricostruzione in Italia, tra disfatta e rivincita della storia* in Carlo Scarpa a Castelveccchio Milano, Edizioni di Comunità, 1982, pp. 149-170.
- [21] MARTIN FRÖHLICH, *Gottfried Sempers Zeichnerischer Nachlaß an der ETH Zürich. Kritischer Katalog*, Basel, Birkhäuser, 1974, p. 277.
- [22] Un quadro dell'intervento di Loreti in *Casabella*, n. 81, settembre 1934.
- [23] Le scocche non compaiono nelle illustrazioni dell'opuscolo a cura di ARRIGO RUDI e WALTER ROSSETTO *La sede centrale della banca Popolare di Verona, nel progetto di Carlo Scarpa e Arrigo Rudi*, Verona BPVR 1983. Per una più estesa bibliografia Carlo Scarpa, *Opera Completa*, Milano, Electa, 1984 p.139.
- [24] Cfr. *Architetti Verona*, n. 76, 2006 pp. 7 -57, soprattutto pp. 54-57.
- [25] Un primo bilancio delle esperienze cominciate negli Anni Ottanta nell'opuscolo HENNING GROßESCHMIDT *Die Temeperierung – Verfahren zur thermischen Bausanierung, Raumtemperierung und Klimastabilisierung in Museen und anderen Gebäuden*, München, Landesstelle für die Nichtstaatlichen Museen in Bayern, 1992. *Klima in Museen und Historischen Gebäuden: die Temperierung*, Wissenschaftliche Reihe Schoenbrunn band 9 Ed. Schloss Schoenbrunn Kunstforum Ost-deutsche Galerie, Wien 2004; per una posizione critica al riguardo THOMAS LÖTHER e OLAF FREYTAG, *Temperierung historischer Gebäude – eine kritische analyse in Klimagestaltung...* cit. pp. 38-46.
- [26] A. SCHOLZ, *Allgemeine Baukonstruktionslehre... Band IV, Verschiedene Konstruktionen... fünfte, gänzlich neubearbeitete Auflage*, Gebhardt's Verlag, Leipzig 1905, p. 148 e figg. 194\198. La scuola è la V Burgerschule in Koflergasse, e il progettista è Johann Haag.

Building climate and cultural heritage safeguard

Instruments and models of investigation

Davide Del Curto

Politecnico di Milano, DiAP – Laboratorio di Analisi e Diagnostica del Costruito, davide.delcurto@polimi.it

Learn to preserving, preserve to knowing

The lexical and semantic shift from “project” to “process” can nowadays be considered diffusely shared among the operators in the conservation field. The action towards the architectural heritage has been often pictured as a dynamic model circulating around the study of the investigated object from which the action should take a necessary support. The idea that knowledge is the base of every aware action and could even represent the very aim of the action, is nowadays a well shared awareness within the theoretical debate and, slowly, also to the discussion outside the discipline. In any case, even supposing that the activity toward the heritage could be forced to an operative request of safeguard of the built substance, activity gets more fit and effective when conducted by a research activity, according to a no more very actual circularity between knowledge and conservation (“learn to preserving, preserve to knowing”) [1].

The analytical phase characterizes the most recent theoretical positions about preservation. Analysis has been intended most as a cognitive and preliminary activity oriented to measure the intervention according to the actual needs of the object, to empower the material resources, maximizing the persistence of a recognized value of authenticity, even if inevitably ambiguous.

This way, the knowledge for the project should principally delineate the history of the considered asset, not as and not just to reconstructing the dates and the most important facts (year of construction, period of the changes etc.) as, according to an image particularly dear to the architects, to acquiring the best awareness of the direction where their own projects have to be set in. Defining and controlling a conservative intervention or procedure of minimal impact, compatibility, durability, maintainability and reversibility (?) requires a complex decision-making process, deep-rooted inside the slow path of knowledge about the material and immaterial vicissitude which have progressively determined the present configuration of the building.

Although the protection of personal property and real estate operates on the border between aesthetics and formal aspects, it consists into a protection treatment of the material. The analytical knowledge of the material, the chemical – physical

characterization of the decay processes, represent the main result expected from the cognitive activity about the building to be protected. The traditional sequence of cognitive operations (historical research, metrical survey, specialized investigation etc.) is still in use in the current Heritage Office prescriptions and, particularly for the most esteemed and complex building, it tends to coincide with the diagnostic-instrumental surveys, which still benefit of unconditional trust for a supposed effectiveness and objectivity of results.

Many skills, some doubts

The “conservation science” consists in the application of methods and tools borrowed primarily from the natural sciences - chemistry, mineralogy, biology, physics and meteorology – which describes the architectural heritage and, more in general, property subject to protection by an instrumental measurement of physical parameters: dimensional data, mechanical properties of materials, temperature, humidity, etc. The monitoring of these data over time provides a model of their behavior when weather conditions, uses and loads change.

The microclimatic survey in the historic buildings, in particular, is generally oriented to describe the dynamics of hygrothermal exchange between the walls and the interiors, to locate the imbalance phenomena – such as condensation, freeze-thaw, salt crystallization - potentially harmful to the conservation of the building and the objects it contains. They also provide useful information to guide the maintenance operations.

As the description of the microclimate is primarily a support to the project, it provides useful information for the selection and the placement of the different uses. Microclimate monitoring is appears - especially in the investigation stage - as an opportunity of reading and interpretation of the building of which it returns a qualitative - quantitative description useful to extend the general knowledge framework, alongside metric measurements, thematic and historical studies.

Following this way, the “scientists” have assumed a growing role in the debate around the ways and practices of conservation. If the cultural heritage have represented a relatively new and full of opportunities field of application for many branches of scientific knowledge, it is today still evident the distance

among the positions expressed by the scientific debate and the penetration they show on the professional practice and on the definition of strategies and regulations.

The issue of standardization and normalization is the most recent occasion revealing the double speed and difficult communicability (even often simply linguistic) between the applied scientific research and the debate on the protection, its instruments and operators.

Microclimate monitoring and environmental diagnosis in the historic buildings

The monitoring of the microclimate has been promoted in the ranks of the conservation techniques since long and it has been applied, not without some small but inevitable misunderstandings, firstly in the museums and, more recently, to the architectural heritage and building materials.

The checking of the environmental factors determining the onset and development of the decay process represents nowadays primarily an appropriate practice of prevention as such action consists in a control action of the relationship between the object and the environment, according to a criterion of "minimal intervention" extended to the performance of the surveys.

It is a practice well integrated with the concept of monitoring, which is a control persisted for significant periods of time, necessary to understand the inherently cyclical phenomena such as those related to temperature and humidity in the very preventive idea to equip the protected item with a permanent diagnostic system able to recognize the "spies" of decay before symptoms appear and to recall the parallel with medicine and the microbiological diagnosis.

More simply, and with reference to the current applications on the architectural heritage, the monitoring of temperature, humidity, illumination and other physical environmental parameters, is part of the kit of information forming the project of knowledge and conservation, including planned or preventive conservation, and consists in the description of the relationship between the building and the environment where it is located, in the idea that the physical preservation affected the environmental - conditions.

A question of models: the electromagnetic spectrum

It is traditional to distinguish between surveys performed *in situ*, and those in the lab. The seconds are generally non-destructive, i.e. they can be conducted without removing material, and without causing damage to the surfaces as they are, in general, surveys of telemetry, thus performed at a distance, without a direct contact. IR thermography, for instance, is one of today's most popular and effective investigations and it is used in the construction industry, particularly for the study of plastered walls, to control heating and electric plants and for the building energy audit. Laboratory investigations, on the contrary, consist in the application of techniques and tools working the physical and chemical characterization of samples of material. The performance of such surveys requires the removal of material from surfaces or objects under investigation, so they are called destructive or micro-destructive.

The tools for the monitoring of the microclimate in the historic buildings heritage, especially in the museum context, are completely non-destructive and based on the transmission of

low frequency electromagnetic signals. They allow us to gather large amounts of information and to repeat measurements, comparing data over time without altering the appearance of the building and without compromising its material and functional integrity [2]. They consist in the application of methods and tools to measure chemical and physical characteristics of the interaction between the building (or the object) and the environment and, through this, to draw a description based on the particular point of view of each technique. The data are used to form an interpretative model of the investigated reality. This operation is similar to the execution of a metric – architecture survey, which rebuilds a graphical model interpretation of reality (a plane projection, in general, a plan or a section listed) based on data collected using a direct measuring instrument or a telemeter. It is also similar to the operation performed by the photographic, optical or digital, through which the amount of energy emitted by the object seen in the field of the electromagnetic spectrum corresponding to the "visible" is fixed on a film or a CCD sensor. Similarly, the most common survey tools based on the telemetric measurement of the energy emitted "photograph" objects at different wavelengths, using instruments sensitive to a certain intensity, or frequency of energy emitted. Thus, thermography "photographs" objects by measuring the energy emitted at a frequency just shorter than the visible. Infrared IR or X-ray diffraction, operate at higher frequencies, i.e. at shorter wavelengths and, in this way, they can obtain information on the compositional nature of the investigated materials.

This procedure has been described by the similarity between the diagnostics instruments and some "lens" means by which the diagnostician observes and "photographs" the objects of investigation. Or, using an image so figured we could say that, with the different analytical techniques, we observe the same reality from different angles or perspectives, each equally careful, penetrating and inevitably partial.

However it is evident the risks associated to the systematic use of "ludi matematici" for a completely scientific, in other words arbitrary description (or representation) of reality [3]. The representation of reality achieved through the construction of models made of a necessarily finite number of elements (a thermal image, for example, or an XY plot with the trend of a given parameter, such as temperature or humidity) returns an image of the considered artwork which is necessarily partial and mediated by means of measurement (thermometer, telemeter), by the environment conditions when the measure has been performed, by the method of selection and processing of the data, the procedures for restitution and representation (interpolation and calculation SW, graphic editing SW), the way to communicate the results. It is a provocation, but the risks of a hasty enthusiastic and self application of science and technology exist, and they are particularly evident when the survey relies on a single measurement technique, rather than cross evidence derived from the comparative employment of complementary tools.

The planning and the execution of monitoring include the use of different operating models, scales and precision levels which are essential to account for the complexity of a historic buildings which is very often composed of heterogeneous distribution structures, different materials and construction elements. Even in terms of use, the historical buildings often show different situations parts with regularly used - and then heated - next to cold parts, locally provided with efficient windows, besides other parts non-heated and without a effective win-

dows. The comparative use of complementary measurement techniques is therefore the first evidence of qualification for each environmental diagnosis or instrumental monitoring campaign.

Preservation, prevention and environment in the Italian legislation

Some recent comments about the concepts of maintenance and prevention, defined the elements for a conceptual distinction between environmental diagnostic and microclimate monitoring. Environmental diagnostic must be intended as an episodic and emergency activity which is preliminary and aimed to guide an intervention oriented to correct a pathological imbalance and restore the building to a state of equilibrium or semi-equilibrium. Microclimate monitoring is a predictive activity oriented by the instrumental measurement of the environmental parameters, to anticipate the diagnosis of decay, before symptoms have onset [4].

A semantic specification of these terms may be tempted by retracing the evolution of the meaning which the concepts of "prevention" and "environment" have assumed into the texts of the Restoration Charters and into the Italian laws for cultural heritage, progressively approaching to each other in different formulations. Prevention has been described primarily as an extension of maintenance practices, a series of small-claims actions repeated over time and operating directly on the heritage as *"le cure assidue di manutenzione"* (the assiduous care of maintenance) of the Italian Charter of Restoration in 1931 (art. 1) oriented to delay, if not eliminate, the need for an (eventually) traumatic restoration. A similar view can also be found in documents as different as the resolution adopted by the Third Congress of Italian architects and engineers: *I monumenti architettonici quando sia dimostrata incontrastabilmente la necessità di porvi mano devono essere piuttosto consolidati che riparati, piuttosto riparati che restaurati* (when the necessity of an intervention has been indisputably shown, monuments of architecture must be consolidated rather than repaired, repaired rather than restored). The Falloux circular in 1849: *"il restaurare deve considerarsi pur sempre una triste necessità. Una mantenimento intelligente deve sempre prevenirla"* (the restoration must be considered still a sad necessity. An intelligent maintenance must always prevent restoration). Article 2 of the Instructions for monument restoration in 1938 *"costituisce sempre esigenza fondamentale prevenire tempestivamente, attraverso attenta manutenzione, ogni causa di deperimento dei monumenti e delle opere d'arte"* (it is still a fundamental requirement to prevent a timely manner, through a careful maintenance, every cause of deterioration of monuments and works of art) [5].

On the other hand, prevention tends to overlap with the term "safeguards", and to be intended as the set of indirect operations on the item to be protected and consisting in the control of the context. This is a point of view still present in the Charter of the Restoration of 1972 when, beside the restoration, is the definition of conservation as *"provvedimento conservativo che non implichi intervento diretto sull'opera"* (a precautionary measure that does not involve direct intervention on the (art)work) [6] but at the same time, in the Annex document dedicated to the restoration of architecture, *"[le] opere di manutenzione tempestivamente eseguite"* ([the] maintenance works carried out without delay) are joined to the *"provvedimenti di carattere preventivo"* (preventive measures) [7].

In the so called CNR Charter in 1987, prevention was described as *"[l']insieme degli atti di conservazione, motivati da conoscenze predittive al più lungo termine possibile, sull'oggetto considerato e sulle condizioni del suo contesto ambientale"* (all the acts of preservation, argued by predictive knowledges as long as possible, on the object in question and on the conditions of its environment) [8]. It is a definition that differs from the concepts of preservation and maintenance, according to an approach based on limiting the risk in which influence of the contemporary Giovanni Urbani's thought and work at the ICR can be recognized [9].

A conceptually similar approach also characterizes the definition contained in the Code of Cultural Heritage and Landscape in 2004, where prevention has been defined as *"complesso di attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto"* (number of activities which restricts the situations of risk related to its cultural context) [10].

The concept of "prevention" has since that moment seemed to be definitively linked with "environment" and "environmental context". In the Charter of 1931 was already the idea, traceable to Giovannoni, of "environmental restoration", i.e., a particular attention to the context that surrounding the cultural item [11]. In the Charter of Amsterdam in 1975, there are signs directed to the environment protection as well [12]. The environment has been connoted as a risk factor as it clearly emerges in the already seen quotations of the Charter of 1987 and of the Code of Cultural Heritage and Landscape in 2004 where, in addition to the instance of the protection of the environment [13], it is also a need for protection from the environment. Moreover, it is interesting to note as both these views are found in close connection with prevention, even in certain Cesare Brandi's positions about preventive restoration [14].

The concept of preventive conservation nowadays includes a vast as various set of conservation work and museologic practices. In one of the most recent and popular Italian book, it has been described as *"l'insieme delle misure adottate per prevenire o ridurre i possibili danni alle collezioni"* (all the measures taken to prevent or reduce possible damage to collections), having *"come obiettivo la protezione delle collezioni nel loro insieme, piuttosto che l'azione rivolta al singolo oggetto"* (the purpose of the protection of the collections as a whole, rather than the actions directed to the single item), focusing *"sul concetto di «non intervento» piuttosto che su quello d'intervento di restauro"* (on the concept of non-intervention rather than on restoration), comprising *"operazioni quali, ad esempio, la movimentazione, la gestione delle collezioni in esposizione e in deposito e il monitoraggio microclimatico"* (operations such as, for example, the handling and management of collections on display and in storage and microclimatic monitoring) [15]. Preventive conservation is elsewhere defined as *"an agreed plan of action to slow the rate of deterioration and reduce risks policy for museum collections. The focus is on the surrounding of the collections, thus actions could range from building maintenance, to control staff practices, influencing public attitudes, climate control and legislation"* [16].

If the focus has been definitely direct on the surroundings in the attempt to preserve the artworks from the degradation by external factors, preventive practices are substantiated in a series of recommendations to define an ideal environment, with particular reference to the provisions relating to the control of the hygrothermal parameters, which have been diffused

in the form of tables bearing the reference values for each type of object or material.

This is the setting of the current Italian legislation on technical conservation and climate control, in particular the *UNI 10829:1999 - Works of art of historical importance - Ambient conditions or the conservation* and of the D. M. No 238 10.5.2001 *“Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei”* (Indications for the technical-scientific criteria and standards of operation and development of museums) by the Ministry of Heritage and Culture, both containing tables of “suggested” values for the preservation of works indoors. If the text of the UNI 10829 is designed primarily to regulate the procedures for the detection and control of the microclimate [17], DM No 238, which has been enacted as part of the decentralization of the State functions [18], expressed a more general purpose which is otherwise linked to the interpretation of the concept of “minimum standards” transposing them *“da un piano meramente funzionale – nel quale sarebbe stata appropriata una traduzione come parametri, requisiti, o eventualmente garanzie – al piano metodologico in cui assumevano il ruolo di indicatori di qualità, configurando infine un sistema di criteri e regole per definire i requisiti minimi necessari all’esistenza del museo e al suo funzionamento”* (from a merely functional level - where would be an appropriate translation as parameters, requirements, or eventually guarantees - to a methodological level there they would take the role of quality indicators, eventually setting up a system of criteria and rules to define the minimum requirements necessary to the existence and running of a museum) [19].

In the Appendix (Ambito VI - Sottoambito I) concerning standards for the conservation and restoration of the collections *“vengono riportate alcune tabelle con lo scopo di indicare i valori dei parametri ambientali entro cui è possibile realizzare condizioni di conservazione dei manufatti idonee”* (are some tables with the purpose of describing the values of environmental parameters by which suitable conditions for building conservation can be created) [20].

Despite precautions [21], it has been noted the risk of taking the higher or lower accordance of those hygrothermal parameters, as an essential indicator of the quality of a museum space. These values have been predetermined in the search for a standardization of preventive practices. However, this approach which is related to the definition of standard values for the conservation of artworks and prevention of degradation, has been long time discussed by many authors [22].

From artworks to historic buildings, from “movables” to “immovables”

The development of disciplines and expertise now spread beyond the scope of the search it is mainly due to the conservation of architectural heritage and to the specificity of the issues related to their protection. The capacity to read and interpret the deterioration of materials, nowadays represents a key element to characterize and qualify the intervention on the historical buildings, as accuracy and effectiveness of the operational choices mean to be subordinate to the level of knowledge of the item, material decay dynamics. The “scientific restoration” has seen a renewed interest, not without the inevitable criticism for the use of analytical techniques more and more technologically advanced and, therefore, designed completely objective in their procedures and results [23].

Alongside the development of methods and techniques for the detection of historical buildings, we must remember the results of the research groups working on the safeguard of the historic building materials, use and degradation, and learning skills and methods from the natural sciences: chemistry, biology, geology [24]. More recently, the transfer of expertise has continued from the applied physics and meteorology studies that, through museums, have investigated the relationship among the building, the environment and the artworks, among structure, moisture and temperature, between the decay and the possibility to fight it by controlling the environmental parameters, rather than acting directly on the building itself. Since the Seventies, with specific reference to the microclimatic conditions of storage in internal environment, have found their first systematic treatment in the Thomson’s book which is still significant for people involved in conservation and microclimate [25].

The development of this research line, long time active in other forms in continental Europe and in the United States (see ASHRAE standards) is in Italy particularly due to the CNR activity in Padua. We must remember even the early standardization efforts by the Italian Heat Technology Committee (Comitato Termotecnico Italiano) in the Eighties 1980’s and, since the late 1990’s, the progressive coding of national technical rules, as the most recent edition of the guidelines UNI 10829 and 10969 and the very actual extension of the same concepts in EU context.

About the theme of microclimate, it must be noted as the link between natural science and conservation has been first identified towards the conservation of the movable heritage in the museum context. In fact, they are composite objects and therefore highly sensitive to changes in microclimate, such as paintings on canvas and wood, statues, tapestries, waxes and the great variety of objects and materials composing the majority of the collections. Only recently the reflections on the relationship between (micro)climate and conservation, has been extended to the conservation of the buildings.

The identification of the decay, the mapping of its forms and interpretation of its causes, is now ever more closely correlated with the reading and interpretation of environmental and weather conditions interacting with the building.

In the absence of specific guidance for the conservation of historical and architectural heritage, requirements and operating parameters designed for movable property, have often been simply extended to the buildings heritage, in a sometimes imperfect overlap among their preservation demands and needs. This fact has special evidence to Italian museums that *“in maggioranza sono rimasti o si sono installati in edifici d’epoca, quali regge, palazzi civici e nobiliari, residenze e ville, complessi ecclesiastici, complessi conventuali resi disponibili dalle soppressioni”* (the majority are or have been installed in buildings of the era, such as palaces, civic buildings and noble residences and villas, multiple church and convents made available by the XVIII – XIXth century dissolutions) [26]. The necessity to preserve the collections often leads to conflict with the many prevention issues of risk factors relating to whole the building and to the building parts (e.g. the structural issue, the surfaces, windows, historical plants) or with functional needs related to the use, comfort and accessibility. On these issues is known, especially in its most popular summary, the research on religious buildings by Dario Camuffo [27], while still lacks a guide to museums as clear and complete.

The concept of historic climate

The *UNI 10969:2002 - Cultural Heritage. Terms of environmental conservation. General principles for selection and control of microclimate parameters in indoor environments* represents a significant step ahead because, assuming that “è impossibile fissare per ogni oggetto precisi valori di soglia o intervalli di valori ottimali dei parametri ambientali ai fini della conservazione. E’ però possibile stabilire dei principi generali cui debbano necessariamente attenersi quanti abbiano la responsabilità di conservazione” (it is impossible to set optimum environmental values to conserve each specific artwork. It is otherwise possible to determine some general principles which must necessarily follow those who have the responsibility of preservation) and that “per ogni oggetto è necessario considerare la sua storia pregressa, in cui il microclima ha determinato un assestamento del materiale, in risposta alle forzanti ambientali esterne e alle proprie caratteristiche fisico-chimiche” (past history of every object must be considered, as microclimate has caused a settlement of the material in response to external environmental forcing and to its own physical and chemical characteristics) [28], suggesting a line of integration between the instrumental microclimate monitoring and the general cognitive process related to the specific object in space and time. Every “conservation environment” thus deserves to be described in detail in its own specificity - also determined by the interaction with the building and by its own construction history and use - so that the comparison between the data collected and the decay condition allows to calibrate the possible modification of microclimatic conditions on the basis of actual link with the presence of pathological phenomena.

In this perspective, prevention through control of the microclimate does not coincide with the adjustment of observed conditions to standardized values, but it is exercised by the substantial investigative work on the system building-environment, aimed to at understand the dynamics of exchange between hygrothermal values and structure. These dynamics have to be considered in their temporal evolution towards the elaboration of a model and, through this, the interpretation of the relationship building-environment in its current state of equilibrium or quasi-equilibrium [29].

The aim of monitoring, therefore, does not consist in an “impossible prophylaxis” [30] based on the systematic respect of parameters but, through a progressively renewed cognitive process, it consists in the localization of imbalances, in recommendations for the intervention on the building envelope and on technical plant and the development of specific indications for the building use and management.

Both “massive” and “technological” side [31] of a historical building have to be studied. Moreover, a historical building has to be considered on its relationship with its immediate surroundings. Analysis and monitoring of microclimate represent, above all, a renewed occasion of technical knowledge as well as the anamnesis, the geometric survey, the historical knowledge and other analytical contributions [32]. Analytical methods are generally based on frequent episodes of investigation in field, such as the chemical, physical and mineralogical characterization of materials and decay. On the contrary it’s interesting to note how climate monitoring needs a detailed and long-term attendance of the building. The survey of the microclimate does not consist in the evaluation of some values, for instance the evaluation of the cracks, as occurs in structural monitoring, but in the progressive definition of the relationship between struc-

ture and environment. Monitoring activities are necessarily delayed in time, allowing a specific cognitive relationship with the analyzed object. A relationship that, using for the last time the medical vocabulary, we could define as an auscultation.

The theme of technical plants

Nowadays minimum levels of comfort and conservation require the maintenance of environmental values based on the contribution of technical plants, which represent a frontier no longer alien to the field of architectonic restoration. This way, the history of the plants has to be intended as a history doubly useful. It is first a material history, intended to recognize and detect old traces of climate control devices which are still stratified into an historic building and which ask their own safeguard. On the other hand, the structure and functioning of the historic plants, generally very careful to the problem of consumes, may often bring very useful information in order to understand the inherent potential of the typical solid-wall envelope of old buildings. More generally, the study of the historic devices may return a precise idea about each single building, about the development of its components for use which have progressively determined its present shape and state of decay.

Although researches and experiments, that cannot more be said pioneers, the introduction of new plants and their design is a traditionally delicate issue within the framework of actions affecting the historic architectural heritage. In fact, if the techniques and methods of intervention on the structure and the finishings have gradually developed many refined methods and solutions (though still waiting for an effective diffusion), in the name of the “utilitas” or usability, the technical devices are still to justify replacements and mutilations, otherwise no longer acceptable. Recent European research on the subject (PRE.VENT, FRIENDLY-HEATING) have already helped to focus some key points on the interaction between historical building and technical devices mainly for heating, both historic both new: way and time of heating in relation to the demand of use, localized heating and general heating, conservative heating and comfort heating, use of low temperature sources to maximize the system efficiency and the functional integration with the structure, the possible integration with renewable energy, compatibility and sustainability, stratification of the installations and possible integration between historical and modern plants. These researches have already given important results, even above the museum scope. It should be noticed as these ideas have been so far developed in disciplinary contexts different form architecture, with the risk of causing dangerous dichotomies between the alleged of aesthetic and performance requirements analytically formalized.

Historic buildings and the energy issue

The relationship between structure and micro-climate is only one aspect of the broader relationship between building and environment. The extension of the concept of safeguard makes it possible to define less and less intervention practices related to direct operations on the matter but to control - even a preventive control - factors crucial to the development of environmental degradation. The implications extend beyond the conservative aim and the disciplinary aspects regarding preservation techniques but it is clear the need to respond to the wider goals of good management of resources, energy and property, translating of shared purpose of environment safeguard into

effective tools for the assessment [33]. The conservation of historic architecture is now called upon to confront the more and more current issue of energy saving, starting a dialogue between disciplines, skills and instances which are still very far, if not in conflict [34].

The reduction in emissions from construction activity and the reduction of energy consumption of the built heritage (existing and new construction) are issues of common interest for the European Community which indicates the energetic improvement of buildings, as a need shared by Member States (EU Directive No 91, 2002 - Energy Performance in Buildings 91/2002/CE).

In existing buildings it is customary to identify historic buildings as a special category for which the law provides for the possible circumvention of the requirement for improvement, in other words, the exclusion from the application of operative rules because of possible conflict between the need for conservation heritage and those of energy conservation. The exemption for protected buildings is expected "in cases where the requirements would unacceptably alter their character or appearance."

Considering that the target of a widespread improvement is being pursued on the double track of the energy certification and the requirement of minimum intervention in the case of construction or renovation, the right of derogation shall be exercised by lifting the buildings of historical interest from the energy certification otherwise required when constructed, sold or rented or, otherwise, circumventing the imposition of minimum requirements (in terms of energy efficiency) in the case of intervention [35].

It should be remembered as in the recent past, the application of some UE directives in the field of energy saving for the construction industry has led to very negative consequences on the architectural heritage. For example, Directive 93/76/EEC Energy Efficiency (SAVE) [36], while has distributed loans to increase the energy efficiency of buildings, favored in many countries (Hungary, Finland, Norway, United Kingdom...) an substitution indiscriminate of the existing and low performance windows and the consequent loss of many traditional historical windows.

Italy has transposed the EU directives with the D.L. 192/2005, which introduces the concepts of "energy certification" of the built heritage and "requirements" to be followed in case of intervention. This law has been received, at different skill levels (national, regional and municipal), proposing the same principle of exemption already provided at Community level, in other words the possibility to proceed or not with intervention or certification without defining operative limitations, i.e. in relation to the type of property or the type of building construction [37].

Energy certification establishes, by means of procedures and instruments (including dedicated and gradually developed software) the energy performance of the building to fix the starting point of a hypothetical intervention, or to define a parameter which determine the value, within an estimative process. However, the application of computational tools to historic buildings is still uncertain, largely because variables and procedures have been designed to modern designed envelopes and they are still unlikely to return credible models for buildings which are characterized by various dimensions and materials and an even very heterogeneous thermal behavior. Moreover, software usually considers the system to be in steady state, overlooking the effect of thermal inertia, which is

considerable in historic buildings.

On the side of the requirements, the national law demands an accurate check of the transmittances only in case of global restructuring, or in the case of partial renovation or maintenance, a category of works generally prevailing for interventions affecting the historic heritage - architecture. The same limits must be considered 10% more restrictive in the case of public buildings, unless they are under protection.

However, the application of prescribed threshold values is difficult, in practice: for example, the law describes as satisfactory the behavior of a summer full stone masonry, while the corresponding limit value in wintertime is very hard to be applied. For windows, the law prescribes a transmittance which is characteristic of a low-emissivity double-glazed window while the main types of plain glass historic windows, although assessed in a good state of conservation and enforcement, difficulty achieve U-values below 5.

The fulfillment of the requirements of energy improvement, for the nowadays prescribed values, leads to obvious problems of compatibility with the requirements of the protection of historical buildings and, in operational terms, with the protection procedures, hence the reason for exemption: "*si intendono esclusi dall'applicazione del presente decreto [...] gli immobili ricadenti nell'ambito della disciplina dei Beni Culturali e i Beni Paesaggistici come individuati dal decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici*" (are excluded from the application of this decree [...] the buildings that fall under the discipline of Cultural Heritage and Landscape as identified by the Legislative Decree 22 January 2004, No 42, titled Code of Cultural Heritage and Landscape, in cases where the requirements would involve unacceptable alteration of their character or appearance with particular reference to historical or artistic character) [38].

This is clearly a formulation that leaves open a number of issues. If the founding values of the protection evidently overtake the simple component of art history, the difficult decision whether an alteration is acceptable or not is entrusted just to the competence, discretion of the local heritage supervisor, as there are no common guidelines and there is still no dedicated literature [39]. In addition, the institution of protection reviews only the projects concerning protected buildings, while the landscape assets rely solely to planning tools (PGT, PPP) and eventually to a legal contradictory.

For these reasons, the Italian legislation on improving energy is at a backward stage than the other laws concerning the requirements for the use of architectural heritage (fire prevention, accessibility, seismic, facilities). In fact, the legislation dealing with this aspect has generally defined specific rules (and / or application tools) for protected buildings, meaning the derogation as a search for alternative routes.

Consider, for example, the concept of "improvement" in the seismic area, instead of "adaptation" [40] or the concept of "equal security" for fire prevention (Presidential Decree 37/1998) and the design of the facilities (Standard CEI64/15 1998) which allow to work in terms of calibration of the interventions (see also the rules for accessibility, DPR 503/1996). The actual legislation on energy saving and improvement has fixed the same rules and limits for new and existing (protected or not) buildings, meaning the instrument of exemption simply as a possible non-application of the law.

The critical aspects are evident for both new buildings and existing and, in particular, the lack of laws and specific operational instruments for protected and historic building, for example specific criteria to base the definition of the derogation measure, i.e. appropriate software tools (which are the basis for the certification process).

The comparison with other European countries suffers inevitable differences related to climate, so countries such as Norway, Denmark, Germany, Austria show already an established tradition on the issue of energy saving, as they have promptly transposed the European directive and have also been among the first to recognize the danger of its uncritical application to historic buildings.

The experience of the United Kingdom is particularly interesting because the institutions and authorities active in the field of protection have been involved in the implementation of the standard, drafting and disseminating guidelines to improve the energy efficiency of historic buildings, with particular attention to the issue of windows and coating materials [41].

Notes

- [1] PERTOT G., PRACCHIV., ROTONDI P., *Il progetto, il cantiere, il piano di conservazione*, in (a cura di Valeria Pracchi) *L'oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso. Il restauro*, Silvana Editoriale, Milano 2007, p. 133
- [2] UNI 10829:1999, Works of art of historical importance - Ambient conditions or the conservation - Measurement and analysis.
- [3] ALBERTI L. B., *Ludi matematici*, a cura di R. Rinaldi, Milano, Guanda, 1980
- [4] BISCONTIN, DRIUSSI. (1999), see in particular: TRECCANI G.P., *Manutenzione come cura del costruito* and MANNONI T., BOATO A., *Ripensare al degrado per una vera manutenzione: agenti, azioni e cause*.
- [5] BOITO (1893), pp.28 e 31
- [6] Italian Charter of Restoration 1972, Art. 4.
- [7] Italian Charter of Restoration 1972, Annex B. Instructions for the conduct of the architectural restoration
- [8] Charter of Conservation and Restoration (1987), Art. 2. However it must be considered as the concept of prevention returns, with some overlap in meaning, in other definitions in the same article, from the definition of safeguard (modeled on that of the 1972 Charter) as "any protective measures and preventive intervention that does not involve direct intervention onto the considered object" ("*qualsiasi provvedimento conservativo e preventivo che non implichi interventi diretti sull'oggetto considerato*") to the definition of preservation as "the set of acts of prevention and protection aimed at ensuring a basically unlimited duration [!] to the material configuration of the object considered ("*insieme degli atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata [!] alla configurazione materiale dell'oggetto considerato*")
- [9] URBANI G. (edited by), 1973, *Problemi di conservazione*, Atti della Commissione per lo sviluppo tecnologico della conservazione dei beni culturali, Compositori, Bologna, e AA.VV., 1976, *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo a cura di Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*, Istituto Centrale per il Restauro, Roma.
- [10] Ministry of Heritage and Culture, D. Legislative Decree 22 January 2004, n. 42, Code of Cultural Heritage and Landscape (O) n.45 of 24 February 2004, SO No. 28), Art.29 paragraph 2
- [11] Italia Charter of Restoration [1931], Art. 6: "*insieme col rispetto per il monumento e per le sue varie fasi proceda quello delle sue condizioni ambientali*". ("*together with respect for the monument and its various stages of its proceeds to environmental conditions*")
- [12] European Charter of Architectural Heritage [Amsterdam, 1975], Art. 1 "*Per molto tempo abbiamo protetto e restaurato solo i monumenti più insigni senza tener conto del loro ambiente. Ora essi perdono gran parte del loro carattere se questo ambiente viene alterato*" ("*For a long time we have protected and restored only the most important monuments irrespective of their environment. Now they lose much of their character if this environment is altered*").
- [13] See in these same documents also the so-called CNR Charter, Art. 3: "*I provvedimenti di conservazione riguardano non soltanto la salvaguardia dell'oggetto singolo e dell'insieme degli oggetti considerati significativi, ma anche delle condizioni del contesto ambientale, purché accettato come storicamente pertinente e favorevole sia dal punto di vista fisico che della manutenzione ordinaria*" (The conservation measures relate not only to safeguard the individual and the object of all the objects considered significant, but also the conditions of the environment, if accepted as historically relevant and beneficial both in terms of physical and routine maintenance) e Art.45, comma 1 del Codice dei BB. CC. (Italian Statute for Cultural Heritage) of 2004, indirect protection prescriptions to "the environment and dignity condition must not be altered" ("*non*) siano alterate le condizioni di ambiente e di decoro") of cultural property.
- [14] "*la prima direttiva di indagine [del restauro preventivo] sarà quella relativa a determinare le condizioni necessarie per il godimento dell'opera come immagine e come fatto storico. In secondo luogo [...] l'indagine dovrà essere portata sullo stato di consistenza della materia e successivamente sulle condizioni ambientali, in quanto ne permettano, ne rendano precaria, o direttamente minaccino, la conservazione*" see Brandi (1977), p.57. ("The first directive of investigation [of preventive restoration] will be the one relative to determining the conditions necessary for the enjoyment of the artwork as image and as a historical fact. Secondly [...] the investigation will be carried on the state of consistency of material and later on the environmental conditions, as they can be, the make precarious, or directly threaten the conservation "). It must be noted as in the following pages the author, to illustrate what he means with the first directive, cites two cases of architectural and urban interventions: the facade of S. Andrea della Valle and Via Giulia in Rome.
- [15] CARLINI (2007)
- [16] MENEGAZZI, PUTT (2004)
- [17] "*beni di interesse storico e artistico [...] siano collocati in luoghi ove le condizioni ambientali, influenzanti i processi di degrado, siano opportunamente controllate al fine di limitare la velocità dei processi stessi*" (historical and artistic goods [...] should be placed where environmental conditions influencing the degradation processes, are properly controlled in order to limit the speed of the processes themselves). UNI 10829:1999 Works of art of historical importance - Ambient conditions or the conservation - Measurement and analysis. p.1. In the appendix for the planning of new air conditioning systems for rooms containing goods of historical or artistic interest, purposes only, the reference values are indicated to be considered in the absence of other specific guidance than to the environmental parameters relating to the conservation of 33 categories of materials and objects, under conditions of stable climate over time)
- [18] Decree Law March 31, 1998, No. 112, Delegation of administrative functions and duties of the State to the regions and local authorities in implementing Chapter I of Law March 15, 1997, n.59 (G.U. 21 April 1998, n. 92), art. 150, paragraph 6
- [19] Ministry of Heritage and Culture, D. M. May 10, 2001, Act address the technical-scientific criteria and standards of operation and development of museums (G.U. No 244, October 19, 2001, SO No. 238), p. 13
- [20] *Ivi*, p.126.
- [21] The authors seem sometimes to protect themselves, indicating that "*la complessità e la varietà degli oggetti che costituiscono i beni culturali rendono particolarmente difficile l'individuazione e la definizione assoluta degli intervalli e dei limiti dei parametri ambientali, intesi come valori critici ottimali, per la buona conservazione delle opere. Pertanto la corretta utilizzazione delle tabelle relative a tali intervalli e limiti riportate in appendice deve essere sempre e necessariamente accompagnata da una specifica metodologia di interpretazione*" (pp. 123-124) ("the complexity and variety of objects that constitutes the cultural heritage makes it particularly difficult to detect and define absolute ranges and limits of environmental parameters, seen as optima critical values for the proper preservation of the works. Therefore, the proper use of tables and limits for these intervals listed in the appendix must be always and necessarily accompanied by a specific method of interpretation"), that "*I valori vanno intesi come termini di riferimento ai quali sarebbe opportuno mantenere i manufatti; ciò significa che possono essere consentiti modesti scostamenti dai valori termoisometrici consigliati*" (p.126) ("values must be understood as terms of reference to which the artifacts should be maintained, which means that small deviations may be permitted by the recommended temperature and humidity") and that "*l'opportunità di modificare le condizioni degli ambienti museali, in funzione di quanto riportato nelle tabelle, deve essere attentamente valutata in relazione allo stato di conservazione dei manufatti, all'area geografica in cui il museo si trova ed alle reali possibilità di assicurare la costanza dei valori*" (p.148) ("the opportunity to modify the terms of museum environments, according to what reported in the tables,

should be carefully considered in relation the state of conservation of artefacts, the geographic area in which the museum is located and the real possibility of ensuring the constancy of values")

- [22] PADFIELD T., *The role of standards and guidelines. Are they a substitute for understanding a problem or a protection against ignorance?* In KRUMBEIN, W. E. (1994)
- [23] See. BELLINI (1986) and MUSSO (1995)
- [24] CAMUFFO, FASSINA, HAVERMANS (2010)
- [25] THOMSON (1978)
- [26] D. M. 10 maggio 2001, p. 10
- [27] CAMUFFO (2006)
- [28] Norma UNI10969:2002, Cultural heritage - General principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environmentsp.1-2. Substituted, since Novembre 2010 by UNI EN 15757:2010, Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials. The new text indicates the procedures to limit the physical damage due to climate, affecting hygroscopic organic materials that have been kept stored for a long time (more than one year) exhibitions, indoor environments such as museums, galleries, stores, archives, libraries, churches and historic buildings ancient or modern
- [29] MANNONI, BOATO (1999), op. cit., p. 54
- [30] BRANDI (1977), p. 53
- [31] BANHAM (1969)
- [32] GUERRI (2001)
- [33] In this book, see the paper by Frank Mills, *Humidity and indoor air quality for collections in historic buildings and castles in the UK*
- [34] DELLA TORRE S., *Sostenibilità e conservazione di fronte al mito dell'efficienza energetica*, in ANANKE n° 60 - maggio 2010, Alinea Editrice, Firenze 2010, pp. 141-143
- [35] par. 1 "Gli stati membri possono escludere le categorie di cui all'art. 4, paragrafo 3, dall'applicazione del presente paragrafo" ("Member States may exclude the categories referred to in art. 4, paragraph 3, from the application of this paragraph"). The mentioned paragraph says: "Gli Stati membri possono decidere di non istituire o di non applicare i requisiti di cui al paragrafo 1 per [...] edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto" ("Member States may decide not to grant or not to apply the requirements referred to in paragraph 1 [...] buildings and monuments officially protected as part of a designated environment or because of their special architectural or historic merit, where compliance the requirements would unacceptably alter their character or appearance")
- [36] today replaced by Directive 2006/32/EC
- [37] Italy has transposed the Directive EPBD with DL 192/2005, subsequently amended by Law 311/2006) and the Presidential Decree 59/2009 (minimum requisite) and National Guidelines for the Energy Certification. The regional legislation considers various aspects of energy performance certificates (sustainability, use of natural materials, rainwater recovery ...) and may indicate more stringent requirements or incentive tools for enhancing procedures, such as a deduction in volume. The Regional Energy Plans, in particular, constitute a valid address energy policies but do not apply to protected building. The municipal instruments (Building Regulations, PGT, NTA) provide the requirements for the construction of new buildings and renovation of existing ones.
- [38] DL 42 / 2004, parte seconda (Cultural Heritage); art. 136, comma 1, lett. b) e c) (Landscape Heritage)
- [39] DL 311/2006 Art. 3, comma 3
- [40] DM January 14, 2008. The guidelines for the assessment and mitigation of seismic risk of the cultural heritage of MIBAC indicate that "Intervenire in termini di miglioramento deve significare progettare solo sulla base della conoscenza della fabbrica, realizzando soltanto quel progetto che, pur dando opportune garanzie di sicurezza, sia rispettoso del contesto su cui va a collocarsi". ("Intervening to improve must mean projecting only on the basis of building knowledge, only designing a project which gives appropriate assurances of safety, be respectful of the context in which it takes place). Art. 29 of the Cultural Heritage Code also specifies that in case of structural adjustment improvement must be the first choice, "favoring" the characteristics of the existing building.
- [41] For example: *Energy efficiency and historic buildings. Application of part I of the building regulations to historic and traditionally constructed buildings* (edited by English Heritage, November 2010) which sub-

sides the previous *Building Regulation and Historical Buildings*, 2002 (revised 2004), and the many handbooks free downloadable from the E-H website

Bibliography

- AA. VV., *Museum Handbook*, NPS, Washington, 1999
- AA. VV., *Oggetti nel tempo: principi e tecniche di conservazione preventiva*, Clueb, Bologna 2007
- ALCANTARA R., *Standards in preventive conservation: meanings and application*, ICCROM, Roma 2004
- BANHAM R., *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London 1969 (trad. it. di Morabito G. e Stanesco C., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Roma-Bari 1993)
- BELLINI A. (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli edizioni, Milano 1986
- BERNARDI A., *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova 2004
- BOITO A., *Questioni pratiche di Belle Arti*, Hoepli, Milano 1893
- BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino 1977
- BISCONTIN G., DRIUSSI G., *Ripensare alla manutenzione. Ricerche, progettazione, materiali, tecniche per la cura del costruito, atti del XV convegno internazionale Scienze e beni Culturali*, Arcadia Ricerche, Bressanone, 29 giugno - 2 luglio 1999, Arcadia Ricerche, Venezia 1999,
- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
- CAMUFFO D. (a cura di), *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali, Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Electa, Milano 2006
- CAMUFFO D., *Clima e microclima: la normativa in ambito nazionale ed europeo in "Kermes. La rivista del Restauro" n.71*, Numero speciale per i 30 anni della Commissione UNI BBCC-NORMAL, pp.49-67, Firenze Nardini 2009
- CAMUFFO D., FASSINA V., HAVERMANS J. (Editors), *Basic Environmental mechanism affecting cultural heritage. Understanding deterioration mechanism for conservation purposes*. COST Action D42: CHEMICAL INTERACTIONS BETWEEN CULTURAL ARTEFACTS AND INDOOR ENVIRONMENT (ENVIART), Nardini EDITORE, Firenze 2010
- CARLINI L., *Prevenire conviene in AA. VV. Oggetti nel tempo: principi e tecniche di conservazione preventiva*, Clueb, Bologna, 2007 p. 10.
- GUERRI M. (a cura di), *Le arti nell'età della tecnica*, Mimesis, Milano 2001 (in particolare il saggio di M. Heidegger, *La questione della tecnica*, pp. 43-65)
- GURRIERI F., *Restauro e conservazione: carte del restauro, norme, convenzioni e mozioni sul patrimonio architettonico e artistico*, Polistampa, Firenze 1992
- KRUMBEIN, W. E. (edited by), *Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage*, Wiley and Sons, Chichester 1994
- MECKLENBURG M. F., *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento / Failure mechanisms in canvas supported paintings: approaches for developing consolidation protocols*, trad. it. D. Mancin e C. Sbrulino), il Prato, Saonara 2008
- MENEGAZZI C., PUTT S., *Preventive Conservation Indicators* [revised 2002] in PUTT N., SLADE S., *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma 2004
- MUSSO S., *Architettura Segni e Misura. Repertorio di tecniche analitiche*, Progetto Leonardo, Bologna 1995
- PADFIELD T., BORCHERSEN K., (edited by), *Museum Microclimates. Contributions to the Copenhagen conference*, The National Museum of Denmark, Copenhagen 2007
- PUTT N., SLADE S., *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma 2004
- THOMSON G., *The Museum Environment*, Butterworths, London 1978,
- Norma UNI 10829:1999, *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*
- Norma UNI 10969:2002, *Beni Culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni*
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. M. 10 maggio 2001, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. Lgs. 22 Gennaio 2004, n.42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*

Il clima degli edifici e la tutela del patrimonio culturale

Strumenti e modelli di conoscenza

Conoscere per conservare, conservare per conoscere

La traslazione lessicale e semantica dalla nozione di progetto a quella di processo, può dirsi oggi condivisa tra gli addetti alla conservazione e l'azione sul costruito è spesso raffigurata come un modello dinamico circolare attorno allo studio del manufatto da cui trae il necessario supporto. La considerazione per cui la conoscenza costituisce il fondamento di ogni azione consapevole e che possa addirittura rappresentare il fine stesso dell'operatività, è oggi condivisa nel dibattito teorico e, lentamente, anche in ambito non strettamente disciplinare. In ogni caso, soprattutto se riferita alla tutela della materia costruita, si conviene che l'operatività risulti più efficace e misurata quando condotta dall'attività di ricerca, secondo una non più attualissima circolarità tra conoscere e conservare ("conoscere per conservare, conservare per conoscere") [1].

La fase analitica caratterizza le più recenti posizioni in materia di conservazione ed è intesa soprattutto come attività conoscitiva preliminare e finalizzata a calibrare l'intervento in funzione delle reali necessità dell'oggetto e a potenziare le risorse ancora presenti, massimizzando la permanenza del riconosciuto, per quanto inevitabilmente ambiguo, valore di autenticità. In questo senso, la conoscenza per il progetto serve principalmente a descrivere la vita del bene, non tanto o non solo per ricostruire date ed avvenimenti salienti (l'anno di costruzione, il periodo delle modifiche avvenute ecc.), quanto, secondo un'immagine cara soprattutto agli architetti, per acquisire consapevolezza della traiettoria entro cui situare il proprio intervento. Definire e controllare un intervento o una procedura di conservazione di minimo impatto, compatibilità, durabilità, manutenibilità e reversibilità (?) comporta un iter decisionale complesso e radicato nel lento cammino della conoscenza circa le vicende materiali ed immateriali che hanno determinato il bene nella sua attuale configurazione.

Per quanto la tutela dei beni mobili ed immobili operi al confine tra aspetti estetici e formali, essa consiste soprattutto in una attività di trattamento protettivo della materia. Conoscere analiticamente i materiali, caratterizzarne il degrado in termini chimico-fisici, costituisce il principale risultato atteso dall'attività conoscitiva attorno al bene da tutelare. La tradizionale sequenza di operazioni conoscitive (ricerca storica, rilievo geometrico, indagini specialistiche ecc.) rimane attuale nelle prescrizioni di soprintendenza e tende, soprattutto per i beni di maggior pregio e complessità, a riconoscersi nelle analisi diagnostico-strumentali, che ancora godono di fiducia incondizionata in una pretesa efficacia ed oggettività di risultato.

Molti saperi, qualche dubbio

Le "scienze della conservazione" consistono nell'applicazione di metodi e strumenti mutuati soprattutto dalle scienze naturali - chimica, mineralogia, biologia, fisica e meteorologia - e descrivono il patrimonio oggetto di tutela mediante la misura strumentale di parametri fisici: i dati dimensionali, le proprietà meccaniche dei materiali, la temperatura, l'umidità, etc.; il monitoraggio nel

tempo fornisce un modello del loro comportamento al variare delle condizioni climatiche, d'uso e di carico.

Con riferimento alla conservazione degli edifici storici, le indagini microclimatiche, sono in genere orientate a descrivere le dinamiche di scambio termoisometrico tra le strutture e gli ambienti interni, a localizzare i fenomeni di squilibrio - condensazione, gelo/disgelo, cristallizzazione salina - potenzialmente dannosi per la conservazione dell'edificio e degli oggetti che questo contiene, a fornire elementi utili per orientare le operazioni di manutenzione. La descrizione del microclima è innanzitutto un supporto alle decisioni progettuali, cui fornisce elementi utili per la scelta e la collocazione delle destinazioni d'uso. Soprattutto nella fase istruttoria, essa si configura come un momento di lettura ed interpretazione dell'edificio di cui restituisce una descrizione quali-quantitativa in grado di estendere il quadro conoscitivo accanto ai rilievi metrici, tematici ed agli studi di carattere storico.

Gli "uomini di scienza" hanno, per questa via, assunto un ruolo sempre più importante nel dibattito sulle tecniche della conservazione. I beni culturali hanno rappresentato un terreno di applicazione relativamente nuovo e denso di occasioni per molte branche del sapere scientifico sebbene non sfugga la difficile penetrazione che molte posizioni raggiunte dal dibattito disciplinare ancora oggi mostrano sulla pratica professionale e sulla definizione di strategie e normative.

Il tema della standardizzazione e della normalizzazione è la più recente circostanza in cui si palesa la doppia velocità e la difficile comunicabilità - spesso anche solo linguistica - tra la ricerca scientifica applicata ed il dibattito interno sulla tutela, i suoi strumenti ed operatori.

Il monitoraggio del microclima e la diagnosi ambientale negli edifici storici

Il monitoraggio del microclima è stato da tempo promosso nel novero delle tecniche della conservazione, e applicato, non senza piccoli ma inevitabili fraintendimenti, in ambito museale e, più recentemente, anche alla conservazione di beni architettonici e materiali edilizi.

Controllare i fattori ambientali determinanti per l'insorgenza e lo sviluppo del degrado rappresenta oggi soprattutto una opportuna pratica preventiva nella misura in cui si configura come azione di controllo del rapporto tra oggetto e ambiente, secondo un criterio di "minimo intervento" esteso all'esecuzione delle indagini conoscitive. Si tratta di una prassi ben integrata con la nozione di monitoraggio, un controllo protratto per periodi di tempo significativi, necessario per comprendere fenomeni dalla natura intrinsecamente ciclica come quelli legati alla temperatura ed al passaggio di stato dell'acqua, secondo l'idea tutta preventiva, di equipaggiare l'oggetto da salvaguardare con un presidio diagnostico permanente in grado di riconoscere le "spie" del degrado prima che se ne manifestino i sintomi, riprendendo il parallelo con la medicina e la diagnostica microbiologica.

Rispetto alle attuali applicazioni sui beni culturali mobili e immobili, il monitoraggio di temperatura, umidità, illumina-

mento e altri parametri fisico-ambientali, costituisce parte del corredo di informazioni che formano il progetto di conoscenza e conservazione, anche programmata o preventiva, e consiste nella descrizione del rapporto tra l'ambiente e il bene da proteggere, nell'idea che la conservazione materiale risenta delle condizioni ambientali.

Una questione di modelli: lo spettro elettromagnetico

È tradizione distinguere tra le indagini conoscitive che si svolgono in situ, e quelle che si svolgono in laboratorio. Le prime sono in genere non distruttive, possono essere condotte senza asportare materiale, e senza arrecare danno alle superfici. Si tratta, in genere di indagini telemetriche, eseguite a distanza, senza contatto diretto con gli oggetti. La termografia IR, ad esempio, è una delle indagini attualmente più diffuse in campo edile, soprattutto per lo studio delle strutture murarie intonacate, per il controllo degli impianti e per la diagnosi energetica dell'involucro edilizio. Le indagini di laboratorio consistono invece nella caratterizzazione chimico-fisica di campioni di materia. La loro esecuzione richiede pertanto l'asportazione di materiale dalle superfici o dagli oggetti indagati e si dicono pertanto, distruttive o micro - distruttive.

Le tecniche per il monitoraggio del microclima negli edifici storici, soprattutto in contesto museale, sono completamente non distruttive e basate sulla misura conducimetrica e la trasmissione di segnali elettromagnetici a bassa frequenza; permettono di acquisire grandi quantità di informazioni e reiterare le misure confrontando i dati nel corso del tempo senza alterare l'aspetto del manufatto e senza comprometterne l'integrità materica e funzionale [2]. La misura delle grandezze chimico - fisiche ambientali restituisce una descrizione dell'ambiente e dell'interazione ambiente-oggetto colta dal particolare punto di vista proprio di ciascuna tecnica di misura. I dati vengono impiegati per la formazione di un modello interpretativo della realtà indagata. Si tratta di un'operazione analoga a quella che si compie eseguendo un rilievo metrico - architettonico, tramite il quale si ricostruisce un modello grafico interpretativo della realtà (una proiezione piana, in genere, una planimetria o una sezione quotata) sulla base dei dati rilevati mediante uno strumento di misura diretta o telemetrica. Un'operazione molto simile è quella che si esegue mediante la fotografia, analogica o digitale, con la quale si fissa su pellicola o sensore CCD la quantità di energia emessa dall'oggetto inquadrato nel campo dello spettro elettromagnetico corrispondente al "visibile". Allo stesso modo, le più comuni tecniche di indagine basate sulla misura telemetrica dell'energia emessa "fotografano" gli oggetti alle diverse lunghezze d'onda, impiegando strumenti sensibili ad una determinata intensità, o frequenza, di energia emessa. Così, la termografia "fotografa" gli oggetti misurandone l'energia emessa ad una frequenza appena più breve rispetto a quella del visibile. L'infrarosso IR o la diffrazione dei raggi X, operano a frequenze maggiori, cioè a lunghezze d'onda minori e, per questa via, sono in grado di ottenere informazioni sulla natura compositiva dei materiali indagati.

Questo procedimento è stato descritto mediante la similitudine tra strumenti diagnostici e "lenti" attraverso cui il diagnosta osserva e "fotografa" gli oggetti di indagine. Oppure, ricorrendo ad un'immagine altrettanto figurata, potremmo dire che, con le diverse tecniche analitiche, si osserva la medesima realtà da punti di vista o angolazioni differenti, ciascuna ugualmente raffinata, penetrante e inevitabilmente parziale.

Non sfuggono, è chiaro, i rischi connessi all'impiego sistematico dei "ludi matematici" per una descrizione, o rappresentazione della realtà indagata del tutto scientifica e, per questo, sicuramente non-arbitraria [3]. La rappresentazione della realtà ottenuta tramite la costruzione di modelli ad elementi necessariamente finiti (un'immagine termografica, ad esempio, ovvero un diagramma cartesiano con l'andamento nel tempo di uno o più parametri) restituisce un'immagine dell'oggetto indagato necessariamente parziale e settoriale, mediata dal mezzo di misura (il termometro, il telemetro), dalle condizioni di esecuzione della prova, dalle modalità di selezione e lavorazione del dato, dalle procedure di restituzione e rappresentazione (software di calcolo e interpolazione, software di graphic editing), dalle modalità di comunicazione dei risultati. Si tratta, è appena il caso di sottolinearlo, di una provocazione, ma i rischi di un'applicazione frettolosamente entusiastica e autoreferenziale del sapere tecnico-scientifico, non mancano e sono particolarmente evidenti quando l'indagine si affida ad una sola tecnica di misura, anziché incrociare evidenze analitiche derivata dall'impiego comparato di tecniche complementari.

La programmazione e l'esecuzione dei monitoraggi prevede l'impiego di modalità operative, scale di rilievo e gradi di affinamento diversi ed indispensabili per dar conto della complessità degli edifici storici, presso cui, molto spesso, convivono assetti distributivi eterogenei, materiali ed elementi costruttivi molto diversi. Anche dal punto di vista dell'uso, gli edifici storici presentano situazioni differenziate con porzioni regolarmente utilizzate - e quindi riscaldate - accanto a zone fredde localmente provviste di serramenti efficienti, ovvero prive di riscaldamento e di un efficace sistema di chiusure. L'impiego comparato di tecniche di misura complementari è quindi il primo elemento di qualificazione per ogni campagna di diagnostica ambientale o monitoraggio strumentale.

Conservazione, prevenzione e ambiente nella legislazione italiana

Alcune recenti osservazioni a proposito dei concetti di manutenzione e prevenzione, individuano gli elementi per una distinzione concettuale tra diagnosi ambientale e monitoraggio del microclima. La prima coincide con un'attività episodica ed emergenziale, preliminare ed orientativa rispetto ad un intervento finalizzato a correggere una situazione di squilibrio patologico e a riportare l'edificio ad uno stato di equilibrio o di semi equilibrio; la seconda è un'attività soprattutto predittiva e finalizzata, mediante la misura strumentale dei parametri ambientali, a preconizzare la diagnosi del degrado, rispetto all'insorgenza dei sintomi [4].

Si può tentare una precisazione semantica di questi termini ripercorrendo l'evoluzione del significato che i concetti di "prevenzione" ed "ambiente" hanno assunto nei testi delle Carte del restauro e della normativa italiana per i beni culturali, avvicinandosi progressivamente in diverse formulazioni.

La prevenzione è stata descritta in primo luogo come estensione delle pratiche manutentive, serie di azioni di modesta entità ripetute nel tempo e agenti in modo diretto sul bene: le "cure assidue di manutenzione" della Carta Italiana del Restauro del 1931 (art. 1) volte a dilazionare, se non eliminare, la necessità di un inevitabilmente traumatico restauro. Una concezione analoga si trova in documenti anche molto diversi tra loro come la Risoluzione approvata dal III Congresso degli ingegneri ed architetti italiani: "I monumenti architettonici quando sia dimostrata incontestabilmente la necessità di porvi mano devono

essere piuttosto consolidati che riparati, piuttosto riparati che restaurati”, *la circolare di Falloux del 1849*: “il restaurare deve considerarsi pur sempre una triste necessità. Una manutenzione intelligente deve sempre prevenirla” o *l’Art.2 delle Istruzioni per restauro monumenti del 1938* “costituisce sempre esigenza fondamentale prevenire tempestivamente, attraverso attenta manutenzione, ogni causa di deperimento dei monumenti e delle opere d’arte” [5].

La prevenzione si sovrappone talvolta al termine “salvaguardia”, essendo intesa come l’insieme delle operazioni di tipo indiretto sull’oggetto da proteggere, per questo coincidenti con il controllo del contesto. Si tratta di un punto di vista rinvenibile ancora nella *Carta del Restauro del 1972* dove, accanto a quella di restauro, si trova la definizione di salvaguardia come “provvedimento conservativo che non implichi intervento diretto sull’opera” [6] ma, allo stesso tempo, nell’allegato dedicato ai restauri architettonici, si associano le “opere di manutenzione tempestivamente eseguite” ai “provvedimenti di carattere preventivo” [7].

Nel documento noto come “*Carta del C.N.R.*” del 1987, la prevenzione è descritta come l’“insieme degli atti di conservazione, motivati da conoscenze predittive al più lungo termine possibile, sull’oggetto considerato e sulle condizioni del suo contesto ambientale” [8]. Si tratta di una definizione che distingue la prevenzione dai concetti di salvaguardia e manutenzione, in un approccio basato sulla limitazione del rischio nel quale si riconosce l’influenza del pensiero e dell’opera di Giovanni Urbani presso l’I.C.R. [9].

Una impostazione concettualmente molto simile caratterizza anche la definizione contenuta nel *Codice per i Beni Culturali e Paesaggistici del 2004*, dove la prevenzione è il “complesso di attività idonee a limitare le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto” [10].

Il concetto di prevenzione compare da questo momento definitivamente legato con quelli di ambiente e di contesto ambientale. Nella *Carta del 1931* era già presente l’idea, riconducibile a Giovannoni, di “restauro ambientale”, tendente ad esprimere una particolare attenzione al contesto che circonda il bene culturale [11]. Nella *Carta di Amsterdam del 1975* si trovano le indicazioni dirette alla sua stessa tutela [12]. La connotazione del contesto come potenziale fattore di rischio emerge in tutta evidenza nelle riportate citazioni della *Carta del 1987* e del *Codice per i Beni Culturali e Paesaggistici del 2004* in cui, accanto all’istanza di tutela del contesto ambientale [13] è già presente anche la necessità di una tutela dal contesto ambientale. È inoltre interessante sottolineare come entrambe queste concezioni si ritrovino, in stretto legame con la prevenzione, anche in certe posizioni Brandiane sul *Restauro preventivo* [14].

L’attuale nozione di conservazione preventiva comprende un vasto insieme di operazioni conservative e pratiche museologiche. In uno dei più recenti e diffusi contributi italiani, essa è descritta come “l’insieme delle misure adottate per prevenire o ridurre i possibili danni alle collezioni”, avente “come obiettivo la protezione delle collezioni nel loro insieme, piuttosto che l’azione rivolta al singolo oggetto”, incentrata “sul concetto di «non intervento» piuttosto che su quello d’intervento di restauro” e comprendente “operazioni quali, ad esempio, la movimentazione, la gestione delle collezioni in esposizione e in deposito e il monitoraggio microclimatico” [15]. La *conservazione preventiva (preventive conservation)* è altrove intesa come “an agreed plan of action to slow the rate of deterioration and reduce risks for museum collections. The focus is on

the surroundings of the collections, thus actions could range from building maintenance, to control staff practices, influencing public attitudes, climate control and legislation” [16].

Mentre l’attenzione è su quanto circonda le opere, nel tentativo di preservarle dai fattori di degrado esterni, le pratiche preventive si sostanziano in una serie di raccomandazioni per la definizione dell’ambiente ideale, con riferimento particolare alle prescrizioni relative al controllo dei parametri termoigrometrici, diffuse nella forma di tabelle recanti i valori di riferimento per ciascun tipo di oggetto o materiale.

È questa l’impostazione con cui si è formata la normativa tecnica italiana sulla conservazione ed il controllo del microclima, in particolare la norma UNI 10829:1999 - Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi ed il D. M. n. 238 del 10.5.2001 “Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei” del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, entrambe contenenti tabelle di valori “consigliati” per la conservazione di opere in ambiente interno.

Il testo della UNI 10829 attiene soprattutto la regolazione delle procedure per il rilievo ed il controllo del microclima [17]. Il D.M. n. 238, emanato nell’ambito del decentramento delle funzioni e delle competenze dello Stato [18], esprime un fine più generale e diversamente legato all’interpretazione del concetto di “standard minimi” trasponendoli “da un piano meramente funzionale – nel quale sarebbe stata appropriata una traduzione come parametri, requisiti, o eventualmente garanzie – al piano metodologico in cui assumevano il ruolo di indicatori di qualità, configurando infine un sistema di criteri e regole per definire i requisiti minimi necessari all’esistenza del museo e al suo funzionamento” [19]. All’Ambito VI – Sottoambito I, dell’appendice riguardante le norme per la conservazione ed il restauro delle collezioni “vengono riportate alcune tabelle con lo scopo di indicare i valori dei parametri ambientali entro cui è possibile realizzare condizioni di conservazione dei manufatti idonee” [20].

Nonostante le precauzioni [21], è stato notato il rischio di assumere come uno degli indicatori fondamentali della qualità di uno spazio museale il maggiore o minore rispetto di tali parametri termoigrometrici, predeterminati nella ricerca di una standardizzazione delle pratiche preventive. Da tempo tuttavia questo approccio, legato alla definizione di valori standard per la conservazione delle opere e la prevenzione del degrado, è oggetto di ripensamento da parte di numerosi autori [22].

Dalle opere agli edifici storici, dai beni mobili agli immobili

Alla conservazione dei beni architettonici ed alla specificità dei temi connessi alla loro tutela si deve lo sviluppo di discipline e competenze ormai diffuse oltre l’ambito della ricerca. La capacità di leggere e interpretare il degrado dei materiali rappresenta oggi un elemento fondamentale per qualificare l’intervento sul costruito storico non senza inevitabili criticità per l’impiego di tecniche analitiche sempre più tecnologicamente evolute e, per questo, supportate completamente oggettive nelle procedure e nei risultati [23].

Accanto all’evoluzione dei metodi e delle tecniche per il rilievo del costruito storico, occorre ricordare i risultati dei gruppi di ricerca attivi sul tema della conoscenza dei materiali storici da costruzione, sulle loro modalità di impiego e di degrado, attingendo competenze e metodi dalle scienze natu-

rali: chimica, biologia, geologia [24]. Il trasferimento di competenze è proseguito dalla fisica applicata e dalla meteorologia attraverso studi che, tramite la museotecnica, hanno indagato il rapporto tra l'ambiente, l'edificio e le opere, tra materiali, umidità e temperatura, tra sviluppo del degrado e possibilità di contrastarlo attraverso il controllo dei parametri ambientali, prima che con l'azione diretta sulla materia. Dagli anni Settanta, le teorie museologiche della conservazione preventiva, in particolare l'attenzione per l'ambiente di conservazione, trovano nel testo di Thomson una trattazione sistematica [25].

Lo sviluppo di questo filone, già attivo in altre forme nell'Europa continentale e negli Stati Uniti con la codificazione delle norme ASHRAE, si deve in Italia soprattutto agli studi del C.N.R. di Padova. Occorre ricordare i tentativi di normalizzazione da parte del Comitato Termotecnico Italiano negli anni Ottanta e, dalla fine degli anni Novanta, la progressiva codifica della normativa tecnica nazionale, fino alle più recenti edizioni delle linee guida UNI 10829 - 10969 e la più recente estensione dei medesimi concetti in contesto comunitario.

In riferimento al tema del microclima, occorre notare come il tramite tra le scienze e la conservazione si sia precisato prima di tutto nei confronti della conservazione delle opere mobili in contesto museale, oggetti compositi e sensibili alle variazioni microclimatiche: le tele e tavole innanzitutto, ma anche statue, arazzi, cere e la grande varietà di oggetti e materiali che formano la maggior parte delle collezioni. Solo recentemente, le riflessioni sul rapporto tra (micro)clima e conservazione degli oggetti, si sono estese alla conservazione degli edifici. Il riconoscimento del degrado, la mappatura delle sue forme e l'interpretazione delle cause, viene oggi correlata sempre più strettamente con la lettura e l'interpretazione delle condizioni ambientali e climatiche con cui l'edificio interagisce.

In assenza di indicazioni specifiche per la conservazione dei beni storico-architettonici, le prescrizioni operative e i parametri concepiti per i beni mobili, sono stati spesso semplicemente estesi ai manufatti edilizi, in una sovrapposizione talvolta imperfetta tra rispettive istanze e specifiche esigenze di tutela. Questa circostanza è evidente soprattutto in riferimento ai musei italiani che "in maggioranza sono rimasti o si sono installati in edifici d'epoca, quali regge, palazzi civici e nobiliari, residenze e ville, complessi ecclesiastici, complessi conventuali resi disponibili dalle soppressioni" [26]; l'esigenza di conservare le collezioni induce frequenti situazioni di conflitto con le innumerevoli questioni relative alla prevenzione dei fattori di rischio relativi all'edificio ed alle sue parti (si pensi alla questione strutturale, alle superfici, ai serramenti, agli impianti storici), ovvero con le esigenze funzionali legate ai temi dell'uso, del confort e della fruibilità proprie di una architettura. Su questi temi è nota, soprattutto nella sua più diffusa sintesi, la ricerca sugli edifici religiosi operata da Dario Camuffo [27], mentre relativamente ai musei manca ancora una guida di analogia chiarezza e completezza.

Il concetto di clima storico

La norma UNI 10969:2002 rappresenta una significativa evoluzione, indicando come sia "impossibile fissare per ogni oggetto precisi valori di soglia o intervalli di valori ottimali dei parametri ambientali ai fini della conservazione. È però possibile stabilire dei principi generali cui debbano necessariamente attenersi quanti abbiano la responsabilità di conservazione". Inoltre, "per ogni oggetto è necessario considerare la sua storia progressiva, in cui il microclima ha determinato un assestamento

del materiale, in risposta alle forzanti ambientali esterne e alle proprie caratteristiche fisico-chimiche" [28]. Il testo della norma suggerisce una linea di integrazione tra il monitoraggio strumentale del microclima e il generale processo conoscitivo finalizzato ad indagare il singolo oggetto nello spazio e nel tempo. Ciascun "ambiente di conservazione" merita pertanto di essere descritto analiticamente nella propria specificità – determinata anche dalla sua interazione con l'edificio e la sua storia costruttiva e d'uso – in modo che il confronto tra i dati rilevati e lo stato di degrado consenta di calibrare l'eventuale modificazione delle condizioni microclimatiche sulla base dell'effettivo legame con la presenza di fenomeni patologici.

In questa prospettiva, la prevenzione tramite il controllo del microclima non coincide con l'adeguamento delle condizioni rilevate a valori standardizzati ma si esercita tramite il sostanziale lavoro istruttorio sul sistema edificio-ambiente, teso a comprendere le dinamiche di scambio termogrometrico tra microclima e struttura, colte anche nella loro evoluzione temporale, nell'elaborazione di un modello e, per questo tramite, nell'interpretazione del rapporto ambiente-edificio nella sua condizione attuale di equilibrio o semi-equilibrio [29].

Il senso delle attività di monitoraggio non coincide pertanto con una "impossibile profilassi" [30] basata sul sistematico rispetto di parametri ma, attraverso un percorso conoscitivo, di volta in volta necessariamente rinnovato, nella localizzazione di squilibri, nella formulazione di indicazioni per gli interventi su involucro e impianti e nella messa a punto di specifiche indicazioni d'uso e gestione.

Nei confronti dell'edificio storico, inteso sia nella sua componente "massiva" che "tecnologica" [31], e del rapporto tra questo e l'ambiente che lo circonda, l'analisi ed il monitoraggio del microclima, rappresentano soprattutto un rinnovato momento di conoscenza tecnica, accanto all'anamnesi, alla conoscenza metrica e ai diversi contributi analitici [32]. È tuttavia interessante notare come, diversamente da altre modalità di indagine, basate sulla frequentazione episodica della materia indagata, ad esempio le analisi chimico – fisico – mineralogiche per la caratterizzazione dei materiali e delle forme di degrado, il monitoraggio del clima preveda una frequentazione prolungata e minuziosa dell'edificio. L'oggetto dell'indagine non consiste tanto nella valutazione delle lesioni, come accade ad esempio per un monitoraggio strutturale, quanto nella progressiva definizione del rapporto tra struttura e ambiente. La natura necessariamente dilazionata nel tempo dell'attività di monitoraggio consente infine di impostare specifiche modalità di relazione conoscitiva con l'oggetto osservato che, ricorrendo per l'ultima volta al parallelo con la medicina, potremmo definire di tipo auscultatorio.

Il tema degli impianti

Negli edifici storici, soprattutto se di uso pubblico, il mantenimento di requisiti minimi di confort termico richiede un contributo da parte degli impianti, i quali rappresentano una frontiera non più estranea alle competenze ed ai modi del restauro conservativo dell'architettura.

La storia degli impianti va in questo senso intesa come una storia doppiamente utile: da un lato una storia materiale tesa a riconoscere e rilevare le tracce dei dispositivi per il controllo del clima presenti in forma stratificata negli edifici storici e che pongono essi stessi un'istanza di salvaguardia; dall'altro la loro struttura e funzionamento, in genere assai attenti ai consumi, sono spesso in grado di fornire elementi per comprendere le potenzialità intrinseche dell'involucro murario massivo tipico

dell'edilizia storica e, più in generale, restituiscono un'idea precisa di ciascun singolo edificio e dell'evoluzione delle componenti d'uso che ne hanno progressivamente determinato la forma e lo stato di deperimento.

Nonostante le ricerche e le sperimentazioni su questo tema non possano più dirsi pionieristiche, l'inserimento di nuovi impianti e la loro progettazione rappresenta ancora un tema tradizionalmente delicato nell'ambito delle azioni sul costruito storico. Infatti, se modalità e soluzioni non banali per gli interventi su struttura e finiture sono state progressivamente messe a punto e condivise, gli impianti valgono ancora a giustificare, nel nome dell'utilitas o fruibilità, sostituzioni e mutilazioni altrimenti non più accettabili.

Recenti ricerche europee sull'argomento (PRE.VENT, FRIENDLY-HEATING) hanno contribuito a mettere a fuoco alcuni punti fondamentali sul tema dell'interazione tra edificio storico e componente impiantistica soprattutto di riscaldamento, sia essa pure storica o di nuovo inserimento: modi e tempi del riscaldamento in relazione alle richieste di fruizione; riscaldamento localizzato e riscaldamento generalizzato; riscaldamento conservativo e riscaldamento per confort; impiego di sorgenti a bassa temperatura per massimizzare l'efficienza e l'integrazione funzionale con la struttura; possibilità di integrazione con le fonti rinnovabili di energia; compatibilità e sostenibilità; stratificazione delle installazioni e possibili integrazioni tra dotazioni storiche e moderne. Queste ricerche hanno già prodotto risultati importanti, estesi oltre l'ambito museale. Occorre tuttavia notare come la riflessione sia stata finora sviluppata in contesti diversi dal sapere e dalla ricerca architettonica, con il rischio di riproporre pericolose dicotomie tra presunte istanze estetiche e requisiti prestazionali formalizzati per via analitica.

Gli edifici storici e la questione energetica

Il tema del rapporto tra struttura e microclima rappresenta solo un aspetto del più generale rapporto tra edificio e ambiente. L'estensione del concetto di tutela comporta la possibilità di definire pratiche di intervento sempre meno riferibili ad operazioni dirette sulla materia bensì ad un controllo – anche preventivo – dei fattori ambientali determinanti per lo sviluppo del degrado. Le implicazioni si estendono oltre l'istanza conservativa e gli aspetti disciplinari legati alle tecniche della tutela ma è evidente l'esigenza di rispondere ad obiettivi più generali di buona gestione delle risorse, energetiche e patrimoniali, traducendo in strumenti efficaci di valutazione il condiviso proposito di salvaguardare l'ambiente [33].

La conservazione del patrimonio storico architettonico è chiamata a misurarsi con il tema, sempre più attuale, del risparmio energetico, innescando un dialogo tra ambiti disciplinari, competenze ed istanze ancora molto distanti se non in conflitto [34].

La riduzione delle emissioni dovute all'attività edilizia e del consumo energetico da parte del patrimonio costruito (esistente e di nuova edificazione) sono temi di interesse comunitario secondo la direttiva UE n. 91 del 2002 che indica il miglioramento energetico degli edifici, come una necessità condivisa dagli Stati membri.

Nel patrimonio edilizio esistente è consuetudine individuare gli edifici storici come categoria particolare per la quale la normativa ha previsto la possibile elusione del precetto migliorativo in ragione di un possibile conflitto tra le esigenze di conservazione del patrimonio storico e quelle del risparmio energeti-

co. La deroga è prevista quando l'applicazione della norma determinerebbe inaccettabili alterazioni del carattere o aspetto degli edifici tutelati.

L'obiettivo del miglioramento diffuso si persegue mediante la certificazione energetica (necessaria in caso di costruzione, compravendita o locazione) e la prescrizione di requisiti minimi da rispettare in caso di costruzione o ristrutturazione. La facoltà di deroga si esercita sollevando gli edifici di interesse storico dall'obbligo della certificazione e le nuove costruzioni dal rispetto dei requisiti minimi [35].

Nel recente passato l'applicazione di direttive comunitarie in tema di risparmio energetico nel settore edilizio ha comportato conseguenze assai negative sul costruito storico. È il caso, ad esempio, della direttiva 93/76/EEC Energy Efficiency [36] che, distribuendo fondi per incrementare l'efficienza energetica degli edifici, ha favorito in molti paesi (Ungheria, Finlandia, Norvegia, Regno Unito...) la sostituzione sistematica dei serramenti esistenti a basse prestazioni determinando la perdita di moltissime finestre storiche.

L'Italia ha recepito le direttive comunitarie con il D.L. 192/2005 che introduce le nozioni di "certificazione energetica" del patrimonio costruito e di "requisiti" da rispettare in caso di intervento. Gli strumenti normativi propongono, ai diversi livelli di competenza (statale, regionale e comunale), il medesimo principio di deroga contemplato a livello comunitario cioè la possibilità di procedere o meno alla certificazione o all'intervento senza indicare specifiche prescrizioni in relazione alla tipologia dei beni o al tipo di operazione edilizia [37].

La certificazione energetica consiste nella determinazione della performance energetica dell'edificio per mezzo di appositi software. L'obiettivo è quello di conoscere il punto di partenza di un ipotetico intervento che si proponga come migliorativo, ovvero definire un parametro che concorra a determinarne il valore, nell'ambito di un processo estimativo. L'applicazione degli strumenti di calcolo agli edifici storici è però ancora incerta, soprattutto perché le variabili e le procedure pensate per involucri di moderna concezione, difficilmente riescono a restituire modelli credibili per edifici con caratteristiche dimensionali e composizionali disomogenee e materiali dal comportamento termico anche molto diverso fra loro. Inoltre i software operano generalmente in regime stazionario, trascurando il contributo dell'inerzia termica, molto importante per gli involucri massivi dell'edilizia storica.

La verifica dei requisiti di prestazione è prescritta per gli interventi di ristrutturazione e manutenzione straordinaria, tipologie ricorrenti sul costruito storico. I requisiti si intendono più restrittivi per gli edifici pubblici (10%), quando non tutelati. L'applicazione dei valori prescritti è però difficile perché le strutture in muratura restituiscono valori generalmente soddisfacenti in estate ma non in inverno. Inoltre le finestre storiche in legno a vetro singolo, pur se considerate in buono stato di esecuzione e conservazione, difficilmente raggiungono valori di trasmittanza inferiori a 5, un valore molto lontano da quelli prescritti e ottenibili solo con serramenti a tenuta e vetri a bassa emissività.

Il soddisfacimento dei requisiti di miglioramento energetico attualmente prescritti, comporta concreti problemi di compatibilità con le istanze di tutela e, in termini operativi, con le procedure di vincolo, da cui la ragione della deroga: "si intendono esclusi dall'applicazione del presente decreto [...] gli immobili ricadenti nell'ambito della disciplina dei Beni Culturali e i Beni Paesaggistici come individuati dal decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il Codice dei Beni Culturali e del

Paesaggio, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici” [38].

È una formulazione che lascia aperta una serie di questioni. Infatti, se i valori fondativi della tutela sono evidentemente più ampi della sola componente “storico-artistica”, la difficile determinazione se un’alterazione sia o meno accettabile è affidata alla competenza e discrezionalità del funzionario di soprintendenza, dal momento che non esistono linee comuni di indirizzo e manca ancora una letteratura dedicata [39]. Inoltre la revisione dei progetti da parte dell’ente di tutela è prevista per i soli edifici vincolati, mentre i beni paesaggistici si affidano unicamente agli strumenti di pianificazione territoriale (PGT, PPP) ed all’eventuale contraddittorio.

La normativa italiana sul miglioramento energetico si presenta così ad uno stadio di messa a punto ancora inferiore rispetto agli altri strumenti di legge relativi ai requisiti d’uso del patrimonio storico architettonico (prevenzione incendi, accessibilità, antisismica, impianti). Le normative dedicate a questi aspetti hanno in genere definito regole e/o strumenti specifici per gli edifici tutelati, intendendo la deroga come ricerca di strade alternative. Si pensi, per esempio, al concetto di “miglioramento” in ambito antisismico, in luogo di quello di “adeguamento” [40], o alla nozione di “sicurezza equivalente” per la prevenzione incendi (DPR 37/1998) e la progettazione degli impianti (Norma CEI64/15 1998) che consentono di operare nei termini di calibrazione degli interventi (si veda anche la normativa per l’accessibilità, DPR 503/1996). Al contrario, l’attuale normativa sul miglioramento energetico indica norme e limiti uguali per il nuovo e l’esistente, tutelato o meno, intendendo la deroga come semplice possibilità di non-applicazione della legge stessa. Le criticità sono evidenti sia per le nuove costruzioni che per gli edifici esistenti. Mancano soprattutto norme operative differenziate per l’edilizia storica e tutelata, ad esempio criteri specifici per definire il provvedimento di deroga, ovvero software di calcolo (e certificazione) in grado di modellare le specifiche prestazionali del costruito storico.

Il confronto con gli altri paesi europei sconta inevitabili differenze legate al clima, per cui Nazioni come Norvegia, Danimarca, Germania e Austria dimostrano un sapere già consolidato sulla questione del risparmio energetico, hanno recepito la direttiva europea e sono anche state tra le prime a riconoscere il rischio di una sua applicazione acritica agli edifici storici. L’esperienza del Regno Unito è particolarmente interessante perché gli enti e le autorità attive nel campo della tutela sono state coinvolte nel recepimento della norma, redigendo e diffondendo linee guida per gli interventi di miglioramento energetico degli edifici storici, con particolare attenzione alla questione dei serramenti e dei materiali di rivestimento [41].

Note

- [1] PERTOT G., PRACCHIV., ROTONDI P., *Il progetto, il cantiere, il piano di conservazione*, in (a cura di Valeria Pracchi) *L’oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso. Il restauro*, Silvana Editoriale, Milano 2007, p. 133
- [2] UNI 10829/1999 - BENI DI INTERESSE STORICO E ARTISTICO, CONDIZIONI AMBIENTALI DI CONSERVAZIONE, MISURAZIONE ED ANALISI
- [3] ALBERTI L.B., *Ludi matematici*, a cura di R. Rinaldi, Milano, Guanda, 1980
- [4] BISCONTIN, DRIUSSI. (1999), si veda in particolare: TRECCANI G.P., *Manutenzione come cura del costruito and MANNONI T., BOATO A., Ripensare al degrado per una vera manutenzione: agenti, azioni e cause.*
- [5] BOITO (1893), pp. 28 e 31
- [6] Carta Italiana del Restauro 1972, Art. 4.

- [7] Carta Italiana del Restauro 1972, Allegato b. Istruzioni per la condotta dei restauri architettonici.
- [8] Carta della Conservazione e del Restauro (1987), Art. 2. È necessario però precisare come il concetto di prevenzione ritorni, con una certa sovrapposizione di significati, anche nelle altre definizioni contenute nello stesso articolo, da quella di salvaguardia (ricalcata su quella della Carta del 1972) come “qualsiasi provvedimento conservativo e preventivo che non implichi intervento diretti sull’oggetto considerato” a quella di conservazione come “insieme degli atti di prevenzione e salvaguardia rivolti ad assicurare una durata tendenzialmente illimitata [!] alla configurazione materiale dell’oggetto considerato”
- [9] URBANI G. (a cura di), 1973, *Problemi di conservazione*, Atti della Commissione per lo sviluppo tecnologico della conservazione dei beni culturali, Compositori, Bologna, e AA.VV., 1976, *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo a cura di Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*, Istituto Centrale per il Restauro, Roma.
- [10] Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. Lgs. 22 Gennaio 2004, n.42: *Codice dei beni culturali e del paesaggio* (G.U. n.45 del 24 febbraio 2004, S.O. n.28), Art.29 comma 2
- [11] Cfr. Carta Italiana del Restauro [1931], Art. 6: “insieme col rispetto per il monumento e per le sue varie fasi proceda quello delle sue condizioni ambientali”.
- [12] Carta Europea del patrimonio architettonico [Amsterdam, 1975], Art. 1 “Per molto tempo abbiamo protetto e restaurato solo i monumenti più insigni senza tener conto del loro ambiente. Ora essi perdono gran parte del loro carattere se questo ambiente viene alterato”.
- [13] Vedi in questi stessi documenti anche l’Art. 3 della Carta CNR: “I provvedimenti di conservazione riguardano non soltanto la salvaguardia dell’oggetto singolo e dell’insieme degli oggetti considerati significativi, ma anche delle condizioni del contesto ambientale, purché accettato come storicamente pertinente e favorevole sia dal punto di vista fisico che della manutenzione ordinaria” e l’Art.45 comma 1 del Codice dei BB. CC. del 2004, Prescrizioni di tutela indiretta perché non “siano alterate le condizioni di ambiente e di decoro” dei beni culturali immobili.
- [14] “la prima direttiva di indagine [del restauro preventivo] sarà quella relativa a determinare le condizioni necessarie per il godimento dell’opera come immagine e come fatto storico. In secondo luogo [...] l’indagine dovrà essere portata sullo stato di consistenza della materia, e successivamente sulle condizioni ambientali, in quanto ne permettano, ne rendano precaria, o direttamente minaccino, la conservazione” in Brandi (1977), p.57. Si noti notare come nelle pagine seguenti l’autore, per esemplificare cosa intenda con la prima direttiva, citi due casi di interventi di tipo architettonico-urbanistico: la facciata di S. Andrea della Valle e via Giulia a Roma
- [15] CARLINI (2007)
- [16] MENEGAZZI, PUTT (2004)
- [17] “beni di interesse storico e artistico [...] siano collocati in luoghi ove le condizioni ambientali, influenzanti i processi di degrado, siano opportunamente controllate al fine di limitare la velocità dei processi stessi” Norma UNI 10829:1999, *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*, p.1. In appendice al testo “sono riportati ai fini della progettazione di nuovi impianti di climatizzazione per ambienti contenenti beni di interesse storico o artistico, a titolo indicativo, i valori di riferimento da considerarsi in mancanza di indicazioni specifiche diverse, per i parametri ambientali relativi alla conservazione di 33 categorie di materiali e oggetti, in condizioni di clima stabile nel tempo.”
- [18] D. Lgs. 31 marzo 1998, n.112, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n.59 (G.U. 21 aprile 1998, n.92), art. 150 comma 6
- [19] Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. M. 10 maggio 2001, Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei (G.U. n. 244 del 19 ottobre 2001, S.O. n. 238), p. 13
- [20] *Ivi*, p. 126.
- [21] Gli estensori del documento, infatti, sembrano cautelarsi in diversi punti, specificando che “la complessità e la varietà degli oggetti che costituiscono i beni culturali rendono particolarmente difficile l’individuazione e la definizione assoluta degli intervalli e dei limiti dei parametri ambientali, intesi come valori critici ottimali, per la buona conservazione delle opere. Pertanto la corretta utilizzazione delle tabelle relative a tali intervalli e limiti riportate in appendice deve essere sempre e necessariamente accompagnata da una specifica metodologia di interpretazione” (pp. 123-124), che “I valori vanno intesi come termini di

- riferimento ai quali sarebbe opportuno mantenere i manufatti; ciò significa che possono essere consentiti modesti scostamenti dai valori termogrametrici consigliati" (p.126) e che "l'opportunità di modificare le condizioni degli ambienti museali, in funzione di quanto riportato nelle tabelle, deve essere attentamente valutata in relazione allo stato di conservazione dei manufatti, all'area geografica in cui il museo si trova ed alle reali possibilità di assicurare la costanza dei valori" (p.148).
- [22] PADFIELD T., *The role of standards and guidelines. Are they a substitute for understanding a problem or a protection against ignorance?* In KRUMBEIN, W. E. (1994). Si veda, su questo volume, il saggio di Andrea Luciani.
- [23] Cfr. BELLINI (1986) e MUSSO (1995)
- [24] CAMUFFO, FASSINA, HAVERMANS (2010)
- [25] THOMSON (1978)
- [26] D. M. 10 maggio 2001, p. 10
- [27] CAMUFFO (2006)
- [28] Norma UNI10969:2002, Beni Culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni, p.1-2. Nel novembre 2010, la norma è stata sostituita dalla UNI EN 15757:2010, Conservazione dei Beni Culturali - Specifiche concernenti la temperatura e l'umidità relativa per limitare i danni meccanici causati dal clima ai materiali organici igroscopici. Il nuovo testo, le procedure per limitare i danni fisici dovuti al clima, ai materiali organici igroscopici che sono stati tenuti immagazzinati per lungo tempo (oltre un anno) in mostre, ambienti interni come musei, gallerie, depositi, archivi, biblioteche, chiese e palazzi storici antichi o moderni.
- [29] MANNONI, BOATO (1999), op. cit., p. 54
- [30] BRANDI (1977), p. 53
- [31] BANHAM (1969)
- [32] GUERRI (2001)
- [33] Si veda il saggio di Frank Mills su questo volume
- [34] DELLA TORRE S., *Sostenibilità e conservazione di fronte al mito dell'efficienza energetica*, in ANANKE n° 60 - maggio 2010, Alinea Editrice, Firenze 2010, pp. 141-143
- [35] Par. 1 "Gli stati membri possono escludere le categorie di cui all'art. 4, paragrafo 3, dall'applicazione del presente paragrafo". Il paragrafo citato recita: "Gli Stati membri possono decidere di non istituire o di non applicare i requisiti di cui al paragrafo 1 per [...] edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto"
- [36] oggi sostituita dalla Direttiva 2006/32/CE
- [37] L'Italia ha recepito la Direttiva EPBD con il DL 192/2005, poi modificato dal DL 311/2006) e con i decreti attuativi DPR 59/2009 (requisiti minimi) e le Linee Guida Nazionali per la Certificazione Energetica. La legislazione regionale considera diversi aspetti relativi alla certificazione energetica come la sostenibilità, l'impiego di materiali naturali, il recupero delle acque piovane. Può indicare requisiti più restrittivi ovvero strumenti di incentivazione per le procedure di miglioramento, come lo scompuo volumetrico. I Piani Energetici Regionali, in particolare, costituiscono un documento di indirizzo per le politiche energetiche ma non si applicano all'edilizia tutelata. Gli strumenti comunali (Regolamento Edilizio, PGT, NTA) prevedono i requisiti per la costruzione dei nuovi edifici e la ristrutturazione di quelli esistenti.
- [38] DL 42 / 2004, parte seconda (*Beni Culturali*); art. 136, comma 1, lett. b) e c) (*Beni Paesaggistici*)
- [39] DL 311/2006 Art. 3, comma 3
- [40] DM 14 gennaio 2008. Le linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale del MIBAC indicano che "Intervenire in termini di miglioramento deve significare progettare solo sulla base della conoscenza della fabbrica, realizzando soltanto quel progetto che, pur dando opportune garanzie di sicurezza, sia rispettoso del contesto su cui va a collocarsi". L'art. 29 del Codice dei Beni Culturali specifica inoltre che in caso di adeguamento strutturale sia da prediligere il miglioramento "assecondando" le caratteristiche dell'edificio.
- [41] Ad esempio: *Energy efficiency and historic buildings. Application of part I of the building regulations to historic and traditionally constructed buildings* (edited by English Heritage, November 2010) che sostituisce il precedente *Building Regulation and Historical Buildings*, 2002 (revised 2004), e le numerous guide operative ottenibili gratuitamente dal sito web dell'E-H.

Bibliografia

- AA. VV., *Museum Handbook*, NPS, Washington, 1999
- AA. VV., *Oggetti nel tempo: principi e tecniche di conservazione preventiva*, Clueb, Bologna 2007
- ALCANTARA R., *Standards in preventive conservation: meanings and application*, ICCROM, Roma 2004
- BANHAM R., *The Architecture of the Well-Tempered Environment*, Architectural Press, London 1969 (trad. it. di Morabito G. e Stanesco C., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Roma-Bari 1993)
- BELLINI A. (a cura di), *Tecniche della conservazione*, Franco Angeli edizioni, Milano 1986
- BERNARDI A., *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova 2004
- BOITO A., *Questioni pratiche di Belle Arti*, Hoepli, Milano 1893
- BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino 1977
- BISCONTIN G., DRIUSSI G., *Ripensare alla manutenzione. Ricerche, progettazione, materiali, tecniche per la cura del costruito*, atti del XV convegno internazionale Scienze e beni Culturali, Arcadia Ricerche, Bressanone, 29 giugno – 2 luglio 1999, Arcadia Ricerche, Venezia 1999
- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
- CAMUFFO D. (a cura di), *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali, Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Electa, Milano 2006
- CAMUFFO D., *Clima e microclima: la normativa in ambito nazionale ed europeo* in "Kermes. La rivista del Restauro" n.71, Numero speciale per i 30 anni della Commissione UNI BBCC-NORMAL, pp.49-67, Firenze Nardini 2009
- CAMUFFO D., FASSINA V., HAVERMANS J. (Editors), *Basic Environmental mechanism affecting cultural heritage. Understanding deterioration mechanism for conservation purposes*. COST Action D42: CHEMICAL INTERACTIONS BETWEEN CULTURAL ARTEFACTS AND INDOOR ENVIRONMENT (ENVIART), Nardini EDITORE, Firenze 2010
- CARLINI L., *Prevenire conviene* in AA. VV., *Oggetti nel tempo: principi e tecniche di conservazione preventiva*, Clueb, Bologna, 2007 p. 10.
- GURRIERI F.: *Restauro e conservazione: carte del restauro, norme, convenzioni e mozioni sul patrimonio architettonico e artistico*, Polistampa, Firenze 1992
- GUERRI M. (a cura di), *Le arti nell'età della tecnica*, Mimesis, Milano 2001 (in particolare il saggio di M. Heidegger, *La questione della tecnica*, pp. 43-65)
- KRUMBEIN, W. E. (edited by), *Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage*, Wiley and Sons, Chichester 1994
- MECKLENBURG M. F., *Meccanismi di cedimento nei dipinti su tela: approcci per lo sviluppo di protocolli di consolidamento / Failure mechanisms in canvas supported paintings: approaches for developing consolidation protocols*, trad. it. D. Mancin e C. Sbrulino), il Prato, Sao-nara 2008
- MENEGAZZI C., PUTT S., *Preventive Conservation Indicators* [revised 2002] in PUTT N., SLADE S., *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma 2004
- MUSSO S., *Architettura Segni e Misura. Repertorio di tecniche analitiche*, Progetto Leonardo, Bologna 1995
- PADFIELD T., BORCHERSEN K., (edited by), *Museum Microclimates. Contributions to the Copenhagen conference*, The National Museum of Denmark, Copenhagen 2007
- PUTT N., SLADE S., *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma 2004
- THOMSON G., *The Museum Environment*, Butterworths, London 1978, Norma UNI 10829:1999, *Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*
- Norma UNI 10969:2002, *Beni Culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni*
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. M. 10 maggio 2001, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*
- Ministero per i Beni e le Attività Culturali, D. Lgs. 22 Gennaio 2004, n.42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio*

PART 1
MICROCLIMATE SURVEY AND MONITORING
IN HISTORIC BUILDINGS AS MUSEUMS

*PARTE 1
ANALISI E MONITORAGGIO DEL MICROCLIMA
NEGLI EDIFICI STORICI A DESTINAZIONE MUSEALE*

Humidity and environmental diagnostics in Palazzo Grimani, Venice

Dario Camuffo*, Antonio della Valle*, Chiara Bertolin*, Chiara Leorato**, Annalisa Bristot***

*CNR-ISAC, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Padova

**Corso di Laurea in Scienze e Tecnologie per i Beni Archeologici e Artistici, Università degli Studi di Padova

***Soprintendenza BAPPSAE Venezia e Laguna, Venezia

Abstract

When microclimate analysis in Palazzo Grimani started, paintings in the Apollo Room were in good condition, except for some parts of the vault near the outside wall, where stuccoes and paintings were heavily damaged due to water presence. Decay causes could be related to three different factors: condensation, moisture passing through the wall, rainwater infiltration from the corresponding room on the upper floor. An environmental monitoring was made surveying air temperature (T), relative humidity (RH), walls, ceiling and floor surface temperatures using IR and contact sensors, heat and water vapor transfers between walls and air calculating mixing ratio (MR) gradients and finally, using sonic anemometry, the air flow strength and direction near the walls and in the center of the room to individuate and make clear which of the three hypotheses was the real cause of decorations decay.

The performed analyses excluded capillary rise although it still remains a problem on the lower floors of the building. Microclimate monitoring excluded condensation too, because the surface temperature of the coldest wall was over the dew point all year long. Moreover all the MR maps elaborated along the year, have always showed water vapor released by walls to the air and not viceversa.

During all the year, the external wall released water through evaporation inside the Apollo Room. Such evidence is supported by the maps, where the wall temperature permanently over the dew point is visible as well as a continuous vapour transfer from the wall to the air.

Moisture on the external wall had to be related to rainwater infiltration through two preferential ways: percolation from windowsills and infiltrations thorough outside plaster.

During the year of the microclimate campaign, the environmental conditions have slightly improved their features for preservation, since RH level slowly and gradually decreased.

Winter heating, however, still remains a critical problem because it could cause a too fast soluble salts extraction causing efflorescences and damages to the parts just restored. For this reason it was decided to avoid heating in the Apollo Room and to carefully monitoring the situation that was developing until each of the present issues will be definitely solved.

Key-words

Microclimate, dampness, environmental diagnostic, historical buildings

Introduction

This article presents the results of the microclimate measurement campaign which took place in 2008 and 2009 in the *Apollo Room* in Palazzo Grimani, Venice, hosting the museum opened about one year ago.

The purpose of this study is to make clear the origin of moisture which caused damage in the *Apollo Room* (fig.1) in order to determine the appropriate solutions for the painted vault preservation. The *Apollo Room* is characterized by XVI century paintings in grottesca style painted by Giovanni da Udine. The room faces on San Severo canal and gives access to three other rooms (Psyche room, Diana room and room of the Doge) through three doors. Further details about the Palace, its history and restoration are available on a book edited by the Superintendence [1].

The aim of this study was that to evaluate causes of damage which could be related to three factors: condensation on the colder outer wall, moisture passing through the wall, rainwater infiltration from the corresponding room on the upper floor. An environmental monitoring was carried on recording air temperature (T) and relative humidity (RH), surfaces temperature of walls, ceiling and floor using IR and contact sensors, heat and water vapor transfers between walls and air evaluating humidity mixing ratio (MR) gradients and finally air flows strength and direction near the walls and in the center of the room (using sonic anemometry) to clarify which of the three hypotheses was the real cause of decorations decay.

Results

Damage on vault paintings, particularly upon the windows, has to be interpreted as a result of water percolation through the upper floor windows due to their poor maintenance during the period of abandonment of the building in the past. Raining water, entering from the windows and percolating along the wall, damaged the paintings in the wall and vault junction (Fig.1). Documentation about this old damage can be found on Museo Grimani website.



Fig. 1 - Central part of the barrel vault close to the outer wall. Arrows indicate zones with heavier damage where the painting is almost completely vanished. This picture was taken before restoration

This problem was however solved by the restoration of the building played in recent years. It was also excluded that the external wall the *Apollo Room*, faced on *Rio San Severo*, was wet for capillary raising. This cause was excluded because the room is at the third floor and the lower levels of the palace have no evidence of capillary rise damages, except for the ground floor where saline efflorescence damage is due to sea water penetration during high tide events.

The hypothesis of condensation was carefully evaluated, because the wetness was on the coldest wall as confirmed by thermal measurements. However condensation was excluded for three reasons: (1) External walls of adjacent rooms had the same temperature of the analyzed one without any evidence of condensation. (2) Dew point and indoor surface temperature measurements never reach critical conditions for condensation during the year. (3) All measurements of humidity mixing ratio (MR) gradient showed that water vapour was released from the wall to the air but not the opposite. The MR between vapour and air is a variable which can only change in case of evaporation (local increase), condensation (local decrease) or mixing with other air masses [2]. Microclimate survey demonstrated that the outer wall released water for evaporation inside the *Apollo Room* all year long. This is showed by all horizontal graphs maps, where a continuous release of vapour from wall to air clearly appears (Fig.2).

Combined statistics about wind direction during precipitation in Venice, based on Italian Air Force (AM) data series retrieved in Tessera airport, were carried out to identify the origin of water on the wall. Most of the rain carried by wind is coming from north-east (*Bora* or *Borino wind*), hitting directly



Fig. 3 - Thermal image of the outer wall of Palazzo Grimani performed on visible and infrared spectrum in December 18 2009 at 17.00. External plaster temperature in the point focused by target is $-4.3\text{ }^{\circ}\text{C}$

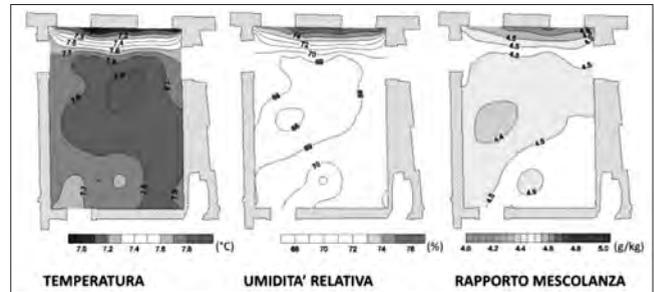


Fig. 2 - Temperature, Relative Humidity and Mixing Ratio maps. Measurements were performed on an horizontal section, 1.5 m off the ground, (February 14, 2008 at 10.30 a.m.). The Mixing Ratio Maximum close to the wall faced the canal (top of the picture) shows evaporation in progress

the outer wall of the *Apollo Room*.

Water percolates inside the internal wall at the windowsills and where the old plaster has lost his protective features and is damaged due to mechanical stress and biocolonization. Measurements made on December 17 2009 showed that outer plaster suffers for freezing, its temperature dropping below -4°C (Fig.3).

During the year, when the microclimate monitoring was performed, the environment has slightly improved its features for preservation, since RH, which generally was between 60 and 80%, slowly and gradually decreased.

This is a quite high level, which may cause internal mould growth the high water content of the external wall slowly evaporating.

Air thermal levels in the *Apollo Room* follows the trend of the seasonal temperature cycle. Inside the walls of the room, temperature is constant during the day with small variations, while the external wall, more exposed, shows a greater warming/cooling daily cycle and it is generally colder than other walls.

During the 2008 different seasons, thermal mapping was carried out, inside the Room, pointing a fixed grid of measurements on all the walls and the ceiling with an high precision radiometer.

From all these data, firstly transferred on a spatial matrix and then interpolated by computer, it was possible to obtain spatial and temporal temperature evolution on all the surfaces taken into examination.

This data elaboration allowed us to understand and to interpret the mechanisms that are taking place. The wall facing on the canal is generally the coldest one and the ceiling the warmest part. In the morning the coldest and wettest part of the wall (see temperature and mixing ratio maps) is generally under the windowsills (Fig. 4, 5, 6, 7).

During the day, and especially with the progression of the seasons, direct and diffuse solar radiation increases. Consequently window jambs and sills on the left side of the windows, which are mostly hit by sunbeams, get warmer, while the right side, being in shadow, is colder. At the same time it also heats the upper windows area (wall and ceiling) that gets warmer due to heat released by glasses and jambs quickly warmed by absorbed solar radiation. Painted vault is indirectly affected by this heating. This trend is visible in every season.

The thermographic image produced on September 17th 2009 (Fig.8) highlights equilibrium temperature of the external wall after one year from the microclimate monitoring campaign. Colder parts in the vicinity of the windows are evident, due to the heat loss through the embrasures of the windows. Below the windows,

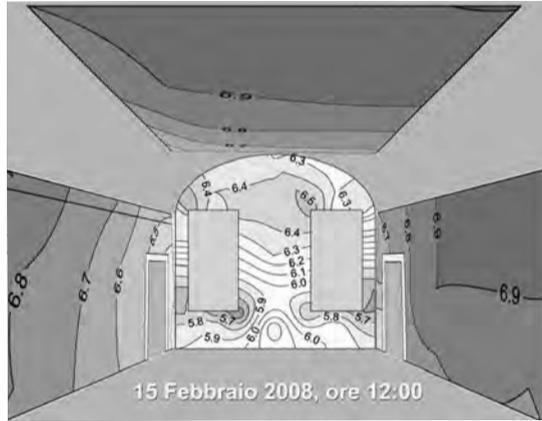


Fig. 4 - Perspective view of the thermal map on the Apollo Room in winter. At the early morning the coldest part is generally located under the window sills. Water infiltration from window sills makes even more evident the localization of the coldest parts. During the day the environment becomes warmer



Fig. 5 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in spring. During the day solar radiation heats the windows sills and left jambs. Solar radiation absorbed by jambs and glasses heats external wall and the upper part of the vault too

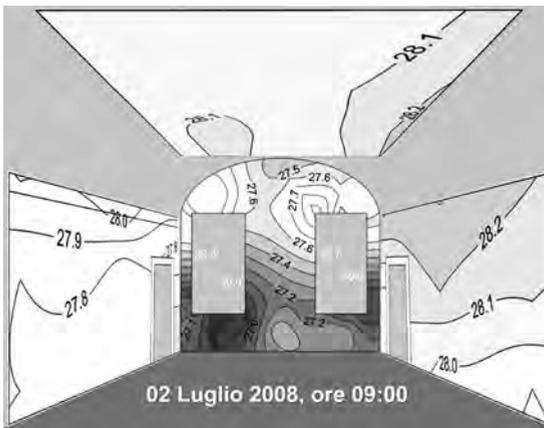


Fig. 6 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in summer. In the morning the part under window sills is much colder, while from midday window jambs, glasses and the part above the windows show an higher warming that partially involves the ceiling



Fig. 7 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in autumn. Even in this season appears the same daily cycle as described in Fig.6, although with different intensity

structural texture of the wall is visible probably made more evident by the different conductivity due to higher water content.

MR temporal diagrams show that in winter air exchanges are modest, the internal air remaining almost unaffected for a few days after the external wind has changed moisture content. This fact is not more happening in warmer seasons, as doors and windows are open to improve ventilation.

Micro-ventilation measures close to walls show strong perturbations with open windows, while air in the room with closed windows is characterized by very slow airflows spontaneously generated to balance for the small internal thermal differences.

Conclusions

All measurement methodologies carried on during the 2008-2009 microclimate campaign led independently to the same results, which have consequently to be considered reliable. The effect visible from inside, on the external wall, is due to evaporation of rainwater and it is not due to condensation. Rainwater penetrates through ways opened in the ancient plaster and mostly for infiltration from window sills. This fact will require further actions to improve the situation.

The *Apollo Room* is still suffering for exceeding water content (Fig.8), and for this reason it is not directly heat to avoid quick evaporation and efflorescences damage. Since hygrometric level of the *Apollo Room* is dangerously high, a continuous monitoring of damp surfaces is needed to avoid mould growth.

Acknowledgements

- [1] This research was carried out in 2008 within an agreement between Superintendence BAPPSAE and CNR-ISAC.
 [2] 2009 thermographic analyses were carried out within the European project Climate for Culture (GA 226973). Special

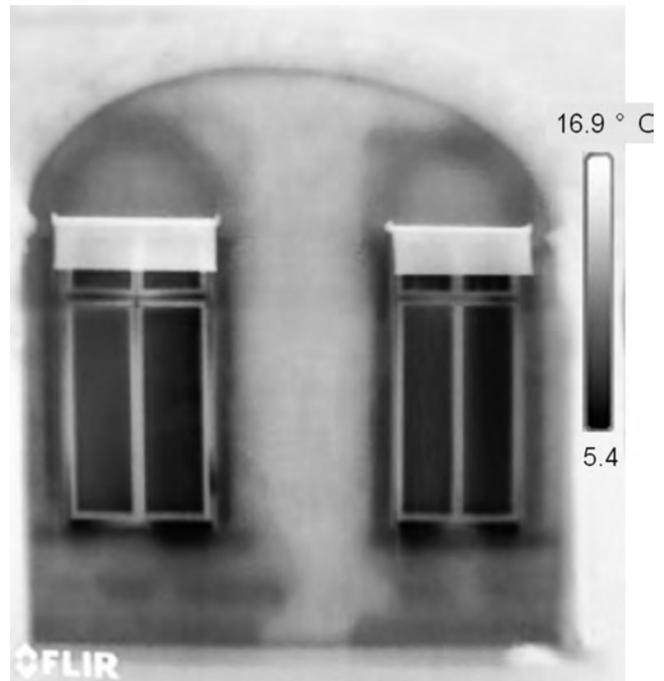


Fig. 8 - Thermographic image (IR thermographic camera) of the external wall of the *Apollo Room* taken indoors, December 18 2009 at 15.00

thanks are due to restorers Gabriella Caobelli e Barbara Benedetti and to architect Eni Perdomi for their helpful assistance.

References

- BRISTOT, A. (a cura di) (2008) *Palazzo Grimani a Santa Maria Formosa. Storia, arte, restauri*, Scripta Venezia
- CAMUFFO, D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Developments in Atmospheric Science 23, Elsevier, Amsterdam

Umidità e diagnostica ambientale in Palazzo Grimani, Venezia

Abstract

Quando è iniziato lo studio del microclima a Palazzo Grimani, lo stato di conservazione dei dipinti nella Sala di Apollo era buono, tranne in alcuni punti della volta nelle vicinanze della parete esterna dove gli stucchi e le pitture erano fortemente sofferenti a causa della presenza di acqua. In linea di principio, le cause di questo deterioramento potevano essere imputate a tre diversi fattori: condensa, penetrazione di umidità attraverso il muro, percolazione di acqua piovana dalla corrispondente sala al piano superiore. Per poter discriminare fra le tre ipotesi e stabilire le cause del deterioramento delle decorazioni, è stato fatto un monitoraggio ambientale concernente la temperatura (T) e l'umidità relativa (UR) dell'aria, la temperatura delle superfici delle pareti, del soffitto e del pavimento (con sensori IR e di contatto), gli scambi di calore e vapore tra le pareti e l'aria, questi ultimi deducibili dai gradienti del rapporto di mescolanza (RM), e infine la misura dell'intensità e della direzione delle correnti d'aria a ridosso delle pareti e al centro della stanza con anemometria sonora.

Le analisi hanno escluso che potesse trattarsi di risalita capillare, anche se questo rimane un problema ai piani inferiori. Le indagini microclimatiche hanno anche escluso che si trattasse di condensazione, benché la parete esterna sia più fredda, in quanto per tutto l'anno la temperatura della parete si è tenuta ampiamente sopra il punto di rugiada. Inoltre tutte le mappe orizzontali di RM hanno sempre mostrato che il vapor d'acqua non veniva ceduto dall'aria alle pareti, ma la situazione opposta.

Si è visto che per tutto l'anno la parete esterna ha rilasciato acqua per evaporazione all'interno della Sala di Apollo. Questo è stato evidente da tutte le mappe orizzontali di RM, dove appare chiaramente una continua cessione di vapore dal muro all'aria, oltre che la costante permanenza della temperatura di parete sopra il punto di rugiada.

L'umidità presente nella parete esterna è risultata attribuibile ad infiltrazione di acqua piovana attraverso due vie preferenziali: percolazione attraverso i davanzali e infiltrazione attraverso l'intonaco esterno.

Durante l'anno in cui si è svolto il monitoraggio, l'ambien-

te ha leggermente migliorato le proprie caratteristiche ai fini conservativi, diminuendo lentamente e progressivamente il livello di UR.

Resta comunque critico il problema del riscaldamento invernale che potrebbe portare a una estrazione di sali solubili troppo rapida, con conseguenti efflorescenze e danni alle parti appena restaurate. Per questo motivo si è deciso di non riscaldare la Sala di Apollo e di seguire con attenzione l'evoluzione della situazione finché i vari problemi in essere non verranno completamente risolti.

Key-words

Microclima, umidità, diagnostica ambientale, palazzi storici

Introduzione

In questo articolo vengono presentati i risultati della campagna di misure microclimatiche effettuate nel 2008 e 2009 presso la Sala di Apollo a Palazzo Grimani a Venezia, sede del museo aperto ai visitatori da poco più di un anno. Lo scopo di questo studio è quello di chiarire l'origine dell'umidità causa dei danni riscontrati nella sala di Apollo (Fig.1) al fine di stabilire i rimedi più appropriati per la conservazione della volta dipinta. La Sala di Apollo è caratterizzata da dipinti a grottesche di Giovanni da Udine risalenti al XVI secolo. La sala si affaccia con due finestre sul canale di San Severo e ha come adiacenti le sale di Psiche, di Diana e del Doge cui si accede tramite tre porte. Ulteriori dettagli sul Palazzo, la sua storia e il restauro sono disponibili su un volume curato dalla Soprintendenza BAPPSAE [1].

All'inizio dello studio, le possibili cause di danno da valutare potevano essere imputate a tre diversi fattori: condensa sulla parete esterna, più fredda; penetrazione di umidità attraverso il muro; percolazione di acqua piovana dalla corrispondente sala al piano superiore. Per poter discriminare fra le tre ipotesi e stabilire le cause del deterioramento delle decorazioni, è stato fatto un monitoraggio ambientale concernente la temperatura (T) e l'umidità relativa (UR) dell'aria, la temperatura delle superfici delle pareti, del soffitto e del pavimento (con sensori IR e di contatto e con termocamera), gli scambi di calore e vapore tra le pareti e l'aria, questi ultimi deducibili dai gradienti del rapporto di mescolanza (RM), e infine la misura dell'intensità e della direzione delle correnti d'aria a ridosso delle pareti e al centro della stanza con anemometria sonica.

Discussione dei Risultati

Il danno ai dipinti della volta, particolarmente accentuati sopra le finestre sono da interpretarsi come penetrazione di acqua dalle finestre del piano superiore in tempi passati per una cattiva manutenzione dei serramenti durante il periodo di abbandono del palazzo. L'acqua piovana, entrata dalle finestre e percolante lungo la parete, danneggiò il dipinto nella zona di congiunzione volta-parete (Fig.2) e del danno antico si trova documentazione nel sito del Museo Grimani.

Questo problema è stato tuttavia superato dai restauri al Palazzo effettuati in questi anni. Si è anche potuto escludere che la parete esterna della Sala di Apollo, prospiciente Rio San Severo, si trovi umida per risalita capillare perché si trova al terzo piano e non vi sono segni che possono giustificare tale fenomeno nei livelli inferiori del palazzo, tranne che al pianterreno dove sono evidenti danni provocati da efflorescenze saline dovute alla penetrazione di acqua marina durante gli episodi di acqua alta.

L'ipotesi della condensazione è stata vagliata con attenzione, specie perché il bagnamento si trovava in quella che le misure termiche hanno confermato essere la parete più fredda. Tuttavia, la condensazione è stata esclusa per tre motivi: (1) Le pareti esterne delle sale adiacenti avevano la stessa temperatura della parete interessata, ma non segni di condensazione. (2) Le misure della temperatura di rugiada e della temperatura della superficie interna della parete, protratte per un anno, non hanno mai raggiunto le condizioni critiche per la condensazione. (3) tutte le misure del gradiente di rapporto di mescolanza (RM) hanno mostrato che il vapor d'acqua non veniva ceduto dall'aria alle pareti, ma la situazione opposta. Il RM tra il vapore e l'aria è una variabile che cambia solo se in caso di evaporazione (arricchimento locale), condensazione (depauperamento locale) o rimescolamento con altre masse d'aria [2]. Le indagini microclimatiche hanno dimostrato che per tutto l'anno la parete esterna ha rilasciato acqua per evaporazione all'interno della Sala di Apollo. Questo è reso evidente da tutte le mappe orizzontali del RM, dove appare chiaramente una continua cessione di vapore dal muro all'aria (Fig.2).

Per conoscere l'origine dell'acqua sulla parete si è effettuata una statistica combinata della direzione del vento in occasione delle precipitazioni a Venezia, basandoci sulla serie storica dei dati dell'AM raccolti a Tessera. La pioggia trasportata dal vento viene quasi esclusivamente da nord-est (Bora o Borino) impattando direttamente sulla parete esterna della Sala di Apollo.

Dell'acqua filtra all'interno in corrispondenza dei davanzali e in alcune parti dove l'antico intonaco ha perso parte delle sue capacità protettive e ha segni di sofferenza per stress meccanico e biocolonizzazione. In particolare, le misure effettuate il 17-12-2009 hanno mostrato che l'intonaco esterno soffre di gelività scendendo anche sotto i -4°C (Fig.3).

In generale, durante l'anno in cui si è svolto il monitoraggio, l'ambiente ha leggermente migliorato le proprie caratteristiche ai fini conservativi, diminuendo lentamente e progressivamente il livello di umidità relativa che è stata generalmente compresa tra il 60 e l'80%. Questo livello è piuttosto elevato e non esclude il rischio di colonizzazioni fungine interne, anche per l'elevato contenuto d'acqua imbibita nella parete esterna in fase di lenta evaporazione.

I livelli termici dell'aria nella Sala di Apollo presentano un andamento continuo e seguono l'andamento della temperatura stagionale. La temperatura delle pareti interne si mantiene pressoché costante durante la giornata con piccole variazioni, mentre la parete esterna, più esposta, mostra chiaramente un ciclo di riscaldamento/raffreddamento dovuto al ciclo giorno/notte ed è generalmente più fredda delle altre.

Nelle varie stagioni del 2008 si è effettuato un mappaggio termico all'interno della Sala puntando con un radiometro a elevata precisione su una griglia di misura stabilita su tutte le pareti e il soffitto. Dall'insieme di questi dati, prima riportati su una matrice spaziale e poi interpolati al computer è stato possibile ottenere l'evoluzione spazio-temporale della temperatura delle varie superfici. Ciò ha permesso di interpretare i meccanismi in atto, come segue. La parete prospiciente il canale è in generale la più fredda, il soffitto la parte più calda. Nella parete sul canale, al mattino la parte più fredda (mappe di Temperatura) e più umida (mappe del Rapporto di Mescolanza) si trova in generale sotto i davanzali (Fig.4, 5, 6, 7).

L'aumento della radiazione solare, prima diretta e poi diffusa, con l'avanzare della giornata, e soprattutto della stagione, porta a riscaldare in maggior misura lo stipite sinistro delle finestre e il davanzale (per il lato sinistro) che sono le parti mag-

giornente colpite mentre il lato destro resta in ombra e più freddo. Parallelamente si riscalda anche la zona superiore alle finestre (parete e soffitto) per il calore rilasciato dai vetri e dagli stipiti che si riscaldano rapidamente per la radiazione solare assorbita. La volta dipinta risente indirettamente di questo riscaldamento. Quest'andamento è visibile in tutte le stagioni.

L'immagine termografica effettuata il 17 dicembre 2009 (Fig.8) evidenzia la temperatura di equilibrio della parete esterna a un anno di distanza. Sono evidenti le parti fredde in prossimità delle finestre, dovute alla dispersione di calore, anche attraverso le strombature. Sotto alle finestre si legge la tessitura strutturale del muro, molto probabilmente resa più evidente dalla diversa conducibilità dovuta alla maggiore presenza di acqua.

I diagrammi temporali del RM mostrano che d'inverno l'aria esterna rimane differenziata per giorni rispetto a quella esterna. Ciò non avviene più nella stagione calda, quando porte e finestre vengono aperte per favorire la ventilazione.

Le misure della micro-ventilazione interna a ridosso delle pareti mostrano forti perturbazioni quando le finestre sono aperte, mentre a finestre chiuse la sala rimane in aria caratterizzata da lentissimi moti sporadici per compensare le piccole differenze termiche interne.

Conclusioni

Le varie metodologie di misura affrontate hanno portato ai medesimi risultati, che debbono quindi ritenersi attendibili.

Come risultato, si deve escludere l'ipotesi della condensazione, mentre l'effetto visibile all'interno è dovuto all'evaporazione di acqua piovana. Questa penetra attraverso vie formatesi nell'antico intonaco e, soprattutto, per infiltrazione dai davanzali. Ciò richiederà ulteriori interventi correttivi.

Poiché la Sala di Apollo soffre ancora per un eccessivo contenuto d'acqua, si è deciso di non riscaldare direttamente la Sala per evitare un'evaporazione troppo rapida e il danno da efflorescenze. Naturalmente è necessario un continuo controllo delle superfici più umide per evitare infestazioni fungine essendo il livello igrometrico della Sala pericolosamente alto.

Ringraziamenti

[1] Lo studio è stato effettuato nel 2008 con una convenzione tra la Soprintendenza BAPPSAE e il CNR-ISAC.

[2] Le analisi termografiche del 2009 si sono effettuate grazie al progetto Europeo Climate for Culture (GA 226973). Si è molto grati alle restauratrici Signore Gabriella Caobelli e Barbara Benedetti e all'Arch. Eni Perdomi per il valido appoggio fornito.

Riferimenti

1. BRISTOT, A. (a cura di) (2008) *Palazzo Grimani a Santa Maria Formosa. Storia, arte, restauri*. Scripta Venezia
2. CAMUFFO, D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*. Developments in Atmospheric Science 23, Elsevier, Amsterdam

Analysing indoor climate in Italian heritage buildings

Experimental measurements in an old museum

Carla Balocco*, Roberto Boddi**

* Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco", Università degli Studi di Firenze

** Opificio delle Pietre Dure di Firenze, Climatologia e Conservazione Preventiva

Abstract

Museums were originally containers holding various artworks exhibited to visitors and today they should be considered as places where precious artefacts should find first rate protection and conservation. Today historical buildings are usually turned into museums.

Then there is the important question of solving the compromise between protection, conservation and comfort for artworks and /or visitors, with the consequence that preservation and planned maintenance criteria must prevail over use requirements.

The use of technology innovation, experimental studies and simulation for the Cultural Heritage is of increasing importance for the analysis, conservation and fruition of art works.

This is particularly important when art work preservation and their planned maintenance is the primary aim. The stability requirements of microclimatic conditions are the most binding: they play a key role in the deterioration processes of the various materials of building and works of art. It is necessary to reduce variations in thermo-physical parameters because they are as damaging as their absolute values, also ensuring a sufficient comfort level for users. Usually old buildings are not provided with mechanical systems for indoor climatic conditions and air quality control. Often in these buildings the proper design and installation of heating, ventilation and air conditioning systems (HVAC) is quite difficult, as is to perform a monitoring campaign.

This monitoring is usually carried out by complex, expensive and visual instruments that may conflict with exhibition requirements. In the present work some results from experimental measurements performed in a historical building located in Fucecchio (near Florence, Italy) are analysed and discussed.

Data collected can be used as a valuable source to support the museum management for future use and decision making about the choice of the most suitable environmental control strategies.

Key-words

Monitoring campaigns, historic buildings, cultural heritage, dehumidification- humidification, plant systems

Introduction

Historic buildings make up a large part of built-up areas. In particular about 75% of all the monuments assessed in Europe are in Italy and part of the buildings, often losing their original function, are used as museums, archives and libraries. This is the reason for growing up interest for the preservation, restoration and conservation of the historical cultural heritage. Considerable scientific effort and financial resources are involved in conserving historic buildings and creating appropriate indoor climate conditions and thermal comfort for users, visitors, exhibited objects and the building itself. Many recent papers [1,4,3,5] show that the compromise solution is not so easy and simple, because works of art are complex and composite and the directions for their proper preservation vary from case to case according to the type of constituting materials. In general the possibility of preserving historical buildings is strictly connected with their use. Moreover, the ideal microclimatic and lighting conditions for the objects are not compatible with those recommended for visitors. The exhibition areas are often inside historic buildings, churches etc. so they must be protected and preserved. The variety and complexity of the objects that make up the cultural heritage is such that the substantial present research carried out on deterioration processes has not yet established conclusive results. In this scenario the monitoring campaigns and the indoor air quality control are posited as fundamental problems. There is no single protocol accepted at the international level: guidelines and recommendations set basic criteria and provide guidance on recommended levels for the main environmental parameters for conservation (internal air temperature, RH (RH), lighting levels, ultraviolet and infrared components filtering) [7,10,11]. Undisputed references in this field are the studies and analyses by G. Thomson [8] and more recent contributions [2,3,5]. The degradation of works of art collected in museums and the degradation of building materials of the old and historical buildings turned into museum, mainly depends on the indoor microclimatic conditions. At present the Italian standard UNI 10829 [10] is the only official method for evaluating environmental stress levels and degradation process of the spaces for conservation and of the objects exhibited. This standard refers to an official document concerning parameters for surveying and monitoring procedures. Then research into conservation and

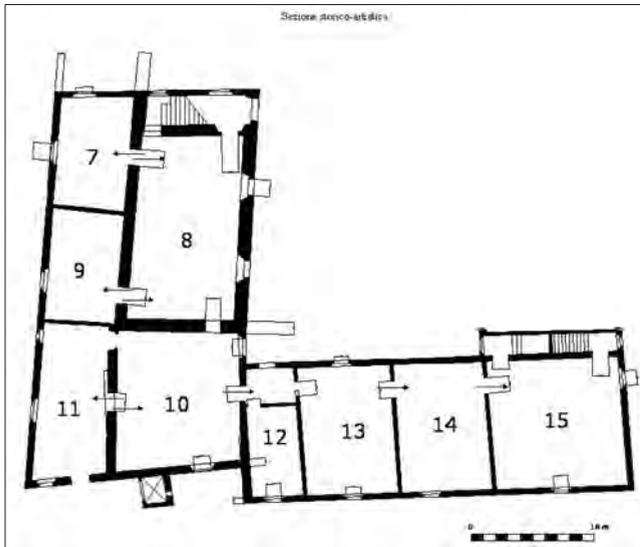


Fig. 1 - The first Floor of the museum and the investigated rooms

prevention methods, long term monitoring campaigns and control of microclimate would provide useful criteria for appropriate use of historic buildings, useful data for supporting museum management concerning the future use of the rooms and protection of the exhibited objects, useful data and information for decision making about the choice of the most suitable heating/cooling and ventilation systems and dehumidification/humidification plant solutions. In the present paper the microclimate study of the most important rooms of the Fucecchio museum was performed so as to find out the impact of lighting, people, heating and cooling system. Temperature and RH monitoring of indoor spaces designed and/or used for exhibiting events (inside historical buildings, museums, ancient libraries and similar institutions) was carried out. Measurements were performed using a multiple data acquisition device (the Babuc A-B-C) with a multi-data logger. This measurement campaign is still ongoing and will last at least through 2010. The first data collected and discussed in the present paper can be used as a valuable source to support the museum management for the future use of the rooms and maintenance and conservation/protection of its exhibited objects. They also help in decision making about the choice of the most suitable environmental control strategies that can be proposed for building refurbishment (e.g. passive control or controlled ventilation, modular and movable heating plant systems, humidification plants or, if it is possible, Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC) systems).

The Museum

The home of the Museum of Religious Art in Fucecchio (near Florence, Italy), inaugurated in March 2004, is the Corsini Farmhouse set opposite the Collegiate Church in the upper part of the Town. Its acquisition during 1981 by the Municipality converted it into a cultural centre for the public library and archives, made it the ideal seat for the town's museum. Preserved inside the main building constructed on the castle walls and subdivided on two floors culminating in a loggia are traces of medieval construction that probably date back to the 13th century. Two wings are connected to the main building and currently house the public library and historical archive. The main building concerns the museum. The ground floor with painted baseboards and pink and grey walls

houses the Archeological Museum with its fossil and finds from various epochs, but also with medieval archeological evidence that allow reconstruction of the ancient houses in the urban centre. The "Piano Nobile" a true picture gallery is intended for the Museum of Religious Art in which the works are divided into different sectors (paintings, silver works, vestments) and displayed in chronological order (Fig.1). From the stair-case visitors enter the "Salone del Cinquecento" connected to one room with the oldest works and to the room of the 17th century paintings. From this Hall it is possible to reach the room frescoed in the second half of the 18th century that houses the most substantial core of the silver collection. The rooms that display the precious vestments follow on until arriving at the exhibition of work by the Fucecchio painter Arturo Checchi, an addition to the Museum of Religious Art from which it is separated by the conference room. Whereas the ornithological collection acquired by the municipality in 1978, is found on the top floor of the building; this collection provides the local fossilized and contemporary fauna that actually constitute the main core of the natural history collections. The experimental measurements were carried out at the first floor of the museum. In particular, following the reference numeration of the museum, rooms 7,8,10,12,13 and 15 were monitored (Fig.1). The main description of all the rooms of the first floor of the museum with different works of art collected and the lighting and conditioning plants located are provided as follows:

Room 7 – the Room of Paintings and fine arts from 13th to the 15th century (Fig. 2). In this room there are 3 important works: a detached fresco (Madonna and Child by the Master of San Martino of the 14th century) that is incomplete because of damage suffered following its detachment, is a good example of late Gothic Florentine painting; a tempera on wooden panel of 1450 (Madonna and Child by Giovanni di Ser Giovanni) that is the most representative of the Museum with the "Nativity" by Larciani (Fig.3); a wooden panel of 1460-1470 (Madonna in adoration of the Child by Macchiavelli). In this room there are one fan-coil and four 100 watts halogen spotlights and one pedestal lamp with two incandescence lamps of 36 watts;

Room 8 – the Room of the 16th century paintings, where in the centre there is a 16th century wooden lectern. The most important painting of the room is the "Nativity" by Larciani, a wooden panel that is on the wall on the back surmounted by a lunette portraying the "Trinity and the Evangelists".

On the other walls there are some paintings on wooden panels by anonymous artists (Fig.4).

In this room there are two fan-coils and six 100 watts halogen spotlights and two pedestal lamps each one with two incandescence lamps of 36 watts;

Room 9 – the Room of the 17th century paintings is entered from the large room through the door that opens right next to Larciani's Nativity. Here paintings from the 17th century related to Florentine painters are gathered. All the works of art are on canvas. Experimental measurements were not conducted in this room.

Room 10 – the Room of silver works is a little room set between the large main room and the last room of paintings, decorated with landscapes of the second half of the 18th century (Fig.5). In the centre of the room there is a large display case in the shape of a pyramid that houses the section of silver works. For the most part they are liturgical objects, e.g. the series of candlesticks in gilded and carved wood, the reliquary of rock crystal, copper and partially gilded silver, holy water container and chalices of incised, chiselled and embossed sil-



Fig. 2 - Room 7. The Room of Paintings and minor arts from 13th to the 15th century (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.3 - Room 7. The "Madonna and Child" by Giovanni di Ser Giovanni (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.4 - Room 8. The "Nativity" by Larciani (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.5 - Room 10. The Room of silver works (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)

ver and partially gilded copper. In this room there are no fan-coils but only two pedestal lamps each one with two 36 watts incandescence lamps.

Room 11 – the Room of paintings and silver from 17th to the 18th century. This small room is to the right of the previous one. Paintings from the 17th-18th centuries are collected. There are three canvas paintings and the most important is the painting of 1670-1680 by Alessandro Rosi. To the left of the entrance there is a display case containing works of art of gilded and sculpted wood, cast brass, turned engraved chiselled and embossed silver, gilded and colorless metal. Experimental measurements were not carried out in this room.

Rooms 12 and 13 – Respectively they are the First and Second Room of Religious Vestments (Fig.8). The textile and vestments section is organized in the last two rooms of the museum. There are copes, chasubles, tunics, chalice veils and maniples on display made of valuable textiles coming from Fucecchio churches. The grandly elegant and precious textiles (damasks, silks, brocades) largely made by Florentine workshops show next to the customary thistle flower decoration that was widespread in Tuscany other ornamental motifs that reflect the changes in taste even if for items, like these liturgical ones, that were usually tied to strongly traditional forms.

In these rooms there are no fan-coils, one pedestal lamp with two 36 watts incandescence lamps inside room 12, and two pedestal lamps each one with two incandescence lamps of 36 watts inside room 13;

Room 15 – the Arturo Checchi collection (1886-1971). Most paintings by Checchi are oil on cardboard glued to

wooden panels, others are oil on canvas. In the centre of the room there are two bronze sculptures respectively a Mermaid of 1.03 meters height and Girl of 0.7 meters height. In this room there are two small unshielded windows of 1.6 m² each, respectively North and North-East oriented that let in natural light (Fig.6). In this room there is one fan-coil and two 100 watts halogen spotlights and two strips of total 20 fluorescent compact lamps of 24 watts.

It is important to notice that all the windows of the museum are always taken as closed and also shielded by external and internal shuttering. Moreover due to the low, casual presence of visitors, the fan-coil system is mainly turned on during the summer season especially on the occasion of particular events (ceremonies and lectures) that take place in Room 8. This because the heat and moisture realised by people. Tab. 1 shows dimensions of the all investigated rooms.

TABLE 1: DIMENSION OF THE INVESTIGATED ROOMS

	Room					
	7	8	10	12	13	15
Plant surface (m ²)	26	63	54	63	38	38
Volume (m ³)	104	251	216	226	138	138



Fig.6 - Room 15. The Arturo Checchi collection (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)

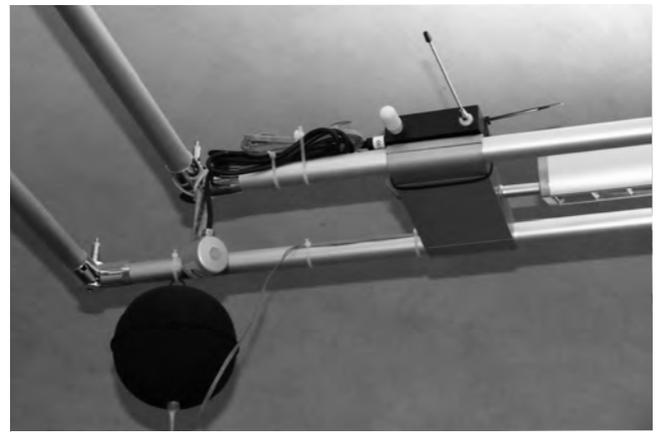


Fig. 7 - Room 15. The black globe thermometer location



Fig.8 - The First Room of Vestments. The sensors were positioned on the showcases (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.9 - Room 7. The sensor that was hung on the wooden beam (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)

The experimental apparatus

Measurements were performed in the first floor of the museum and specifically in rooms 7,8,10,12,13,15, using a multiple data acquisition device (Babuc-ABC LSI-Lastem instrument) with a multi-data logger by cordless data acquisition.

The measured parameters are: the min, max and mean air temperature value, the relative air humidity, dry and wet bulb air temperature, mean radiant temperature and the correlated standard deviations. The acquisition process was carried out every 5 minutes with a hourly data and daily data processing. The sensors system is composed of: platinum resistance thermometers PT100, under standard ISO-7726 for the ambient temperature measurement (range -20°C , $+60^{\circ}\text{C}$; accuracy 0.1%; resolution 0.001%); capacitance humidity sensors for RH measurement (range 0% , 100%; accuracy 2%); one black globe thermometer (located in the Room 15, Fig.7) with a 150 mm diameter and an internal temperature sensor PT100 and a probe BST 131 (range -40°C , $+80^{\circ}\text{C}$; accuracy 0.15% , 0.35%; 20 minutes response time).

The sensors were located such as not interfere with visitors and museum technicians; e.g. in the First Room of Vestments the sensors were positioned on the showcases (Fig.8 – indicated by the arrow) and in Room 7 they were hung on the wooden beam using three cables of fishing lines (Fig.9).

For the present paper experimental data from June 2009 until December 2009, were collected and processed.

Experimental measurements results

In the present paper results obtained by the first phase of the monitoring campaign are analysed and discussed. Data from June 2009 until December 2009 were collected and processed. The monitoring campaign is still in progress.

A set of environmental parameters for the conservation and protection of the works of art and the building were analysed and taken into account for the study of the present conditioning plant and a new design proposal. It is well known that temperature and RH are directly related: when a volume of warm air is cooled, its RH goes up and when a volume of cool air is warmed, its RH goes down. Because of this interdependence, temperature and RH are usually considered together.

The damage caused by incorrect control of these two parameters falls into three broad categories: biological, chemical and mechanical.

A wooden object with aged glue, varnish, lacquer, gesso, or oil paint bridging a joint in which the grains of the wood components are at right angles to each other would be considered “very high” vulnerability. However, a single piece of wood with a paint or varnish layer would be considered a “medium” vulnerability object provided the wood had no cross-bars or restraints to its movement. The definitions of object “vulnerability” are based specifically on mechanical damage. The variety and complexity of the wooden objects is such that researches carried out on deterioration processes, conservation strategies and connected environmental

requirements have not yet conclusive, exhaustive and single result [1,4,6,7,9,10,11,12,13].

Tab.2 shows the general accepted classes concerning the RH fluctuations and connected risks for preventive conservation of wooden artefacts. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) uses these vulnerability classifications to describe the risk to collections from the various classes of control.

The experimental measurements mainly belong to the summer period: comparison between results on the mean internal air temperature and RH can be deduced analysing Fig.s 10-15. Material like wood in general, wood painting, polychrome sculpture are highly sensitive to changes in RH over the entire environmental variability range: these materials expand and/or contract more or less depending from thermal variations connected to humidity variations.

Figures 10-15 provide the air temperature, relative humidity and dew-point temperature daily trend during the all monitoring campaign.

It can be seen that the mean air temperature values inside all the rooms are higher than the limit suggested by the UNI 10829 [10], REHVA [6] and the rules provided by the Italian Law [7]; but the limit value suggested for the RH is always respected.

As a matter of fact Tab.3 shows the higher hourly experimental values between all the experimental ones concerning the mean and maximum air temperature, the mean and maximum RH, for the all investigated rooms.

TABLE 3: THE HIGHER HOURLY EXPERIMENTAL VALUES

Room						
	7	8	10	12	13	15
T _{mean} (°C)	32.7	30.93	31.19	32.20	32.90	32.89
T _{max} (°C)	32.4	31.3	31.21	32.26	33.03	32.92
RH _{mean} (%)	64.3	58.1	59.30	69.80	67.60	52.70
RH _{max} (%)	64.6	58.8	60.20	71.30	71.00	55.10

TABLE 2: WOODEN ARTEFACTS AND RELATIVE HUMIDITY FLUCTUATIONS

Very High Vulnerability	
±5% RH	gradual fatigue fracture
±10% RH	fracture possible each cycle
±20% RH	fracture definite first cycle
High Vulnerability	
±5% RH	zero fatigue fracture
±10% RH	gradual fatigue fracture, or plastic deformation
±20% RH	fracture possible each cycle
±40% RH	fracture definite first cycle
Medium Vulnerability	
±10% RH	zero fatigue fracture
±20% RH	gradual fatigue fracture, or plastic deformation
±40%	RH fracture possible each cycle
Low Vulnerability	
±40% RH	possible accumulation of fatigue fracture or plastic deformation

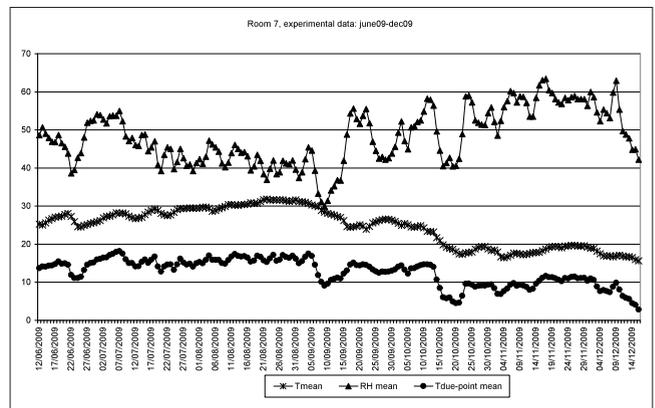


Fig. 10 - Room 7. Air temperature, RH and dew-point temperature trend - June09-Dec09

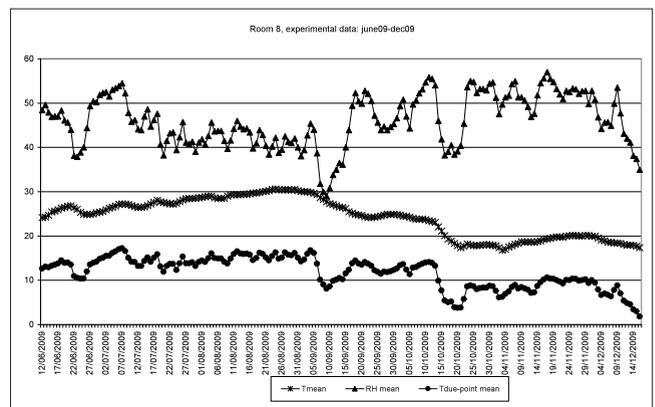


Fig. 11 - Room 8. Air temperature, RH and dew-point temperature trend - June09-Dec09

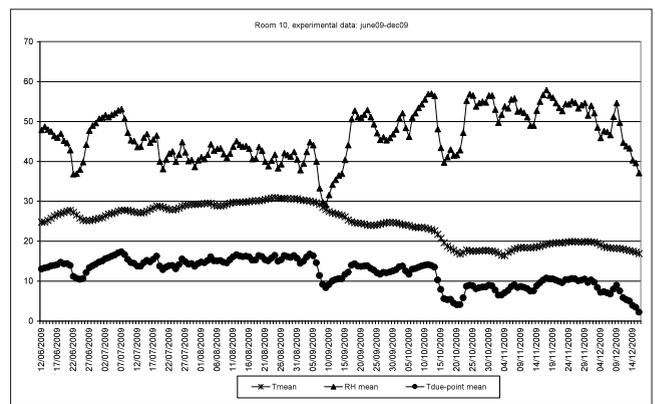


Fig. 12 - Room 10. Air temperature, RH and dew-point temperature trend - June09-Dec09

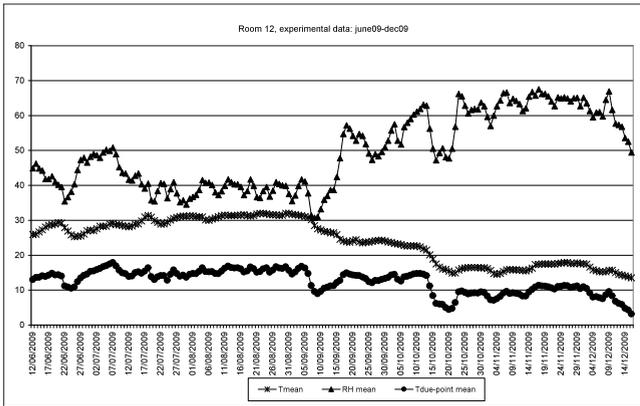


Fig. 13 - Room 12. Air temperature, RH and dew-point temperature trend – June09-Dec09

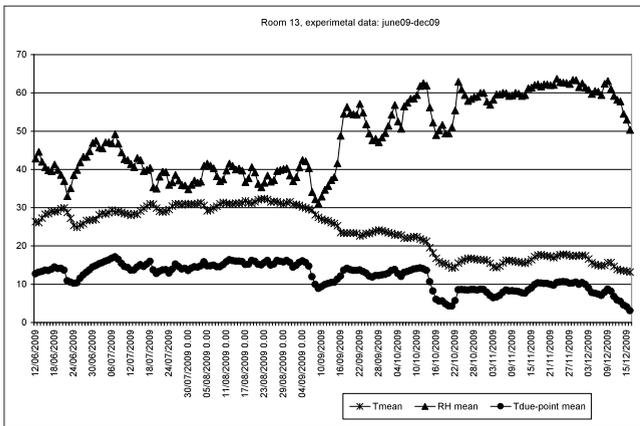


Fig. 14 - Room 13. Air temperature, RH and dew-point temperature trend – June09-Dec09

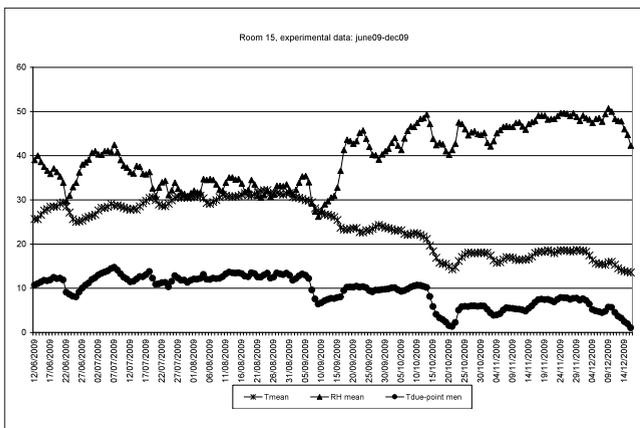


Fig. 15 - Room 15. Air temperature, RH and dew-point temperature trend – June09-Dec09

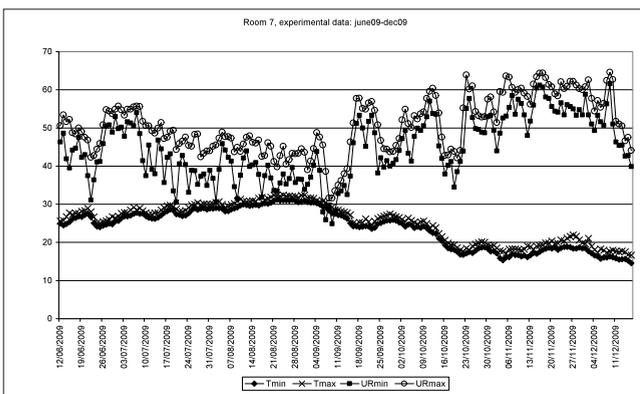


Fig. 16 - Room 7. Air temperature and RH trend – June09-Dec09

In particular results obtained for the most important room of the museum were analysed in detail. This is the Room of Paintings and fine arts from 13th to the 15th century (Room 7 – Fig. 14 and Fig. 15).

Figure 16 shows the trend of the daily values (maximum and minimum) of the air temperature and connected RH during the whole monitoring campaign, for Room 7: from the end of July to about mid of September, the air temperature is higher than the limit suggested. At the end of September 2009 some serious cracks and internal tensions were observed on the wooden panel of the “Madonna and Child” by Giovanni di Ser Giovanni. Consequently timely interventions for conservation and safety solutions were applied on the surface of the plaster painting (they can be seen in Fig.3).

This room is the one that presented higher cycles in temperature and RH responsible for dimensional changes and internal tensions to the wooden panels.

This was particularly relevant for the wider wooden panel exposed inside: this work of art is composed of a number of wooden parts bounded to each other, then rigid bounds, residual and new internal tensions exceeded the threshold for material resistance. Daily cycles in temperature and RH were checked processing experimental data collected.

For wooden artworks the Italian Standard UNI 10829 [10] suggests the interval 0-4% for RH and 0-1.5 °C for air temperature. The next standard UNI 10969 [11] provides the priority to the actual response of the artefact and its adaptation to its past environmental history, recommending as limit that one naturally established by the long term interactions between the artefact and its environment.

To study changes of the indoor climatic conditions of the room 7, cumulative frequency distribution of temperature and humidity were carried out using daily experimental data (Fig.s 17,18).

For the air temperature 40% of the experimental data respect the upper limit suggested of 24°C, and about 38% respect the lower limit of 19°C (Fig.17); for the RH all experimental data are lower than the upper limit suggested of 65%, and about 43% of data respect the lower limit of 45% (Fig.18). The cumulative frequency distribution of the air temperature and RH cycles were obtained using daily data. The UNI 10829 suggests 0-1.5 °C/day of temperature, and 0-4%/day of RH in daily cycles. The standard UNI 10969 suggests different limit range of these parameters in daily cycles: 0-3.2°C/day for the air temperature and 0-7%/day for the RH.

The cumulative frequency distribution of the temperature differences in daily cycles and of the RH differences in daily cycles are shown respectively in Fig.s 19 and 20. Taking into account the limit values suggested by UNI 10829, for the temperature differences about 75% of the data respect the upper limit and for the RH about 38% of data respect the upper limit.

Taking into account the limits suggested by the UNI 10969, about 98% of the temperature differences data respect the upper limit and for RH about 80% of data respect the upper limit suggested. The data exceeding the limits suggested explain the many cracks found in the most important wooden panel of the room.

On the other end, the specific air humidity calculated using experimental daily data, provides a minimum value of 4.83 g_{vapour} / kg_{dry-air} at the 16 December when the mean air temperature is 15.59°C and the mean RH is 42.20%; the

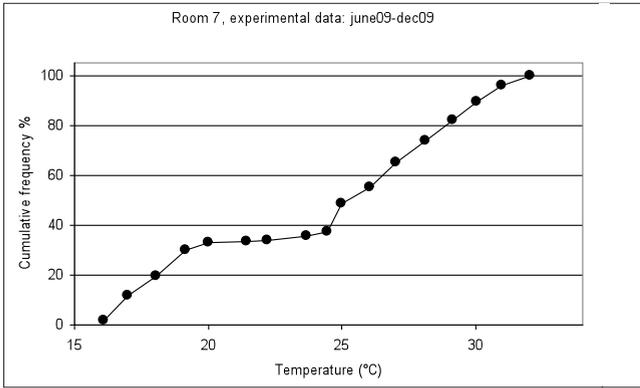


Fig. 17 - Room 7. Air temperature cumulative frequency – daily values – June09-Dec09

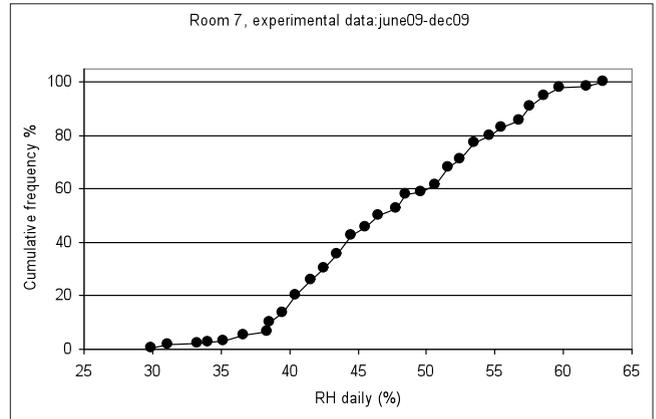


Fig. 18 - Room 7. RH cumulative frequency – daily values – June09-Dec09

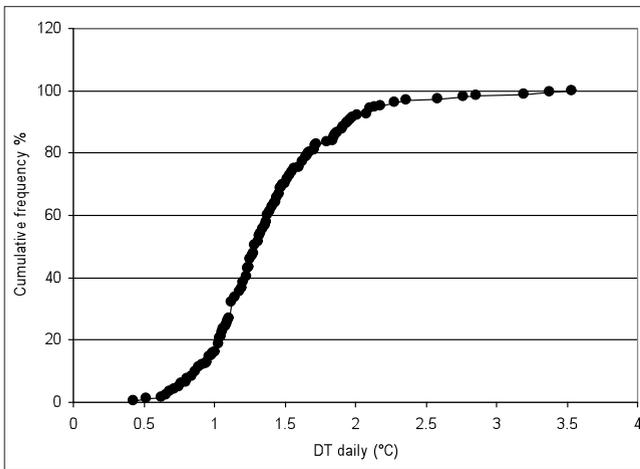


Fig. 19 - Room 7. Air temperature differences cumulative frequency – daily values – June09-Dec09

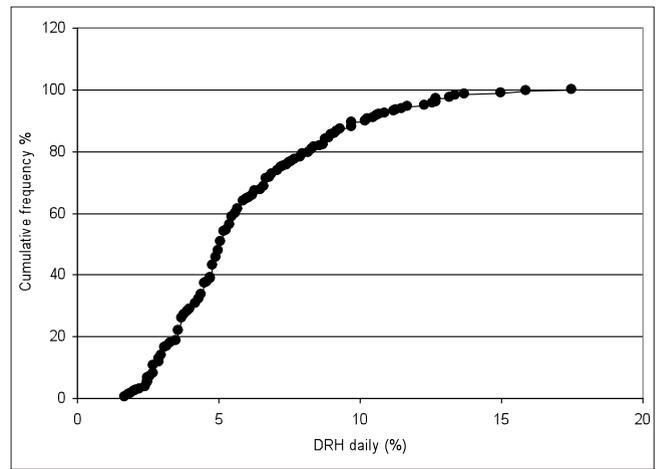


Fig. 20 - Room 7. RH differences cumulative frequency – daily values – June09-Dec09

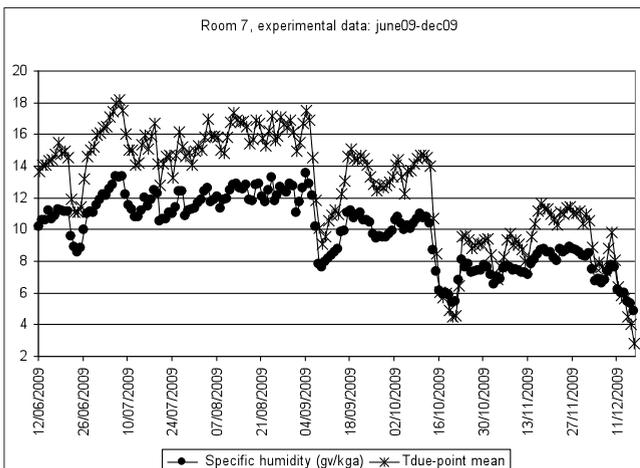


Fig. 21 - Room 7. Specific air humidity and mean dew-point temperature distribution – daily values – June09-Dec09

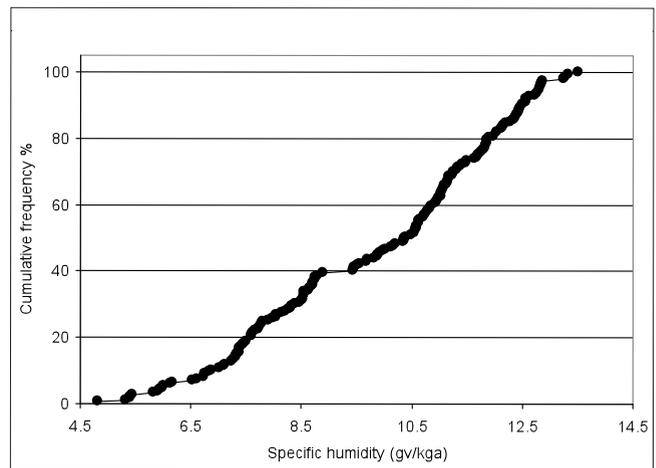


Fig. 22 - Room 7. Specific air humidity cumulative frequency - daily values - June09-Dec09

maximum value $13.50 \text{ g}_{\text{vapour}} / \text{kg}_{\text{dry-air}}$ is on the 9 September when the mean air temperature is 30.68°C and the mean RH is 43.8%; the mean value of the specific humidity from the all daily data is $9.86 \text{ g}_{\text{vapour}} / \text{kg}_{\text{dry-air}}$. Fig. 21 shows the specific air humidity and the mean dew-point temperature distribution for the whole experimental campaign. The cumulative frequency from daily data of the specific humidity was calculated (Fig.22). Temperature and RH ranges suggested, as upper and lower values, imply that for the upper

limit of 24°C temperature and 65% RH, the corresponding specific air humidity must be $9.47 \text{ g}_{\text{vapour}} / \text{kg}_{\text{dry-air}}$; for the lower limit of 19°C temperature and 45% RH the corresponding specific air humidity must be $6.13 \text{ g}_{\text{vapour}} / \text{kg}_{\text{dry-air}}$. Then the evaluation of the cumulative frequency of the specific humidity from daily experimental data, show that 42% respect the upper limit and less than 10% respect the lower limit. This trend highlights particular climatic conditions for the Room 7, that is an average dry indoor climate.

Heating and cooling loads

Heating and cooling loads of the rooms studied were calculated using a simple method based on the Cooling Load Temperature Differential/Cooling Load Factors. This method, derived from the Transfer Function Method (TFM-ASHRAE), uses tabulated data to simplify the calculation process. It was fairly easily transferred into a simple spreadsheet program for a dynamic accounting of heat transfer. Assuming a constant room air temperature of 20 °C for winter and 26 °C for summer, during 6 h (corresponding to the museum’s opening hours), conduction equations were used to calculate heat flow through walls, windows and ceiling. The room transfer functions were used to evaluate the radiative, convective and heat storage processes of all components: convective components are mainly instantaneous and radiative components are stored and released over time depending from the inertia and heat capacity of the building. The space air temperature transfer functions (heat extraction equations) were used to analyze the effects of the changing room air temperature on convective heat flow from mass walls to room air, taking into account internal gains from occupants (sensible and latent heat; [8]) and internal gains from the present artificial lighting system.

From some data provided by the Museums Department on visitor numbers, the mean number was calculated for some months and a typical day (Tab.s 4,5). The results on thermal power, CO₂ and vapour emission released in the ambient, show the great importance of visitor numbers for comfort and indoor air quality.

TABLE 4: MEAN AFFLUENCE OF VISITORS DURING A TYPICAL DAY

Open hours	affluence %	Tot visitor	Open hours	Mean hourly affluence
10-13	60	11	5	2
15-18	40	8	5	2

TABLE 5: HEAT POWER AND CO₂ EMISSIONS DURING A TYPICAL DAY –MEAN HOURLY VALUES STANDING

(kW)	CO ₂ (l/h)	vapour (kg/h)	(kW)	CO ₂ (l/h)	vapour (kg/h)
0.28	46	0.11	0.39	86	0.22
0.20	34	0.08	0.28	62	0.16

Because of the high thermal inertia of the building (the stone wall mean thickness is about 0.6 m), the real need for the museum rooms is the right air change provided by a mechanical ventilation plant and the humidity control by a humidification-dehumidification system. This is particularly evident during summer, that represents the most of the experimental measurements collected. As a matter of fact, the peak thermal load for the all rooms investigated is 39 kW for winter and 14 kW for summer. In particular Figure 23 shows the winter and summer peak loads for each room.

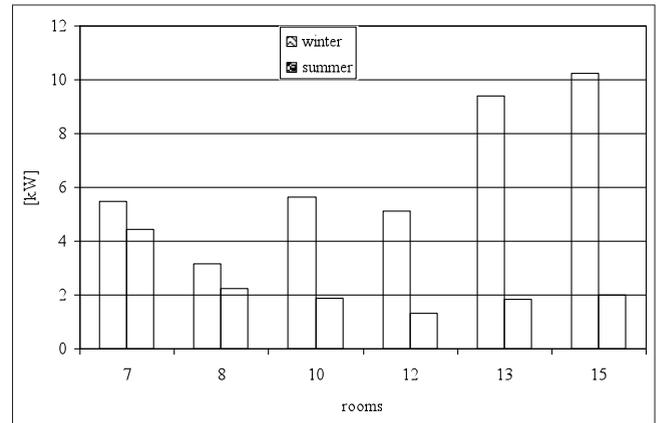


Fig. 23 - Winter and summer thermal peak loads for all the rooms

The main problem is then the RH control in relation to the air temperature variations.

In other words, microclimatic conditions for the preventive conservation and protection of the most of the works of art, could be obtained using showcases with internal microclimatic and lighting (optical-fibres system) control. The question concerns the budget problems of the Municipality from which depends the museum management. The solution proposed, taking into account costs and energy saving but also the minimum impact, concerns a new humidification and dehumidification unit (e.g. Defensor PH14 and PH26 air humidifier and purifier in one system) combined with the present fan-coils connected to heat recovery chillers for summer conditioning. The Defensor systems are widely used in museums. As a matter of fact, due to the architectural structure of the museum and lack of the necessary space for plant allocation, the solution proposed must be based on the minimum impact and easy replacement of components.

The plant design proposal is based on substantial savings in peak demand, energy consumption and low costs for the museum management compared to a modern heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) system for this typical small museum: the least expensive level of relative humidity to maintain, is 50% with significant cost increase resulting in trying to maintain stable the average humidity levels.

The plant solution proposal allows a general and basic control of the local convective motions, except above the fan-coils, the additional transport of particles and dust along the temperature gradient from the walls to the air, and to avoid dangerous cycles in temperature and RH, in particular when at broken times, different uses of the rooms are planned. The plant system should be kept at the same operational levels (for summer and winter, but also for the intermediate seasons that at low latitudes as that of Fucecchio, are often climatically the worst) during day and night to avoid dangerous cycles in temperature and RH. Experimental results show that variations of the indoor microclimatic conditions, due to the building thermo-physical behaviour connected to those of the external climate and to visitors presence, can provide a significant risk for exhibited objects and building structure and materials but they are not completely avoidable also if the HVAC plant had been installed.

Conclusions

The measurement of indoor climate in heritage buildings can provide valuable sources of data needed for optimal use and management also of the works of art exhibited inside. This is

particularly important when the old buildings have special value as architecture and history and in most cases are works of art themselves and at the same time preserve different and precious objects. The first phase of the experimental campaign, performed over the short period, from June 2009 to December 2009, demonstrated the remarkably changing of the indoor thermo-hygrometric parameters and then the importance of micro-climate control that in synergy with other factors plays a key role in the deterioration processes. Cycles in air temperature and RH are responsible for dimensional changes and internal tensions especially to the wooden paintings and objects. Indoor thermo-hygrometric conditions need to be kept constant throughout the day and annual variations should be limited as much as possible. This can be realised with an air conditioning system (HVAC), but this is not easily to install because heritage buildings do not offer adequate spaces for plants and air channels and are usually protected by historic and artistic preservation. The results show that the heating plant proposed is totally compatible with the economic availability of the Municipality and Museum, with the building structure and also its uses.

Acknowledgments

The authors thank all the staff of the Fucecchio Museum, for the provided access to all the Rooms. Particular thanks to Dr Andrea Vanni Desideri, the museum director, for the information provided and access critical for this study.

References

1. AVRAMI E., MASON R., DE LA TORRE M. (2001) *Values and Heritage Conservation*, Research Report, The Getty Conservation Institute, Los Angeles
2. CAMUFFO D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam
3. CAMUFFO D., PAGAN E., BERNARDI A., BECHERINI F. (2004) *The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study*, Journal of Cultural Heritage 5, pp. 409-416
4. HARRISON R., *Manual of heritage management*, Butterworth-Heinemann, Oxford 1994
5. LA GENNUSA M., LASCARI G., RIZZO G., SCACCIANOCE G. (2008) *Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: in search of a practical compromise*, Journal of Cultural Heritage, vol. 9, (2), pp. 125-134
6. MICHALSKI S. (1996) *Quantified risk reduction in the humidity dilemma*, Journal of Preservation Technology, APT Bulletin, vol. 27 n.3, pp. 25-29
7. MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 – Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei*, G.U. 19/10/2001, n.244 suppl. ord. Serie Generale
8. PIZZETTI C. (1980) *Condizionamento dell'Aria e Refrigerazione. Teoria e calcolo degli impianti*, vol. 1 e 2, CEA Ed.
9. THOMSON G. (1994) *The museum environment*, II Ed., Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford
10. UNI 10829/1999, *Works of art of historical importance - Ambient conditions for the conservation - Measurement and analysis*
11. UNI 10969/2002, *Cultural heritage - General principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environments*
12. UNI 11120/2004, *Cultural heritage - Field measurement of the air temperature and the surface temperature of objects*
13. UNI 11131/2005, *Cultural heritage - Field measurement of the air humidity*

Analisi del microclima degli edifici del patrimonio storico italiano Misure sperimentali condotte in un edificio storico destinato a museo

Abstract

I musei originariamente sono contenitori di opere diverse esposte ai visitatori e oggi dovrebbero essere considerati come luoghi in cui manufatti preziosi dovrebbero trovare possibilità di protezione e conservazione. Spesso oggi gli stessi edifici storici vengono trasformati in musei. In merito si pone quindi la questione importante di risolvere il compromesso tra protezione, conservazione e condizioni di comfort per le opere e per i visitatori, con la conseguenza che la conservazione e criteri di manutenzione programmata devono prevalere sulle esigenze di utilizzazione.

L'utilizzo dell'innovazione tecnologica, di studi sperimentali e di tecniche di simulazione per i Beni Culturali è di crescente importanza per l'analisi, la conservazione e la fruizione di opere d'arte.

I requisiti di stabilità delle condizioni microclimatiche interne sono i più vincolanti: essi svolgono un ruolo chiave nel processo di deterioramento dei diversi materiali di costruzione e delle opere d'arte. È necessario ridurre le variazioni dei parametri termo-fisici perché sono dannosi come i loro valori assoluti, riuscendo allo stesso tempo a garantire un sufficiente livello di comfort, o meglio condizioni di accettabilità degli ambienti, per gli utenti.

Spesso negli edifici storici destinati a musei la corretta progettazione e l'installazione degli impianti di riscaldamento, ventila-

zione e condizionamento (HVAC) è abbastanza difficile, così come poter condurre una campagna di monitoraggio.

Una campagna di monitoraggio è di solito effettuata impiegando un insieme di strumenti complessi, costosi e facilmente visibili che possono essere in conflitto con le esigenze espositive.

I dati raccolti possono essere usati come una fonte preziosa per programmare una successiva campagna di rilevazione sperimentale di dati, sostenere e pianificare la corretta gestione del museo in vista di un suo eventuale diverso utilizzo futuro e del processo decisionale per la scelta di strategie di controllo ambientale più idonee ed efficienti.

La varietà e la complessità degli oggetti che compongono il patrimonio culturale è tale che l'attività di ricerca attualmente svolta sui processi di degrado non ha ancora condotto a risultati univoci e conclusivi. Ad oggi non esiste un singolo ed unico protocollo accettato a livello internazionale: sono presenti linee guida e raccomandazioni finalizzate a stabilire i criteri di base e a fornire indicazioni sui livelli consigliati circa i principali parametri ambientali per la conservazione (temperatura dell'aria interna, umidità relativa, livelli di illuminazione, componenti di filtraggio dei raggi ultravioletti ed infrarossi). Attualmente la norma italiana UNI 10829 è l'unico metodo ufficiale per valutare i livelli di stress ambientale e il processo di degrado degli spazi per la conservazione e degli stessi oggetti in essi esposti.

In questo lavoro vengono presentati, analizzati e discussi i

risultati di una campagna di monitoraggio condotta in un museo situato a Fucecchio (vicino a Firenze).

I dati raccolti possono essere utilizzati come una preziosa fonte di supporto alla gestione del museo per il suo utilizzo futuro e per definire scenari di carattere programmatico e decisionale quindi definire strategie più adeguate di controllo ambientale.

Key-words

Campagne di monitoraggio, edifici storici, patrimonio storico-museale, umidificazione-deumidificazione, sistemi impiantistici

Introduzione

Gli edifici storici rappresentano una gran parte delle aree edificate. In particolare circa il 75% di tutti i monumenti quantificati in Europa sono in Italia e parte degli edifici, spesso perdendo la loro funzione originaria, vengono utilizzati come musei, archivi e biblioteche. Questa è la ragione della crescita dell'interesse per la conservazione, il restauro e la manutenzione preventiva del patrimonio storico culturale. Notevole sforzo ed impegno scientifico e di ricerca nonché risorse finanziarie sono coinvolte nella conservazione di edifici storici e la creazione di adeguate condizioni microclimatiche degli ambienti e di comfort per gli utenti, i visitatori, gli oggetti esposti e l'edificio stesso.

Molti recenti studi [1,4,3,5,6,8] mostrano che una soluzione di compromesso non è così semplice, perché le opere d'arte sono complesse e composite e le indicazioni per la loro buona conservazione variano da caso a caso a seconda del tipo di configurazione e materiali di cui sono costituite. In generale la possibilità di preservare gli edifici storici è strettamente collegata al loro uso.

Inoltre, le condizioni microclimatiche e di illuminazione ideale per gli oggetti non sempre sono compatibili con quelle raccomandate per i visitatori. Le aree espositive sono spesso all'interno di palazzi storici, castelli e chiese quindi devono essere tutelate e conservate.

La varietà e la complessità degli oggetti che compongono il patrimonio culturale è tale che l'attività di ricerca attualmente svolta sui processi di deterioramento non ha ancora stabilito risultati conclusivi ed univoci. In questo scenario le campagne di monitoraggio e il controllo della qualità dell'aria interna sono poste come problemi fondamentali. Non esiste un protocollo unico accettato a livello internazionale: linee guida e raccomandazioni forniscono criteri di base e importanti indicazioni sui livelli consigliati per i principali parametri ambientali per la conservazione (temperatura dell'aria interna, umidità relativa (RH), livelli di illuminazione, filtraggio di componenti ultraviolette ed infrarosse) [7,10,11,12,13].

Un riferimento indiscusso in questo settore è costituito dagli studi ed analisi di G. Thomson [9] e dai più recenti contributi [2,3,5]. Il degrado delle opere d'arte raccolte nei musei e il degrado dei materiali da costruzione degli edifici antichi e/o storici trasformati in museo, dipende principalmente dalle condizioni microclimatiche interne. Attualmente la norma italiana UNI 10829 [10] è l'unico metodo ufficiale per la valutazione dei livelli di stress ambientale e del processo di degrado dei materiali degli spazi per la conservazione e degli oggetti in essi esposti.

Questa norma si riferisce a un documento ufficiale riguardante i parametri per l'analisi e le procedure di monitoraggio. D'altra parte la ricerca e gli studi per la conservazione delle opere e sui metodi di prevenzione, nonché campagne di monitoraggio a lungo termine per il controllo del microclima fornirebbero i

informazioni utili per un uso appropriato degli edifici storici, dati fondamentali per supportare la gestione museale relativa alla futura utilizzazione dei locali e la protezione degli oggetti esposti, informazioni basilari per prendere decisioni circa la scelta dei sistemi di climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti nonché circa la loro ventilazione e su soluzioni impiantistiche di deumidificazione/umidificazione.

In questo lavoro è stato condotto lo studio del microclima delle sale più importanti del museo di Fucecchio al fine di valutare gli effetti del presente sistema di illuminazione, dell'affluenza delle persone e dell'attuale sistema di riscaldamento e raffrescamento. È stata analizzata la distribuzione e variazione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria degli ambienti destinati all'esposizione e di quelli destinati a manifestazioni e conferenze.

Le misure sperimentali sono state eseguite utilizzando un dispositivo di acquisizione multipla dei dati (Babuc ABC) con un sistema cordless. Questa campagna di monitoraggio è ancora in corso e durerà almeno tutto il 2010. I primi dati raccolti e discussi nel presente lavoro possono essere utilizzati come una fonte preziosa per sostenere la gestione e programmazione del museo per il futuro uso delle sale, la sua manutenzione e la conservazione/protezione degli oggetti ed opere esposte.

I risultati ottenuti dall'analisi delle misure sperimentali sono utili per un eventuale processo decisionale volto alla scelta delle strategie più idonee al controllo ambientale che possono essere proposte anche per la sola ristrutturazione dell'edificio (ad esempio il controllo passivo o ventilazione controllata, modulare, sistemi di riscaldamento, impianti di umidificazione o, se è possibile, anche sistemi di unità di trattamento dell'aria (HVAC) di dimensioni contenute.

Il Museo

La sede del Museo di Arte Sacra a Fucecchio (vicino a Firenze, in Italia), inaugurato nel marzo 2004, è la Fattoria Corsini posizionata di fronte alla chiesa Collegiata, nella parte alta della città.

La sua acquisizione nel corso del 1981 da parte del Comune l'ha trasformata in un centro culturale munito di biblioteca e archivi; contemporaneamente ha fatto la sede ideale per il museo della città.

Tracce di costruzione medievale che probabilmente risalgono al XIII secolo, sono conservate all'interno dell'edificio principale costruito sulle mura del castello che è suddiviso su due piani che si concludono con una loggia. Due ali sono collegate al corpo centrale e attualmente ospitano la biblioteca pubblica e l'archivio storico.

Il corpo di fabbrica principale riguarda il museo. Al piano terra con cornici e bordi dipinti e muri rosa e grigi, si trova il Museo Archeologico con fossili e reperti di varie epoche, ma anche con testimonianze archeologiche medievali che permettono la ricostruzione delle antiche case del centro urbano.

Il "Piano Nobile" una galleria vera e propria, è destinato al Museo di Arte Sacra in cui le opere sono suddivise in diversi settori (dipinti, oggetti in argento, vestimenti sacri) ed esposte in ordine cronologico (Fig.1). Dalle scale principali i visitatori accedono alla "Sala del Cinquecento", collegato ad una stanza che ospita le opere più antiche e quindi procedere verso la sala dei dipinti del XVII Secolo.

Da questa sala è possibile raggiungere il Salone degli affreschi appartenenti alla seconda metà del 18° Secolo che ospita il nucleo più consistente della collezione d'argento. Quindi è pos-

sibile raggiungere le stanze che espongono i paramenti preziosi, arrivare alla mostra dei lavori del pittore Arturo Checchi di Fucecchio, che è una sala in aggiunta al Museo di Arte Sacra da cui è separato dalla sala conferenze.

Va poi detto che una importante raccolta ornitologica acquistata dal Comune nel 1978, si trova all'ultimo piano dell'edificio: questa collezione mostra la fauna locale fossilizzata che contemporanea rappresenta il nucleo principale della storia naturale locale.

Le misure sperimentali sono state effettuate al primo piano del museo. In particolare, seguendo la numerazione di riferimento del museo, sono state monitorate le stanze 7,8,10,12,13 e 15 (Fig.1). La descrizione principale di tutte le stanze del primo piano del museo con le diverse opere d'arte raccolte, i sistemi di illuminazione e gli impianti presenti viene fornita come segue:

Sala 7: è la Sala dei Quadri e delle Arti Minori dal XIII al XV Secolo (Fig. 2). In questa stanza ci sono 3 importanti opere: un affresco staccato ("Madonna col Bambino" del Maestro di San Martino del XIV secolo), opera che risulta incompleta a causa dei danni subiti in seguito al suo distacco; è un pregevole esempio di pittura tardo gotico fiorentina; una tempera su tavola di legno del 1450 ("Madonna col Bambino" di Giovanni di Ser Giovanni), che è il più rappresentativo del Museo insieme all'opera la "Natività" di Larciani (Fig.3); un pannello di legno del 1460-1470 ("Madonna in adorazione del Bambino" di Macchiavelli). In questa sala ci sono un fan-coil e quattro faretti alogeni da 100 watt ciascuno e una lampada a piantana con due lampade ad incandescenza ciascuna da 36 watt;

Sala 8: questa è la Sala dei Dipinti del XVI Secolo, al cui centro vi è un leggio di legno del XVI Secolo. Il dipinto più importante della sala è la "Natività" di Larciani, opera su pannello di legno sormontata da una lunetta raffigurante la "Trinità e gli Evangelisti". Sulle altre pareti della sala sono presenti opere su tavola in legno di artisti anonimi (Fig.4). In questa stanza ci sono due fan-coils e sei faretti alogeni con lampade da 100 watt ciascuna e due lampade a piedistallo ognuna con due lampade ad incandescenza da 36 watt ciascuna;

Sala 9: questa è la Sala dei Dipinti del XVII secolo; si accede a questa grande sala attraverso la porta che si apre a destra accanto all'opera la "Natività" di Larciani. La particolarità di questi dipinti risiede nel fatto che sono tutti di pittori fiorentini del 1600. Tutte le opere sono su tela. Qui le misurazioni sperimentali non sono state condotte.

Sala 10: questa sala è detta Sala delle opere d'argento ed è una piccola stanza collocata tra la grande sala principale e l'ultima stanza dei dipinti, particolarmente decorata con paesaggi della seconda metà del XVIII Secolo (Fig. 5).

Nel centro della sala vi è una grande teca a forma di piramide che ospita la sezione di opere in argento. Per la maggior parte sono oggetti liturgici, come ad esempio la serie di candelabri in legno dorato e intagliato, il reliquiario di cristallo di rocca, rame e argento parzialmente dorato, i contenitori di acqua santa ed i calici d'argento inciso, i calici in rame cesellato e sbalzato ed in parte dorato. In questa sala non ci sono fan-coils, ma solo due lampade a piedistallo provviste di due lampade ad incandescenza da 36 watt ciascuna;

Sala 11: questa è la Sala dei Dipinti e degli Argenti a partire dal XVII fino al XVIII secolo. Questa piccola stanza si trova a destra di quella precedente. Ci sono tre dipinti su tela e quello più importante è il dipinto del 1670-1680 di Alessandro Rosi. A sinistra dell'ingresso vi è una vetrina che contiene opere d'arte in legno dorato ed inciso, in argento sbalzato e cesellato, come

pure in metallo dorato ed incolore. Anche in questa sala non sono state condotte misure sperimentali;

Sala 12 e Sala 13: sono rispettivamente la Prima Sala e la Seconda Sala dei Paramenti Sacri (Fig. 8). Sono esposti piviali, pianete sacre, tuniche, veli, mantelle e manipoli di tessuti preziosi provenienti da molte Chiese nei dintorni di Fucecchio. I tessuti eleganti e preziosi (damaschi, sete, broccati) in gran parte lavorati e prodotti in botteghe fiorentine mostrano accanto alla consueta decorazione a fiore di cardo, che era molto diffusa in Toscana, altri motivi ornamentali che riflettono i cambiamenti del gusto, anche se per gli oggetti, come quelli liturgici, è rimasto in genere legato a forme fortemente tradizionali. In queste sale non ci sono ventil-convettori, bensì una luce a piedistallo con due lampade ad incandescenza da 36 watt ciascuna, all'interno Sala 12, e due lampade a piedistallo ognuna con due lampade ad incandescenza da 36 watt ciascuna all'interno della Sala 13;

Sala 15: questa sala presenta l'intera collezione Arturo Checchi (1886-1971). La maggior parte dei dipinti di Checchi sono olii su cartone incollati sui pannelli di legno, altri sono olii su tela. Nel centro della sala ci sono due sculture in bronzo, rispettivamente, una sirena di 1.03 metri di altezza e una ragazza di 0.7 metri di altezza. Sono presenti due piccole finestre non schermate di 1.6 m² ciascuna, rispettivamente, esposte a Nord e a Nord-Est che permettono l'ingresso della luce naturale (Fig. 6). È presente un fan-coil e due faretti alogeni da 100 watt ciascuno, due strisce di lampade fluorescenti compatte per un totale di 20 da 24 watt ciascuna.

È importante notare che tutte le finestre del museo sono sempre tenute chiuse ed oscurate sia all'interno che all'esterno da scuri. Inoltre a causa di una sporadica e casuale affluenza di visitatori, l'impianto a fan-coils è principalmente acceso durante la stagione estiva, soprattutto in occasione di particolari eventi (cerimonie e conferenze) che si svolgono nella Sala 8, a causa del calore latente e sensibile rilasciato in ambiente dalle persone. In tab. 1 si riportano le dimensioni delle Sale studiate e monitorate.

L'apparato sperimentale

Per realizzare il monitoraggio al primo piano del museo e in particolare nelle sale 7,8,10,12,13,15, è stato utilizzato un dispositivo di acquisizione dati multipli (Babuc-ABC-strumento LSI Lastem) con un multi-data logger basato su sistema cordless. Il BABUC è stato collocato nell'ufficio del direttore in modo da evitare rischi connessi alla sicurezza del componente e dei visitatori. Il sistema di sensori è composto da: termometri a resistenza di platino PT100, a norma ISO-7726 per la misurazione della temperatura ambiente (campo di misura -20°C , + 60°C) con precisione 0.1% e risoluzione 0.001%; sensori di umidità capacitivi per la misurazione dell'umidità relativa (campo di misura 0% , 100%) con 2% di precisione; un termo-globo-termometro, corpo nero, (che è stato collocato sul sistema di illuminazione della Sala 15, (Fig. 7) con un diametro di 150 mm ed un sensore di temperatura PT100 interno e una sonda BST 131 (campo di misura: -40°C , + 80°C) con accuratezza di 0.15% , 0.35%; con 20 minuti di tempo di risposta). Tutti i sensori cordless sono stati posizionati in modo da non interferire né con i visitatori né con gli addetti e i tecnici del museo; ad esempio nella prima sala dei paramenti sacri, i sensori sono stati posizionati nelle vetrine (Fig.8) e in Sala 7 appesi alle travi in legno con tre cavi del tipo filo da pesca (Fig.9). In questo lavoro vengono qui mostrati i risultati dei dati sperimentali acquisiti a partire da giugno 2009 fino a dicembre 2009.

Risultati della campagna di monitoraggio

L'importanza della prevenzione pone come fattore primario la garanzia della conservazione e tutela delle opere e dell'ambiente in cui sono esposte, dal degrado. Ciò significa che il comfort termoisometrico e la qualità dell'aria interna per le persone, sono aspetti secondari anche se impongono la necessità di trovare compromessi in relazione al microclima ed ai fondamentali agenti di deterioramento che ad esempio secondo il Canadian Conservation Institute (CCI) sono: azioni meccaniche dirette, furti, atti vandalici, spostamenti, incendi, acqua (allagamenti per rottura di impianti e/o infiltrazioni), infestazioni di insetti e fenomeni microbiologici, radiazione solare/luminosa, temperatura dell'aria non adeguata, umidità relativa dell'aria non adeguata, contaminanti (inquinanti). Inoltre le tipologie dei processi di deterioramento dovute alle condizioni ambientali sono tre: sollecitazioni meccaniche e deformazioni – sollecitazioni cicliche (temperatura e umidità relativa); reazioni chimico-fisiche governate dalla legge di Arrhenius (velocità di reazione connessa alla variazione di temperatura); reazioni chimico-fisiche governate dalla legge della dose assorbita (dose law, inquinamento, radiazioni UV ed elettromagnetiche – tempo di esposizione-intensità/concentrazione).

Variazioni cicliche nel tempo dell'umidità relativa connesse a quelle di temperatura possono determinare cambiamenti nello stato fisico del materiale, innescare reazioni chimiche e di degrado biologico. Del resto, importanti sono anche le variazioni cicliche della dose (cioè intensità per il tempo) della luce sia naturale che artificiale in ambiente. Da questo l'importanza per la conservazione e la prevenzione del degrado e quindi delle campagne di monitoraggio.

Un insieme di parametri ambientali per la conservazione e la protezione delle opere d'arte e dello stesso l'edificio sono stati analizzati in dettaglio elaborando i dati sperimentali e quindi in riferimento ai limiti suggeriti dalla attuale normativa vigente considerando i presenti sistemi impiantistici ed il loro funzionamento discontinuo. Materiali come il legno in generale, in legno verniciato e sculture policrome sono estremamente sensibili alle variazioni di umidità relativa su tutto il campo di variabilità ambientale: questi materiali si espandono e/o si contraggono in maggiore o minore misura a seconda dell'entità delle variazioni termiche connesse alle variazioni di umidità relativa dell'aria. È opportuno evidenziare che le misurazioni sperimentali appartengono prevalentemente al periodo estivo e hanno consentito il confronto tra i risultati ottenuti rielaborando le acquisizioni giornaliere della temperatura media dell'aria interna e di umidità relativa.

I danni causati dal non corretto controllo di questi due parametri si articolano in tre grandi categorie: biologico, chimico e meccanico. Un oggetto di legno in cui sia presente un certo tipo di colla, vernici, lacche, gesso, vernice o olio oppure sia costituito da elementi di legno diverso in cui le fibre dei componenti in legno sono perpendicolari tra loro sarebbero considerati di vulnerabilità "molto elevata".

Tuttavia, un oggetto costituito da un unico tipo di legno anche con uno strato di pittura e vernice, sarebbe considerato a vulnerabilità media. Tutte le classificazioni che rimandano ai diversi livelli di "vulnerabilità" sono basate specificamente su danni meccanici. La varietà e la complessità degli oggetti di legno è tale che ricerche condotte sui processi di degrado, strategie di conservazione e connessi requisiti ambientali non hanno ancora portato a risultati conclusivi, esauriente ed univoci [1,2,4,5].

La tab.2 mostra le classi generali per quanto riguarda le flut-

tuazioni di umidità relativa e dei rischi connessi per la conservazione preventiva dei manufatti in legno. La società americana di riscaldamento, refrigerazione e condizionamento (ASHRAE) utilizza queste classificazioni relative alla vulnerabilità per descrivere il rischio per collezioni ed individuare le connesse classi di controllo. Le misure sperimentali appartengono principalmente al periodo estivo: il confronto tra i risultati sull'andamento della temperatura media dell'aria interna e dell'umidità relativa si può dedurre analizzando le figure 10-15.

Materiali come il legno in generale, legni verniciati, sculture policrome sono estremamente sensibili alle variazioni di umidità relativa su tutta la gamma di variabilità ambientale: questi materiali si espandono e/o contraggono in misura più o meno elevata in base alle variazioni termiche connesse alle variazioni di umidità. Le figure 10-15 forniscono la variazione giornaliera della temperatura dell'aria, dell'umidità relativa e della temperatura di rugiada (o di bulbo umido) registrata durante la tutto il periodo della campagna di monitoraggio. Si può notare che i valori medi della temperatura dell'aria all'interno di tutte le sale sono superiori al limite suggerito dalla norma UNI 10829 [10], REHVA [1,6] e dalle norme italiane [7]; tuttavia il valore limite suggerito da queste normative per l'umidità relativa viene sempre rispettato.

In tab.3 si riportano i più elevati valori orari sperimentali ottenuti, in tutte le sale monitorate, tra tutti quelli che riguardano la temperatura media e massima, l'umidità relativa media e massima.

In particolare i risultati ottenuti per la stanza più importante del museo sono stati analizzati in dettaglio (Fig.10). Questa è la stanza delle Pitture e delle Belle Arti dal XIII al XV secolo (Sala 7).

La figura 16 mostra l'andamento dei valori giornalieri (massimi e minimi) della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa durante tutta la campagna di monitoraggio, registrati nella Sala 7: dalla fine di luglio a circa metà di settembre, la temperatura dell'aria è superiore al valore limite suggerito. Alla fine di settembre 2009 alcune cretture molto importanti e severe tensioni interne al pannello di legno della "Madonna col Bambino" di Giovanni di Ser Giovanni sono state registrate e fatte notare a chi di competenza. Di conseguenza, sono stati condotti interventi tempestivi di conservazione e soluzioni di sicurezza con l'applicazione di alcune pellicole sulla superficie del quadro (facilmente visibili nella immagine di Fig.3).

Questa stanza è quella che presenta i cicli più elevati ed importanti di temperatura e di umidità relativa dell'aria interna, responsabili delle modifiche dimensionali e delle tensioni interne ai pannelli di legno ed alle pitture su tavola.

Problema questo particolarmente rilevante per il pannello di legno più grande esposto all'interno: questa opera d'arte è composta da un numero di diverse parti in legno di differente natura e con confini tra una e l'altra abbastanza rigidi; ciò comporta che le tensioni interne residue e gli stress meccanici superino la soglia di resistenza dei materiali. I cicli giornalieri di temperatura e di umidità relativa sono stati valutati attraverso l'elaborazione dei dati sperimentali raccolti.

Si può evincere come le fluttuazioni di umidità relativa dell'aria siano molto contenute ed il valore medio di questo parametro sia piuttosto basso; ciò comporta un maggior rischio per le opere specie i dipinti su tavola a causa dell'effetto indotto di aumento del coefficiente di diffusività in aria dei materiali, colori e vernici di cui sono costituite. Per le opere d'arte in legno la Normativa italiana vigente, ovvero la UNI 10829 [10], suggerisce l'intervallo 0-4% per l'umidità relativa e 0-1.5 °C per la temperatura dell'aria. La norma UNI successiva, la UNI 10969 [11], prevede la priorità per la risposta effettiva del manufatto e

del suo adattamento alla sua storia ambientale passata, raccomandando come limite quello naturalmente stabilito dalle interazioni a lungo termine tra il manufatto e il suo ambiente (le variazioni microclimatiche di questo ultimo).

Per studiare i cambiamenti delle condizioni climatiche interne della Sala 7, e quindi il suo microclima, sono state calcolate le distribuzioni di frequenza cumulata dei parametri temperatura e umidità relativa dell'aria. Queste frequenze cumulate sono state ottenute elaborando i dati sperimentali medi giornalieri (figure 17,18).

Per quanto riguarda il valore della temperatura dell'aria il 40% dei dati sperimentali rispettano il valore limite massimo consigliato di 24 °C, e circa il 38% di essi rispetta il valore limite inferiore suggerito di 19 °C (Fig.17). Per quanto concerne l'umidità relativa tutti i dati sperimentali sono inferiori al valore limite massimo suggerito del 65% e solo il 43% dei dati rispetta il valore limite inferiore consigliato pari al 45% (Fig.18).

Le distribuzioni della frequenza cumulata della temperatura dell'aria e dei cicli di umidità relativa sono state ottenute utilizzando i valori sperimentali medi giornalieri. La norma UNI 10829 suggerisce per i cicli giornalieri il campo di 0-1.5°C/giorno per il parametro temperatura dell'aria, e 0-4%/giorno per il parametro umidità relativa dell'aria. La norma UNI 10969 suggerisce diversi campi limite di questi parametri espressi in cicli giornalieri: 0-3.2 °C/giorno per la temperatura dell'aria e 0-7%/giorno per il parametro umidità relativa.

Le distribuzioni di frequenza cumulata per i cicli giornalieri, calcolata sulle differenze di temperatura media dell'aria e quella calcolata per i cicli giornalieri sulle differenze di umidità relativa sono indicate rispettivamente, in figura 19 e 20. Tenendo conto dei valori limite suggeriti dalla norma UNI 10829, per le differenze di temperatura, il 75% dei valori sperimentali rispetta il valore limite minimo previsto e per il parametro umidità relativa, circa il 38% dei dati sperimentali rispetta il valore limite massimo suggerito. Tenendo conto dei limiti suggeriti dalla norma UNI 10969, il 98% delle differenze di temperatura dell'aria rispetta il valore limite superiore, mentre l'80% delle differenze dei valori di umidità relativa dell'aria rispetta il valore limite massimo suggerito. I dati che superano i limiti suggeriti e la ciclicità delle loro variazioni spiega la formazione di molte crepe nel pannello di legno più importante della Sala.

D'altra parte l'umidità specifica dell'aria, detta anche titolo dell'aria umida, calcolata utilizzando i dati sperimentali giornalieri, fornisce un valore minimo di 4.83 grammi di vapore per chilo di aria secca, al 16 dicembre quando la temperatura media è di 15.59 °C e l'umidità relativa media è pari a 42.20%.

Il valore massimo del titolo dell'aria risulta di 13.50 grammi di vapore per chilo di aria secca, si presenta durante il giorno del 9 settembre quando la temperatura media dell'aria è 30.68 °C e l'umidità relativa media corrispondente è pari a 43.8%.

Il valore medio del titolo o umidità specifica dell'aria, calcolato utilizzando tutti i valori sperimentali giornalieri, risulta pari a 9.86 grammi di vapore per chilo di aria secca. La figura 21 mostra l'andamento dell'umidità specifica dell'aria e la distribuzione di temperatura media ottenuti dai dati rilevati durante l'intera campagna di monitoraggio. In figura 22 si riporta l'andamento della frequenza cumulata della umidità specifica calcolata impiegando i dati giornalieri.

I campi di variazione suggeriti per i parametri temperatura e umidità relativa dell'aria, in termini di valori limite massimi e minimi, comportano che per il limite superiore di 24 °C di temperatura e 65% di umidità relativa, l'umidità specifica o titolo dell'aria corrispondente deve essere 9.47 grammi di vapore per

chilo di aria secca; per quanto riguarda il limite inferiore di 19 °C per la temperatura e del 45% per l'umidità relativa dell'aria, comporta che l'umidità specifica o titolo corrispondente deve essere 6.13 grammi di vapore per ciascun chilo di aria secca. Quindi la valutazione della frequenza cumulata calcolata per l'umidità specifica dell'aria utilizzando i dati sperimentali giornalieri, mostra che i valori rispettano per il 42% il limite superiore e solo per il 10% il valore limite inferiore. Questa tendenza evidenzia particolari condizioni climatiche per la Sala 7, che presenta un microclima mediamente secco e temperato.

Carichi termici di picco estivo ed invernale

I carichi di picco per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo delle Sale studiate, sono stati calcolati utilizzando il metodo basato sulle differenze equivalenti di temperatura e fattori di accumulo. Questo metodo, derivato dalle funzioni di trasferimento (TFM-ASHRAE), utilizza dati tabulati per semplificare il processo di calcolo.

Il metodo delle funzioni di trasferimento dell'ASHRAE è stato implementato su fogli di calcolo per valutare la dinamica dei traslatori di scambio di calore e di massa attraverso le strutture. Ipotizzando una temperatura costante dell'aria interna pari a 20 °C per l'inverno e 26 °C per l'estate, nel corso di 6 ore (corrispondenti alle ore di apertura del museo), sono state impiegate le equazioni di scambio termico conduttivo di Fourier per valutare i traslatori relativi ai flussi di calore attraverso le pareti, finestre e soffitto.

Le funzioni di trasferimento per ciascuna singola zona sono state utilizzate per valutare gli scambi termici radiativi, convettivi e gli accumuli di calore dovuti a tutti i processi per ogni componente edile in funzione della sua inerzia e capacità termica: i componenti dello scambio termico sono principalmente quello convettivo e radiativo istantaneo rilasciati nel corso del tempo in funzione dello sfasamento dell'onda termica.

Le funzioni di trasferimento impiegate per valutare la variazione della temperatura dell'aria del volume d'aria contenuto in ciascuna sala (basate su equazioni di estrazione di calore) sono state impiegate per analizzare gli effetti dello scambio termico tra massa delle pareti ed aria circostante attraverso le equazioni di scambio termico radiativi e convettivo, tenendo conto dei guadagni interni dovuti agli occupanti (calore sensibile e calore latente [8]) alle sorgenti termiche interne come l'attuale di illuminazione artificiale.

Da alcuni dati forniti dal settore di manutenzione del Museo sul numero di visitatori e sul tipo di affluenze, è stato stimato il numero medio dei visitatori per giorno considerando un giorno tipo (Tab.s 4,5) nonché il numero medio di visitatori per mese. I valori connessi della potenza termica sensibile, del CO₂ e dell'emissione di vapore rilasciato nell'ambiente dalle persone, mostrano la grande importanza della ventilazione degli ambienti per il comfort dei visitatori e la conservazione ottimale delle opere nonché per la qualità dell'aria interna.

A causa della elevata inerzia termica dell'edificio (il muro di pietra ha uno spessore medio di 0.6 m), la reale necessità per le sale del museo è il ricambio d'aria che potrebbe essere assolto da un impianto di ventilazione meccanica con particolare controllo sulla umidità relativa prevedendo eventualmente un sistema di umidificazione/deumidificazione.

Questo è particolarmente evidente ed importante per il periodo estivo. Il valore del carico di picco termico valutato per tutte le sale è 39 kW per l'inverno e 14 kW per l'estate. Nella figura 23 vengono mostrati i carichi di picco invernale ed estivo per ogni sala monitorata.

Il problema principale che si presenta sia sul lato invernale che soprattutto estivo è il controllo dell'umidità relativa in relazione alle variazioni di temperatura dell'aria.

D'altra parte le condizioni microclimatiche per la conservazione preventiva e la protezione della maggior parte delle opere d'arte, potrebbero essere più facilmente ottenute con vetrine a controllo microclimatico e dotate di una corretta illuminazione (sistemi a fibre ottiche).

La questione di provvedere ad una soluzione impiantistica, riguarda i cogenti problemi di bilancio del Comune, che dipendono dalla gestione del museo. La soluzione proposta, tenendo conto dei costi e della necessità di risparmio energetico, ma anche di minimo impatto, riguarda l'eliminazione delle unità di umidificazione e deumidificazione (del tipo Defensor PH14 PH26 con umidificatore e purificatore d'aria in un unico sistema) con inserimento di canalizzazioni dell'aria a soffitto in tessuto per la ventilazione degli ambienti combinati con l'attuale sistema di fan-coils prevedendo recuperi di calore ed inserimento di una piccola unità chiller per il condizionamento estivo.

Infatti a causa della struttura architettonica del museo e della mancanza dello spazio necessario per gli impianti, la soluzione proposta impiantistica deve essere basata sul minimo impatto e sulla facile sostituzione dei componenti, in altre parole sulla reversibilità del sistema.

La proposta progettuale dell'impianto si basa sul risparmio energetico e su bassi costi di gestione rispetto ai tradizionali sistemi impiantistici di riscaldamento, ventilazione e condizionamento peraltro molto invasivi. Il livello di umidità relativa da mantenere è del 50% e ciò è anche meno costoso da un punto di vista energetico, ma prevede un conseguente aumento significativo dei costi per cercare di mantenere stabili i livelli di umidità relativa media.

La soluzione impiantistica proposta consente un controllo generale e di base dei moti convettivi locali, ad eccezione delle zone sopra i ventilconvettori, dove si ha un trasporto supplementare di particelle e polveri lungo il gradiente di temperatura dalle pareti verso l'aria in ambiente, e consente di evitare pericolosi cicli di temperatura e di umidità relativa, in particolare quando sono previsti diverse e saltuarie utilizzazioni delle sale. Il sistema impiantistico dovrebbe essere mantenuto agli stessi livelli operativi (per l'estate e l'inverno, ma anche per le stagioni intermedie che a basse latitudini, come quella di Fucecchio, sono spesso climaticamente le peggiori) durante il giorno e notte per evitare cicli e fluttuazioni dannose di temperatura e di umidità. I risultati sperimentali mostrano che le variazioni delle condizioni microclimatiche interne, a causa del comportamento termofisico e delle prestazioni energetiche dell'edificio connesse alle variazioni spesso repentine del clima esterno e della presenza dei visitatori, sono causa di significativi rischi e danni per gli oggetti esposti, per i materiali e la stessa struttura dell'edificio.

Conclusioni

Spesso negli edifici storici destinati a musei la corretta progettazione e l'installazione degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva e di ventilazione, è piuttosto difficile, così come difficile e problematica risulta la possibilità di condurre campagne di monitoraggio e/o misure sperimentali su campo. Una campagna di monitoraggio è di solito effettuata impiegando un insieme di strumenti complessi, costosi e facilmente visibili che possono essere in conflitto con le esigenze espositive. I dati raccolti costituiscono tuttavia una fonte preziosa per programmare una successiva campagna di rilevazione sperimentale, sostenere e

pianificare la corretta gestione del museo in vista di un suo eventuale diverso utilizzo futuro e del processo decisionale per la scelta di strategie di controllo ambientale più idonee ed efficienti, così come per definire una programmazione di interventi e soluzioni che mirino a migliorare le prestazioni energetiche e le potenzialità economiche del museo.

La prima fase della campagna sperimentale, eseguita nel breve periodo, dal giugno 2009 al dicembre 2009, ha mostrato la variabilità dei parametri interni termo-igrometrici e quindi l'importanza del controllo del micro-clima, che in sinergia con altri fattori gioca un determinante ruolo nei processi di deterioramento.

Le variazioni cicliche di temperatura e di umidità relativa sono responsabili di variazioni dimensionali e tensioni interne soprattutto per i dipinti e gli oggetti di legno. Le condizioni termo-igrometriche interne dovrebbero essere mantenute il più possibile costanti e stabili nel tempo e le variazioni annue dovrebbero essere limitate il più possibile. Questo facilmente potrebbe essere realizzato con impianti di tipo HVAC, ma essi non sono di facile installazione perché gli edifici storici non offrono spazi adeguati per i diversi componenti e per i canali, così come solitamente sono vincolati e protetti dalle disposizioni delle soprintendenze.

I risultati della campagna di monitoraggio ci hanno permesso di formulare una soluzione per un impianto di climatizzazione compatibile con la disponibilità economica del Comune e Museo, con la struttura dell'edificio ed i suoi usi.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano tutto il personale del Museo di Fucecchio, per l'accesso consentito a tutte le Sale. Un particolare ringraziamento al Dott. Andrea Vanni Desideri, direttore del museo, per le informazioni fornite utili a questo studio.

Riferimenti

1. AVRAMI E., MASON R., DE LA TORRE M. (2001) *Values and Heritage Conservation*, Research Report, The Getty Conservation Institute, Los Angeles
2. CAMUFFO D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam
3. CAMUFFO D., PAGAN E., BERNARDI A., BECHERINI F. (2004) *The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: a case study*, Journal of Cultural Heritage 5, pp. 409-416
4. HARRISON R., *Manual of heritage management*, Butterworth-Heinemann, Oxford 1994
5. LA GENNUSA M., LASCARI G., RIZZO G., SCACCIANOCE G. (2008) *Conflicting needs of the thermal indoor environment of museums: in search of a practical compromise*, Journal of Cultural Heritage, vol. 9, (2), pp. 125-134
6. MICHALSKI S. (1996) *Quantified risk reduction in the humidity dilemma*, Journal of Preservation Technology, APT Bulletin, vol. 27 n.3, pp. 25-29
7. MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, *Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 - Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei*, G.U. 19/10/2001, n.244 suppl. ord. Serie Generale
8. PIZZETTI C. (1980) *Condizionamento dell'Aria e Refrigerazione. Teoria e calcolo degli impianti*, vol. 1 e 2, CEA Ed.
9. THOMSON G. (1994) *The museum environment*, II Ed., Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford
10. UNI 10829/1999, *Works of art of historical importance - Ambient conditions for the conservation - Measurement and analysis*
11. UNI 10969/2002, *Cultural heritage - General principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environments*
12. UNI 11120/2004, *Cultural heritage - Field measurement of the air temperature and the surface temperature of objects*
13. UNI 11131/2005, *Cultural heritage - Field measurement of the air humidity*

Displacement ventilation in the museum environment

A case study

Henk Schellen*, Edgar Neuhaus**, Cor Pernot***, Marcel van Aarle****

*PhD, associate professor, Eindhoven University of Technology, h.l.schellen@tue.nl

**MSc, consultant, Physitec, e.neuhaus@physitec.nl

***MSc, consultant, Cor Pernot Consulting, info@corpnot.nl

****BSc, engineer, Eindhoven University of Technology, m.a.p.v.aarle@tue.nl

Abstract

The indoor climate in a recently renovated Dutch museum* does not meet design criteria and specifications for preservation although an extensively climate system is installed. Furthermore indoor air quality is poor during high occupancy.

To investigate the situation Eindhoven University of Technology (TU/e) performed measurements regarding temperature and relative humidity (Rh) on 20 locations throughout the museum. Also computer modeling was used to research optimizations.

Results show that problems partly are caused by malfunctioning of the humidification system. Also the dehumidification system is too low in capacity. Comparing the results with the originally design parameters based on the strict former guidelines by the Netherlands Institute for Cultural Heritage, indoor climate is only for about 60% of time within the limits of the guidelines. These guidelines are comparable to ASHRAE A. Comparing the data with guidelines as given in ASHRAE B, which can be considered fair for such a building, more satisfactory results are found. In that case about 80% of time indoor climate conditions in the galleries are within limits.

Literature and measurements show that the used method of ventilating, Variable Air Volume (VAV) combined with displacement ventilation, is not capable to create and maintain stable and homogeneous indoor climate conditions and therefore is an incorrect design choice for a museum. From literature it is known that displacement ventilation causes hygrothermal stratification over the height of the room and therefore over large artifacts. Furthermore a VAV system is known for its poor humidity control and possible low air quality.

Given the fact that changing the system technically as well as financially is not an option, it is recommended to optimize the current system. Despite the incorrect design choice, reasonable acceptable climate conditions are achievable this way, without too large hygrothermal stratification.

*the museum is anonymized on request

Key-words

Displacement ventilation, Variable Air Volume, museum, indoor climate

1. Introduction

1.1 PROBLEM STATEMENT

For art conservation it is important to maintain more or less strictly indoor climate conditions in the museum environment [1, 2]. Measurements carried out by the Netherlands Institute for Cultural Heritage, however, showed this was not the case in the presented museum. During the winter of 2005 -2006 very low relative humidities (Rh) were measured in the galleries, as low as 20% Rh. Temperature and Rh also showed large hourly and diurnal fluctuations causing an even higher deterioration risk. Under such conditions it is not acceptable to expose valuable objects.

1.2 PURPOSE OF THE WORK

The research has a multipurpose goal. On one hand it is important to find out why specified indoor climate conditions are not met, although a complex climate system is installed. On the other hand there is doubt regarding the suitability of VAV combined with displacement ventilation in the museum environment.

1.3 METHOD

The research is divided into three parts:

- Literature study on 3 different subjects: optimal climate conditions in the museum environment, displacement ventilation and VAV systems
- Measuring annual indoor climate conditions (temperature and Rh)
- Simulation study on air flows in the gallery and control of the system

1.4 OUTLINE OF THIS ARTICLE

This article describes the results of the performed literature study and measurements. In a future article results of the simulation study will be described.

2. Case description

2.1 DESCRIPTION OF THE BUILDING

The museum is housed in a 17th century historic building that is protected by heritage legislation. In 2005 the museum building has been renovated. Purpose of the renovation was upgrad-



Fig. 1 - The air handling unit is placed on the roof

ing the building so that it fulfills building physically, technically and concerning presentation to a museum function. Besides an upgrade of the building interior, a climate system with air handling unit was installed.

The annual visitor number is around 35.000.

2.1.1 Orientation

The façade of the building is orientated west-southwest. On this side the main entrance of the museum is found and also a number of galleries.

2.1.2 Interior

The museum consists of 4 building layers, of which the first is partly below ground level. Compared to the main entrance the façade is symmetrically built. The footprint of the building is about 400 m² with a total floor area of 1.300 m². The volume of the museum is about 5.500 m³.

The first building layer, the basement, is accessible at the front side of the building and at the backside through the courtyard. The basement houses some office space, storage, toilets, a kitchen, a wardrobe and the museum café.

On the second building layer the main entrance to the museum is located. Visitors enter the museum by a revolving door. This level contains the entrance counter, 4 galleries and museum store.

The third building layer is accessible through the main staircase and an elevator. This level contains 4 galleries of which one is regularly used for activities like receptions or meetings.

The fourth layer or attic contains 2 galleries and the boiler room. The air handling unit is placed outside on the flat roof of the emergency staircase.

2.1.3 Construction

The bearing facades are constructed out of massive masonry of approx. 0.3 m thickness and during the last renovation they were insulated afterwards at the inside with extruded polystyrene (XPS) plating. At the inside of these walls multiplex front plating is placed creating an air cavity.

The floors consist of planking on wooden beams. The base of the pitched roof is in the attic. The roof is constructed of wooden trusses with an insulated wooden paneling with slate covering on the outside.

2.1.4 Interior

Interior walls are finished with stucco or a wooden front paneling. The paneling is finished with glass fiber wall covering. Against this paneling paintings are hung.

The windows have a wooden window frame. On the inside a second layer of protective glazing is placed. Between the outer and the inner glazing horizontal aluminum slats are used. Wooden shutters are used on the inside of the rooms on the second building level. These shutters are closed beyond opening hours. The glass surface covers about 30% of the facade.

Galleries and hall are separated by wooden doors with wired glass. The floors in the galleries on the second and third floor have wooden planking. In the basement, the hall and the second floor, the floors are covered with linoleum flooring or tiles.

2.2 DESCRIPTION OF THE COLLECTION

The mixed collection of the museum mainly consists of paintings and objects that tell the history of the city. At the time of investigation a large number of valuable art objects were on loan. Because of the importance and value of the collection a high quality, museum indoor climate is a must.

2.3 DESCRIPTION OF THE SYSTEM

The museum has an extensive air conditioning installation with humidification, dehumidification, heating, cooling and air filtering. Additionally to air supply from the air handling unit, the galleries use radiators for heating.

Heat is generated centrally with 2 parallel high efficiency boilers with a total rated power of 122 kW. With these boilers hot water is generated to heat the radiators in the building and the heating sections in the air handling unit.

To meet the specified climate conditions an air handling unit (AHU) is used. The specific flow rate of the air handling unit is about 5.800 m³/h. A schematic representation of the function of the AHU is shown in Figure 2. This is a screenshot from the building management system (BMS).

The chiller in the AHU works on the principle of direct cooling (DX). The air is directly cooled because the evaporator is placed in the supply air stream. The condenser of the chiller is placed in the return air stream.

The AHU is fitted with a steam humidifier. For that reason the unit is connected to a water supply.

The AHU contains a heat exchanger for heat recovery in winter and summer. It is a so-called regenerating heat recovery wheel with moisture regenerating properties provided by a desiccant coating. Over time the moisture regenerative capacity of the heat recovery wheel however declines.

2.3.1 Ventilation system

According to the specifications the system of air supply in the galleries must be based on displacement ventilation with a variable air volume system (VAV). Due to the lack of proper inlet grills the system is not working as such. For the VAV system a VAV box is mounted in the supply air duct per room.

2.4 CONTROL OF THE SYSTEM

The climate system is controlled by the BMS. In the BMS individual climate control components as boilers and AHU are linked together. The maintenance company can remotely log into the BMS and thus check the operation of the system and change control settings. The BMS also logs measured data such as temperature, relative humidity and control signals.

2.4.1 Supply water temperature

The supply temperature of the central heating system is based on outside temperature. Therefore an outside temperature sensor on the eastern façade is placed. The control is based on an adjustable heating curve. At a lower outdoor temperature a higher water temperature is created. Radiators are fitted with thermostatic valves.

2.4.2 Air handling unit

The supply air temperature of the AHU is governed by the heating and cooling coils. The desired supply air temperature depends on the measured outside temperature. At higher outside temperatures the supply air temperature will be lower.

The chiller is equipped with two compressors. The second compressor switches only at a higher cooling demand. The intake and exhaust fans in the AHU are regulated by pressure differential. The amount of supply air is per room controlled by a VAV box. The VAV box has a summer and a winter setting. The summer regime is active at an outside temperature of 14 °C or higher. The winter regime is active at outside temperatures below 14 °C. In the galleries temperature and Rh are measured. In summer the valve position of the VAV box is based on measured room temperature and desired air temperature in the gallery (20°C according to the specifications).

The specific humidity of the supply air is controlled by the steam humidifier and chiller in the AHU. The desired specific humidity of the supply air is determined by two criteria. The BMS calculates a dew point based on the outside air, according to a heating curve-type structure. Also the number of 100% opened VAV boxes is checked by the BMS. Based on the number of 100% opened VAV boxes a second dew point is calculated by a heating curve-type structure (see Figure 4).

For the highest of the two determined dew points the corresponding specific humidity is determined. During winter time the valve position of the VAV box is based on Rh control, dependent on the measured Rh in the gallery. If a Rh lower than the desired value is measured the VAV box will open its valve and supply more conditioned air to the gallery.

The AHU usually functions on 100% outdoor air. Only when the chiller is started air is partly recirculated.

2.4.3 Required indoor climate conditions

For the galleries the indoor climate is specified as follows:

- Minimum temperature in winter depends on building physical limits, setpoint 18°C
- Maximum temperature in summer 25°C, setpoint 22°C
- Allowable temperature fluctuations: 2K per hour and 3K per 24 hours
- Minimum Rh 45%, setpoint 50%, no under running (winter)
- Maximum Rh 55%, setpoint 50%, no excess (Summer)
- Allowable Rh fluctuation: 2% per hour and 3% per 24 hours

3. Literature study

3.1 GUIDELINES FOR INDOOR CLIMATE

In the Netherlands no standards are available that prescribe the requirements for the climate in historic buildings. The owner itself determines what guidelines are used but often lacks sufficient knowledge. Desired limits on temperature and Rh should be determined based of the sensitivity of the collection, building use and building materials.

Apart from climate conditions of the air surfaces conditions are important for preservation of building and interior. Also

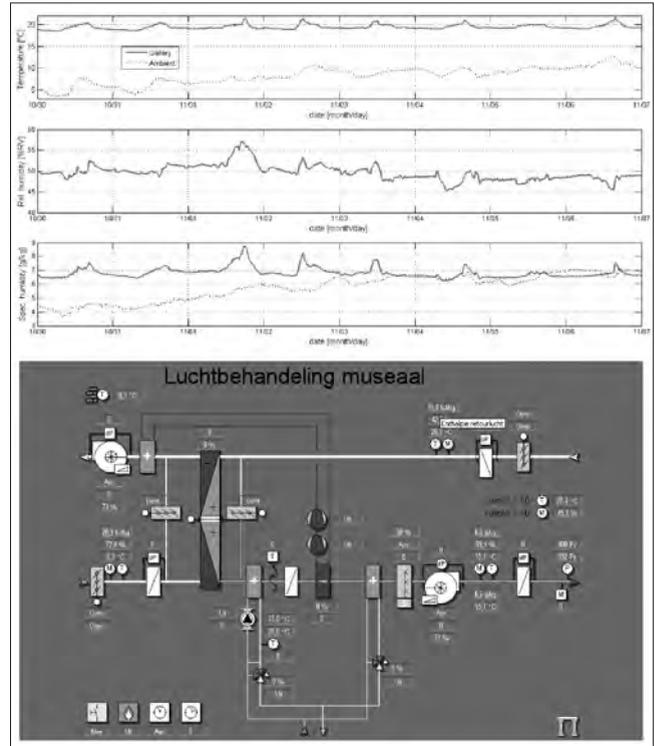


Fig. 2 - Screenshot from the BMS. A schematic representation of the main components and control of the AHU is shown

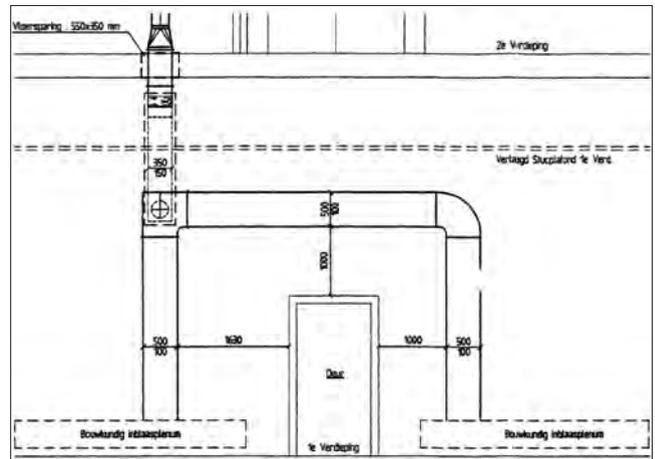


Fig. 3 - The supply air ducts in the galleries are connected to a wall inlet

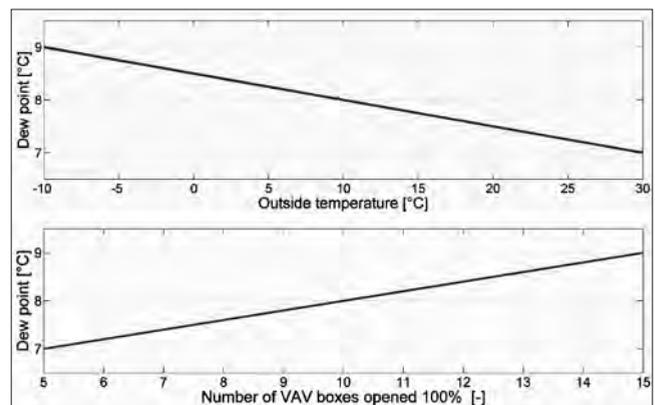


Fig. 4 - The specific humidity of the supply air is determined by these graphs

important is the fluctuation of these values per hour and per day. Based on research several agencies prepared guidelines that describe a relationship between temperature, Rh and collection risk. The main guidelines for the museum environment are prepared by the Dutch Climate Network [1] and ASHRAE [2].

3.2 DISPLACEMENT VENTILATION

Displacement ventilation is rarely used in Dutch museums. Near the floor, fresh cool air is supplied. Near heat sources the air warms up and rises. Near the ceiling the warmer and contaminated air is extracted. Known disadvantages of displacement ventilation are:

- vertical temperature gradients are created causing local differences in Rh;
- possible cold air flows near the floor;
- heating the room with supply air is not effective because hot air directly rises up and does not circulate.

The REHVA manual for displacement ventilation [2] shows whenever ventilation should be applied. This is illustrated in Figure 5. In this figure cooling capacity is plotted as a function of air flow, both per m² floor area.

According to the design specifications mechanical equipment of the museum was designed at an internal heat load of 9.8 W/m² and a solar gain factor 0.15. Design criteria specified a supply air flow to the galleries of approximately 8.75 m³/(h m²). There is only a relatively low air flow necessary because internal heat load caused by people and lighting in this specific museum is low. It follows that a low cooling capacity is expected. According to the graph shown in Figure 5, mixing ventilation is a good choice. With small internal heat loads and low flow rates the guideline shows that displacement ventilation is not a wise choice for the galleries.

In general it can be said that displacement ventilation is not recommended for exhibition spaces with valuable and sensitive art. In these spaces there often is limited heating of the air by lighting, equipment and individuals, as in this case. Guidelines for the indoor climate in museums [1, 2] describe homogeneous and stable air conditions are desired. Displacement ventilation systems are characterized by their thermal and thus hygric stratification. In addition, supply of air at floor level may cause an undesirable flow of dust.

For these reasons literature advises not to use displacement ventilation in exhibition spaces [2]. In museums mixing ventilation is recommended.

3.3 VARIABLE AIR VOLUME

Known disadvantages of a VAV system are:

- air is supplied with a variable flow;
- Rh control is poor;
- ventilation rate and thus air quality depends on temperature;
- re-heater or radiator heating is often necessary.

In the case that a room is at the desired temperature the supply valve is almost closed. Because of this the amount of ventilation is reduced, possible causing contaminant level to rise. If the supply air also is used to humidify or dehumidify the room, as is the case in the presented museum, no Rh control is possible at all. Characteristics of the VAV system are poor moisture control due to the occurrence of a variable supply flow and inflexibility to meet different climatic parameters. Main advantage of a VAV system is energy reduction.

In the museum environment an air condition of constant temperature and RH is desired. Based on these characteristics VAV systems are considered as inappropriate ventilation systems for

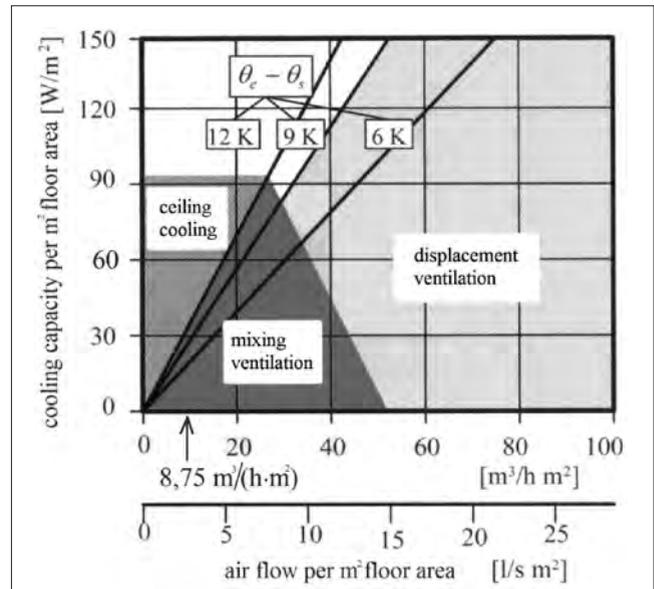


Fig. 5 - Cooling load as a function of air flow

exhibition spaces [2]. Using a constant volume system (CAV) is preferred in these situations.

3.4 DX COOLING

A well known disadvantage of DX cooling is the saw-tooth effect of the supply air temperature [3] caused by the on/off control of the compressors. When using indirect cooling, a more stable temperature and humidity control is possible. Indirect cooling is more expensive however.

4. Measurements

After analyzing the data, conclusions can be drawn regarding the interior climate, functionality of the system and hygrothermal performance of the building envelope. Data of the mechanical system and indoor climate were collected by the BMS and a temporarily installed telemetric monitor system. The BMS controls the climate system, but also stores data of various parameters. This includes supply and return air conditions, air conditions of the galleries and signals sent to the components of the climate system. Air temperature and relative humidity were measured separately by the BMS to assess the indoor climate and check the effect of a displacement ventilation system in the museum environment.

The telemetric measurement system consisted of wireless transmitters which measured temperature and Rh. The data measured by the sensors were sent to the centrally positioned data logger where the data was stored. The connection between data logger and laboratory of the TU/e was performed via cell phone, making it possible to remotely monitor measurements in real time. The temperature gradient was measured in one position in the museum. This measurement was performed using a tripod on which 8 temperature sensors were attached at different levels (see Figure 6).

4.1 INDOOR CLIMATE CONDITIONS

The data obtained by measurement in the galleries are analyzed from July 4th 2007 to November 1st 2008. For all rooms temperature and relative humidity show a day-night variation (see Figure 7). From 10 a.m. to 5 p.m. (opening hours) temperature rises about 2 to 3°C caused by visitors and lighting.



Fig. 6 - Test set up for measuring temperature and Rh stratification at room level

In Figure 8, climate conditions weekly measured in an exhibition hall are presented in the Climate Evaluation Chart [5]. For approximately 26% of the time Rh is in the halls below 45%. This is primarily the case during winter time and caused by the failure of the humidifier. Rh variations per 24 hours are very high: for all rooms for more than 90% of all measured data fluctuations are greater than 3% per 24 hours (Figure 9). In none of the galleries temperature exceedance is recorded for more than a few hours (>25°C).

4.2 STRATIFICATION

Figure 10 displays results of the stratification measurement on February 12th 2008. In this Chart air temperature at different heights is plotted as a function of time. It can be seen that at about 8 a.m. lights are turned on. Air temperature above 3 m increase slightly. Probably around 11 a.m. visitors enter the gallery. In the lower part of the room (a height up to 2 meters) the highest temperature peaks can be seen. Around 5 p.m. temperature increases significantly because people enter for a reading starting at 6 p.m.

In Figure 11 and Figure 12 temperature difference between different heights and close the floor ($h = 0.04$ m) is shown: there is a clear temperature gradient visible. Figure 11 shows the measured temperature difference at 6:00 a.m. at different heights and Figure 12 at 6:10 p.m. In these figures temperature difference at a certain height above the floor is indicated in blue. The calculated hourly temperature fluctuations at that time, fluctuations in time, are indicated in green. The black line shows the total temperature change. This is the sum of temperature differences over height and hourly temperature fluctuations. The red continuous line shows the criterion of the temperature change, in this case according to ASHRAE Class A: 4K.

Figure 11 (6:00 a.m.) shows that temperature change (black line) is almost entirely a result of the temperature gradient (blue line). The hourly temperature fluctuations (green line) are practically equal to zero. The total temperature change is equal to 2.3 K. In Figure 12 (6:10 p.m.) is shown that temperature change over the height (blue line) exceeds the criterion of 4K. A high visitor number at this time caused a temperature difference of more than 6K. In addition to this temperature fluctuations are highest (green line) in the lower part of the room (<2 m).

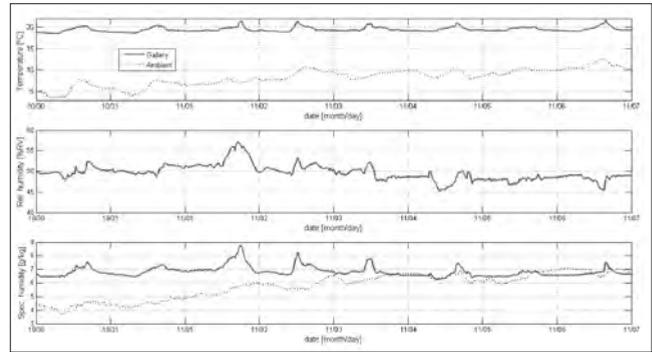


Fig. 7 - Measured air conditions in a representative gallery from October 30th to November 7th 2008

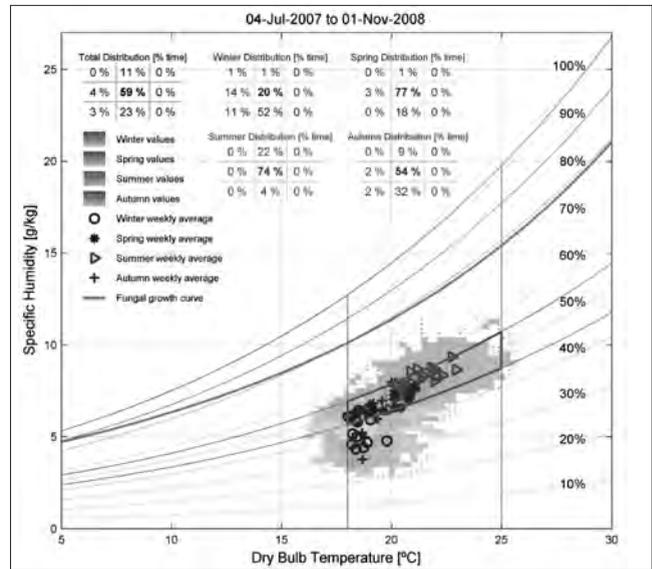


Fig. 8 - Measured air temperature and Rh in a representative gallery analyzed in the CEC

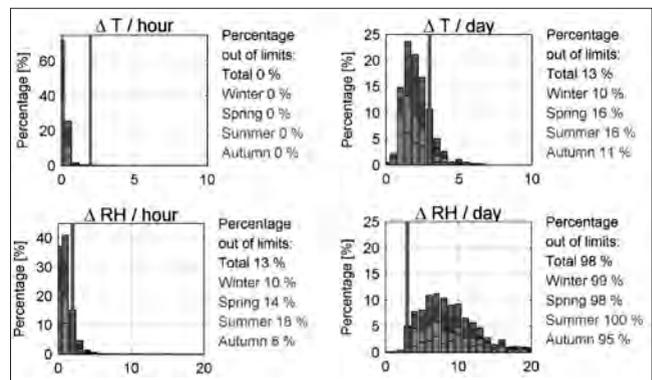


Fig. 9 - Analysis of indoor climate fluctuations from July 4th 2007 to November 1st 2008

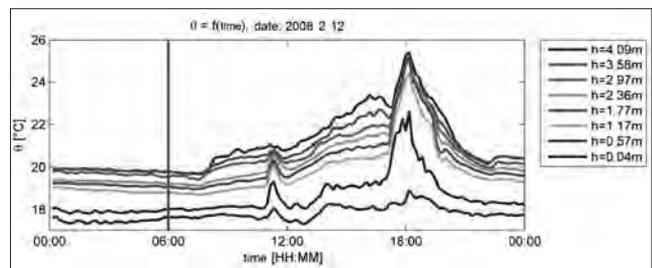


Fig. 10 - Data from February 12th 2008 showing measured temperature on different heights

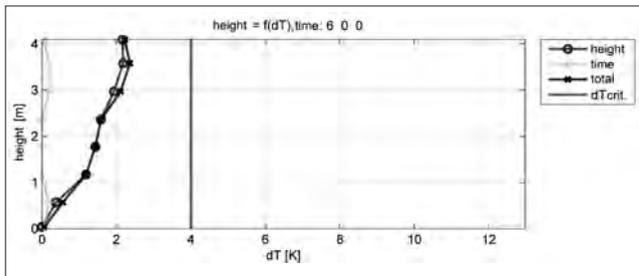


Fig. 11 - Temperature difference on different heights at 6:00 a.m.

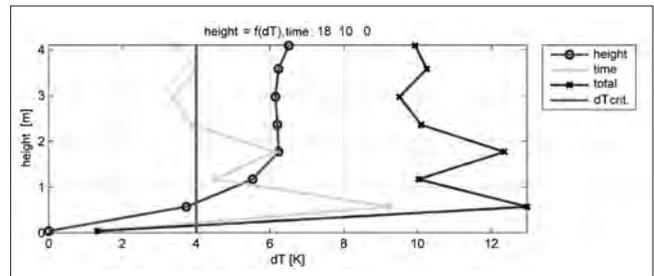


Fig. 12 - Temperature difference at different heights at 6:10 p.m.

5. In conclusion

The indoor climate problems in the examined museum are a combination of several factors. First of all the historical building is not suitable for creating a strict indoor climate. The building envelope is not air tight enough and in cold periods condensation or high humidities occur near cold surfaces. Secondly the chosen design is not suitable for maintaining stable and homogeneous museum conditions. Displacement ventilation provides significant hygrothermal stratification over the height of the galleries. Measurements show that displacement ventilation in the galleries leads to undesirable high thermal stratification and thus moisture gradients. Differences in temperature and relative humidity are greater than 4K and 10% Rh over the height of a gallery.

From literature is known that mixing ventilation is better suited for galleries, because temperature and Rh gradients will be smaller due to better mixing of the air volume.

Moisture control is not optimal when using a VAV system. The applied VAV system cannot provide the needed ventilation amount due to the control of it. For instance, if there are many people in a gallery for a reception, RH will increase without the system correcting. The current control will close the VAV boxes for this gallery in winter conditions because Rh is judged as sufficiently high.

In the air handling unit a DX cooler is used for cooling and dehumidification. Literature and measurements show that direct cooling leads to poor control of dehumidification and unstable conditions.

The third problem in this case is that, due to an incorrect monitoring system, failures were late detected. Failures of the steam humidifier stayed unnoticed during cold periods, resulting in very low Rh in the galleries for long periods.

Although damage directly related to a too large stratification was not found on artifacts, it is recommendable not to place large artifacts near or above air supply grills.

Acknowledgement

The authors are grateful to the staff of the museum as well to the client, which has made this research possible.

References

1. ANKERSMIT, B. et al. (2009) *Klimaatwerk; richtlijnen voor het museale binnenklimaat*, Netherlands Institute for Cultural Heritage, November 2009
2. ASHRAE (2007), *Museums, libraries and archives (Chapter 21)*, ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air conditioning applications, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, p.p. 21.1 21.23
3. SKISTAD, H., MUNDT, E., NIELSEN, P. VAN, HAGSTROM, K., RAILIO, J. (2002) *Displacement ventilation in non industrial premises*. Rehva Guidebook no. 1, Norway, Trondheim
4. KNOLL, W.H., WAGENAAR, E.J. (1994) *Handboek Installatietechniek*, ISSO, Rotterdam
5. MARTENS, M.H.J., SCHIJNDEL, A.W.M., SCHELLEN H.L. (2005) *Klimaat evaluatie kaart: een nieuwe manier voor weergave van het binnenklimaat*, Bouwfysica vol. 18 3, p. 34 38

La ventilazione a dislocamento in ambiente museale Un caso studio

Abstract

Il clima interno di un museo Olandese recentemente ristrutturato non soddisfa i criteri di progetto e le indicazioni per la conservazione, sebbene sia stato installato un sistema di climatizzazione in modo estensivo. Inoltre la qualità dell'aria interna risulta inappropriata nei momenti di occupazione intensa.*

Per analizzare la situazione la Eindhoven University of Technology (TU/e) ha misurato la temperatura e l'umidità relativa (RH) in 20 ambienti del museo. È stata usata anche la modellazione informatica per ottimizzare (i risultati del) la ricerca.

I risultati dimostrano che i problemi sono in parte causati dal malfunzionamento del sistema di umidificazione. Anche il sistema di deumidificazione ha una capacità sottodimensionata. Dal confronto dei risultati emersi con i parametri originali di progetto basati sulle rigide linee guida del Netherlands Institute for Cultural Heritage ora scadute, emerge come il clima interno rispetti tali indicazioni solo per il 60% del tempo. Queste linee guida sono assimilabili alla classe A delle norme ASHRAE. Confrontando i dati con le linee guida indicate per la classe B ASHRAE, che possono essere considerate adatte a questo edificio, si ottengono risultati più soddisfacenti.

ti. In questo caso infatti le condizioni ambientali delle gallerie rispettano limiti per l'80% del tempo.

La letteratura e le misure mostrano come il metodo utilizzato per ventilare, a portata variabile (VAV) combinato con la ventilazione a dislocamento, non riesca a creare e mantenere condizioni stabili e omogenee di climatizzazione interna e che pertanto e che non sia pertanto da considerare una scelta corretta per un museo. Dalla letteratura è risaputo che la ventilazione a dislocamento causa una stratificazione igrotermica lungo tutta l'altezza della stanza, andando quindi ad interessare le opere di maggiore dimensione. Il sistema a portata variabile è inoltre conosciuto per lo scarso controllo dell'umidità ed il rischio di bassa qualità dell'aria.

Dato per assunto che cambiare il sistema è tecnicamente ed economicamente impossibile, è raccomandabile l'ottimizzazione del sistema esistente. In questo modo, nonostante la scelta progettuale sbagliata, si possono tuttavia ottenere condizioni climatiche ragionevolmente accettabili senza un'eccessiva stratificazione igrotermica.

* Il museo ha chiesto di rimanere anonimo

Key-words

Ventilazione a dislocamento, ventilazione a portata variabile, museo, clima interno

1. Introduzione

1.1 ESPOSIZIONE (FORMULAZIONE) DEL PROBLEMA

Per la conservazione delle opere d'arte è importante mantenere più o meno rigidamente le condizioni climatiche entro parametri museali [1,2]. Le misure effettuate dal Netherlands Institute for Cultural Heritage hanno tuttavia mostrato che questo non era il caso del museo in analisi. Durante l'inverno del 2005-2006 si sono registrati nelle gallerie valori molto bassi di umidità relativa, fino al 20%. Temperatura e RH hanno inoltre mostrato ampie fluttuazioni orarie e giornaliere, causa di un rischio di degrado ancora più elevato. In tali condizioni non è pertanto accettabile esporre oggetti di valore.

1.2 OBIETTIVI DEL LAVORO

La ricerca ha un obiettivo multiplo. Da un lato è importante capire perché le condizioni climatiche indicate dal progetto non vengano raggiunte, nonostante sia stato installato un sistema sofisticato e complesso. Dall'altro vi è il dubbio riguardo l'opportunità di un sistema a portata variabile (VAV) combinato con la ventilazione a dislocamento all'interno di un museo.

1.3 METODO

La ricerca è divisa in tre parti:

- Studio sulla letteratura su 3 diversi argomenti: condizioni climatiche ottimali per l'ambiente museale, ventilazione a dislocamento e sistemi a portata variabile (VAV).
- Misura annuale delle condizioni climatiche (temperatura ed umidità relativa)
- Studio mediante simulazione dei flussi d'aria nella galleria per il controllo del sistema

1.4 OUTLINE DELL'ARTICOLO

Questo articolo illustra i risultati dello studio eseguito sulla letteratura e delle misure. In futuro saranno descritti anche i risultati delle simulazioni.

2. Illustrazione del caso

2.1 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Il museo è ospitato in un edificio storico del 17esimo secolo protetto dalla legge di tutela. Nel 2005 il museo è stato ristrutturato. Scopo della ristrutturazione era riqualificare l'edificio in modo da soddisfare i requisiti di una funzione museale dal punto di vista fisico, tecnico e museologico.

Accanto ad un nuovo allestimento interno è stato installato un sistema di climatizzazione con unità di trattamento aria.

Il numero annuale di visitatori è circa 35.000.

2.1.1 Orientamento

La facciata dell'edificio è orientata a ovest-sudovest. Su questo lato si trova l'entrata principale del museo e anche un certo numero di locali di esposizione.

2.1.2 Interno

Il museo ha 4 livelli, di cui il primo è parzialmente sottoterra. La facciata è costruita simmetricamente rispetto all'entrata principale. L'estensione dell'edificio è di circa 400 m² per un totale di 1300 m² di superficie pavimento. Il volume del museo è di circa 5500 m³.

Il primo livello del museo, il seminterrato, è accessibile dalla facciata dell'edificio e, sul retro, attraverso la corte. Il seminterrato ospita alcuni uffici, il deposito, i bagni, una cucina, un guardaroba e il bar del museo.

L'entrata principale del museo si trova al secondo livello. I visitatori entrano passando da una porta girevole. Questo livello ospita la biglietteria, 4 sale espositive e il negozio del museo.

Il terzo livello è accessibile tramite la scala principale ed un ascensore. Contiene 4 gallerie delle quali una è usata regolarmente per attività come ricevimenti e riunioni.

Il quarto livello, l'attico, contiene 2 gallerie ed il locale caldaie. L'unità di trattamento aria si trova all'esterno, sulla copertura piana delle scale di emergenza.

2.1.3 Struttura

Le facciate sono costruite in muratura piena portante di circa 0.3 m di spessore e durante l'ultima ristrutturazione sono state isolate sul lato interno con un rivestimento in polistirene estruso (XPS). Sulla superficie interna delle pareti è posato un rivestimento multistrato che crea un intercapedine d'aria. I solai sono costituiti da tavolati su travi lignee. La base del tetto spiovente è nell'attico. Il tetto è costruito su capriate lignee con una pannellatura in legno isolata con copertura in ardesia all'esterno.

2.1.4 Interno

I muri interni sono finiti a stucco o con pannellature frontali in legno. La pannellatura è finita con un rivestimento in fibra di vetro. I quadri sono appesi a questa pannellatura.

Le finestre hanno il telaio in legno. Verso l'interno, è presente una seconda lastra di vetro protettivo. Fra il vetro esterno e quello interno sono utilizzate stecche in alluminio. Scuri di legno sono utilizzati all'interno delle stanze del secondo livello. Questi scuri vengono chiusi fuori dagli orari di apertura al pubblico. La superficie vetrata copre circa il 30% della facciata.

Le gallerie e la hall sono separate da porte in legno con vetro rinforzato. I pavimenti delle gallerie del secondo e terzo piano sono in tavolati di legno. Nel seminterrato, nella hall e al secondo livello, i pavimenti sono coperti con rivestimenti in linoleum o piastrelle.

2.2 DESCRIZIONE DELLA COLLEZIONE

La collezione mista del museo è composta principalmente da dipinti e oggetti che raccontano la storia della città. Al momento dell'indagine un gran numero di opere d'arte di valore erano in prestito. Dati l'importanza e il valore della collezione una clima interno di alta qualità museale è indispensabile.

2.3 DESCRIZIONE DEL SISTEMA

Il museo ha un impianto diffuso di aria condizionata con umidificazione, deumidificazione, riscaldamento, raffrescamento e filtraggio dell'aria. In aggiunta all'aria fornita dall'unità di condizionamento, le gallerie utilizzano radiatori per il riscaldamento.

Il calore è generato centralmente da due caldaie ad alta efficienza in parallelo per una potenza nominale totale di 122 kW. Con questi boiler viene generata l'acqua calda per scaldare sia i radiatori nell'edificio che gli scambiatori per il riscaldamento dell'unità trattamento aria.

Per raggiungere le condizioni climatiche indicate viene utilizzata una unità trattamento aria (UTA). La portata dell'unità trattamento aria è di circa 5800m³/h. Uno schema rappresentante il funzionamento dell'UTA è mostrato nella Figura 2. Si tratta di uno screenshot tratto dal sistema di gestione dell'edificio (Building Management System - BMS)

Il refrigeratore nella UTA è basato sul principio del raffreddamento diretto (DX). L'aria è raffreddata direttamente perché l'evaporatore è posto nel condotto di mandata. Il condensatore del refrigeratore è posto nel condotto di ritorno.

La UTA è equipaggiata con un umidificatore a vapore. Per questo motivo l'unità è collegata ad una fornitura d'acqua.

L'UTA contiene uno scambiatore termico per il recupero del calore in inverno ed estate. Si tratta di un cosiddetto recuperatore di calore rigenerativo rotante con proprietà di rigenerazione dell'umidità mediante un rivestimento essiccante. Tuttavia la capacità del recuperatore di calore rotante di rigenerare l'umidità diminuisce nel tempo.

2.3.1 Sistema di ventilazione

Secondo le indicazioni il sistema di fornitura d'aria nelle gallerie è basato sulla ventilazione a dislocamento con un sistema a portata d'aria variabile (VAV). A causa della mancanza di adeguate griglie di immissione, il sistema non lavora come dovrebbe. Per il sistema a portata variabile una VAV box è montata nel condotto di immissione d'aria di ogni stanza.

2.4 CONTROLLO DEL SISTEMA

Il sistema di climatizzazione è controllato dal BMS. Nel BMS i singoli componenti di controllo del clima come le caldaie e l'UTA sono collegate insieme. La compagnia che si occupa della manutenzione può entrare nel BMS in remoto e così controllare l'operatività del sistema e regolare le impostazioni di controllo. Il BMS registra anche i dati rilevati come temperatura, umidità relativa e segnali di controllo.

2.4.1 Temperatura d'immissione dell'acqua

La temperatura di immissione del sistema di riscaldamento centrale è regolata in base alla temperatura esterna. Per questo motivo un sensore di temperatura esterno è collocato sulla facciata est. Il controllo è basato su una curva di riscaldamento regolabile. Ad una temperatura esterna più bassa viene generata acqua q più alta temperatura. I radiatori sono dotati di valvole termostatiche.

2.4.2 Unità di trattamento aria

La temperatura di immissione dell'aria della UTA è comandata da serpentine scaldanti e refrigeranti. La temperatura d'immissione dell'aria dipende dalla temperatura esterna misurata. Ad una temperatura esterna più alta la temperatura di immissione sarà più bassa.

Il refrigeratore è equipaggiato con due compressori. Il secondo compressore si attiva solo ad una richiesta più alta di refrigerazione. Le ventole di immissione e aspirazione nella UTA sono regolate dalla differenza di pressione. Il totale dell'aria immessa è controllata in ogni stanza dalla VAV box. La VAV box prevede delle regolazioni per l'estate e per l'inverno. Il regime estivo è attivo ad una temperatura di 14°C o superiore. Il regime invernale è attivo ad una temperatura esterna sotto i 14°C. Nelle gallerie temperatura e RH vengono misurate. In estate la regolazione della valvola della VAV box è basata sulla temperatura rilevata nella stanza e la temperatura richiesta per la galleria (20°C secondo le indicazioni).

L'umidità specifica dell'aria di immissione è controllata da un umidificatore a vapore e un refrigeratore nella UTA. L'umidità specifica richiesta dell'aria di immissione è determinata seguendo due criteri. Il BMS calcola un punto di rugiada basato sull'aria esterna, secondo una struttura di riscaldamento di tipo curvo. Anche il valore corrispondente alle VAV box aperte al 100% è controllato dal BMS. Basandosi su questo valore un secondo punto di rugiada è calcolato secondo una struttura di riscaldamento di tipo curvo (vedi Figura 4).

Per il più alto dei due punti di rugiada determinati viene calcolata la corrispondente umidità specifica.

Durante l'inverno la regolazione della valvola del VAV box è basata sul controllo dell'umidità relativa, dipendente dall'umidità relativa misurata nella galleria. Se viene rilevato un livello di umidità relativa inferiore al valore desiderato, la VAV box apre la sua valvola immettendo più aria condizionata nella galleria.

La UTA funziona solitamente con il 100% di aria esterna. Solo quando il refrigeratore è partito l'aria viene fatta parzialmente ricircolare.

2.4.3 Condizioni climatiche interne richieste

Per le gallerie il microclima interno è specificato come segue:

- La temperatura minima invernale dipende dai limiti fisici dell'edificio, setpoint 18°C
- Massima temperatura estiva 25°C, setpoint 22°C
- Variazioni di temperatura consentite: 2K in 1 ora e 3K nelle 24 ore
- Rh Minima 45%, setpoint 50%, nessun valore inferiore consentito (inverno)
- Rh Massima 55%, setpoint 50%, nessun valore superiore consentito (estate)
- Variazioni di Rh consentite: 2% in 1 ora e 3% nelle 24 ore

3. Studio sulla letteratura

3.1 LINEE GUIDA PER IL CLIMA INTERNO

In Olanda non è disponibile alcuno standard che prescriva i requisiti climatici in un edificio storico. E' il proprietario stesso che determina quali linee guida usare ma spesso manca di conoscenze appropriate.

I limiti desiderati per temperatura e umidità relativa dovrebbero essere determinati in base alla vulnerabilità delle collezioni, all'uso dell'edificio e ai materiali di cui esso è costituito.

Oltre alle condizioni climatiche dell'aria, per la conservazione dell'edificio e degli interni sono importanti le condizioni delle superfici. Importante è anche la variazione oraria e giornaliera di questi valori. Basandosi sulla ricerca, diversi enti hanno elaborato linee guida che individuano un rapporto tra temperatura, umidità relativa e rischio per le collezioni. Le principali linee guida per l'ambiente museale sono quelle elaborate dal Dutch Climate Network [1] e dalla ASHRAE [2].

3.2 VENTILAZIONE A DISLOCAZIONE

La ventilazione a dislocazione viene raramente usata nei musei olandesi. Nei pressi del pavimento viene immessa aria pulita e fresca. Vicino alle sorgenti di calore l'aria si scalda e sale. A soffitto l'aria più calda e contaminata viene estratta.

Gli svantaggi conosciuti della ventilazione a dislocazione sono:

- vengono a crearsi gradienti verticali di temperatura causando differenze locali di umidità relativa
- possibile formazione di flussi di aria fredda in prossimità del pavimento
- riscaldare un ambiente tramite l'immissione di aria non è efficace perché l'aria calda sale direttamente e non circola

Il manuale edito dalla REHVA sulla ventilazione a dislocazione [3] spiega quando debba essere applicata la ventilazione, come illustrato nella Figura 5. In questa immagine la capacità di raffreddamento viene rappresentata come funzione del flusso d'aria, entrambi per m² di superficie pavimento.

Secondo le indicazioni di progetto l'impianto meccanico del museo è stato progettato per un carico interno di calore di 9.8W/m² ed un fattore di apporto solare di 0.15. I criteri di progettazione prevedevano un flusso d'aria immessa nelle gallerie di circa 8.75m³/(h m²). È necessario solamente un flusso d'aria relativamente basso perché i carichi interni di calore causati dalle persone e dall'illuminazione in questo specifico museo sono bassi. Di conseguenza si prevede una bassa capacità di raffreddamento. Secondo il grafico mostrato nella Figura 5, la ventilazione mista è una buona scelta. Con bassi carichi interni di calore e bassi valori di flusso le linee guida mostrano come la ventilazione a dislocazione non sia una scelta saggia per le gallerie.

In generale si può affermare che la ventilazione a dislocazione non è raccomandata per gli spazi espositivi con opere d'arte di valore e vulnerabili. In questi spazi si trova spesso un limitato riscaldamento dell'aria dovuto a illuminazione, impiantistica e persone, come in questo caso. Le linee guida per il clima interno nei musei [1,2] indicano come siano desiderabili condizioni stabili e omogenee dell'aria. I sistemi di ventilazione a dislocazione sono caratterizzati da una stratificazione termica e pertanto igrica. In più, l'immissione di aria a livello del pavimento può essere causa di indesiderabili movimenti di polvere.

Per queste ragioni la letteratura sconsiglia l'uso della ventilazione a dislocazione negli spazi espositivi [2]. Nei musei è infatti raccomandata la ventilazione mista.

3.3 PORTATA VARIABILE

Gli svantaggi conosciuti dei sistemi a portata variabile sono:

- l'aria viene immessa con un flusso variabile
- il controllo dell'umidità relativa è insufficiente
- il coefficiente di ventilazione e quindi la qualità dell'aria dipendono dalla temperatura
- il ri-riscaldamento o il riscaldamento con radiatori è spesso necessario

Nel caso in cui una stanza sia alla temperatura desiderata la valvola di immissione è quasi chiusa. Per questo motivo l'apporto totale d'aria è ridotto, causando un possibile innalzamento del livello di contaminanti. Se l'aria di immissione è usata anche per umidificare o deumidificare la stanza, come nel caso di questo museo, non è possibile alcun controllo dell'umidità relativa. Caratteristiche dei sistemi a portata variabile (VAV) sono lo scarso controllo dell'umidità a causa della variabilità del flusso di immissione e la scarsa adattabilità del sistema a parametri climatici diversificati. Il principale vantaggio di un sistema a portata variabile è il risparmio energetico.

In ambiente museale si richiede un condizionamento dell'aria a temperatura e umidità relativa costanti. In base a queste caratteristiche i sistemi a portata variabile sono considerati sistemi di ventilazione inappropriati per gli spazi espositivi [2]. In questi casi è pertanto preferibile usare un sistema a portata costante (CAV).

3.4 RAFFREDDAMENTO DIRETTO

Un ben noto svantaggio del raffreddamento diretto è l'effetto a dente di sega sulla temperatura dell'aria immessa causata dal controllo on/off dei compressori. Usando il raffreddamento indiretto è possibile ottenere un controllo più stabile della temperatura e dell'umidità. Tuttavia il raffreddamento indiretto è più costoso.

4. Misure

Dopo aver analizzato i dati è possibile trarre alcune conclusioni riguardo al clima interno, alla funzionalità del sistema e alle prestazioni igrotermiche dell'involucro edilizio. I dati del sistema meccanico e del clima interno sono stati raccolti dal BMS e da un sistema di monitoraggio telemetrico installato temporaneamente. Il BMS controlla il sistema di climatizzazione, ma registra anche i dati di diversi parametri. Questi includono le condizioni dell'aria di immissione di ritorno, le condizioni dell'aria delle gallerie e i segnali inviati ai componenti del sistema di climatizzazione. La temperatura dell'aria e l'umidità relativa sono state misurate separatamente dal BMS, in modo da poter valutare il microclima interno e verificare gli effetti di un sistema di ventilazione a dislocamento in ambiente museale.

Il sistema di misurazione telemetrico consisteva in trasmettitori wireless che misuravano temperatura e umidità relativa. I dati misurati dai sensori venivano inviati ad un data logger posizionato centralmente dove i dati venivano immagazzinati. La connessione tra il data logger e il laboratorio della TU/e è stato eseguito tramite telefono cellulare, rendendo possibile il monitoraggio remoto in tempo reale delle misurazioni. Il gradiente di temperatura è stato misurato in un unico punto del museo. Questa misura è stata eseguita usando un cavalletto su cui sono stati montati a diversi livelli 8 sensori di temperatura (vedi Figura 6).

4.1 CONDIZIONI CLIMATICHE INTERNE

I dati ottenuti dalle misurazioni nelle gallerie sono stati analizzati dal 4 luglio 2007 al 1 Novembre 2008. In tutte le stanze temperatura e umidità relativa mostrano una variazione giorno-notte (vedi Figura 7). Dalle 10 di mattina alle 5 di sera (orario di apertura) la temperatura sale approssimativamente dai 2 ai 3°C a causa dei visitatori e dell'illuminazione.

Nella figura 8 le condizioni climatiche misurate in un ambiente espositivo sono presentate entro la Carta di Valuta-

zione del Clima (Climate Evaluation Cart) [5]. Per circa il 26% del tempo l'umidità relativa nelle sale è sotto il 45%. Questo si verifica soprattutto in inverno a causa del malfunzionamento dell'umidificatore. Le variazioni di umidità relativa nelle 24 ore sono ampie: in tutte le stanze per oltre il 90% di tutti i dati misurati le fluttuazioni sono più grandi del 3% nelle 24 ore (Figura 9). In nessuna delle gallerie i valori di temperatura oltrepassano i limiti per più di qualche ora ($>25^{\circ}\text{C}$).

4.2 STRATIFICAZIONE

La Figura 10 mostra i risultati della misurazione della stratificazione del 12 Febbraio 2008. In questo grafico la temperatura dell'aria a diverse altezze è rappresentata in funzione del tempo. Si può vedere come le luci vengano accese alle 8 di mattina circa: la temperatura dell'aria intorno ai 3 m cresce leggermente. Probabilmente intorno alle 11 di mattina i visitatori entrano nella galleria. Nella parte inferiore della stanza (ad altezza fino ai 2 metri) si possono notare i maggiori picchi di temperatura. Alle 5 di pomeriggio circa la temperatura cresce significativamente poiché entrano delle persone per una lezione che inizia alle 6 di pomeriggio.

Nelle figure 11 e 12 viene mostrata la differenza di temperatura tra le diverse altezze ed in prossimità del pavimento ($h = 0.04\text{ m}$): è chiaramente visibile un gradiente di temperatura. La Figura 11 mostra la differenza di temperatura misurata alle 6 di mattina alle diverse altezze mentre la Figura 12 alle 6:10 della sera. In queste immagini la differenza di temperatura ad una certa altezza dal pavimento è indicata in blu. Le fluttuazioni orarie di temperatura calcolate in quel momento, fluttuazioni nel tempo, sono indicate in verde. La linea nera mostra il cambiamento totale di temperatura. Questa è la somma delle differenze di temperatura in altezza e delle fluttuazioni orarie della temperatura. La linea rossa continua mostra il limite della variazione di temperatura, in questo caso secondo la Classe A ASHRAE: 4K.

La Figura 11 (6:00 AM) mostra come la variazione di temperatura (linea nera) sia quasi interamente una conseguenza del gradiente di temperatura (linea blu). Le fluttuazioni orarie di temperatura (linea verde) sono praticamente uguali a zero. La variazione totale di temperatura è pari a 2.3 K. Nella Figura 12 (6:10 PM) si vede come la variazione di temperatura lungo l'altezza (linea blu) oltrepassi il limite di 4K. Un alto numero di visitatori in questo orario ha causato una variazione di temperatura di più di 6K. In aggiunta le fluttuazioni di temperatura sono più alte (linea verde) nella parte inferiore della stanza ($<2\text{ m}$).

5. In conclusione

I problemi del clima interno nel museo esaminato sono una combinazione di diversi fattori. Prima di tutto l'edificio storico non è adatto per la creazione di un clima interno severamente controllato. L'involucro edilizio non è abbastanza a tenuta e nei periodi freddi si verificano fenomeni di condensa o alti valori di umidità in prossimità delle superfici fredde. In secondo luogo le scelte progettuali non sono adatte per mantenere condizioni museali stabili e omogenee. La ventilazione a dislo-

camento comporta una significativa stratificazione igrotermica lungo l'altezza delle gallerie: le misurazioni dimostrano che la ventilazione a dislocamento nelle gallerie porta ad una stratificazione termica eccessiva ed indesiderabile e di conseguenza a gradienti di umidità. Le differenze lungo l'altezza di una galleria sono superiori ai 4K di temperatura e al 10% di umidità relativa.

Dalla letteratura è noto che la ventilazione mista è più adatta alle gallerie perché i gradienti di temperatura e umidità relativa saranno più contenuti per il miglior mescolamento del volume d'aria.

Con un sistema a portata variabile non si ottiene un controllo ottimale dell'umidità. Il sistema applicato non può infatti provvedere alla quantità di ventilazione necessaria a causa del suo sistema di controllo. Ad esempio, se ci sono molte persone in una galleria per un ricevimento, l'umidità relativa crescerà senza correzione da parte del sistema. L'attuale sistema di controllo chiuderà le VAV boxes per questa galleria perché in condizioni invernali il livello di umidità relativa verrà giudicato sufficientemente alto.

Nella unità di trattamento aria è usato un sistema di raffreddamento diretto per il raffrescamento e la deumidificazione. Sia la letteratura che le misurazioni mostrano come il raffreddamento diretto porti ad uno scarso controllo della deumidificazione ed a condizioni instabili.

Il terzo problema in questo caso è che a causa di un sistema di monitoraggio sbagliato, i malfunzionamenti vengono rilevati in ritardo. I malfunzionamenti dell'umidificatore a vapore rimangono inosservati nei periodi freddi, portando a valori di umidità relativa molto bassi nelle gallerie per lunghi periodi.

Sebbene sulle opere non siano stati rilevati danni direttamente collegabili ad una eccessiva stratificazione, è raccomandabile evitare di collocare le opere più grandi in prossimità delle griglie di immissione dell'aria.

Ringraziamenti

Gli autori sono grati allo staff del museo così come al committente, che hanno reso possibile questa ricerca.

Riferimenti

1. ANKERSMIT, B. et al. (2009) *Klimaatwerk; richtlijnen voor het museale binnenklimaat*, Netherlands Institute for Cultural Heritage, November 2009
2. ASHRAE (2007), *Museums, libraries and archives (Chapter 21)*, ASHRAE handbook: Heating, ventilating, and air conditioning applications, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, p.p. 21.1 21.23
3. SKISTAD, H., MUNDT, E., NIELSEN, P.VAN, HAGSTROM, K., RAILIO, J. (2002) *Displacement ventilation in non industrial premises*. Rehva Guidebook no. 1, Norway, Trondheim
4. KNOLL, W.H., WAGENAAR, E.J. (1994) *Handboek Installatietechniek*, ISSO, Rotterdam
5. MARTENS, M.H.J., SCHIJNDEL, A.W.M., SCHELLEN H.L. (2005) *Klimaat evaluatie kaart: een nieuwe manier voor weergave van het binnenklimaat*, Bouwfysica vol. 18 3, p. 34 38

The indoor climate in Skokloster castle

Tor Broström*, Gustaf Leijonhufvud**

* Assistant Professor, Gotland University, tor.brostrom@hgo.se

** PhD Student, Gotland University and University of Gothenburg

Abstract

Skokloster castle is a heavy stone and brick building without any active climatization. It houses a large collection of artefacts shown in their historic environment without any showcases. The objective of this study is to analyse the indoor climate, make a risk assessment and to propose interventions to improve the indoor climate with respect to the long term preservation of the collection. Relative humidity and temperature have been monitored within the castle for more than one year. Air exchange in selected rooms has been measured quarterly using diffusive sampling. The indoor climate is characterized by extremely low temperatures and high relative humidity in the winter. Even though the building does reduce the effect of outdoor variations, the variations in the indoor climate are larger than one would prefer in a museum. The primary risks associated with the indoor climate are mould growth, mechanical damages and chemical degradation. The variations in RH can be reduced by enhancing the effective hygrothermal inertia of the building through a reduction of the air exchange. In order to substantially reduce the mould risk, conservation heating and/or dehumidification would be needed.

Key-words

Indoor climate, risk assessment, historic buildings, museums

Introduction

Skokloster castle, located on a peninsula in Lake Mälaren north of Stockholm is a heavy stone and brick building, completed in 1767 (see fig. 1). The impressive four-storey building forms a quadrangle around a central courtyard with octagonal towers in each corner. An inner corridor, which is in direct connection with outdoor air through the staircases, connects the rooms. The castle is built with brick walls on a granite foundation. The façade is rendered and has lead-glass windows with limited air tightness.

The castle is open for visitors mainly during the summer.

The castle contains about 50000 objects, mainly from the 17th century. Of these are about 20000 in the library on the fourth floor. "Wrangel's Armoury", also on the fourth floor, contains about 2000 objects, mostly weapons, but also ethnograph-

ic and natural history artefacts. In addition to these collections, the castle is extravagantly furnished with stucco ceilings, woven tapestries, furniture and works of art. Since 1716 a detailed catalogue of the artefacts room by room has been kept, including comments on the condition of the artefacts. The artefacts are shown in their historic environment without any showcases.

The indoor climate and the collection at Skokloster castle have been under observation for centuries. It is widely known

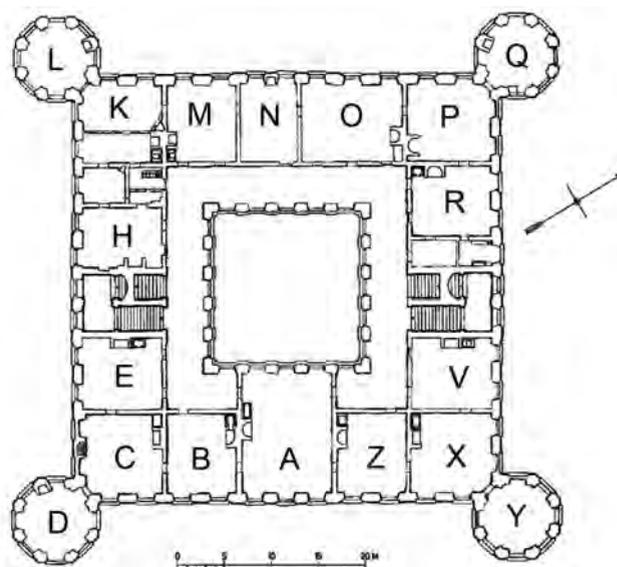


Fig. 1 - Skokloster castle. The rooms are numbered in the same way on all floors, e.g. room 2A is situated under room 3A

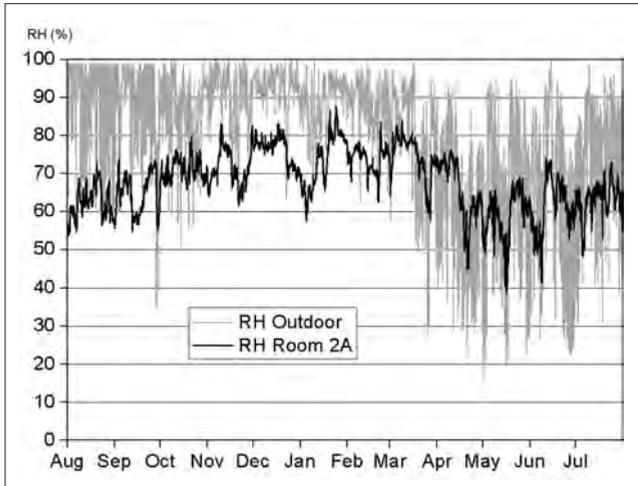


Fig. 2 - RH in room 2A compared to outdoors

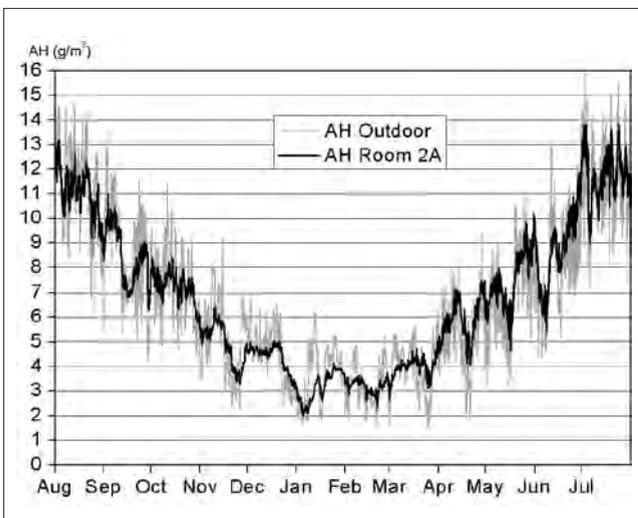


Fig. 3 - AH in room 2A compared to outdoors

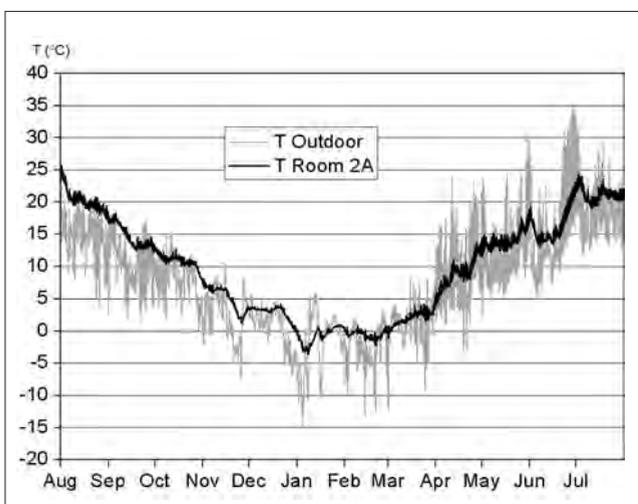


Fig. 4 - T in room 2A compared to outdoors

as a building with a stable and relatively good indoor climate with respect to preservation.

In many rooms there are open fireplaces and ovens, but the upper floors have had practically no heating for 300 years. Nowadays, some rooms in the ground floor are heated all year round, but apart from this there is no active climatization in the castle. An exception is a small electric heater that was put in the library after an outbreak of mould. On the upper floors, the doors are closed and opened to control air exchange and curtains are used to control solar radiation.

The objective of this study is to:

- Make a quantitative description and analysis of the indoor climate,
 - Assess the indoor climate in relation to major risks to the collection,
 - Understand how building properties and outdoor climate variations influence the indoor climate,
- Propose interventions to improve the indoor climate with respect to the long term preservation of the collection.

This is the first step in a series of investigations aiming to facilitate a long term sustainable management of the castle and to generate more knowledge on low energy climate control strategies for this type of buildings.

Method

In order to describe the indoor climate with high resolution, relative humidity and temperature have been monitored within the castle for more than one year. Air exchange in selected rooms has been measured quarterly using diffusive sampling. All events in the castle that may influence the indoor climate, such as the use of curtains and the opening of doors to enhance air circulation, have been logged daily.

Measurements have been made in 44 locations covering 27 rooms. Most of the loggers were placed in the middle of the room at a height of 1,8m. In the present analysis, the heated rooms on the bottom floor were excluded. The following twelve rooms on floors 2 - 4 were selected, 2A, 2K, 2R, 3A, 3K, 3R, 4A, 4C, 4K,4R (Fig. 1).

Starting June 2008, temperature and relative humidity is logged every hour. The present investigation is focused on data for one year: August 2008 until July 2009.

Gemini data loggers of type Tinytag 2 Plus were used with a recording interval of one hour. The loggers were new and factory calibrated within the following specifications:

Resolution: 0,01 °C / RH <0,3 %,

Inaccuracy: 0,45 °C / RH 3 %.

For RH, the logger has an estimated time constant of 25 minutes.

The temperature sensors were not shielded, thus the recorded values will reflect the operative temperature including radiative effects of the walls.

For the outdoor measurements, a Testo 6681 transmitter with a Testo 6614 heated probe was used to eliminate condensation problems at low temperatures. At some times, RH outdoor values may have been influenced by indirect heating from the sun. The outdoor measurements have been compared to data from the weather station in Uppsala 20 km north of Skokloster, provided by the Swedish Meteorological and Hydrological Institute. No major differences were found. Measurements of wind speed are from the weather station in Uppsala

Air exchange was measured using a tracer gas test according to NORDTEST Standard VVS118.

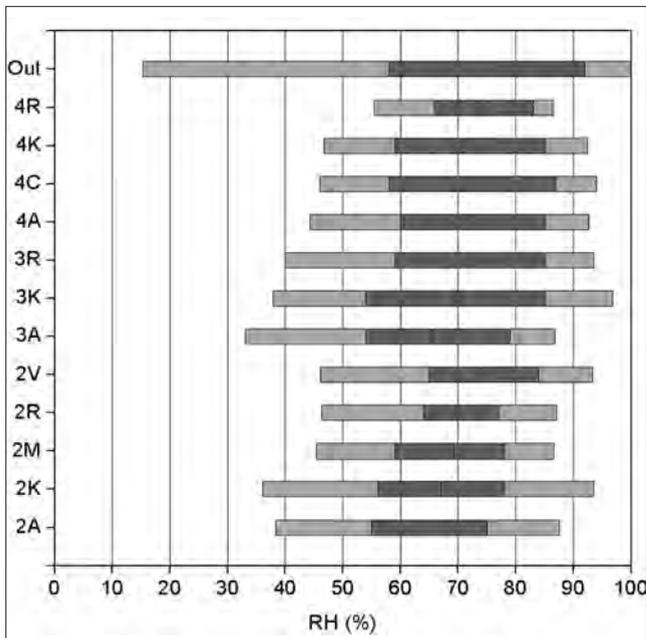


Fig. 5 - RH in twelve selected rooms: seasonal range (light grey), range of 30 day moving average (dark grey). The line in the middle of each bar is the seasonal average

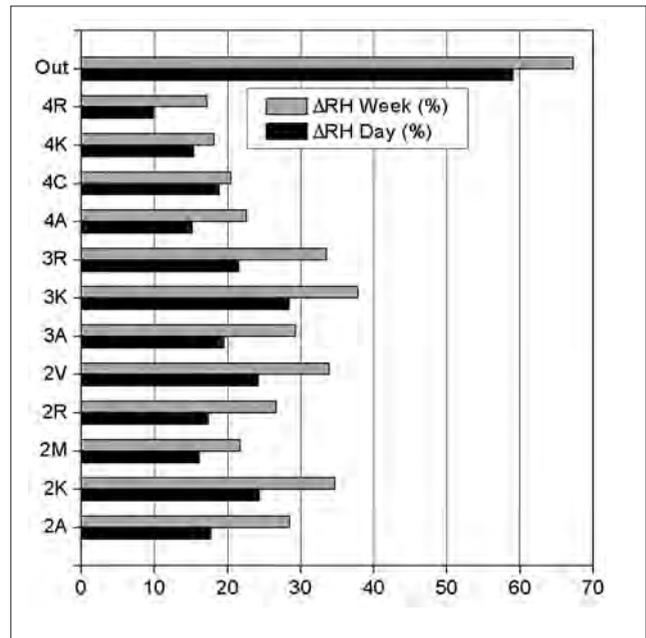


Fig. 6 - Maximum variations in RH recorded for 24 hours and one week respectively during one year for 12 selected rooms

The present indoor climate in Skokloster castle

Fig. 2-4 shows time series of temperature (T), relative humidity (RH) and absolute humidity by volume (AH) in room 2A, selected to be representative for the whole building. It can be seen that all three parameters follow both the seasonal and short term variations of the outdoor climate but that the building does reduce the effect of short term outdoor variations significantly. It does appear as if T is more stable than RH and this is also verified by a statistical analysis. However T readings are influenced by the walls, as mentioned above, and therefore can be expected to be more stable.

Fig. 5 shows statistics for RH in 12 rooms from floors 2, 3 and 4 and outdoors. RH is on an average 9 % lower inside than outside; the annual average RH of all rooms is 70 % as compared to 79 % outside. Going back to fig. 2 it can be seen that RH in the room is lower throughout the year. In the wintertime this is due to heat dissipating from the heated rooms on the first floor. In the summer, solar radiation is the most likely cause.

An analysis of the variations in RH confirms that the variations inside are reduced as compared to the outdoor climate and that there are considerable differences among the rooms.

The hourly values show that:

- For all rooms, the average seasonal variation inside is 48 % as compared to 85 % outside.
- The annual average RH among the rooms varies between 66 and 74 %.
- The minimum values of RH are in the range of 33 to 56 %, with an average among the rooms of 43% as compared to 15 % outside.
- The maximum values of RH are in the range of 87 to 97 %, with an average of 91 % as compared to 100 % outside.

In order to describe the seasonal variations, excluding the effect of short term variations, a moving 30 day average was used:

- The average seasonal variation among the rooms is 23 % as compared to 34 % outside.

- The minimum RH inside is in the range of 54 to 66 % with an average of 59 % as compared to 58 % outside.
- The maximum RH inside is in the range of 75 and 87 %, with an average of 82 % as compared to 92 % outside.

Fig. 6 shows maximum variations in RH for 24 hours and one week respectively during one year. The variations are remarkably high and there is a considerable difference among the rooms.

- The 24 hour variations are in the range of 10 – 28 %, with an average of 19 %, as compared to 59 % outside.
- The weekly variation is in the range of 17 – 38 %, with an average of 27 %, as compared to 67% outside.

Fig. 7 shows statistics for T for the 12 selected rooms.

- The average T of all rooms is 9,2 °C as compared to the outdoor average of 6,7 °C.
- Among the rooms the average T varies between 8,0 and 10,2 °C.
- The minimum values of T are in the range of -7,4 to -3,6 °C, with an average of -5,5 as compared to -15 °C outside.
- The maximum values of T are in the range of 23 to 29 °C, with an average of 25 as compared to 35 °C outside.

Fig. 8 shows statistics for AH in the 12 rooms.

- The average AH of all rooms is 6,6 g/m³ as compared to the outdoor average of 6,3 g/m³.
- Among the rooms the average AH varies between 6,5 and 6,8 g/m³.
- The minimum values of AH are in the range of 1,7 to 2,0 as compared to 1,5 g/m³ outdoors.
- The maximum values of AH are in the range of 13,2 to 14,2 g/m³ as compared to 15,9 g/m³ outdoors.

As compared to other masonry buildings in the region, the moisture surplus, in terms of AH, in the building is low. This would indicate that there is very little moisture added to the building from the ground or driving rain in relation to the air exchange.

The graphs above show that there are significant differences in the indoor climate among the rooms. Table 1 shows average values for January and July in the 12 rooms, divided by floor and orientation. Rooms facing south are slightly warmer,

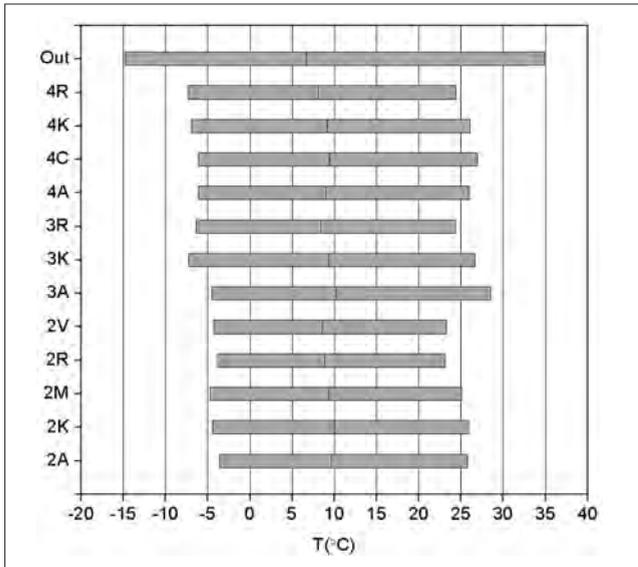


Fig. 7 - The seasonal range of T in twelve selected rooms. The line in the middle of each bar is the seasonal average

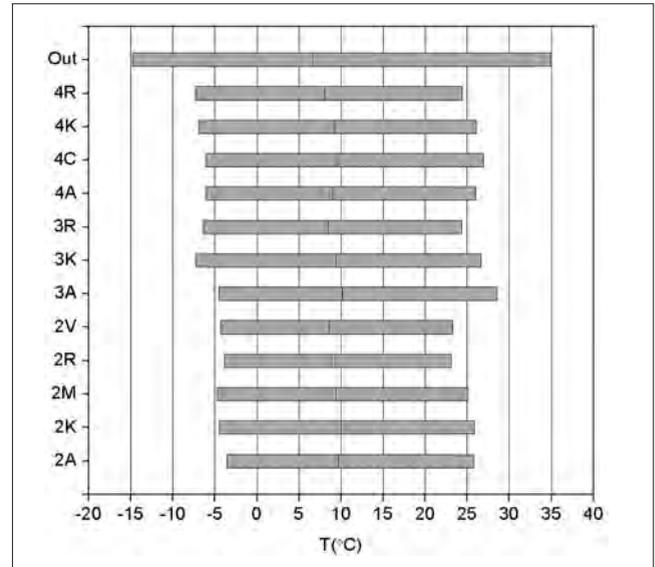


Fig. 8 - The seasonal range of AH in twelve selected rooms. The line in the middle of each bar is the seasonal average

resulting in a lower RH in the summer but not in the winter. In the winter the second floor is slightly warmer and drier than the other due to heat dissipating from the heated rooms on the first floor. During the winter, the average temperature on the third and fourth floors are practically the same as the outdoor temperature. In the summer the indoor temperatures are significantly higher than outdoors.

TABLE 1. AVERAGE RH AND T DURING JANUARY AND JULY

	January		July	
	RH (%)	T (°C)	RH (%)	T (°C)
Facing south	80	-1,1	60	21,9
Facing north	80	-1,9	65	20,7
2nd floor	77	-0,9	65	20,8
3rd floor	81	-1,7	60	21,7
4th floor	83	-1,9	63	21,0
Outdoors	88	-1,8	73	18,7

Horizontal gradients were measured in rooms 2A and 2R. Within the rooms, the microclimate was rather homogeneous throughout the year, with a maximum temperature difference (ΔT) of less than 0,5 °C, and with no significant difference of AH.

Surface T on the inside of exterior walls has been measured in five rooms. ΔT between the wall and air were generally small. The differences in a south-facing room (4K) and a north-facing room (2V) are shown in figure 9. In the north facing room the average wall surface temperature was 0,6 °C lower than the average room air temperature. For the south facing room there was no difference in the average temperatures of wall and air. In both rooms, ΔT stays within $\pm 1^\circ\text{C}$ most of the time. ΔT was more stable over the year on the north side than on the south side.

The air change rate per hour, ACH was measured in room 2A and room 3R during four periods. The results are shown in table 3. Outdoor average wind speed and the

temperature difference between indoor and outdoor are also presented as these are the main driving forces for the infiltration. Room 2A has a volume of 530 m³, 3R 350 m³.

TABLE 2. AIR CHANGE RATE PER HOUR IN ROOM 2A AND 3R

ΔT is the mean difference between the temperatures in the rooms and the outdoor temperature. Wind is the average wind speed over the period.

Period	Jul 08	Oct/Nov 08	Feb 09	Apr/May 09
ACH 2A	0,45	0,40	0,46	0,46
\pm ACH 2A	0,03	0,02	0,03	0,04
ACH 3R	0,52	0,44	0,62	0,62
\pm ACH 3R	0,04	0,03	0,04	0,04
ΔT (°C)	4,1	1,4	2,1	3,1
Wind (m/s)	3,0	3,8	2,4	3,2

The ACH in both rooms is in the range of 0,4- 0,6. Measurements in adjacent rooms confirm that the overall ACH in rooms on the first and second floor at Skokloster are around 0,5 with the exception that rooms in the corner towers have a much larger ACH. There is not enough data to establish a general correlation between air exchange and the variations in the indoor climate. This will be the subject of a future study, with the use of air exchange data from more rooms.

Risk assessment

In the following we will identify and assess risks to the collection and the building based on the description of the indoor climate. The objective is to indicate in which direction the indoor climate should be improved to reduce or eliminate the primary risks.

We have deliberately not based the analysis on the state of the collection or the ongoing decay of individual artefacts.

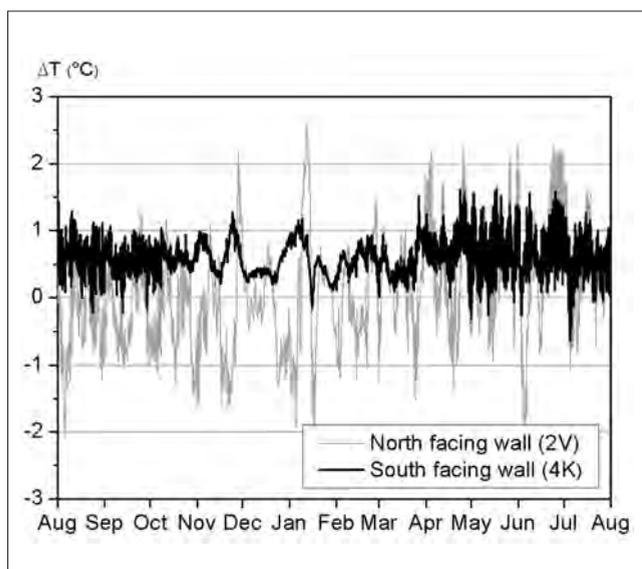


Fig. 9 - Temperature differences between wall and room air on a north facing wall in room 2V and on a south facing wall in room 4K

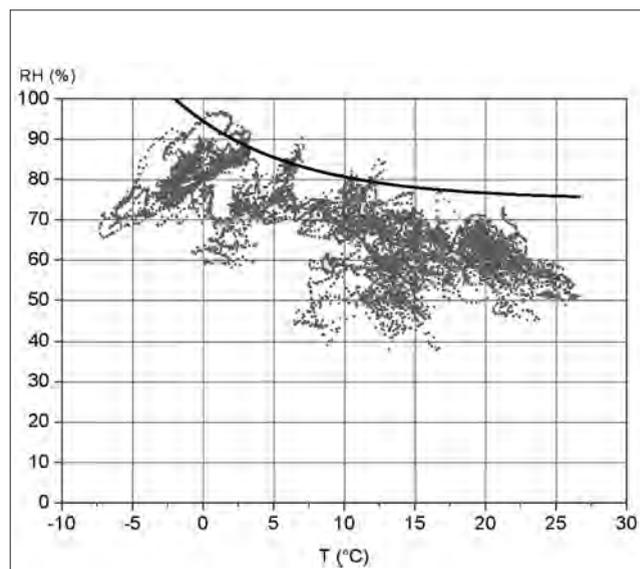


Fig 10 - RH and T in room 3K. The area above the curve is the risk zone for mould growth

This makes a quantitative risk assessment based on a prediction of the loss of value to the collection impossible [1]. Nevertheless, given the mixed nature of the collection, we believe that estimates about the magnitude of risks can be made based on general knowledge of deterioration mechanisms.

Conventionally, the basic procedure for evaluating the indoor climate is to use a standard. However, the present indoor climate is beyond even the most relaxed standard used today for indoor climate in museums, the ASHRAE Class D [2], with the only requirement that RH is below 75 %. In order to identify the potential for improvement of the present indoor climate, we will discuss biological, chemical and mechanical decay.

The primary consideration is to avoid mould growth. Whereas mould not always causes material damage, the health aspects and visual impact could eventually render the building unfit as a museum. In addition to this, the cost of removing mould is so high that preventive measures are always a good investment. The three major parameters governing mould growth are RH, T and time. Fortunately, the very high RH during winter is combined with a low T that reduces the risk for growth. Each room has been analyzed with so called isopleths defined by Sedlbauer [3], (fig 10). A drawback with this approach is that the influence of dynamic conditions is not considered. During the present period of measurements, only two rooms showed a high or very high risk for mould growth.

However, the climate in many rooms is close to the risk zone almost all year round, and a small change in the outdoor climate could move them into the risk zone. This is clearly a substantial risk to the collection, and it is necessary to avoid the combination of RH and T in the risk zone.

Chemical degradation increases at high RH and decreases at low T. For some chemical reactions, such as metal corrosion and glass deterioration, high RH-levels are critical. Therefore, a general advice would be to reduce the high RH-values, even if it is difficult to assess the magnitude of this risk.

Mechanical degradation is due to fluctuations in RH and, to a lesser extent, T. A key question is how to take into account the rate of change, i.e. how to define the duration of long and short term variations. The average seasonal variation

of the 30-day moving average of RH is 23 %; at the same time we find 24 hour variations that exceed this range in many rooms. It would be possible to assess the risks for each individual object by determining its mechanical response, and define the time constant based on the properties of the objects. In most cases this is not a realistic option. An interesting alternative is to use the concept of "proofed fluctuations" [4]. Most of the artefacts have been exposed to almost the same indoor climate for centuries. Plastic deformation and failure have occurred in many objects and these structural changes now act as expansion joints that reduce the stress levels. This does not mean that the decay has stopped and that the objects are safe, but suggests that as long as the variations do not exceed the historic levels, the risk for further damage is low. As a general safety measure in order to achieve this, both long and short term variations of RH should be reduced. There are reasons to achieve this reduction by lowering the upper limit. Firstly, the coefficient of expansion for most hygroscopic materials increases with increasing RH. This has a dramatic impact on the tolerable range of fluctuations. Secondly, many materials change their material properties in the high humidity region and become more susceptible to damage [5].

Even though the winter 2008-2009 was mild, all of the rooms had temperatures below 0 °C. This may very well be below the glass transition temperature for traditional oil paints, varnishes, lacquers and the like. This is not damaging in itself, but the paint film becomes brittle and is therefore susceptible to forces from handling or fluctuations. The brittleness in combination with the high humidity level and the short term RH fluctuations during winter constitute a risk for the painted objects. This is an area where further investigations are needed to gain a better understanding of risks.

In conclusion, these are the general directions for the improvement of the indoor climate with respect to preservation:

1. Control T and RH to avoid mould growth.
2. Reduce the high RH-levels.
3. Reduce both seasonal and short term variations in RH
4. Reduce the prevalence of very low temperatures in combination with fluctuations in the high humidity range.

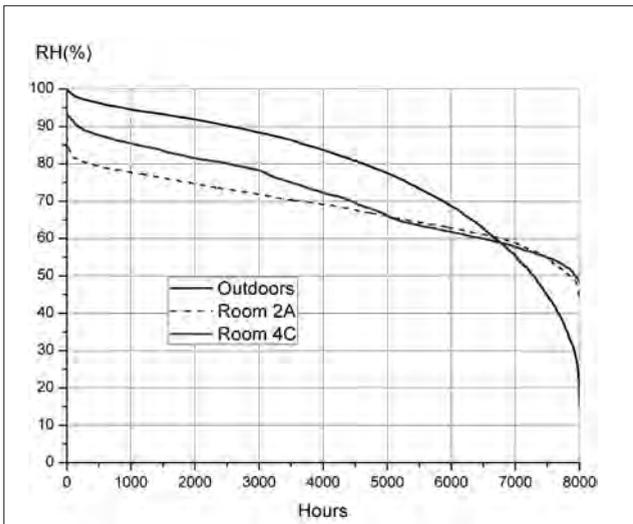


Fig. 11 - Duration graph for RH in selected rooms on floors 2 and 4 as compared to outdoor values

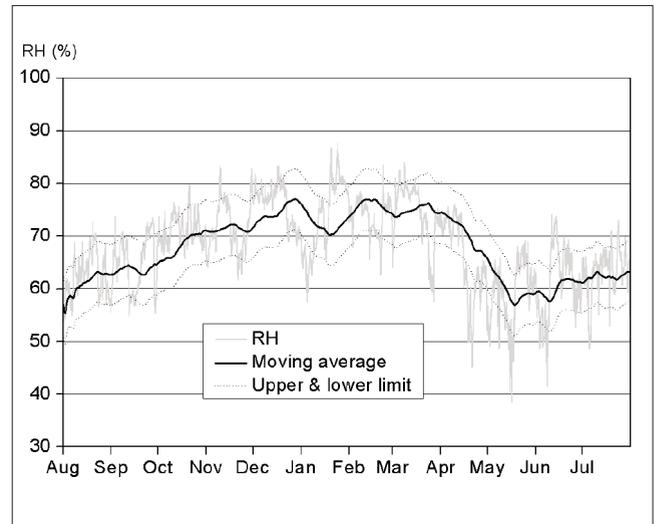


Fig. 12 - RH hourly values, moving 30 day average and target range for room 2A

Interventions

Given that there is practically no active climate control in the building, the indoor climate is governed by:

- The outdoor climate as a driving force:
 - Temperature
 - RH
 - Wind
 - Solar radiation
- The building envelope as a moderating force:
 - Insulation
 - Air tightness
 - Hygrothermal buffering

Other factors influencing the indoor climate are:

- The location of the rooms: orientation and floor
- The use of the building as documented in the log book

Given the long tradition without active climate control in Skokloster castle, the primary option is to reduce the influence of the outdoor climate by enhancing the passive function of the building. As a secondary, and at this stage hypothetical option, active climate control will be considered.

REDUCE SEASONAL VARIATIONS IN RH

The large RH variations over the year can be attributed to short-term variations superimposed on seasonal variations. The seasonal variations based on the 30 day moving average, are modest with an average value of 23 %. The range of variations among the rooms is 13 – 31 %. This suggests that there is a potential to reduce seasonal variations in most of the rooms. These differences between the rooms can be explained in terms of heat input, air exchange and buffering capacity.

The duration graph below (fig. 11) shows the distribution of RH for rooms on floor 2 and 4 in relation to outdoor values. The slight difference between the rooms has a dramatic effect on the duration. In the room on the second floor RH exceeds 80 % for around 500 hours as compared to 2 500 hours in the upper room. The same numbers for the 70 % level are 3 500 and 4 500 hours respectively. If conservation heating or dehumidification were to be used to reduce the most extreme values of RH, the operation time would vary considerably with the target level and between the rooms.

REDUCE SHORT TERM VARIATIONS IN RH

In order to assess the short term variations and identify extreme events we have used an approach proposed by Bratasz et al to determine a target range for RH based on the climate history of a specific building [6]. The mean target value for RH is calculated as a moving average over a 30 day period, from measurements for at least one year. The aim is to identify harmful fluctuations in relation to the seasonal average. A fluctuation from the seasonal average is considered outside the safe range when the magnitude is more than one standard deviation.

The result of this analysis was carried out for room 2A as shown in fig. 12. All the events that deviate from the target range were analysed. It was concluded that all deviations can be explained from variations in the outdoor climate. Variations in T, AH and wind speed would separately cause the RH to vary inside. A combination of them causes the most extreme variations. There were no extreme events that seemed to be caused by the use of the building or any active interventions according to the log book. Most of the events are of longer duration than 24 hours, but there are also diurnal variations outside of the target range.

The range of variations among the rooms (fig. 5 and 6) indicates a potential to reduce short term variations by passive measures only. A realistic target would be to reduce the high levels and variations in RH to the levels for the best rooms:

Maximum value:	<85%
Seasonal variation:	<35%
24 hour variation	<15%
Weekly variation	<20%

REDUCE THE PREVALENCE OF VERY LOW TEMPERATURES IN COMBINATION WITH FLUCTUATIONS IN THE HIGH HUMIDITY RANGE

By reducing air exchange, as suggested above, the effective thermal buffering will increase. Reduced air exchange should eliminate the extreme values, but in order to raise winter temperatures inside the castle, heating is the only option. Fig. 13 shows the duration of temperatures in room 2A. To keep room T above 0 °C throughout the year would require heating for around 1000 hours. Conservation heating would of course also reduce RH.

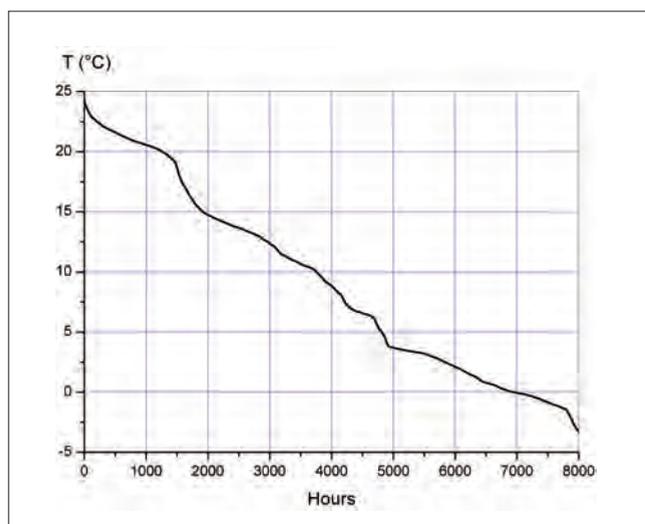


Fig. 13 - Duration of temperature for room 2A

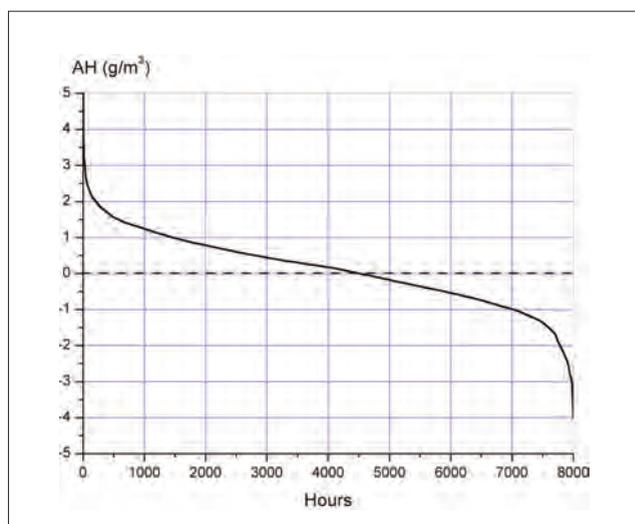


Fig. 14 - Duration for the difference in AH between the inside and outside

CONTROL T AND RH TO AVOID MOULD GROWTH

The main challenge for preventing mould growth is to come up with a truly proactive system but yet appropriate in terms of costs and technical complexity. Once the problem has been detected it is too late. Controlling the air exchange, as discussed below, will reduce the influence of unfavorable short term variations that would otherwise move the indoor climate into the risk zone. On the other hand, more stable conditions might increase the rate of growth within the risk zone [7]. In room 3K, (fig. 10), the highest risk for mould growth occurs between October and April at relatively low temperatures, below 10°C. In this regime, conservation heating would be an efficient countermeasure. Unfortunately, most rooms investigated are uncomfortably close to the risk zone throughout the whole year. Experience tells us that conservation heating in the summer is not acceptable in public buildings. Dehumidification in combination with controlling the air exchange would be the recommended option in the summer.

As the climate within the rooms is quite homogeneous risks associated with microclimates in corners, behind paintings and furniture etc. are less than in heated buildings.

CONTROLLING AIR EXCHANGE

Given the limited use of the building, ventilation for comfort is not a primary concern. During events with many visitors, which would occur mostly in the summer, air exchange can be increased by opening windows and doors.

In order to reduce variations in indoor climate, we can reduce air exchange. This is a strategy that has been used with good results in museum stores [8,9]. The air exchange in the castle is moderate as compared to other historic buildings, but it could be further reduced by closing vents and improving air tightness of windows and doors. It should be noted that the flue pipes of all stoves have been kept open throughout the period of measurement.

An important aspect to consider is whether reduced ventilation would increase the risk for mould growth. On an average over a year, AH is practically the same inside as outside. The average value inside is in the range 6,3 – 6,6 g/m³ as compared to 6,4 g/m³ outside. This suggests that there are no significant moisture sources inside. Some rooms have been exposed to moisture from leaking roofs and they will need continued air exchange on the present level. Given the complexity of the

matters and the high risks, one should proceed carefully.

Moisture controlled ventilation has been tried in historic buildings and museum stores [10]. Whenever AH is lower outside than inside, the ventilation is turned on. Fig. 13 shows the duration for difference in AH. When the value is positive, ventilation will reduce AH in the building and vice versa. The driving force, expressed in difference of AH, is generally quite low, less than 1,0 g/m³ most of the time. The difference in AH varies over the short term so there is no seasonal pattern that would motivate manual interventions by opening doors, flue pipes etc.

Conclusions and discussion

On the general issue of using historic buildings as museums, we don't see any major climatic problems in Skokloster castle related to the visitors. The question is rather how well the building is suited to house the objects and what can be done to improve the preservation conditions.

The climate measurements and the risk assessment identified four general targets:

1. Control T and RH to avoid mould growth
2. Reduce high RH levels
3. Reduce variations in RH
4. Reduce the prevalence of low temperatures

The basic strategy for controlling the indoor climate in a museum store should be to minimize the disturbances from the outdoor climate through the passive function of the building envelope.

The different behavior among the rooms indicates that the variations in RH can be reduced by enhancing the effective hygrothermal inertia of the building through a reduction of the air exchange. In a second step of investigations this hypothesis will be tested.

In order to substantially reduce the mould risk temporary conservation heating and/or dehumidification is needed. Given the long history without active climate control, an in depth risk assessment must be made before such measures can be proposed. In a forthcoming investigation, the risk for mould growth in relation to the variability of the indoor climate will be studied, based on more refined methods [11,12]. Also a systematic damage inventory will be made to investigate the extent of mechanical damage related to high RH and low T.

Looking at the operative process dealt with in the present paper; *measurements – risk assessment – interventions*, it is clear that risk assessment is the weak link. A qualitative assessment allows us to change the climate in the right direction, but we are very far away from any kind of cost-benefit analysis. Furthermore we need standards to describe and analyze the indoor climate as an input to risk assessment. Finally, the engineers need tools to assess load for various types of climate control. The duration graphs presented in this paper are one step in that direction.

In relation to commonly used standards and guidelines for historic buildings and/or museum stores, the indoor climate in Skokloster appears to be problematic. However since the state of preservation is better than the climate would suggest, Skokloster serves as an interesting example of sustainable climate management in terms of allowable ranges, building properties and passive control.

Acknowledgments

The present study has been financed by the Swedish Energy Agency and The National Heritage Board as part of a national research program on energy efficiency in historic buildings. The authors gratefully acknowledge the valuable support and cooperation of the staff at Skokloster castle and the National Property Board.

References

1. WALLER, R. (2003) *Cultural Property Risk Analysis Model: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature*. Göteborg Acta Universitatis Gothoburgensis, xvi + 189 pp.
2. ASHRAE (2003) *ASHRAE Handbook HVAC Applications* Chap 21: Museums, Libraries and Archives Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
3. SEDLBAUER, K. (2002), *Prediction of mould growth by hygrothermal calculation*, Journal of Thermal Envelope and Building Science, vol. 25, no. 4, pp. 321-336
4. MICHALSKI, S. (2007) *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*, Contributions to The Expert's Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies. Tenerife, Spain, April 2007 Getty Conservation Institute
5. MECKLENBURG, M. (2007) *Micro Climates and Moisture Induced Damage to Paintings*. Contributions to the Copenhagen Conference Museum Microclimates, Copenhagen, and pp. 129-134
6. BRATASZ, L, CAMUFFO, D. AND KOZLOWSKI, R. (2007) *Target Microclimate for Preservation Derived from Past Indoor Conditions*. Contributions to the Copenhagen Conference Museum Microclimates, Copenhagen, and pp. 129-134
7. VIITANEN, H., BJURMAN, J. (1995) *Mould growth on wood under fluctuating humidity conditions*, Material und Organismen Volume 29, Issue 1, Pages 27-46
8. RYHL-SVENDSEN, M AND PADFIELD, T AND SMITH, V A AND DE SANTIS, F. (2003). *The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation systems*. Healthy Buildings 2003, pp. 278-283
9. PADFIELD, T AND LARSEN, P K (2004). *How to design museums with a naturally stable climate*. Available: www.padfield.org/tim/cfys/musdes/musdes.pdf
10. BLÄUER BÖHM, C. ZEHNDER, K. DOMEISEN, H. AND ARNOLD, A. (2001) *Climate control for the passive conservation of the romanesque painted wooden ceiling in the Church of Zillis (Switzerland)* *Studies in Conservation* 46, pp. 251-268
11. VIITANEN, H.A. (1997) *Modelling the Time Factor in the Development of Mould Fungi - the Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood*. *Holzforschung*, 51(1), 6-14.
12. SEDLBAUER, K., KRUS, M. AND ZILLIG, W. (2002), *A New Model for Mould Prediction and its Application on Dwellings with Mould on the Outer Facades*, Building Physics 2002 - 6th Nordic Symposium, Trondheim, Norway, pp. 659-666

Il clima interno del castello di Skokloster

Abstract

Il castello di Skokloster è un edificio in pietra compatta e mattoni senza alcun sistema di climatizzazione attiva. Ospita un'ampia collezione di opere d'arte nel loro ambiente storico senza alcuna vetrina. Obiettivo di questo studio è analizzare il clima interno, effettuare una stima del rischio e proporre interventi che migliorino il clima interno rispettando la conservazione a lungo termine della collezione. L'umidità relativa e la temperatura sono state monitorate all'interno del castello per più di un anno. Il ricambio d'aria è stato misurato trimestralmente in alcune stanze selezionate usando un campionamento diffuso. Il clima interno è caratterizzato da temperature estremamente basse e da un alto livello di umidità relativa in inverno. Sebbene l'edificio riduca gli effetti delle variazioni esterne, le variazioni nel clima interno sono più ampie di quanto sia preferibile in un museo. I rischi principali associati al clima interno sono crescita di muffe, danno meccanico e degrado chimico. Le variazioni di UR possono essere ridotte aumentando l'effettiva inerzia igrotermica dell'edificio attraverso una riduzione del ricambio d'aria. Per ridurre sostanzialmente il rischio di muffe sarebbe necessario un impianto di riscaldamento conservativo e/o deumidificazione.

Key-words

Clima interno, stima del rischio, edifici storici, museo

Introduzione

Il castello di Skokloster, situato in una penisola sul Lago Mälaren a nord di Stoccolma, è un edificio in pietra compatta e mattoni, completato nel 1767 (vedi fig.1). L'imponente edificio a quattro piani forma un quadrangolo attorno ad una corte centrale con torri ottagonali in ogni angolo. Un corridoio interno, in collegamento diretto con l'aria esterna attraverso le scale, collega le stanze. Il castello è costruito con muri in mattoni su fondazioni granitiche. La facciata è rivestita e ha finestre in vetro piombato a limitata tenuta d'aria.

Il castello è aperto ai visitatori soprattutto in estate.

Il castello contiene circa 50000 oggetti, soprattutto del XVII secolo. Circa 20000 di questi sono nella biblioteca al quarto piano. La "Armeria di Wrangel", anch'essa al quarto piano, contiene circa 2000 oggetti, soprattutto armi, ma anche opere etnografiche e di storia naturale. In aggiunta a queste collezioni, il castello è arredato in modo stravagante con soffitti in stuc-

co, arazzi intessuti, arredi e opere d'arte. Dal 1716 è stato tenuto un dettagliato catalogo delle opere stanza per stanza, comprendente commenti sullo stato di conservazione. Le opere sono esposte nel loro ambiente storico senza alcuna vetrina.

Il clima interno e la collezione del castello di Skokloster sono stati sotto osservazione per secoli. È largamente conosciuto come un edificio con un clima interno stabile e relativamente buono rispetto alla conservazione.

In molte stanze ci sono camini aperti e forni, ma le stanze superiori non hanno praticamente avuto alcun riscaldamento per 300 anni. Attualmente, alcune stanze al piano terra sono riscaldate tutto l'anno, ma a parte questo non c'è alcuna climatizzazione attiva nel castello. Un'eccezione è una piccola stufetta elettrica che è stata posizionata nella biblioteca dopo un attacco di muffe. Ai piani superiori le porte vengono aperte e chiuse per controllare i ricambi d'aria e vengono usate le tende per controllare la radiazione solare.

L'obiettivo di questo studio è:

- Descrivere quantitativamente e analizzare il clima interno
- Eseguire una stima del clima interno in relazione ai principali rischi per le collezioni
- Capire come le proprietà dell'edificio e le variazioni del clima esterno influenzino il clima interno
- Proporre interventi che migliorino il clima interno rispettando la conservazione a lungo termine della collezione

Questo è il primo passo di una serie di indagini miranti a facilitare una gestione sostenibile a lungo termine del castello e a generare una maggiore conoscenza sulle strategie di controllo climatico a basso consumo energetico per questo tipo di edifici.

Metodo

Per descrivere il clima interno con una buona definizione, l'umidità relativa e la temperatura sono state monitorate all'interno del castello per più di un anno. I ricambi d'aria sono stati misurati trimestralmente in stanze selezionate usando un campionamento diffuso. Tutti gli eventi nel castello che potessero influenzare il clima interno, come l'uso di tende e l'apertura di porte per favorire la circolazione dell'aria, sono stati registrati giornalmente.

Sono state effettuate misure in 44 punti coprendo 27 stanze. La maggior parte dei sensori sono stati posizionati al centro della stanza ad un'altezza di 1.8m. Nella presente analisi, le stanze riscaldate al piano terra sono state escluse. Sono state selezionate le seguenti 12 stanze ai piani dal secondo al quarto: 2A, 2K, 2R, 3A, 3K, 3R, 4A, 4C, 4K, 4R (Fig. 1).

A partire dal Giugno 2008, la temperatura e l'umidità relativa sono registrate ogni ora. La presente indagine è incentrata sui dati di un anno: da Agosto 2008 fino a Luglio 2009.

Sono stati usati dei data logger Gemini del tipo Tinytag 2 Plus con un intervallo di registrazione di un'ora. I sensori erano nuovi e calibrati in fabbrica secondo le seguenti specifiche:

Risoluzione: 0,01 °C / RH <0,3 %

Accuratezza: 0,45 °C / RH 3 %

Per la RH il sensore ha una costante temporale stimata di 25 minuti.

I sensori di temperatura non erano schermati, per cui i valori registrati riflettono la temperatura operativa inclusi gli effetti radianti dei muri.

Per le misure esterne è stato usato un trasmettitore Testo 6681 con una sonda riscaldata Testo 6614 per eliminare i pro-

blemi di condensa a basse temperature. In alcuni momenti i valori esterni di UR potrebbero esser stati influenzati dal riscaldamento indiretto del sole. Le misure esterne sono state confrontate con i dati della stazione meteorologica di Uppsala, 20 km a nord di Skokloster, allestita dallo Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Non si sono riscontrate differenze rilevanti. Le misure della velocità del vento provengono dalla stazione meteorologica di Uppsala.

I ricambi d'aria sono stati misurati usando un gas tracciante secondo il NORDTEST Standard VVS118.

L'attuale clima interno del castello di Skokloster

Le figure dalla 2 alla 4 mostrano le serie temporali di temperatura (T), umidità relativa (RH) e umidità assoluta (AH) nella stanza 2A, scelta come rappresentativa dell'intero edificio. Si può vedere che tutti e tre i parametri seguono sia le variazioni stagionali che quelle di breve periodo del clima esterno ma anche che l'edificio riduce significativamente gli effetti delle variazioni esterne di breve periodo. Appare chiaramente come la T sia più stabile della RH, cosa confermata da un'analisi statistica. Tuttavia le letture della T sono influenzate dai muri, come menzionato sopra, ed è quindi lecito attendersi un dato più stabile.

La Fig. 5 mostra l'analisi statistica della RH in 12 stanze dai piani secondo, terzo, quarto e all'esterno. La RH interna è mediamente inferiore del 9% rispetto a quella esterna; la media annuale di tutte le stanze è infatti del 70% mentre quella esterna è del 79%. Ritornando alla Fig. 2 si può vedere che la RH nella stanza rimane inferiore per tutto l'anno. In inverno questo è dovuto al calore proveniente dalle stanze riscaldate al piano primo. In estate la radiazione solare è la causa più plausibile.

Un'analisi delle variazioni di RH conferma che le variazioni all'interno sono ridotte rispetto al clima esterno e che ci sono considerevoli differenze tra le varie stanze.

Le rilevazioni orarie mostrano che:

- In tutte le stanze la variazione media stagionale è del 48%, rispetto all'85% esterno
- La media annuale della RH nelle stanze varia dal 66 al 74%
- I valori minimi di RH sono in un range compreso tra il 33 e il 56%, con una media nelle stanze del 43%, rispetto al 15% esterno
- I valori massimi di RH sono in un range compreso tra l'87 e il 97%, con una media del 91%, rispetto al 100% esterno

Per descrivere le variazioni stagionali, escludendo gli effetti delle variazioni di breve periodo, è stata usata una media mobile su 30 giorni:

- La variazione media stagionale nelle stanze è del 23%, rispetto al 34% esterno
- Il minimo di RH all'interno è in un range compreso tra il 54 ed il 66%, con una media del 59%, rispetto al 58% esterno
- Il massimo di RH all'interno è in un range compreso tra il 75 e l'87%, con una media dell'82%, rispetto al 92% esterno

La Fig. 6 mostra le massime variazioni di RH rispettivamente nelle 24 ore e in una settimana durante un anno. Le variazioni sono particolarmente ampie e c'è una considerevole differenza tra le varie stanze:

- Le variazioni nelle 24 ore sono in un range del 10 – 28%, con una media del 19%, rispetto al 59% esterno
- Le variazioni settimanali sono in un range del 17 – 38%, con una media del 27%, rispetto al 67% esterno

La Fig. 7 mostra l'analisi statistica della T nelle 12 stanze selezionate

- La T media del totale delle stanze è di $9,2^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media esterna di $6,7^{\circ}\text{C}$
- Nelle stanze la T media varia dagli $8,0$ ai $10,2^{\circ}\text{C}$
- I valori minimi di T sono in un range compreso tra i $-7,4$ e i $-3,6^{\circ}\text{C}$, con una media di $-5,5$ rispetto ai -15°C esterni
- I valori massimi di T sono in un range compreso tra i 23 e i 29°C , con una media di 25 , rispetto ai 35°C esterni

La Fig. 8 mostra l'analisi statistica della AH nelle 12 stanze

- La AH media di tutte le stanze è di $6,6\text{ g/m}^3$ rispetto alla media esterna di $6,3\text{ g/m}^3$
- Nelle stanze la media di AH varia tra i $6,5$ e i $6,8\text{ g/m}^3$
- I valori minimi di AH sono in un range compreso tra $1,7$ e $2,0\text{ g/m}^3$ rispetto ai $1,5\text{ g/m}^3$ esterni
- I valori massimi di AH sono in un range compreso tra $13,2$ e $14,2\text{ g/m}^3$ rispetto ai $15,9\text{ g/m}^3$ esterni

In confronto con altri edifici in muratura della regione, il surplus di umidità all'interno dell'edificio, in termini di AH , è basso. Questo indicherebbe che la quantità di umidità che passa all'edificio dal terreno o dalla pioggia battente è molto bassa in relazione ai ricambi d'aria.

I grafici qui riportati mostrano che ci sono significative differenze di clima interno tra le varie stanze. La Tabella 1 mostra i valori medi per Gennaio e Luglio nelle dodici stanze, divise per piano e orientamento. Le stanze che affacciano a sud sono leggermente più calde e presentano valori di RH più bassi in estate ma non in inverno. In inverno il secondo piano è leggermente più caldo e secco degli altri per il calore dissipato dalle stanze riscaldate al primo piano. Durante l'inverno, la temperatura media al terzo e quarto piano è praticamente la stessa che all'esterno. In estate le temperature interne sono significativamente più alte di quelle esterne.

Gradienti orizzontali sono stati misurati nelle stanze 2A e 2R. Dentro le stanze il microclima era abbastanza omogeneo per tutto l'anno, con una massima differenza di temperatura (ΔT) di meno di $0,5^{\circ}\text{C}$, e nessuna significativa differenza di AH .

La T di superficie del lato interno dei muri perimetrali è stata misurata in cinque stanze. Le ΔT tra muro e aria erano generalmente contenute. Le differenze in una stanza con affaccio a sud (4K) e in una con affaccio a nord (2V) sono mostrate nella Fig. 9. Nella stanza con affaccio a nord la temperatura media di superficie era $0,6^{\circ}\text{C}$ più bassa della temperatura media dell'aria della stanza. Nella stanza con affaccio a sud non c'era differenza nelle temperature medie di muro e aria. In entrambe le stanze la ΔT rimane entro il limite di $\pm 1^{\circ}\text{C}$ per la maggior parte del tempo. La ΔT durante l'anno era più stabile sul lato nord che sul lato sud.

Il numero di ricambi d'aria orari, ACH , è stato misurato nella stanza 2A e nella stanza 3R durante quattro periodi. I risultati sono mostrati nella Tabella 3. Sono anche rappresentate la velocità media del vento e la differenza di temperatura tra interno ed esterno, poiché queste sono le principali forze da considerare per le infiltrazioni d'aria. La stanza 2A ha un volume di 530 m^3 , la 3R di 350 m^3 .

Il valore medio di ACH in entrambe le stanze rientra nel range $0,4 - 0,6$. Le misure nelle stanze adiacenti confermano che il valore generale di ACH nelle stanze del primo e del secondo piano a Skokloster è di circa $0,5$ con l'eccezione delle stanze poste nelle torri d'angolo che presentano un valore molto più alto. Non ci sono abbastanza dati per stabilire una correlazione generale tra ricambi d'aria e variazioni nel clima

interno. Questo argomento sarà oggetto di un futuro studio che disporrà di dati sui ricambi d'aria di più stanze.

Valutazione del rischio

Nella parte di testo che segue saranno identificati e valutati i rischi per le collezioni e l'edificio sulla base della descrizione del clima interno. L'obiettivo è indicare in quale direzione il clima interno debba essere migliorato per ridurre o eliminare i rischi principali.

Non abbiamo deliberatamente basato l'analisi sullo stato della collezione o sul degrado in corso sulle singole opere. Questo rende impossibile una valutazione quantitativa del rischio basata sulla previsione della perdita di valore della collezione [1]. Tuttavia, data la natura mista della collezione, si ritiene che stime riguardanti la gravità complessiva dei rischi possano essere effettuate sulla base della conoscenza generale dei meccanismi di deterioramento.

Convenzionalmente la procedura base per valutare il clima interno prevede l'uso di standard. Tuttavia, l'attuale clima interno oltrepassa perfino lo standard meno restrittivo usato oggi per il clima interno nei musei, la Classe D ASHRAE [2], con il solo requisito che la RH rimanga sotto il 75%.

Per identificare il miglioramento potenziale dell'attuale clima interno, saranno discussi il degrado biologico, chimico e meccanico.

La principale preoccupazione è quella di evitare la crescita di muffe. Anche se la muffa non è sempre causa di danno materiale, ragioni igienico-sanitarie e di decoro potrebbero eventualmente rendere l'edificio inadatto come museo. In aggiunta a questo, il costo della rimozione della muffa è così alto che ogni misura preventiva si dimostra sempre un buon investimento. I tre principali parametri che governano la crescita di muffe sono RH , T e tempo. Fortunatamente, il livello molto alto di RH in inverno è compensato da una bassa T che riduce il rischio di muffe. Ogni stanza è stata analizzata con i cosiddetti isoplei individuati da Sedlbauer [3], (Fig.9). Uno svantaggio con questo approccio è che l'influenza delle condizioni dinamiche non viene presa in considerazione. Durante l'attuale campagna di misurazioni, solo due stanze hanno evidenziato un rischio alto o molto alto di crescita di muffa. Tuttavia il clima in molte stanze si avvicina alla zona di rischio per quasi tutto l'anno ed anche un piccolo cambiamento nel clima esterno potrebbe farle entrare nella zona di rischio. Questo costituisce chiaramente un rischio considerevole per la collezione ed è pertanto necessario evitare l'ingresso combinato di RH e T nella zona di rischio.

Il degrado chimico cresce ad alti valori di RH e decresce a bassi valori di T . A causa di determinate reazioni chimiche, come la corrosione dei metalli ed il deterioramento del vetro, alti livelli di RH sono critici. Una raccomandazione generale sarebbe perciò quella di ridurre gli alti livelli di RH , sebbene sia difficile stimare la gravità del rischio.

Il degrado meccanico è dovuto alle fluttuazioni di RH ed in misura inferiore, di T . Una questione chiave è come quantificare la frequenza delle variazioni, ad esempio come definire il limite di durata delle variazioni di lungo e breve periodo.

La variazione stagionale media della RH è del 23%; allo stesso tempo troviamo variazioni nelle 24 ore che superano questo range in molte stanze. Sarebbe possibile stimare i rischi di ogni singolo oggetto determinando la sua risposta meccanica e definire la costante di tempo sulla base delle proprietà degli oggetti. Nella maggior parte dei casi questa non è un'opzione realistica. Una interessante alternativa è l'uso del concet-

to di "fluttuazione dimostrata" [4]. Molte delle opere sono state esposte allo stesso tipo di clima interno per secoli. Deformazioni plastiche e rotture si sono verificate su molti oggetti e questi cambiamenti strutturali funzionano ora come giunti di espansione che riducono i livelli di stress. Ciò non significa che il degrado si sia fermato e che gli oggetti siano al sicuro, ma suggerisce che finché le variazioni non supereranno i livelli storici, il rischio di un danno ulteriore è basso. Come generale misura di sicurezza per raggiungere questo obiettivo, sia le variazioni di RH di lungo che quelle di breve periodo dovrebbero essere ridotte. Ci sono buone ragioni per ottenere questa riduzione abbassando il limite superiore. Come prima cosa, il coefficiente di dilatazione per la maggior parte dei materiali igroscopici aumenta con il crescere della RH. Ciò ha un impatto drammatico sui limiti tollerabili di queste fluttuazioni. In secondo luogo, molti materiali cambiano le proprie caratteristiche in presenza di umidità elevata e diventano più suscettibili di danno [5].

Sebbene l'inverno 2008-2009 sia stato mite, tutte le stanze hanno raggiunto temperature sotto gli 0°C. Questa potrebbe benissimo essere al di sotto della temperatura di vetrificazione per i dipinti ad olio, vernici, lacche e simili. Questo non costituirebbe un danno di per sé ma la pellicola pittorica diviene fragile ed è pertanto più esposta a sforzi dovuti a movimentazione o fluttuazioni. La fragilità in combinazione con un alto livello di umidità e cicli di fluttuazioni di RH a breve periodo durante l'inverno costituiscono un rischio per gli oggetti dipinti. È questo un campo dove ulteriori indagini sono necessarie per avere una maggiore comprensione dei rischi.

In conclusione, queste sono le linee generali per migliorare il clima interno rispettando la conservazione:

1. Controllare T e RH per evitare la crescita di muffe
2. Ridurre gli alti livelli di RH
3. Ridurre sia le variazioni di RH stagionali che quelle di corto periodo
4. Ridurre la ricorrenza di temperature molto basse in combinazione con fluttuazioni ad alti livelli di umidità.

Interventi

Considerato che non c'è praticamente alcun sistema di controllo attivo del clima nell'edificio, il clima interno è governato da:

- Il clima esterno come componente attiva:
 - Temperatura
 - RH
 - Vento
 - Radiazione solare
- L'involucro edilizio come componente moderatrice:
 - Isolamento
 - Tenuta all'aria
 - Inerzia igrotermica
- Altri fattori che influenzano il clima interno sono:
- La localizzazione delle stanze: orientamento e piano
- L'uso dell'edificio come documentato nel registro

Data la lunga tradizione senza controllo attivo del clima nel castello di Skokloster, l'opzione primaria è quella di ridurre l'influenza del clima esterno incrementando il funzionamento passivo dell'edificio. Come opzione secondaria, a questo stadio solo ipotetica, verrà considerata l'adozione di un controllo attivo del clima.

RIDUZIONE DELLE VARIAZIONI STAGIONALI DI RH

Le ampie variazioni di RH lungo l'anno possono essere attribuite a variazioni di corto periodo sovrapposte a variazioni

stagionali. Le variazioni stagionali ricavate dalla media mobile sui 30 giorni sono modeste, con un valore medio del 23%. Il range delle variazioni nelle stanze è del 13-31%. Questo suggerisce che ci sia la possibilità di ridurre le variazioni stagionali nella maggior parte delle stanze. Queste differenze tra stanze possono essere spiegate in termini di immissione di calore, ricambi d'aria e capacità inerziale.

Il grafico della durata (fig. 10) mostra la distribuzione della RH in due stanze poste al piano secondo e quarto in relazione ai valori esterni. La sottile differenza tra stanze ha una ricaduta importante sulla durata. Nella stanza al secondo piano il valore di RH supera l'80% per circa 500 ore, rispetto alle 2500 ore nella stanza più in alto. Gli stessi dati per un livello del 70% divengono rispettivamente 3500 e 4500 ore. Nel caso si ritenesse necessario adottare un sistema di riscaldamento conservativo o di deumidificazione per ridurre i valori più estremi di RH, il tempo di funzionamento dovrebbe variare in modo considerevole sia a seconda dell'obiettivo prefissato che tra le diverse stanze.

RIDUZIONE DELLE VARIAZIONI DI BREVE PERIODO DI RH

Per stimare le variazioni di breve periodo e identificare gli eventi estremi si è usato un approccio proposto da Bratasz e altri per determinare un target range per la RH basato sulla storia del clima di uno specifico edificio [6]. Il valore medio di RH da raggiungere è calcolato come una media mobile su un periodo di 30 giorni ricavata da una campagna di misurazioni di almeno un anno. Lo scopo è quello di identificare le fluttuazioni dannose in relazione alla media stagionale. Una fluttuazione rispetto alla media stagionale è considerata al di fuori dell'intervallo di salvaguardia quando la sua grandezza è superiore ad una deviazione standard.

Il risultato ottenuto con questo tipo di analisi per la stanza 2A è illustrato in Fig. 11. Tutti gli eventi che si distaccano dal target range sono stati analizzati. Si è concluso che possono essere tutti spiegati come derivati da variazioni del clima esterno. Variazioni in T, AH e velocità del vento sembrerebbero far cambiare la RH interna. La combinazione di questi fattori provoca le variazioni più estreme. Non sono stati rilevati eventi estremi che sembrassero causati dalle modalità d'uso dell'edificio o da ogni altro tipo di intervento attivo riscontrabile nel registro. La maggior parte degli eventi ha una durata superiore alle 24 ore, ma vi sono anche variazioni giornaliere al di fuori del target range.

Il range delle variazioni nelle stanze (Fig. 5 e 6) indica la possibilità di ridurre le variazioni di breve periodo usando solo rimedi passivi. Un obiettivo realistico sarebbe ridurre gli alti livelli e variazioni di RH ai livelli delle stanze migliori:

Valore massimo:	<85%
Variazione stagionale	<35%
Variazione giornaliera	<15%
Variazione settimanale	<20%

RIDUZIONE DELLA DIFFUSIONE DI TEMPERATURE MOLTO BASSE IN COMBINAZIONE CON FLUTTUAZIONI IN INTERVALLI DI VALORI DI UMIDITÀ ELEVATI

Riducendo il ricambio d'aria, come suggerito sopra, si migliorerà l'inerzia termica effettiva. La riduzione del ricambio d'aria dovrebbe eliminare i valori estremi, ma per innalzare le temperature invernali all'interno del castello il riscaldamento è l'unica opzione. La Fig. 12 mostra la frequenza per i valori di temperatura nella stanza 2A. Mantenere la temperatura

della stanza sopra 0°C per tutto l'anno richiederebbe un riscaldamento di circa 1000 ore. Anche un sistema di riscaldamento conservativo potrebbe sicuramente ridurre la RH.

CONTROLLO DI T E RH PER EVITARE LA CRESCITA DI MUFFA

La sfida principale per prevenire la crescita di muffa è quella di trovare un sistema davvero efficace ma allo stesso tempo adatto in termini di costi e complessità tecnologica. Una volta che si è riscontrato il problema è già troppo tardi. Controllare il ricambio d'aria, come detto sopra, ridurrà l'influenza di sfavorevoli variazioni di breve periodo che, altrimenti, farebbero entrare il clima interno in zona di rischio. D'altro canto condizioni più stabili potrebbero aumentare il tasso di crescita entro la zona di rischio [7]. Nella stanza 3K, (Fig. 9), il periodo più rischioso per la crescita di muffa è quello compreso tra Ottobre ed Aprile a temperature relativamente basse, sotto i 10°C. In queste condizioni il riscaldamento conservativo sarebbe un'efficace contromisura. Sfortunatamente molte delle stanze analizzate sono spiacevolmente vicine alla zona di rischio per tutto l'anno. L'esperienza insegna che negli edifici pubblici non è opportuno ricorrere al riscaldamento conservativo in estate. La deumidificazione in combinazione con il controllo del ricambio d'aria sarebbe la scelta più raccomandabile in estate.

Poiché il clima nelle stanze è piuttosto omogeneo, i rischi correlati al microclima negli angoli o dietro i dipinti, gli arredi ecc. è inferiore rispetto agli edifici riscaldati.

CONTROLLO DEL RICAMBIO D'ARIA

Dato l'uso limitato dell'edificio, la ventilazione per il comfort non è una delle principali preoccupazioni. Durante gli eventi con molti visitatori, che si verificano soprattutto in estate, il ricambio d'aria può essere migliorato tramite l'apertura di porte e finestre.

Per ridurre le variazioni nel clima interno, si può ridurre il ricambio d'aria. Si tratta di una strategia già utilizzata con buoni risultati nei depositi museali [8,9]. Il ricambio d'aria nel castello è moderato se paragonato ad altri edifici storici, ma potrebbe essere ulteriormente ridotto chiudendo i camini e migliorando la tenuta all'aria di porte e finestre. Da sottolineare che le canne fumarie di tutte le stufe sono state mantenute aperte per tutta la durata delle misurazioni.

Una questione importante da considerare è se ridurre la ventilazione possa accrescere il rischio di crescita di muffa. Considerando una media annuale, il valore di AH è praticamente lo stesso all'interno e all'esterno. Il valore medio interno è compreso in un range di 6,3 – 6,6 g/m³ rispetto ai 6,4 g/m³ esterni. Ciò suggerisce che non ci siano significative sorgenti di umidità all'interno. Alcune stanze hanno sofferto di eccessiva umidità a causa di perdite dai tetti e nella situazione attuale avranno necessità di un ricambio d'aria continuo. Data la complessità del problema bisogna procedere attentamente.

Sistemi di ventilazione con controllo dell'umidità sono stati provati in diversi edifici storici e museali [10]. Ogni qualvolta il valore di AH risulti più basso all'esterno che all'interno, la ventilazione si attiva. La Fig. 13 mostra la frequenza delle differenze nella AH. Quando il valore è positivo la ventilazione riduce la AH nell'edificio e viceversa. La componente attiva è espressa dalla differenza in AH ed è generalmente piuttosto bassa, meno di 1,0 g/m³ per la maggior parte del tempo. La differenza in AH varia sul breve periodo, motivo per cui non c'è una configurazione stagionale che possa

motivare eventuali interventi manuali come l'apertura di finestre, canne fumarie, etc.

Conclusioni e discussione

Per quanto riguarda la questione generale sull'uso degli edifici storici come musei, al castello di Skokloster non si nota nessuno dei principali problemi climatici legati ai visitatori. Il problema è piuttosto stabilire quanto l'edificio sia adatto ad ospitare gli oggetti e cosa si possa fare per migliorarne le condizioni di conservazione.

Le misurazioni climatiche e la stima dei rischi hanno identificato quattro obiettivi principali:

1. Controllare T e RH per evitare la crescita di muffe
2. Ridurre gli alti livelli di RH
3. Ridurre le variazioni di RH
4. Ridurre la prevalenza di temperature basse

La strategia base per controllare il clima interno in un deposito museale dovrebbe essere la minimizzazione delle influenze del clima esterno attraverso il funzionamento passivo dell'involucro edilizio.

Il diverso comportamento delle stanze indica che le variazioni di RH possono essere ridotte aumentando l'inerzia termica effettiva dell'edificio attraverso una riduzione del ricambio d'aria. Questa ipotesi verrà verificata in una seconda fase delle indagini.

Per ridurre sostanzialmente il rischio di crescita di muffe è necessario un sistema provvisorio di riscaldamento conservativo o deumidificazione. Data la lunga storia senza climatizzazione attiva, una accurata stima dei rischi deve essere fatta prima di poter proporre tali rimedi. In una prossima indagine sarà studiato il rischio di crescita di muffe in correlazione con la variabilità del clima interno, sulla base di metodi più raffinati [11,12]. Sarà anche creato un inventario sistematico del degrado per indagare l'estensione del degrado meccanico legato ad alti valori di RH e bassa T.

Analizzando la procedura operativa illustrata nel presente articolo, misurazioni – stima del rischio – interventi, è evidente che la stima del rischio è l'anello debole. Una stima qualitativa permetterebbe di intervenire sul clima nel modo giusto, ma si è ancora molto lontani dall'ottenere un'analisi costi-benefici. C'è inoltre bisogno di standard per la descrizione e l'analisi del clima interno come fattore determinante nella stima del rischio. Infine, gli ingegneri hanno bisogno di strumenti per valutare i carichi di vari tipi di sistemi di climatizzazione. I grafici di durata presentati in questo articolo sono un primo passo in questa direzione.

In relazione agli standard e alle linee guida comunemente usate per gli edifici storici e/o i depositi museali, il clima interno di Skokloster sembrerebbe problematico. Tuttavia, dato che lo stato di conservazione è migliore di quanto il clima suggerirebbe, Skokloster può servire come interessante esempio di gestione sostenibile del clima in termini di range tollerabili, caratteristiche dell'edificio e controllo passivo.

Ringraziamenti

Il presente studio è stato finanziato dalla Swedish Energy Agency e dal National Heritage Board come parte di un programma di ricerca nazionale sull'efficienza energetica negli edifici storici. Gli autori ringraziano particolarmente per il valido aiuto e la collaborazione lo staff del castello di Skokloster e il National Property Board.

Riferimenti

1. WALLER, R. (2003) *Cultural Property Risk Analysis Model: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature*. Göteborg Acta Universitatis Gothoburgensis, xvi + 189 pp.
2. ASHRAE (2003) *ASHRAE Handbook HVAC Applications* Chap 21: Museums, Libraries and Archives Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
3. SEDLBAUER, K. (2002), *Prediction of mould growth by hygrothermal calculation*, Journal of Thermal Envelope and Building Science, vol. 25, no. 4, pp. 321-336
4. MICHALSKI, S. (2007) *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*, Contributions to The Expert's Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies. Tenerife, Spain, April 2007 Getty Conservation Institute
5. MECKLENBURG, M. (2007) *Micro Climates and Moisture Induced Damage to Paintings*. Contributions to the Copenhagen Conference Museum Microclimates, Copenhagen, and pp. 129-134
6. BRATASZ, L, CAMUFFO, D. AND KOZLOWSKI, R. (2007) *Target Microclimate for Preservation Derived from Past Indoor Conditions*. Contributions to the Copenhagen Conference Museum Microclimates, Copenhagen, and pp. 129-134
7. VIITANEN, H., BJURMAN, J. (1995) *Mould growth on wood under fluctuating humidity conditions*, Material und Organismen Volume 29, Issue 1, Pages 27-46
8. RYHL-SVENDSEN, M AND PADFIELD, T AND SMITH, V A AND DE SANTIS, F. (2003). *The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation systems*. Healthy Buildings 2003, pp. 278-283
9. PADFIELD, T AND LARSEN, P K (2004). *How to design museums with a naturally stable climate*. Available: www.padfield.org/tim/cfys/musdes/musdes.pdf
10. BLÄUER BÖHM, C. ZEHNDER, K. DOMEISEN, H. AND ARNOLD, A. (2001) *Climate control for the passive conservation of the romanesque painted wooden ceiling in the Church of Zillis (Switzerland)* Studies in Conservation 46, pp. 251-268
11. VIITANEN, H.A. (1997) *Modelling the Time Factor in the Development of Mould Fungi - the Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood*. *Holzforschung*, 51(1), 6-14.
12. SEDLBAUER, K., KRUS, M. AND ZILLIG, W. (2002), *A New Model for Mould Prediction and its Application on Dwellings with Mould on the Outer Facades*, Building Physics 2002 - 6th Nordic Symposium, Trondheim, Norway, pp. 659-666

Control of indoor environments in heritage buildings: the case study of Palazzo Abatellis in Palermo

Ermanno Cacciatore*, Patrizia Ferrante**, Vincenzo Franzitta***

*Architetto, Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro della Regione Siciliana, ermanno.cacciatore@regione.sicilia.it

**Ingegnere, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali, ferrante@dream.unipa.it

***Ricercatore Universitario, Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali

Abstract

Today, increasing attention is being paid to exhibiting and preserving cultural heritage that represents a powerful means of development, both in terms of social and economic issues. Specifically, an increasing interest is currently paid to old buildings which, usually, are not provided with mechanical systems for the control of indoor air conditions. On the other hand, this task could not be easily achieved, as these buildings usually contain a great variety of objects, with different physical and chemical characteristics. In this paper, a study carried out in Palermo at the Sicilian Regional Gallery, "Palazzo Abatellis", is presented. A critical analysis is shown concerning several experimental data collected inside the Gallery. The need for a proposal of intervention, aimed at improving the conservation conditions of the well known painting on wood "The Annunciation" by Antonello da Messina, is also pointed out.

Key-words

Indoor museum conditions, microclimate monitoring, painting conservation, showcase

Introduction

There are several risk factors that lead to the deterioration of cultural heritage, also depending on the nature of objects and materials of which it is made up. For a preventive conservation, it is appropriate to establish the level of danger set by each of the influencing factors, the priority levels in facing them and the level of benefit that it is intended to get. The solutions to be adopted for pursuing such purpose depend on the characteristics of the constituting materials of the objects, but also on where they have to be stored and/or exhibited. For this reason, some field measurements of the thermo-hygrometric parameters are needed, from which, after a careful analysis and a critical observation of such data, some hypothesis for suitable heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) equipment can be developed. Particular attention must be paid to old buildings which usually are not provided with mechanical system for the control of indoor air conditions. In these buildings, in fact, apart from the problems related with the proper design and installation of HVAC systems, it is often quite difficult to carry out a monitoring campaign.

The Museum site

The building holding the Sicilian Regional Gallery "Palazzo Abatellis" is situated in an important street of the Kalsa quarter, in Palermo. It was belonging to Francesco Abatellis (ca. 14xx), harbourmaster of the kingdom. It is recognized as one of the most interesting examples of Gothic-Catalan architecture in Sicily [1].

After the serious damage caused by the bombing during the Second World War, it was refurbished as a museum by Carlo Scarpa and later nominated as the Sicilian Regional Gallery in 1953 [1].

The Museum exhibits, among the other works, a famous painting, that is "The Annunciation" by Antonello da Messina [2]. This work of art is stored inside a showcase specifically designed by the architect Carlo Scarpa.

The Gallery is not provided with HVAC system for the control of indoor air conditions.

Thermal-hygrometer requirements for preserving artworks

Organic materials constitute an important part of the cultural heritage in museums. This kind of materials is much more vulnerable than others to the deterioration due to changes in tem-



Fig 1 - The location of the museum

perature and especially relative humidity of the air. These include the paintings on the table: complex systems consisting of wooden support and painted layer. One of most frequent problems in the preservation of these items is the deflection of the wooden supports which in turn can cause other damage on a pictorial layer transferred. To avoid an intervention of this type and continue to maintain full enjoyment of painting, the control of temperature, and in particular, of relative humidity, is absolutely necessary.

As previously underlined, the thermal hygrometer indoor environment of exhibition rooms is assessed by measuring and controlling parameters that refer to the air temperature and to the air humidity.

The suggested values of these indoor parameters (with the exception of the surface temperature) are reported, for example, in the Italian UNI 10829 standard [3] and in the Minister Decree of May 2001 [4]. In table1 these recommended values are reported for several environmental groups of works of art and materials.

TABLE 1: SUGGESTED VALUES FOR THE OPTIMAL CONSERVATION OF ARTWORKS FOR STEADY-STATE INDOOR CLIMATE CONDITIONS (UNI 10829 STANDARD AND MINISTER DECREE MAY 2001)

Work of art materials	t (°C)	Δt(°C)	rh(%)	Δrh(%)
A) Organic materials Polychromatic wood carvings, painted wood, paintings on wood, icons, wood pendulum-clocks, wood musical instruments	19 - 24	1.5	50 – 60 45 – 65	2

The values of Table 1 mainly refer to the conservation conditions; anyway, with slight modifications, these can be also considered for the prevention of the microbiologic damages of th artworks [4].

Indicators of risk conditions

Some of the data detected in the experimental campaign have been taken into account to properly determine a set of indicators, the so-called *out of range indicators*, proposed by UNI 10829 standard [3]. The thermo-hygrometer environmental stress indicators are aimed to assess the “optimal” or “warning” environment condition. These are defined as a percentage of time in which the measured value is out of range of the reference values related to a specific artwork category. The difference between the indicators of the same parameter (i.e. temperature) basically depends on the time-base adopted for the calculation of measured values.

The application of the *out of range* is not simple to be carried out since calculation requires the personal experience in the field of those responsible for the works art [6],[7].

Another index introduced by the Image Permanence Institute is the Preservation Index (PI) [5]; it expresses the “preservation quality” of a storage environment for organic materials and it determines how rapidly or slowly organic objects will deteriorate. By extending the time lag of this index, the “Time

Weighted Preservation Index” (TWPI) can also be defined.

It represents the approximate life expectancy value, expressed in years, that vulnerable organic materials would last if every time period in the future were just like the one during which the TWPI value was measured. TWPI values can represent the cumulative effect of a week’s, a month’s, or several years’ worth of temperature and RH conditions.

Thermo-hygrometric monitoring

Microclimatic conditions of spaces containing the painting have been monitored in the cited museum building from January to December 2007, in accordance with UNI standard 10829.

The working stages have been carried out as follows:

- reading of thermo-hygrometric parameters inside the museum and inside the showcase;
- detecting thermo-hygrometric conditions outside the building;
- proper data processing, in order to get daily temperature excursion and daily humidity excursion;
- comparing internal values with external ones;
- comparing inside showcase values with microclimatic limits suggests by UNI10829;
- calculation of indicators just described.

In fig. 2 and 3 the trend of outdoor, indoor and inside the showcase air temperatures and relative humidity are shown.

In table 2, temperature and relative humidity values for each season of the considered year inside the showcase are reported. By simply comparing this trend with the normative requirements, one can say that these values are far from ideal conditions required for preservation of painting.

TABLE 2: PARAMETER CHARACTERIZING TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY

	t_{max} (°C)	t_{min} (°C)	t_{2hours} (°C)	rh_{max} (%)	rh_{min} (%)	$rh_{2hpours}$
Summer	33	24	< 1.5	71	38	>2
Autumn	28	16	< 1.5	83	41	>2
Winter	20	12	< 1.5	75	30	>2
Spring	22	15	< 1.5	70	30	>2

The data of air temperature and humidity have been arranged in fig.4, where the safety zone suggested by the UNI 10829 [3] is emphasised. This allows a rapid visual evaluation of the whole microclimatic situation of the room with respect to the artwork environmental preserving.

Discussion of results

The values of air temperature and relative humidity, reported in fig.2 and 3, highlight that indoor climatic conditions are slightly attenuated with respect to outdoor climatic conditions.

Moreover, from a thermo-physical point of view, the Carlo Scarpa's showcase hasn't any mechanical aid aimed at ensuring the stability of the microclimate around the painting. This means that, when environmental climatic conditions in the room change, climatic conditions inside the showcase change too, with serious risks of deterioration.

Fig. 4 shows the group of data referring to air temperature and relative humidity, falling within the tolerance range (see table 1).

It is possible to get an easy quantitative evaluation of the environmental risk affecting works of art by computing a percentage of points falling outside the safety zones. This value represents the *out of range indicator* proposed by the Italian Standard UNI 10829 [3]. This indicator is related to the so called *Performance Index* (PI) [8] that is defined as the percentage of time in which a measured parameter falls within the recommended tolerance interval; therefore *Performance Index* is the numerical complement to 100% of the *out of range indicator*. The figg. 5 and 6 report the percentages of time in which a measured value of t and rh falls within the recommended tolerance interval.

These "cake" diagrams show that the 22.2% of temperature measured values, and 72.1% of relative humidity measured values respectively fall within their pertinent tolerance intervals.

The table 3 shows the values of PI for the four seasons of the year considered.

TABLE 3: PERFORMANCE INDEX (%)

Season	t	t_2	t_{24}	rh	rh_2	rh_{24}
Summer	1.9	100.0	96.1	72.6	100.0	40.2
Autumn	49.3	100.0	85.5	71.2	99.5	13.3
Winter	0.0	100.0	89.4	63.1	97.8	9.2
Spring	37.7	100.0	83.8	81.9	99.6	15.5

As aforementioned in the previous paragraph, the Image Permanence Institute introduced another index that expresses the "preservation quality" of a storage environment for organic materials and it determines how rapidly or slowly organic objects will deteriorate. This indicator is usually denoted by the term PI. Fig 7 shows the trend of Preservation Index; instead fig.8 represents the trend of the Time Weighted Preservation Index (TWPI) [5], which can be considered as an average of changing PI values over time.

The computed TWPI value points out of the lifetime of this work of art is equal to 26.4.

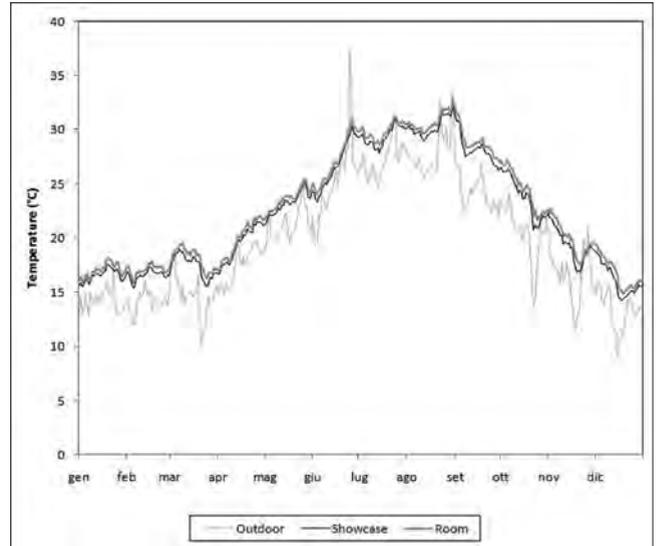


Fig 2 - The trend of outdoor, indoor and inside the showcase temperatures

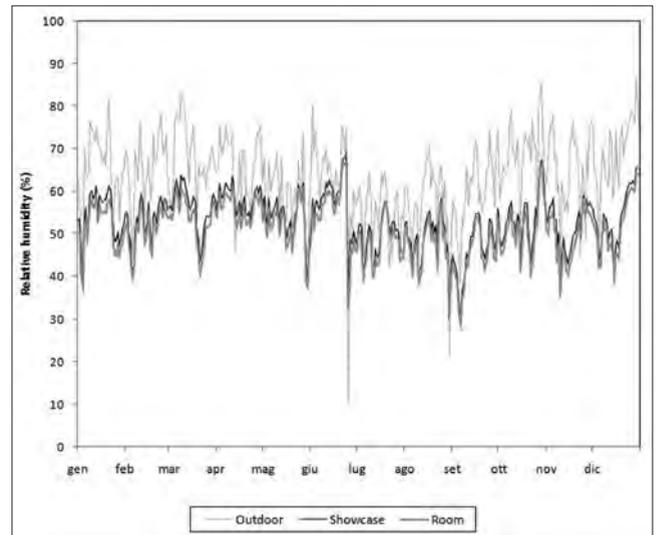


Fig 3 - The trend of outdoor, indoor and inside the showcase relative humidity

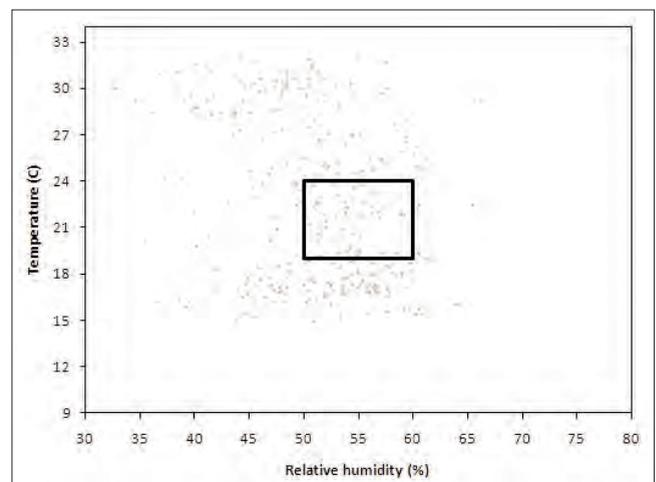


Fig 4 - The set of t and rh measurement results along with the pertinent tolerance ranges

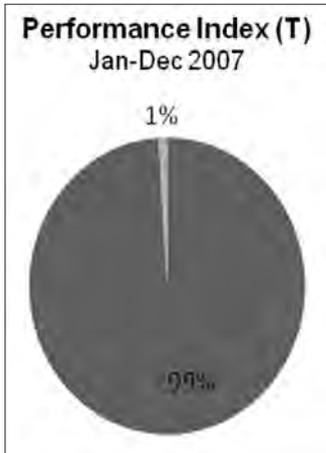


Fig 5 - Percentages of time during which t values fall within the tolerance range

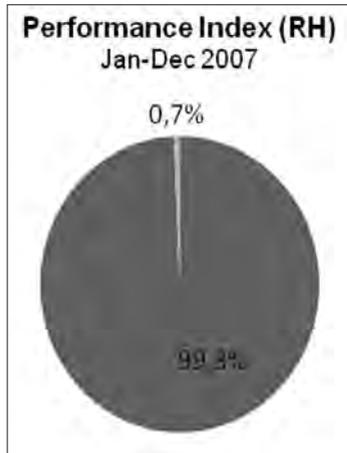


Fig 6 - Percentages of time during which rh values falling within the tolerance range

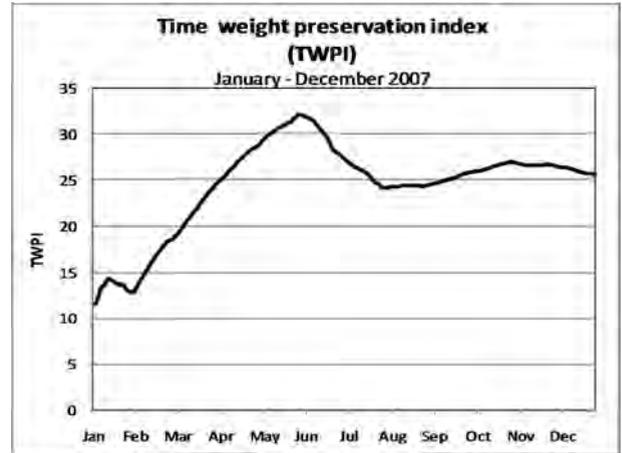


Fig 7 - The trend of the Preservation Index



Fig 8 - Carlo Scarpa's showcase



Fig 9 - Foreshortening of the "Palazzo Abatellis"

Proposing a new showcase

An important constraint in the Gallery is that any intervention doesn't have to be visible: as that it is not allowed to modify the external look of Carlo Scarpa's showcase and the layout of the room. These considerations drive our analysis to those engineering solutions which, on one hand, are able to maintain the local micro-climatic conditions within the values needed to ensure the proper conservation of the work of art and, on the other hand, are characterized by an absence of visual impact, in order to guarantee a good enjoyment of the works of art by people. The proposed solution suggests the utilization of a microclimate controlled case, to be inserted inside the Carlo Scarpa's original showcase. The equipment shall be placed in a housing that it must be invisible to the visitors. In this way, both the needs of conservation of such precious work of art and its enjoyment by people are achieved.

Conclusions

In this paper the outcome of a microclimatic surveying campaign inside a Regional Gallery of Palazzo Abatellis in Palermo, aimed at verifying the existence of optimal indoor conditions for the exhibition and the conservation of the works of art, is presented.

Palazzo Abatellis is an old building that if, on one hand, contributes with its structure to mitigate the effects of the outdoor climate, on the other hand it does not allow a free modification of its indoor layout. Through continuous in-field monitoring of temperature and relative humidity, the data are collected and elaborated in order to obtain synthetic indicators that are able to describe, in

a clear and simple way, the climatic quality of a given indoor environment with reference to the required conditions.

Moreover, an intervention is here proposed aimed at improving the conservation conditions of the most important work of art exposed inside the Gallery, that is "The Annunciation" by Antonello da Messina, also avoiding, at the same time, visual impacting problems.

References

1. ARGAN G.C., ABBATE V., BATTISTI E. (1991) *Palazzo Abatellis*, Novcento - Libreria dello Stato, Palermo
2. ASSESSORATO DEI BENI CULTURALI ED AMBIENTALI E DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE (1996) *Palazzo Abatellis*, Le Carte dei musei regionali siciliani, Regione Siciliana - Palermo
3. UNI 10829/1999 *Works of art of historical importance. Ambient conditions for the conservation. Measurement and analysis*
4. MINISTERIAL DECREE 10 MAY 2001, MINISTRY FOR ARTS AND CULTURE, *Guidelines on technical-scientific criteria for application of standards in museums* - Article 150, paragraph 6, Law by Decree n. 112/1998, Italian Republic's Official Gazette, 19 October 2001, n. 244
5. REILLY J.M., NISHIMURA D.W., ZINN E. (1995) *New Tools for Preservation, assessing long-term environmental effects on library and archives collections*, The Commission on Preservation and Access, Washington D.C.
6. M. LA GENNUSA, F. NICOLETTI, G. RIZZO, G. SCACCIANOCE (2005) *The control of indoor environment in heritage buildings: application of a methodology to an old Italian museum*, J. Cult. Herit. 6 (2005), pp. 147-155
7. CAMUFFO D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier Science B.V., Amsterdam
8. FILIPPI M., CORGNATI S., ANSALDI R. (2006) *Certification of indoor environmental quality: application of a classification method to a case study*, Proceeding of CLIMAMED 2006 International Conference, Lyon, September

Il controllo delle condizioni ambientali interne negli edifici storici: il caso studio di Palazzo Abatellis a Palermo

Abstract

Oggi sempre maggiore attenzione viene rivolta all'esposizione e alla salvaguardia dei beni artistici come potente mezzo di sviluppo sociale ed economico. In particolare, un interesse crescente è rivolto agli edifici antichi, raramente dotati di sistemi meccanici per il controllo dell'aria interna. In generale, il controllo dell'aria interna ai fini conservativi, non è un problema di immediata soluzione, soprattutto in considerazione del fatto che gli oggetti custoditi sono caratterizzati da differenti qualità fisico-chimiche. In questo lavoro viene presentato uno studio effettuato nella Galleria Regionale Siciliana, Palazzo Abatellis, che si trova a Palermo. È presentata un'analisi critica di dati microclimatici all'interno della Galleria. Infine viene presentata una proposta di intervento al fine di migliorare le condizioni espositive del noto dipinto "L'Annunciata" di Antonello da Messina.

Key-words

Condizioni interne nei musei, monitoraggio del microclima, conservazione dei dipinti, vetrina espositiva

Introduzione

Sono molti i fattori di rischio che possono favorire il degrado dei beni di interesse storico artistico, correlati alla natura degli oggetti e ai materiali di cui sono costituiti. Ai fini della conservazione preventiva, è opportuno stabilire il livello di rischio per ognuno di tali fattori, la priorità che viene loro attribuita e il grado di controllo che si vuole raggiungere. Le soluzioni da adottare dipendono dalle caratteristiche dei materiali che costituiscono gli oggetti ma anche da come essi sono conservati e/o esposti. Uno degli obiettivi di chi si occupa di conservazione è quello di creare condizioni ambientali idonee al fine di limitare gli interventi di restauro. Per questa ragione le misure in campo dei parametri termo igrometrici sono essenziali, e da questi, dopo un'attenta analisi e revisione dei dati possono scaturire ipotesi per una idonea soluzione impiantistica. Particolare attenzione va posta agli edifici antichi che solitamente non sono provvisti di impianti meccanici per il controllo delle condizioni dell'aria interna. In questi edifici, infatti, oltre ai problemi connessi con la corretta progettazione ed installazione degli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento d'aria, spesso è molto difficile effettuare una campagna di monitoraggio.

Il sito del Museo

L'edificio che ospita la Galleria Regionale Siciliana "Palazzo Abatellis" si trova in una strada importante del quartiere Kalsa, a Palermo. Appartiene a Francesco Abatellis (ca. 14xx), Capitano del Porto del regno. Il Palazzo è riconosciuto come il più interessante esempio di architettura gotico-catalana in Sicilia [1].

Dopo i gravi danni causati dai bombardamenti durante la seconda guerra mondiale fu riallestito a museo da Carlo Scarpa e dichiarato Galleria Regionale Siciliana nel 1953 [1].

Il museo espone, tra le altre opere, un famoso dipinto "L'Annunciata" di Antonello da Messina [2]. L'opera è esposta all'interno di una vetrina espositiva progettata dall'architetto Carlo

Scarpa. La Galleria non è provvista di sistemi per il controllo delle condizioni dell'aria interna.

Requisiti termoigrometrici per la conservazione delle opere d'arte

I materiali organici costituiscono un gran numero dei beni artistici che si trovano nei musei. Questa tipologia di materiali è più vulnerabile delle altre nei confronti dei processi di deterioramento legati ai cambiamenti sia di temperatura che in particolar modo di umidità relativa. Questi includono i dipinti su tavola: sistemi complessi costituiti da un supporto in legno e uno strato pittorico. Uno dei più frequenti problemi nella conservazione di questi oggetti è la deformazione dei supporti in legno che a loro volta possono causare danneggiamenti anche allo strato pittorico, che in casi estremi deve essere trasferito. Per evitare un intervento di questo tipo e continuare a mantenere l'originale resa visiva del dipinto, il controllo della temperatura e, in particolare, dell'umidità relativa è assolutamente necessario. In genere, le condizioni termoigrometriche dell'ambiente interno delle sale di esposizione viene valutata misurando e controllando i parametri connessi a temperatura e umidità dell'aria.

I valori suggeriti per questi parametri interni (con eccezione per la temperatura superficiale) sono riportati, ad esempio, nella norma italiana UNI 10829 [3] e nel Decreto Ministeriale del maggio 2001 [4]. Nella tabella 1 sono riportati valori raccomandati per il gruppo di materiali organici.

I valori della tabella 1 si riferiscono principalmente alle condizioni di conservazione, ad ogni modo, con piccoli accorgimenti, possono essere presi in considerazione per la prevenzione del danno microbiologico delle opere d'arte [4].

Indicatori di rischio

Alcuni dei dati misurati in campagne di misura sperimentali sono stati presi in considerazione per determinare un set di indicatori, indicatori di scostamento, proposti dalla norma UNI 10829 standard [3]. Gli indicatori di stress ambientale servono a valutare la "ottimale" o "rischiosa" condizione ambientale. Questi indicatori sono definiti come la percentuale di tempo nel quale il valore misurato sta al di fuori dell'intervallo di riferimento relativo alla specifica categoria di opera d'arte. La differenza tra gli indicatori dello stesso parametro (es. temperatura) dipende essenzialmente dalla base temporale impiegata per il calcolo del valore misurato. L'applicazione degli indicatori di scostamento non è sempre agevole, e per tale motivo è essenziale l'esperienza personale di chi è responsabile delle opere custodite.

Un altro indicatore introdotto dall'Image Permanence Institute è il Preservation Index (PI) [5]; esso esprime "la qualità di conservazione" di un ambiente espositivo per i materiali organici e determina quanto rapidamente o lentamente gli oggetti si deterioreranno. L'estensione temporale di questo indicatore è il "Time Weighted Preservation Index" (TWPI). Esso fornisce il valore indicativo delle aspettative di vita espresso, in anni, che i vulnerabili materiali organici avrebbero se le condizioni ambientali si mantenessero come quelle esistenti nel momento in cui il TWPI è stato misurato. I valori di TWPI rappresentano

l'effetto cumulativo di settimane, mesi o alcuni anni delle stesse condizioni di temperatura e umidità relativa.

Il monitoraggio microclimatico

Le condizioni microclimatiche dello spazio in cui è contenuto il dipinto sono state monitorate da gennaio a dicembre 2007, così come prescritto dalla norma UNI 10829.

Le fasi di lavoro sono state le seguenti:

- *Lettura dei parametri termoigrometrici dentro al museo e dentro la vetrina espositiva;*
- *Rilevamento delle condizioni termoigrometriche al di fuori dell'edificio;*
- *Elaborazione dei dati al fine di ottenere le escursioni giornaliere di temperatura e umidità;*
- *Confronto dei valori interni con quelli esterni;*
- *Confronto dei valori all'interno della vetrina con quelli limite suggeriti dalla norma UNI10829;*
- *Calcolo degli indicatori descritti.*

Nelle figure 2 e 3 sono rappresentati gli andamenti di temperatura e umidità relativa, all'esterno, all'interno della stanza e all'interno della vetrina.

Nella tabella 2 sono riportati per ogni stagione i valori di temperatura e umidità relativa all'interno della vetrina. Questi valori sono molto distanti da quelli richiesti per la conservazione dei dipinti.

I dati di temperatura e umidità relativa sono stati rappresentati in fig.4, in cui viene messa in evidenza la zona di sicurezza suggerita dalla UNI 10829 [3]. Questo consente una rapida valutazione visiva delle condizioni microclimatiche della stanza rispetto a quelle ideali per la conservazione dell'opera d'arte.

Discussione dei risultati

I valori della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa, riportati in fig.2 e 3, dimostrano che le condizioni climatiche interne sono leggermente attenuate rispetto a quelle esterne. Inoltre da un punto di vista termo-fisico, la vetrina di Carlo Scarpa non ha caratteristiche tali da assicurare una stabilità microclimatica intorno al dipinto. Questo significa che quando le condizioni climatiche all'interno della stanza cambiano, cambiano anche quelle all'interno della vetrina, con seri rischi di deterioramento. La fig. 4 mostra la serie di valori di temperature dell'aria e di umidità relativa all'interno delle vetrina che rientrano nell'intervallo di tolleranza (vedi tabella 1). È possibile dare una rapida valutazione quantitativa del rischio per le opere d'arte calcolando la percentuale di punti che cadono al di fuori della zona di sicurezza. Questo valore rappresenta l'indicatore di scostamento suggerito dalla norma UNI 10829 [3]. Questo indicatore è correlato al Performance Index (PI) [8], definito come la percentuale di tempo in cui i parametri misurati ricadono all'interno dell'intervallo di tolleranza, quindi Performance Index è il complemento a 100 dell'indicatore di scostamento. Le fig.5 e 6 riportano la percentuale di tempo in cui i valori di t ed rh misurati ricadono dentro l'intervallo di tolleranza.

Questi grafici a torta mostrano come il 22.2% dei valori di temperatura misurati e il 72.1% dei valori di umidità relativa misurati ricadono nei rispettivi intervalli di tolleranza.

La tabella 3 mostra i valori di PI per le quattro stagioni.

Come citato nel paragrafo precedente, l'Image Permanence Institute ha introdotto un altro indice che esprime la "qualità di conservazione" in un ambiente espositivo per i materiali organici e determina quanto rapidamente o lentamente questi oggetti

si deteriorano. Questo indicatore è anch'esso indicato con PI. La Fig 7 mostra l'andamento del Preservation Index, mentre invece la fig.8 rappresenta l'andamento del TWPI [5], che rappresenta una media delle variazioni dei valori di PI nel tempo.

Il valore calcolato per il tempo di vita di quest'opera d'arte è stato di 26.4 anni.

Proposta di una nuova vetrina

Un importante vincolo della Galleria è che qualunque intervento non deve essere visibile: non è infatti permessa la modifica dell'aspetto della vetrina di Carlo Scarpa e la disposizione della stanza. Queste considerazioni guidano la nostra analisi verso soluzioni impiantistiche che da un lato garantiscano le condizioni microclimatiche entro i valori richiesti per assicurare la conservazione dell'opera d'arte e dall'altro siano caratterizzate da un'assenza di impatto visivo in modo da mantenere la piena fruizione dell'opera da parte dei visitatori. La soluzione proposta suggerisce l'utilizzo di una vetrina a controllo microclimatico inserita all'interno della vetrina di Carlo Scarpa. La strumentazione sarebbe collocata in un alloggio sul pavimento, invisibile al pubblico. In questo modo entrambe le esigenze di conservazione e di fruizione del prestigioso quadro sarebbero soddisfatte.

Conclusioni

In questo lavoro sono presentati i risultati di una campagna di monitoraggio effettuata nella Galleria Regionale di Palazzo Abatellis a Palermo, volta a verificare le condizioni ideali per l'esposizione delle opere. Palazzo Abatellis è un antico edificio che, se da un lato contribuisce, con la sua struttura, a mitigare le condizioni climatiche esterne, d'altra parte non consente un facile riadattamento della sua configurazione interna. Dopo un monitoraggio in continuo di temperatura e umidità relativa, i dati sono stati raccolti ed elaborati al fine di ottenere alcuni indicatori sintetici capaci di descrivere in maniera chiara e semplice la "qualità" climatiche di un ambiente interno facendo riferimento alle condizioni desiderate. Inoltre è presentato un intervento volto a migliorare la conservazione della più importante opera d'arte esposta nella Galleria Regionale Siciliana, "L'Annunciata" di Antonello da Messina, risolvendo nello stesso tempo i problemi di impatto visivo.

Riferimenti

1. ARGAN G.C., ABBATE V., BATTISTI E. (1991) *Palazzo Abatellis*, Novcento – Libreria dello Stato, Palermo
2. ASSESSORATO DEI BENI CULTURALI ED AMBIENTALI E DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE (1996) *Palazzo Abatellis*, Le Carte dei musei regionali siciliani, Regione Siciliana - Palermo
3. UNI 10829/1999 *Works of art of historical importance. Ambient conditions for the conservation. Measurement and analysis*
4. MINISTERIAL DECREE 10 MAY 2001, MINISTRY FOR ARTS AND CULTURE, *Guidelines on technical-scientific criteria for application of standards in museums - Article 150, paragraph 6, Law by Decree n. 112/1998, Italian Republic's Official Gazette, 19 October 2001, n. 244*
5. REILLY J.M., NISHIMURA D.W., ZINN E. (1995) *New Tools for Preservation, assessing long-term environmental effects on library and archives collections*, The Commission on Preservation and Access, Washington D.C.
6. M. LA GENNUSA, F. NICOLETTI, G. RIZZO, G. SCACCIANOCE (2005) *The control of indoor environment in heritage buildings: application of a methodology to an old Italian museum*, J. Cult. Herit. 6 (2005), pp. 147-155
7. CAMUFFO D. (1998) *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier Science B.V., Amsterdam
8. FILIPPI M., CORGNATI S., ANSALDI R. (2006) *Certification of indoor environmental quality: application of a classification method to a case study*, Proceeding of CLIMAMED 2006 International Conference, Lyon, September

PART 2
SYSTEMS AND DEVICES FOR MICROCLIMATE
CONTROL IN HISTORIC BUILDINGS
AS MUSEUMS

*PARTE 2
SISTEMI ED IMPIANTI PER IL CONTROLLO
DEL MICROCLIMA NEGLI EDIFICI STORICI
A DESTINAZIONE MUSEALE*

Sustainable building services and case studies in Austria

Jochen Kaeferhaus

Mag. Dr./Technisches Büro Käferhaus GmbH, Vienna, kaeferhaus@aon.at

Abstract

The mostly too strong limits of recommendations or museums standards (for example British Standard BS 5454:2000) often provoke too much machinery in museums and depots with the result of contradictory output. Huge air conditioning systems, big energy bills and measuring results with short term peaks endanger the artworks.

Consequences may be that in the future we cannot any longer afford our museums or depots, especially when energy is getting more and more expensive, not mentioning the totally unsolved situation of what might happen in those strongly air conditioned museums when there is a failure in energy supply, for example when no gas is delivered.

There are many museums however, with none or a minimum of building services, which shelter very delicate artworks as the "Stift Klosterneuburg" with its "altar of Verdun" of the year 1180. Climate control was never installed, but the altar has no damages at all.

Key-words

Energy saving, micro climate, sustainability in historic buildings, comfort, stability in climate, humidity, radiation heat, tempering

Introduction

The upcoming discussion of sustainability is more than a fashion. It is a severe necessity – especially in historic buildings. That means it is "very simple" to build on the "green meadow" a passive house, but it needs a lot of brain to transform an ancient building into a sustainable, energy saving building. This is the problem with our museums and depots, often hosted in historic buildings, to refurbish these historic buildings with a bunch of necessary activities – building services included.

Discussion about standards of micro climate values

The discussion about "right and wrong" micro climate and the limits is endless. The quoted articles in the annex are exemplary. Fortunately critical voices as from Tim Padfield and the "Fraunhofer Institute", Holzkirchen, Germany, stress again and

again the bigger importance of slow movement of the micro climate according to seasonal outdoor changes, buffered through big building masses, instead of narrow limits for the micro climate with peaks.

The "classic" demand for 50% rel. humidity and +- 5% limit and room temperature of 20°C+- 2°K never was proven or is a result of thorough research, but is a phantom figure, one scientist copies from the other.

These limits – depending of the kind of artworks - are far too narrow and often have the consequence of too big machinery with centralized humidifier and complex control units, which costs a lot of money to buy, to run and to maintain. Often those air conditionings and control units are far too complicated and difficult to run. Often they are a source of mistakes and create peaks which damage to the artworks. The leading value for the micro climate always is the relative humidity and not the temperature, which should oscillate very, very slow from 40% to 60%, depending of the artworks.

How to reach best climate stability

- Integrated planning
- Intelligent use of big masses of the building to reach thermo stability
- Improvement of the thermal quality of the building, if possible
- Ensure air tightness and create buffer rooms
- Using best possible, intelligent shading systems to minimize external loads
- Reducing internal loads (light, machinery) to 15W/m² maximum.
- Heating exclusively by radiation with warm walls to avoid mould; convective heat transports dust
- Simple controlled ventilation with minimum air exchange rate to 0,5, if possible
- Humidification, if possible, decentralized
- Simple technologies for building services and control systems.

Examples

ART GALLERY IN THE ACADEMY OF FINE ARTS, VIENNA

The Art Gallery in the Academy of Fine Arts, Vienna, is a building of Theophil Hansen of 1877 and is primarily a University of Art.



Fig. 1 - Academy of Fine Arts, Vienna



Fig. 2 - Existing situation with radiators



Fig. 3 - Summer ventilation system of the shading in the box window



Fig. 4 - View into the Gallery during works

The existing gallery was refurbished in the late 80ies and consists in a size of about 800 + 400m² with very famous paintings as "Das jüngste Gericht" of Hyronimus Bosch and others like Lukas Cranach the younger and elder.

In addition to the existing paintings gallery a new gallery for contemporary art, "xhibit" was created and integrated in the same part of the building with new entrance room, shop and cashier.

The following picture shows the situation before the refurbishment with old radiators and bad shading systems and isolating glass of bad thermal quality.

Principally the values of the indoor climate were rather stable, in winter too dry and in summer sometimes too hot. Due to the lack of a closed entrance room as a buffer zone, the indoor climate often was influenced of bad climate situations in the stair case. For that reason a new buffer room as shop and cashier was planned. Also ventilation with cooling system with possibilities of dehumidifying was planned.

The following measures as an integrated planning were taken:

(Thermal improvement or insulation was not necessary due to the fact, that this story of the art gallery is situated in the middle of the building with heated rooms below and above.)

- Air tightness of the rooms and especially of the windows

were planned as well as the improvement of the thermal quality of the windows, which are historic metal case or box windows which are not allowed to change in any form. An improvement of the window only was possible by changing the glass and sealing the joints of the inner layer of the windows. The inner window got an insulating glass with an u-value of 1.1W/m²K with a coating against heat losses from inside. The outer glass is a single pane also with a coating against sun rays but with no change in color so the outer appearance of the historic building was guaranteed. To get the best thermal results, several glass and coating qualities were dynamically simulated.

- As a shading system a new screen was chosen after long discussions and dynamic simulations, since the conservators asked for a maximum light intensity of about 220 lux and the dean of the academy asked for a shading system with view contact to outside, assuming the neighborhood of the academy. Furthermore the outer layer of the window got 2 little Swedish slit ventilation openings, which are closed in winter and opened in summer in order to ventilate the inner case of the window in summer. Measurements of the inner glass temperature in summer have proven about 10°K less temperature of the surface of the window, compared to a window, which was not ventilated. That means with such a sophisticated

shading and ventilating system the external loads are remarkable less despite the huge size of the windows (3,5 x 2,5 m).

- Also the internal loads of the gallery were remarkable reduced due to led light, which was partly chosen for the gallery. Also the general room light towards the ceiling is automatically dimmed upon intensity of the daylight.
- A very important item of the refurbishment is the creation of a vestibule with compartments where the shop and the cashier is situated, in order to control the air exchange from the stair case into the two galleries which is no longer possible as it was before the refurbishment.
- The installed building services are very simple as for the heating. The existing radiators were dismantled and a pure radiation heat as a tempering system was mounted instead – which meant, that only 2 copper tubes were put into the plaster of the outer wall, not as a register but only two lines parallel to the bottom.

Warm outer walls with simple thermostat valves help to have a constant room temperature in winter of about 18-19°C. So there is absolutely no danger of mould growth since there is never a condensation since we do not reach dew point with humidity on the walls, which is necessary for the mould spores to grow, since the walls are all warm. The “comfort” of warm walls for the paintings and artworks is very important, as it is also important for the guardsmen. With the warm walls it is easily possible and comfortable to reduce room temperature below 20°C, which helps to avoid winter dryness without humidifying. As known, 1°K more room temperature not only means about 6-10% more energy consumption, but also about 3% less rel. humidity.

• For cooling and ventilation a cooling unit of 27kW was placed as one single unit on top of the lift shaft on the roof. Whereas inside the house on top of the lift shaft, under the cooling unit, in a very small technical room the ventilation unit of 6.000m³/h, which means an air exchange rate of 0,5-2 was installed. Also a heat recovery system of a rotating wheel was built to reach best possible heat recovery (90%) and also humidity recovery (enthalpy wheel).

• In the part of the modern gallery, the “xhibit”, an own air handling unit (ahu) was installed with a capacity of 2.000m³/h, also with best possible heat recovery systems, but without a cooling system, since this gallery is headed towards north and in summer not really hot, due to the big building masses. An existing chimney was used to have a clandestine air intake and exhaust opening which is not be seen from outside. The Austrian monument authorities asked for these details, in order not to destroy the historic ambiance of the building through building services. The air of the 6.000m³/h ahu is taken through a historic tunnel in the earth, surrounding the building to keep the foundation dry. The size of this tunnel is about 1,70m high and about 1m large and is made of bricks. This air intake through the tunnel cuts extreme temperature and humidity peaks in summer and in winter.

The existing historic vertical chimneys were used for the distribution of the air in the building and far distance jet nozzles bring the air in the gallery, totally without any visible ducts.

The ventilation is activated, when the air quality sensor exceeds a CO₂ concentration of more than 1.200ppm, which very rarely occurs, due to the great air volume of the rooms. Generally the ahu is activated, as a first priority, when the air quality is bad. Further, the ahu will be activated, when outside, there are favorite conditions for the micro climate in the gallery, by comparison of absolute humidity and



Fig. 5 View into the buffer room



Fig. 6 - Copper tubes for radiation heat in the walls (tempering)



Fig. 7 - New convectors under the historic windows

temperature inside and outside. When ventilating, it is very important to start ventilation very, very slow until the necessary rpm, to avoid peaks in the microclimate. Cooling will be activated in summer, when room temperature exceeds 26°C, which was not necessary last summer 2010. Therefore the energy needs for cooling and ventilation were almost zero. Only for heating in winter a specific amount of about 50 kWh/m² was necessary.



Fig. 8 - Simple wall heating in the depot against humidity and for climate stability

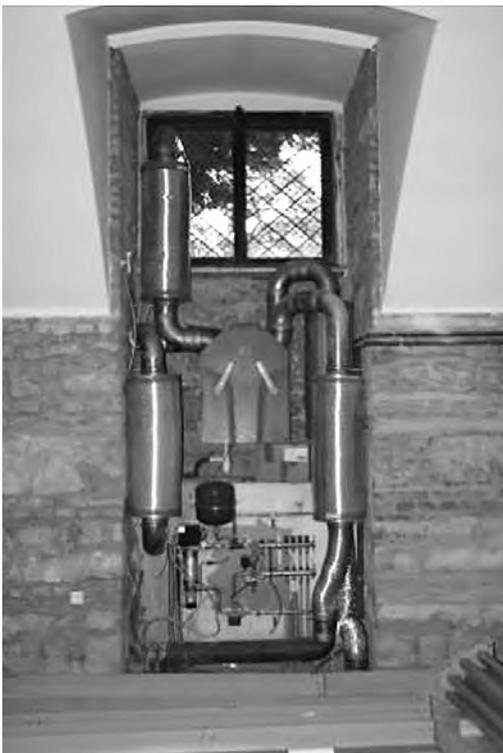


Fig. 9 - Depot ventilation

- The rest of the housing services is standard and known. Good and cold light and best possible security.
- The last item is an interesting point of view: internal air quality and internal pollution. A subject, often forgotten, especially during refurbishments, since lots of paint and chemistry is used during work. Therefore the walls on which the paintings are mounted, were filled with lamb wool and small, silent and very slow working ventilators circulate room air through the keratin fibers, which have purifying effect, above all against formaldehyde.
- Finally the question of centralized or decentralized humidification was really thoroughly discussed. Fortunately the existing decentralized humidifiers were accepted and no centralized system with the ahu was asked for, since these systems mostly create problems and they are always a source of germs and mould. In additions they cost energy because they make the ventilation working all the time.

DEPOT IN THE GROUND FLOOR OF THE ACADEMY

The next example is a very sustainable depot with high climate stability in the ground floor of the same building, which was necessary to host all the precious paintings during refurbishment. It was a very bad and humid room of about 300m² which was improved in a very short period.

With few time and few money with new concrete floor and new storage racks, new simple light and new doors this depot was ready within 3 month, in the beginning even with more humidity due to the new concrete floor.

For heating, drying of the walls and stability of micro climate a wall heating system (tempering) was installed, which helped to reduce the humidity in the room due to the humid walls and the new concrete floor with lots of water.

For the ventilation in the depot a 400m³/h air handling unit, normally used in passive houses with 90% heat recovery was installed.

The control of the ventilation follows the same rules as in the "Art Gallery" 3 stories above.

The results were astonishing: The stability of the micro climate in the depot was unique, only in summer, sometimes the limits of rel. humidity exceeded the 65%. So a dehumidifier was installed.

The investing costs as well as the running costs of the depot are minimal.

THE "CHIESA SAN COLOMBANO", BOLOGNA

Next example for an integrated, sustainable refurbishment was the transformation of the Church St. Colombano in Bologna with roman roots into a museum of harp cords of the world famous collection of Maestro Tagliavini.

The principles for climate stability are the same:

Air tight shell, (heavy) insulation of the roof, shading, buffer room at the entrance, wall heating and controlled ventilation.

In the first floor, the installation of the heating was most difficult, due to the wooden covers of walls, seats and even floor and paintings on the wall. Therefore the radiation heating system was installed invisible beneath the wooden benches.

Despite the ambitious planning, the last corrections of the heating control are not possible, since in some rooms it is far too warm, which means also far too dry, less than 40% rel. humidity, which is unacceptable for wooden instruments. Instead reducing the heating from 24°C to 16°C, humidifiers should be bought, what makes no sense.

Also the control unit for the ahu was not set right, so cooling effect of night cooling in summer could not be achieved. A situation, which often happens, that control units are not installed the right way.

THE STIFT KLOSTERNEUBURG

Stift Klosterneuburg is unique for its rich early medieval art as the "altar of Verdun" (a very rich enamel work) and the painted wooden wings from the same altar.

During the refurbishment in 2008 pure radiating heat as wall heating was installed, where possible with small ventilation.

Since near the altar absolutely no dust was allowed, for more comfort one wall was covered with clean, dry plasterboard with integrated tubes for heating, which served as source of radiation heat. A little ventilator in the wall with filter brings fresh air, when favorable, through comparison of absolute humidity and temperature, inside and outside.

The medieval room got a wall heating and a controlled



Fig. 10 - View into the "Chiesa San Colombano"



Fig. 11 - View into a room in the 1. Floor with heating under the wooden bench



Fig. 12 - View to the "Sala Terrena" of Stift Klosterneuburg



Fig. 13 - View to the "altar of Verdun"

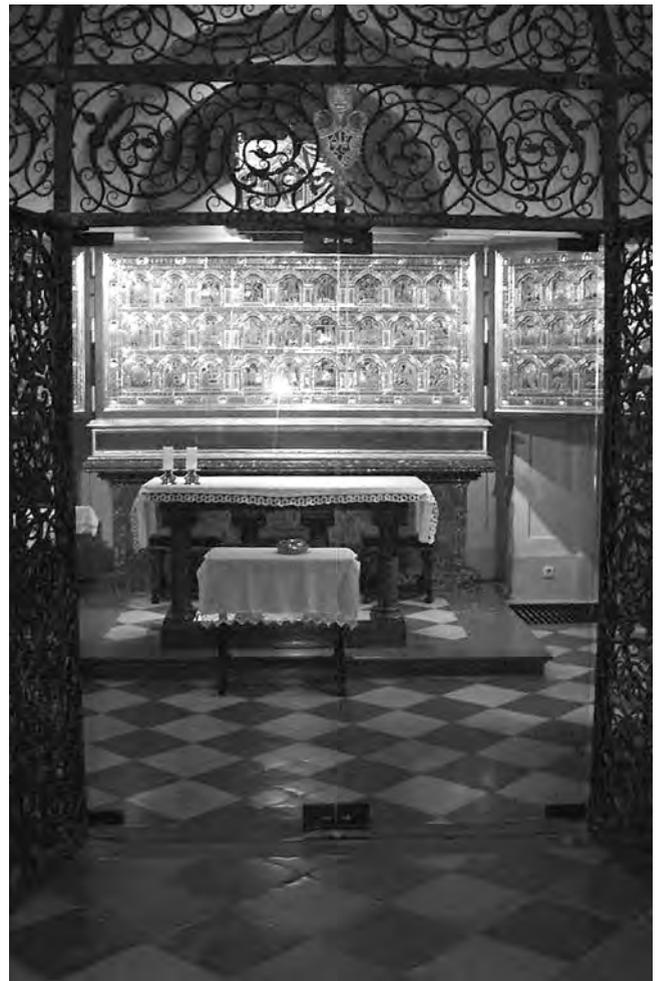


Fig. 14 - View to the wooden wings of the "altar of Verdun"

ventilation from the ground floor.

The underground *book depot* in the Monastery of Einsiedeln, CH

For the numerous and precious books of the monastery of Einsiedeln an underground depot (500m²) is build and the existing historic building will be transformed into a library.

Various dynamic simulations have proved that cooling of such an underground depot with continuous temperature of

the earth about 10-13°C is not necessary.

Different insulation keeps the balance of heat losses and gains in the depot and tempering in the walls, which got a clay plaster for humidity exchange, avoid mould and keep a minimal temperature between 18 and 22°C.

Ventilation of 0,5 to 2 air exchange rate is planned. For heating the depot waste heat from the IT trough a heat pump is used.



Fig. 22 - Wrong convective heating system

THE MUSEUM OF FINE ARTS, VIENNA

The museum of Fine Arts, Vienna, hosts very famous paintings.

Due to insufficient thermal quality of an outer wall towards the court yard in combination with a wrong convective heating system, mould was found at the back side of the paintings and on the drapery of the wall.

As known, mould spores are everywhere. The moment they find humidity like in our case because of condensation, they begin to live and grow.

In the middle of all show rooms seats with integrated convectors and steam humidifiers circulate room air, dust and humidity towards the ceiling as shown in Fig. 22. Near the cold outer walls the chilled room air falls down, leaves humidity and damaging the paintings with mould.

This situation occurs very often.

To solve this critical situation, only heat to the wall brings a solution, which was done by a tempering system on the wall, under the drapery, where the paintings were hung upon.

To be sure not causing any harm to the precious paintings, numerous sensors were installed and the energy consumption was counted, after the convectors in the middle of the room we put off, as well as the humidifiers. Both were no longer needed.

The most fascinating result was the reduction of the specific energy consumption of this room, which was about 140kWh/m² before and 70kWh after the refurbishment.

There was no more need neither for the convectors in the middle of the room nor for the humidifiers, which had deteriorated most this situation.



Fig. 23 - Wall heating on the cold outer wall

Results

We cannot afford any longer costs and bad micro climate in museums due to complex machinery

History has shown, that stability of indoor climate is not a question of big housing services.

Passive methods of climate control are sustainable, more affordable and sure

We have to discuss the reasonable limits of micro climate, especially of rel. humidity

The slow change of rel. humidity is more important than the discussion about figures

Conclusions

Sustainability, energy saving and stability of climate is not a question of machinery or building services. It is the result of integrated, intelligent planning including using the masses of the building.

Best shading, air tightness, buffer rooms, minimal internal and external loads, small ventilation, radiation heat, decentralized humidification are the colons on which sustainable planning is base on.

Bibliography

KAEFERHAUS, J. *Nachhaltige Renovierung*, Museum aktuell, München, 2010, Seite 25-28

KAEFERHAUS, J. *Quo vadis Austria*, Museum aktuell, München, 2005, Seite 62-66

Installazioni sostenibili e casi studio in Austria

Abstract

I limiti spesso troppo rigidi delle raccomandazioni o standard museali (per esempio il British Standard BS 5454:2000) spesso provocano un impiego eccessivo di impianti nei musei e nei depositi con risultati dagli esiti contraddittori. Grandi sistemi di aria condizionata, bollette energetiche dispendiose e risultati di misurazione con picchi di breve durata mettono in pericolo le opere.

Le conseguenze possono essere che nel futuro non potremo più permetterci di avere musei o depositi, soprattutto considerando che l'energia è sempre più costosa, senza parlare della situazione del tutto irrisolta che potrebbe accadere in quei musei completamente climatizzati quando si verificasse una mancanza di energia, ad esempio quando viene meno la fornitura del gas.

Tuttavia, ci sono molti musei, con dotazione impiantistica

minima o nulla, che conservano opere molto delicate come “Stift Klosterneuburg” con il suo “altare di Verdun” dell’anno 1180. Nessun sistema di controllo del clima è mai stato installato, ma l’altare non presenta alcun danno.

Keywords

Risparmio energetico, microclima, sostenibilità negli edifici storici, comfort, stabilità del clima, umidità, riscaldamento radiante, tempering

Introduzione

L’attuale discussione sulla sostenibilità è più che una moda. Si tratta di una vera necessità - soprattutto negli edifici storici. Questo significa che è “molto semplice” per costruire una casa passiva sul “prato verde”, ma ci vuole molto cervello per trasformare un antico edificio in un edificio sostenibile a risparmio energetico. Questo è il problema con i nostri musei e depositi, spesso ospitati in edifici storici, i quali vanno rinnovati con un insieme di operazioni, inclusi gli impianti.

Discussione sugli standard e sui valori per il microclima

La discussione sul microclima “giusto o sbagliato” ed i suoi limiti è infinita. Valgano da sommario gli articoli citati in bibliografia. Fortunatamente voci critiche, come Tim Padfield e il “Fraunhofer Institute” di Holzkirchen in Germania, hanno più volte sostenuto la maggior importanza di lente variazioni del microclima seguendo i cambiamenti stagionali esterni, attenuati mediante grandi masse murarie, piuttosto che gli stretti limiti di un microclima caratterizzato da brusche variazioni.

La “classica” richiesta di UR al $50 \pm 5\%$ e temperatura interna $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{K}$ non è mai stata dimostrata né è frutto di ricerche approfondite, ma è un dato fantasma, che ogni scienziato copia dal precedente.

Tali limiti – dipendenti dal tipo di opera - sono troppo stretti e inducono spesso la conseguenza di una eccessiva dotazione impiantistica con umidificatore centralizzato e complesse unità di controllo, molto costose come acquisto, funzionamento e manutenzione. Spesso questi sistemi di condizionamento e unità di controllo sono anche complicati e di difficile gestione. Spesso sono una causa di errori e determinano sbalzi che danneggiano le opere. Il valore più importante per il microclima non è la temperatura ma è sempre l’umidità relativa che dovrebbe oscillare molto lentamente dal 40% al 60%, a seconda del tipo di opera.

Come raggiungere la migliore stabilità del clima

- Progettazione integrata
- Uso intelligente delle grandi masse murarie per ottenere stabilità termica
- Migliorare la qualità termica dell’edificio, ove possibile
- Assicurare la tenuta all’aria e creare ambienti cuscinetto Utilizzare i migliori sistemi di schermatura intelligente per minimizzare i carichi esterni
- Ridurre i carichi interni (luce, macchinari) al massimo a $15\text{W}/\text{m}^2$
- Riscaldare esclusivamente per irraggiamento con pareti calde per evitare le muffe; il riscaldamento convettivo trasporta la polvere

- Semplice ventilazione controllata con numero minimo di ricambi d’aria pari a 0,5, ove possibile
- Umidificazione, ove possibile, locale
- Tecnologie semplici per gli impianti ed i sistemi di controllo

Esempi

LA GALLERIA D’ARTE ALL’ACCADEMIA DI BELLE ARTI DI VIENNA

La Galleria d’Arte presso l’Accademia di Belle Arti, di Vienna, è un edificio del 1877 di Theophil Hansen che funziona principalmente come una università d’arte.

La galleria esistente è stata rinnovata alla fine degli anni Ottanta ed ha una dimensione di circa $800 + 400\text{ m}^2$ con quadri molto celebri come “Das jüngste Gericht” di Hieronymus Bosch e altri come Lukas Cranach il giovane e il vecchio.

Oltre a quella esistente, una nuova galleria per l’arte contemporanea, “xhibit” è stata creata e integrata nella stessa parte di edificio con una nuova entrata, shop e la biglietteria.

L’immagine seguente mostra la situazione prima della ristrutturazione con vecchi radiatori e sistemi di schermatura e finestre isolanti di scarsa qualità termica.

In generale i valori del clima interno erano piuttosto stabili, in inverno troppo secchi e in estate talvolta troppo caldi. Per la mancanza di un locale di ingresso delimitato con funzione di zona cuscinetto, il clima interno spesso risentiva delle cattive condizioni climatiche del corpo scala. Per questo motivo, un nuovo ambiente cuscinetto è stato progettato con funzione di shop e biglietteria. È stata anche prevista la ventilazione attraverso un sistema di raffrescamento con possibilità di deumidificazione.

Sono state adottate le seguenti misure di progettazione integrata (il miglioramento termico o isolamento non è stato necessario grazie al fatto, che la galleria d’arte si trova nella parte centrale dell’edificio, con ambienti riscaldati al di sotto e al di sopra):

- La tenuta all’aria dei locali e soprattutto delle finestre sono stati oggetto di intervento, così come il miglioramento della qualità termica delle finestre, le quali sono serramenti storici in metallo o finestre doppie, non passibili di alcun tipo di cambiamento. Un miglioramento delle finestre era possibile solo sostituendo il vetro e sigillando i giunti del serramento interno. La finestra interna ha un vetro isolante con un valore di U pari a $1.1\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ con un rivestimento contro le perdite di calore posto sulla faccia interna. Il vetro esterno è un unica lastra anch’essa dotata di un rivestimento contro i raggi solari, ma senza alterazioni del colore per garantire l’aspetto esteriore dell’edificio storico. Per ottenere i migliori risultati termici, diverse qualità di vetro e rivestimento sono state simulate dinamicamente.
- Come sistema di schermatura è stato scelto un nuovo schermo dopo lunghe discussioni e simulazioni dinamiche, in quanto i conservatori richiedevano un’intensità luminosa massima di circa 220 lux e il decano dell’Accademia chiedeva un sistema di schermatura che permettesse la dell’esterno, compresi i dintorni dell’Accademia. Inoltre lo strato esterno della finestra ha due piccole aperture di ventilazione a fessura svedese, che sono chiuse in inverno e aperte in estate, al fine di aerare la parte interna del serramento durante l’estate. Le misurazioni di temperatura sul vetro interno in estate hanno dimostrato una temperatura superficiale inferiore di circa 10°K rispetto ad una finestra non ventilata. Questo significa che con un così sofisticato sistema di schermatura e ventilazione, i carichi esterni sono ridotti considerevolmente, nonostante le enormi dimensioni delle finestre ($3,5 \times 2,5\text{ m}$).

- Anche i carichi interni della galleria sono stati notevolmente ridotti grazie all'illuminazione a led parzialmente adottata per la galleria. Anche l'illuminazione generale dal soffitto è automaticamente regolata in base all'intensità della luce naturale.
- Un elemento molto importante della ristrutturazione è la creazione di un vestibolo con compartimenti in cui sono situati il negozio e la cassa, al fine di controllare lo scambio di aria dalla scalinata verso le due gallerie, non più possibile come prima della ristrutturazione.
- Gli impianti installati sono molto semplici, ad esempio il riscaldamento. I radiatori esistenti sono stati smontati e un riscaldamento a puro irraggiamento come il sistema Tempering è stato installato al loro posto. Questo significa, che solo 2 tubi di rame sono stati inseriti nell'intonaco del muro esterno, senza altro dispositivo che due file parallele alla base della parete. I muri esterni mantenuti tiepidi con semplici valvole termostatiche aiutano ad avere una temperatura ambiente costante nel periodo invernale di circa 18-19° C. Per questo non c'è assolutamente alcun pericolo di muffe in quanto non si dà mai condensazione, poiché le pareti non raggiungono mai il punto di rugiada, necessario perché le spore crescano. Il "comfort" dovuto alle pareti calde è molto importante per i dipinti e le opere così come per i custodi. Con i muri tiepidi è facilmente possibile e confortevole ridurre la temperatura ambiente sotto i 20° C, cosa che aiuta a evitare l'aria troppo secca in inverno, senza umidificazione. Come noto, ogni 1° K in più di temperatura ambiente comporta non solo un incremento del consumo di energia di circa 6-10%, ma anche una diminuzione dell'UR paria circa il 3%.
- Per il raffrescamento e la ventilazione un unità singola di raffrescamento da 27kW è stata posizionata sulle coperture del vano corsa degli ascensori. All'interno del locale in cima al vano ascensori invece, in un vano tecnico molto piccolo sotto l'unità di raffrescamento, è stata installata un unità di ventilazione da 6.000m³/h, il che significa un numero di ricambio d'aria di 0,5-2. Per ottenere il massimo recupero di calore (90%) è stato installato un recuperatore di calore rotante ed anche una ruota entalpica per il recupero dell'umidità.
- Nella parte della galleria di arte moderna, la "xhibit", è stata installata un unità di trattamento aria (UTA) dedicata con una capacità di 2.000m³/h, anch'essa dotata dei migliori sistemi di recupero del calore possibili. In questo caso però non vi è alcun sistema di raffrescamento, dal momento che la galleria è orientata verso nord ed in estate non è molto calda, grazie alle grandi masse murarie. Una condotto esistente è stato utilizzato per avere delle prese di immissione ed estrazione dell'aria non visibili dall'esterno. Le autorità ai monumenti austriache hanno richiesto questi dettagli, per non distruggere l'atmosfera storica dell'edificio attraverso gli impianti. L'aria per l'UTA da 6.000m³/h viene prelevata attraverso un tunnel interrato storico, che circonda l'edificio per mantenere le fondazioni asciutte. Le dimensioni di questo tunnel, costruito in mattoni, sono di circa 1,70 m di altezza e circa 1m di larghezza. Questa immissione d'aria attraverso il tunnel consente di tagliare i valori estremi di temperatura e i picchi di umidità in estate e in inverno.

I condotti verticali esistenti sono stati utilizzati per la distribuzione dell'aria nell'edificio e ugelli a getto a grande distanza portano l'aria nella galleria, completamente senza condotti a vista.

La ventilazione si attiva quando il sensore della qualità dell'aria rileva una concentrazione di CO₂ eccedente i 1.200ppm, cosa che si verifica molto raramente grazie al grande volume

d'aria dei locali. Generalmente l'UTA si attiva, in via prioritaria, quando la qualità dell'aria è scadente. Inoltre, l'UTA si attiverà, quando fuori ci siano condizioni favorevoli per il microclima nella galleria, attraverso il confronto tra le condizioni interne ed esterne di umidità assoluta e temperatura. In caso di ventilazione, è molto importante che essa cominci in modo molto lento fino al raggiungimento del numero di giri necessario, per evitare sbalzi nel microclima. Il raffrescamento si attiverà nel periodo estivo, nel caso che la temperatura ambiente superi i 26 ° C, cosa che non è stata necessaria nella scorsa estate del 2010. Pertanto il fabbisogno energetico per il raffrescamento e la ventilazione è stato quasi nullo. Solo per il riscaldamento in inverno, un totale specifico di circa 50 kWh/m² è stato necessario.

- Il resto delle dotazioni impiantistiche è di serie e conosciuto. Una buona illuminazione a luce fredda e i migliori sistemi di sicurezza possibili

- C'è poi un ultimo interessante tema: la qualità dell'aria e l'inquinamento all'interno degli ambienti. Un argomento spesso dimenticato, specialmente durante le ristrutturazioni, in quanto molte vernici e prodotti chimici vengono utilizzati durante i lavori. Le pareti su cui sono montati i dipinti sono state quindi riempite di lana e dei piccoli e silenziosi ventilatori a funzionamento molto lento fanno circolare l'aria dei locali attraverso le fibre di cheratina le quali hanno effetto purificante, soprattutto contro la formaldeide.

- Infine la questione dell'umidificazione centralizzata o localizzata è stata discussa in modo veramente approfondito. Sono stati fortunatamente accettati gli umidificatori esistenti localizzati e non è stato richiesto un sistema centralizzato con l'UTA, dato che questo tipo di sistemi per lo più creano problemi e originano germi e muffe. In aggiunta richiedono energia perché fanno funzionare in modo continuo la ventilazione.

IL DEPOSITO NEL PIANO TERRA DELL'ACCADEMIA

L'esempio successivo è un deposito molto sostenibile con un'elevata stabilità climatica posto al piano terra dello stesso edificio, che si era reso necessario per ospitare tutti i preziosi dipinti durante lavori di ristrutturazione. Si trattava di un locale molto critico e umido di circa 300m² che è stato oggetto di un intervento di miglioramento in un periodo di tempo molto breve.

Con poco tempo e pochi soldi questo deposito è stato pronto in tre mesi dotato di un nuovo pavimento di cemento, scaffalature per l'archiviazione, una nuova illuminazione semplice e nuove porte. All'inizio anche si è verificato anche un eccessivo livello di umidità a causa della nuova pavimentazione in calcestruzzo.

Per il riscaldamento, la deumidificazione delle pareti e la stabilità del microclima, è stato installato un sistema di riscaldamento a parete (Tempering) che ha contribuito a ridurre l'umidità nella stanza causata dalle pareti umide e dalla nuova pavimentazione in cemento impregnata di acqua.

Per ventilare il deposito è stata installata una unità di trattamento aria da 400m³/h con il 90% di recupero del calore, normalmente utilizzata nelle case passive.

Il controllo della ventilazione segue le stesse regole della Galleria d'Arte tre piani sopra.

I risultati sono stati sorprendenti: la stabilità del microclima nel deposito è stata unica, solo in estate, a volte, i limiti di UR hanno superato il 65%. Per questo motivo è stato installato un deumidificatore.

I costi di investimento così come i costi di gestione del deposito sono minimi.

LA CHIESA DI SAN COLOMBANO, BOLOGNA

Il successivo esempio di intervento di ristrutturazione integrato e sostenibile è la trasformazione della chiesa di San Colombano a Bologna, di origine romana, in un museo di strumenti musicali antichi provenienti dalla collezione di fama mondiale del Maestro Tagliavini.

I principi per la stabilità del clima sono i medesimi: involucri a tenuta d'aria, isolamento (inerziale) del tetto, sistemi di schermatura, locale cuscinetto posto all'ingresso, sistema di riscaldamento a parete e ventilazione controllata.

Al primo piano l'installazione del riscaldamento è stata più difficoltosa per il rivestimento in legno delle pareti, dei sedili e anche del pavimento e per i dipinti sulle pareti. Per questo motivo il sistema di riscaldamento radiante è stato installato in modo invisibile sotto le panche in legno.

Nonostante l'ambizioso progetto, non sono possibili ulteriori correzioni al sistema di controllo del riscaldamento, perché in alcuni ambienti fa troppo caldo, il che significa anche troppo secco, meno del 40% di UR. Un valore inaccettabile per gli strumenti musicali in legno. Invece di ridurre il riscaldamento da 24°C a 16°C, bisognerebbe comprare degli umidificatori, il che non avrebbe senso.

Anche l'unità di controllo della UTA non è stata regolata bene, perciò in estate non si riesce a ottenere un effetto raffrescante durante la notte. Una situazione, come spesso accade, in cui le unità di controllo non sono correttamente installate.

LO STIFT KLOSTERNEUBURG

Stift Klosterneuburg è un caso unico grazie alla ricchezza della sua arte altomedievale, come l'altare di Verdun (un'opera in smalto molto ricca) e le relative pale d'altare in legno dipinte.

Durante la ristrutturazione nel 2008 è stato installato un riscaldamento a puro irraggiamento come il riscaldamento a parete, ove possibile con una leggera ventilazione.

Poiché vicino all'altare non era assolutamente consentito fare polvere, per migliorare il confort un muro è stato rivestito a secco con un pannello in cartongesso e tubi di riscaldamento integrati, ottenendo un sistema che funziona come fonte di calore radiante. Un piccolo ventilatore a parete dotato di filtro immette aria fresca quando questo si rivela utile confrontando l'umidità assoluta e la temperatura all'interno e all'esterno.

La sala medievale ha un riscaldamento a parete e una ventilazione controllata dal piano terra.

IL DEPOSITO PER LIBRI SOTTERRANEO DEL MONASTERO DI EINSIEDELN, SVIZZERA.

Per i molti e preziosi libri del monastero di Einsiedeln è stato costruito un deposito sotterraneo (500m²) mentre l'edificio storico esistente sarà trasformato in una biblioteca.

Varie simulazioni dinamiche hanno dimostrato che il raffrescamento di tale deposito sotterraneo, con una temperatura continua del terreno di circa 10-13°C, non è necessario.

Un isolamento differenziato mantiene l'equilibrio tra dispersioni e apporti termici nel deposito e il sistema tempering delle pareti, che sono rivestite di intonaco di argilla per lo scambio di umidità, evita le muffe e mantiene una temperatura minima compresa tra i 18 e i 22°C.

È prevista una ventilazione con un numero di ricambi d'aria compreso tra 0,5 e i 2. Per il riscaldamento del deposito si utilizza il calore disperso dall'apparato IT attraverso una pompa di calore.

Il Museo di Belle Arti, Vienna

Il Museo di Belle Arti di Vienna, ospita dipinti molto famosi.

L'insufficiente qualità termica di un muro esterno verso il cortile e un errato sistema di riscaldamento convettivo, hanno determinato il proliferare della muffa sul retro dei dipinti e sulla tappezzeria.

Come noto, le spore di muffa sono ovunque. Nel momento in cui trovino umidità, come nel nostro caso, a causa della condensa, cominciano a vivere e crescere.

Al centro di tutte le sale espositive, dei sedili con convettori integrati e umidificatori a vapore fanno circolare l'aria, la polvere e l'umidità del locale verso il soffitto, come mostrato in fig. 8. Vicino alle pareti esterne fredde, l'aria si raffredda e scende verso il basso, cede umidità e danneggia i dipinti attraverso la crescita della muffa.

Questa circostanza critica si verifica molto spesso. Per risolverla, solo il riscaldamento a parete è risolutivo, cosa che è stata fatta attraverso un sistema tempering installato sulla sotto la tappezzeria in tessuto a cui erano appesi i dipinti.

Per essere sicuri di non causare alcun danno ai preziosi dipinti, sono stati installati numerosi sensori ed è stato misurato il consumo di energia, una volta spenti i convettori al centro della stanza ed anche gli umidificatori. Entrambi non erano più necessari.

Il risultato più interessante è stato la riduzione del consumo di energia specifico di questa stanza, calato da circa 140kWh/m² prima della ristrutturazione e 70kWh/m² dopo.

Non c'era più bisogno né dei convettori al centro della stanza, né degli umidificatori, che avevano decisamente peggiorato la situazione.

Risultati

Nei musei non possiamo più permetterci i costi e il cattivo microclima dovuti ad impianti complessi.

La storia ha dimostrato che la stabilità del clima interno non dipende da grandi sistemi impiantistici.

I metodi di controllo del clima passivi sono sostenibili, più accessibili e sicuri.

Dobbiamo discutere su quali siano i limiti ragionevoli del microclima, in particolare della UR.

La possibilità di controllare lenti cambiamenti della UR ha maggiore importanza rispetto alla discussione sui valori assoluti.

Conclusioni

Sostenibilità, risparmio energetico e stabilità del clima non dipendono dai macchinari o dagli impianti. Sono il risultato di una progettazione integrata intelligente che sfrutti anche l'inerzia termica delle masse murarie.

Migliori sistemi di schermatura, tenuta all'aria, ambienti cuscinetto, carichi interni ed esterni minimi, ventilazione ridotta, riscaldamento radiante e umidificazione decentrata sono i pilastri su cui è basata la progettazione sostenibile.

Bibliografia

- KAEFERHAUS, J. *Nachhaltige Renovierung*, Museum aktuell, München, 2010, Seite 25-28
 KAEFERHAUS, J. *Quo vadis Austria*, Museum aktuell, München, 2005, Seite 62-66

The Bavarian National Museum and its new branch at Trausnitz Castle

The transfer of established standards of preventive conservation to a museum in a historic building

Ute Hack

Dipl. Rest., Head of conservation department, Bavarian National Museum, ute.hack@bnm.mwn.de

Abstract

Until late 2004, the Bavarian National Museum in Munich had ten branch museums spread throughout the whole of Bavaria. Autumn of that year saw the opening of the eleventh, the 'Cabinet of Art and Curiosities' at Castle Trausnitz in Landshut. Prior to the installation of the new permanent exhibition, the rooms that were to house the museum had to be completely refurbished and converted. In view of the future use as a museum, the refurbishment of the outer shell of the building, the interior works and the exhibition architecture were all subject to exacting conservational demands.

The aim was to translate the standards of preventive conservation already established in the museum into a concept compatible with a heritage site. One central issue was the creation of a suitable room climate without adversely affecting the historic substance of the property. In relation to this, the treatment of wall and floor surfaces as well as windows and light protection played an important role alongside the choice of heating system. The exhibition architecture required the development of display case technology that was both compatible with the objects and optimised the environmental conditions for the exhibits. Furthermore all decisions relating to refurbishment and future maintenance also had to take into account cost considerations and sustainability.

The experiences gleaned throughout this undertaking have shown that even in an historic building it is possible to successfully translate and implement museum-level standards of preventive conservation. The knowledge gained can thus be implemented in the ongoing refurbishment currently being carried out on the west wing of the Bavarian National Museum in Munich. As completion is not due until the year 2011, it is only possible to provide a limited insight into the planning and works currently being undertaken as part of this development.

Key-words

Standards, preventive, conservation, refurbishment, wall tempering

Renovation at Trausnitz Castle

Autumn 2004 saw the opening of the eleventh branch museum of the Bavarian National Museum, the "Cabinet of Art and Curiosities" at Trausnitz Castle in Landshut. Prior to the installation of the new permanent exhibition, the listed rooms within the castle complex that were to house the museum had to be completely renovated and converted (Fig.1). In view of the future use as a museum, the renovation of the outer shell of the building, the interior works and the exhibition architecture were all subject to exacting conservative demands [1]. The aim was to transfer the standards of preventive conservation already established in the museum into a concept that was suitable for an architectural monument. A central issue was the creation of a stable indoor climate without adversely affecting the historic substance of the property. In this context important factors included not only the selection of the heating system but also the treatment of wall and floor surfaces as well as windows and light protection.

Outer shell

On-site examination and surveys of walls and ceilings were carried out initially. For the renovation of the moisture-penetrated exterior walls the building physicist recommended an interior brick-duplication of the wall. All the walls and ceilings were covered with a mineral plaster and coated with mineral colours, hygroscopic materials that are helpful for stabilizing the indoor climate.

The historic plank floor could be conserved, however the installation of a substructure was necessary in order to reduce vibration. The boards were numbered consecutively, lifted and then re-installed upon the new substructure after conservation.

Windows and light protection

The historic windows were renovated and new casement-type double windows with UV-glazing were installed inside (Fig.2). These kind of windows have a long tradition in Germany, but are not in use any more. They have excellent properties in terms of the physics of the building: heatbridges and the creation of condensate can be minimized, double-glazing and therefore good thermal insulation helps to stabilize the indoor



Fig. 1 - Before renovation, room on second upper floor

climate and to reduce heating costs. In relation to the heritage aspect the windows have the great advantage that the outer window can be restored without changes to the glazing and small iron-work being necessary. As for security, the new inner window can be equipped with all required burglary-resistant measures. [2]

Another advantage is the possibility of installing light protection between the two windows to reduce light intensity and harmful thermal fluctuations. At Trausnitz Castle two screens made from externally-reflective synthetic fabric of different density and opacity were installed, operated automatically by a sensor depending on solar altitude. Thus they should provide optimal light protection whilst at the same time - depending on the altitude of the sun - affording the view of the town and the bailey. Unfortunately in practice this system created some seemingly unsolvable technical problems, for which reason nowadays one screen is always kept closed to guarantee a minimum level of protection.

Climate control

Initially the specialist technical consultants wanted to install a conventional heating and air conditioning system, but in view of heritage aspects and preventive conservation issues it was possible to convince them of the suitability of a structurally integrated wall tempering system. Besides consideration of conservation aspects like the avoidance of convection - and thus the swirling of pollutant dust -, the avoidance of condensation problems on the cold exterior walls and less damage to the historic substance of the building there were also economic reasons for this choice. The maintenance of a structurally



Fig. 2 - Casement type double window made of wood

integrated wall tempering system is lower priced than a conventional heating system and there is less need for thermal heating. Physiologically the indoor climate is also much more comfortable for staff and visitors because of the tempered walls. Regrettably the consultants had no previous experience with this system nor in the renovation of heritage buildings. As a result numerous planning errors occurred that also caused damage to the historic substance. Fortunately, following the initial teething problems, the tempering system has been working very satisfactorily for several years now.

The air humidification functions with large capacity air humidifiers; one machine per room proved to be sufficient. For the use as museum exhibition rooms, artificial ventilation was also necessary. Therefore a light construction wall was installed on each floor between the two rooms, hiding the technical support. The artificial ventilation works with a 0,5 to 1 rate of air change, the filtered supply air is injected through a ventilation grid in the lower part, the exit air is absorbed in the upper section.

The measurement of the climate data is carried out using data loggers. The commonly used thermohygrographs require a lot of servicing, thus the use of loggers seemed the better option. The measured data is sent to Munich via modem and can be recalled at any time (Fig. 3).

West wing renovation of the Bavarian National Museum

The experience gleaned throughout this undertaking at Trausnitz Castle has shown that it is possible to translate and implement museum-level standards of preventive conservation even in a historic building. The knowledge gained can thus be implemented in the renovation currently being carried out on the 3.500 m² west wing of the Bavarian National Museum in Munich, build by architect Gabriel von Seidl in historicism style and opened in 1900. A huge part of this wing was destroyed in Second World War and rebuilt in the 1950s. The completion of this section will be due until the end of 2011.

Like at Trausnitz Castle the aim was to get stable long term conditions without affecting the historic substance, for example by the installation of extensive air conditioning systems, combined with the desire for minimized investment and running costs. Thus right in the beginning of the planning the borderlines of room conditions were extended to temperatures from 18 to 26°C and r.h. from 45 to 60%. The idea was to



Fig. 3 - After renovation and installing of objects, same room on second upper floor, opposite viewing direction (see Fig. 1)

enable the interior climate to a slowly following of the outer climate (seasonal gliding) to avoid unstable curves with short cuts which are the greatest enemies of the artefacts to be preserved.

For the reduction of the climate control machinery an implementation of a structurally integrated wall tempering system was planned for this part of the museum building, but in contrast to Trausnitz very experienced consultants were engaged [4]. Now the copper pipes are housed within the exterior walls adjacent to the floors, windows and edges of the rooms (Fig. 4) and will help to avoid condensation.

In order to protect the historic substance of the building and the artefacts, a quite reduced air condition and ventilation system was installed. The niches where the heating radiators have been mounted now are cased and used for the air supply, the exit air is absorbed by a shadow gap in the upper section of the walls. The climate control unit has a high efficient heat recovery of 80% and a humidity recovery by recirculating air operation. The air exchange rate could be reduced to 1,5/hour, thus less quantity of air has to be conditioned and

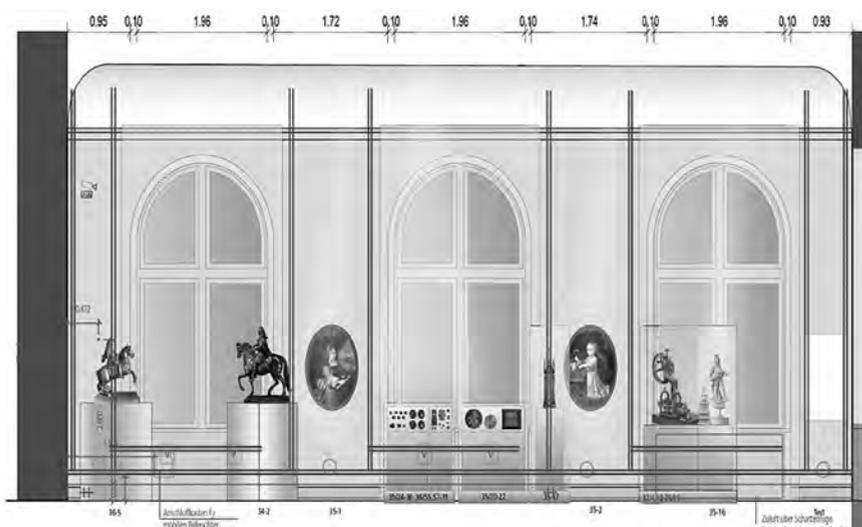


Fig. 4 - Position of pipes within the exterior walls

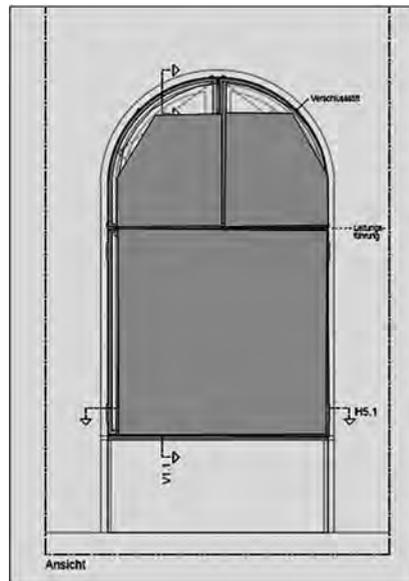


Fig. 6 - Shading system between the windows

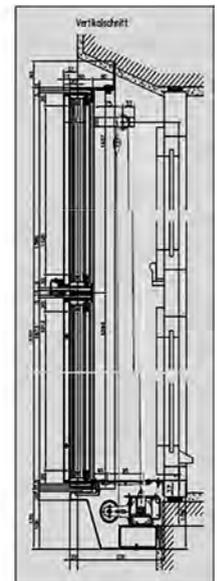


Fig. 5 - Casement type double window made from metal with fixed screen

transported. In case of extreme climate conditions, for example in rough winters, humidifiers can be attached locally for temporary support. The measurement of the indoor climate will also work using sensors, but they are much smaller than the ones used at Trausnitz Castle and wall-integrated with a diameter of 2,5 cm.

Double windows are planned as well, but for esthetical reasons the new inner windows are made from metal with double- and UV-glazing (Fig. 5), the wooden exterior windows have been restored. Due to the fact that the mounting of an outside shading system was not allowed by heritage reasons the light protection will be fitted between the new and the old window. As a result of the experiences gained at Trausnitz these externally-reflective screens, made of synthetic fabric that reduce UV- and IR-transmission, will not be movable but fixed. For the south side of the building and for the exhibition halls where highly light sensitive artefacts that require 50 lux will be presented a dense screen with a light transmission of 4,5 % was chosen [5], for the other halls a less dense one in order to meet the wish of the curators for an outside view. In addition there will be adjustable darkening screens (Fig.6). These will close automatically after visiting hours and open in the morning to reduce the exposure time of the artefacts through total darkening of the rooms [6]. Especially in summer the duration of exposure thus will be highly reduced.

The calculation of the engineers showed that the required climatic conditions can only be reached with a minimized thermal input and there was no chance to achieve the demands with the so far used halogen spot lights. At the begin-

ning of the planning in 2008 there existed no real alternative solution, but the belief in the development of LED-spotlights came true. Now they are a very good choice for the lighting of museums.

Notes

- [1] Thanks to Dr. Sigrig Sangl, Konstanze Schwadorf-Becker, both Bavarian National Museum Munich, and Dr. Peter Hohenstatt, Mailand for their kind cooperation
- [2] Thanks to Stefan Satzger, Versicherungskammer of Bavaria, Munich, for notes and discussion
- [3] Thanks to Marcus Herdin, supervisor for preventive conservation, Bavarian National Museum, for assistance and support
- [4] Ingenieurgesellschaft Hofer & Hölzl GmbH, andreas.hofer@ighuh.de
- [5] Verosol, light protection screen 849/936 (dark grey), VIS-transmission 4,5%
- [6] Verosol, darkening screen 982/000 (light-grey), VIS-transmission 0%, solar-reflection 65 %

Bibliography

- KOTTERER M., GROSSESCHMIDT H., FREDERICK P. BOODY, KIPPES W. (editor), *Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung – Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering*, Regensburg, Wien 2004
- KOTTERER M., GROSSESCHMIDT H., *Klima in Museen und historischen Gebäuden, Vom konservatorisch richtigen Heizen und Lüften*, in: VDR Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Heft 1, 2008, S. 87
- HACK U., HERDIN M., *Präventive Konservierung am Bayerischen Nationalmuseum München*, in: Alexandra Jeberien, Matthias Knaut (editor), *Preventive Conservation, Beiträge des workshops Preventive conservation am 1. März 2007 an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, München 2007*

Il Museo Nazionale Bavarese e la sua nuova ala nel Castello di Trausnitz

Il trasferimento in un edificio storico di standard prestabiliti per la conservazione preventiva

Abstract

Fino al tardo 2004 il Museo Nazionale Bavarese di Monaco aveva 10 sedi di museo sparse per tutta la Baviera. L'autunno di quell'anno ha visto l'apertura dell'undicesima, il "Gabinetto d'Arti e Curiosità" nel Castello di Trausnitz a Landshut. Prima dell'installazione della nuova esibizione permanente, le stanze che avrebbero ospitato il museo hanno avuto bisogno di essere completamente rinnovate e adattate. In vista della futura funzione museale, il rinnovamento dell'involucro esterno, i lavori interni e l'allestimento architettonico sono stati tutti sottoposti a esigenti requisiti conservativi.

L'obiettivo era quello di trasferire gli standard di conservazione preventiva già stabiliti nel museo in un concept compatibile con un sito tutelato. Uno dei temi centrali era la creazione di un clima adatto nei locali senza avere ripercussioni negative sul patrimonio storico della proprietà. Per questo il trattamento delle superfici dei muri e delle pavimentazioni, così come le finestre e la schermatura della luce, hanno giocato un ruolo importante nella scelta del sistema di riscaldamento. L'allestimento architettonico ha richiesto lo sviluppo di una tecnologia per le vetrine espositive che fosse compatibile con gli oggetti ed allo stesso tempo ottimizzasse le condizioni ambientali per le opere esposte. Inoltre tutte le decisioni relative al rinnovamento e alla futura manutenzione hanno dovuto considerare costi e sostenibilità.

Le esperienze ricavate da questa impresa hanno dimostrato che anche in un edificio storico è possibile trasferire con successo e implementare standard di conservazione preventiva di livello museale. La conoscenza acquisita potrà così essere implementata nel rinnovamento attualmente in corso nell'ala ovest del Museo Nazionale Bavarese a Monaco. Poiché il completamento non è previsto fino al 2011, è possibile solamente fornire una visione limitata del progetto e dei lavori eseguiti fino a questo momento come parte di questo processo di sviluppo.

Key-words

Standards, conservazione preventiva, riqualificazione, wall tempering

Il Rinnovamento del Castello di Trausnitz

L'autunno del 2004 ha visto l'apertura dell'undicesima sede museale del Museo Nazionale Bavarese, il "Gabinetto d'Arti e Curiosità" del Castello di Trausnitz a Landshut. Prima dell'installazione della nuova esibizione permanente, le stanze tutelate all'interno del complesso che avrebbero ospitato il museo hanno avuto bisogno di essere completamente rinnovate e convertite (Fig.1). In vista della futura destinazione museale, il rinnovamento dell'involucro esterno, i lavori interni e l'allestimento architettonico sono stati tutti sottoposti a esigenti requisiti conservativi [1]. L'obiettivo era quello di trasferire gli standard di conservazione preventiva già stabiliti nel museo in un concept compatibile con un monumento architettonico. Uno dei temi centrali era la creazione di un clima interno stabile senza avere ripercussioni negative sul patrimonio storico della

proprietà. In questo contesto importanti fattori erano non solo la scelta del sistema di riscaldamento ma anche il trattamento delle superfici dei muri e del pavimento così come le finestre e la schermatura della luce.

Involucro esterno

Indagini in situ e rilievi dei muri e dei soffitti sono stati eseguiti in fase iniziale. Per il rinnovamento dei muri esterni imbibiti dall'umidità, il fisico tecnico (building physicist) ha raccomandato una foderatura del muro con mattoni sul lato interno. Tutti i muri e i soffitti sono stati rivestiti con un intonaco minerale e coperti con colori minerali, materiali igroscopici utili per stabilizzare il clima interno. Si sarebbe potuto conservare il pavimento storico in tavole di legno, ma era necessaria l'installazione di una sottostruttura per ridurre le vibrazioni. Le tavole sono state numerate progressivamente, sollevate e quindi reinstallate sopra la nuova sottostruttura dopo un intervento conservativo.

Finestre e schermatura della luce

Le finestre storiche sono state restaurate e nuove finestre doppie a battente con lastre anti-UV sono state installate sul lato interno (Fig.2). Questo tipo di finestre ha una lunga tradizione in Germania, ma non vengono più usate. Hanno eccellenti proprietà dal punto di vista fisico-tecnico: ponti termici e creazione di condensa possono essere ridotti, la doppia lastra, e di conseguenza il buon isolamento termico, aiutano a stabilizzare il clima interno ed a ridurre i carichi termici. Per quanto riguarda l'aspetto della tutela, questa tipologia ha il grande vantaggio che le finestre esterne possono essere restaurate senza cambiare le lastre e con un piccolo lavoro alle ferramenta. Allo stesso modo per la sicurezza la nuova finestra interna può essere dotata di ogni misura antifurto necessaria. [2]

Un altro vantaggio è la possibilità di installare la schermatura dalla luce tra le due finestre per ridurre l'intensità luminosa e le fluttuazioni termiche dannose. Al Castello di Trausnitz sono stati installati due schermi realizzati con un tessuto sintetico riflettente verso l'esterno di diversa densità ed opacità e regolati automaticamente da un sensore seguendo l'altezza del sole. In questo modo dovrebbero garantire una schermatura ottimale della luce ma allo stesso tempo – a seconda dell'altezza del sole – consentire la vista della città e delle mura. Sfortunatamente nella pratica questo sistema ha creato alcuni problemi tecnici apparentemente irrisolvibili, motivo per cui attualmente uno schermo è sempre tenuto chiuso per garantire un livello minimo di protezione.

Climatizzazione

Inizialmente i consulenti tecnici specialisti volevano installare un riscaldamento convenzionale ed un sistema di condizionamento dell'aria, ma considerando le questioni della tutela e le istanze della conservazione preventiva è stato possibile convincerli dell'opportunità di un sistema wall tempering integrato nella struttura mura-

ria. Accanto a considerazioni di carattere conservativo come l'eliminazione di moti convettivi – e per questo la circolazione di polvere e inquinanti – dei problemi di condensazione sui muri esterni freddi ed una diminuzione del danno alla struttura storica dell'edificio, questa scelta è stata motivata anche da ragioni economiche. La manutenzione di un sistema wall tempering strutturalmente integrato è meno costosa rispetto a un sistema di riscaldamento convenzionale e c'è bisogno di un minore apporto termico. Fisiologicamente il clima interno è anche molto più confortevole per personale e visitatori grazie ai muri temperati. Sfortunatamente i consulenti non avevano precedenti esperienze con questo sistema né con il rinnovamento di edifici tutelati. Di conseguenza ci sono stati numerosi errori di progetto che hanno anche causato danni alla struttura storica. Fortunatamente, dopo alcune difficoltà iniziali, l'impianto ha continuato a funzionare in modo molto soddisfacente per diversi anni fino ad oggi.

L'umidificazione dell'aria funziona con umidificatori d'aria ad alta capacità; una macchina per stanza si è dimostrata sufficiente. Per l'uso come ambiente espositivo museale, è stata necessaria anche la ventilazione artificiale. Di conseguenza è stata costruita una muratura leggera ad ogni piano tra le due stanze per nascondere la strumentazione tecnica. La ventilazione artificiale lavora ad un numero di ricambi d'aria compreso tra 0.5 e 1, l'aria in entrata è filtrata ed immessa attraverso una griglia di ventilazione nella parte bassa, l'aria in uscita è aspirata nella parte superiore. La misura dei dati climatici è stata effettuata usando data loggers. I termoigrografi comunemente usati richiedono molta manutenzione, per cui l'uso dei data loggers è sembrata la scelta migliore. I dati rilevati vengono mandati a Monaco via modem e possono essere consultati in ogni momento (fig.3).

Rinnovamento dell'ala Ovest del Museo Nazionale Bavarese

Le esperienze ricavate da questa impresa al Castello di Trausnitz hanno dimostrato che anche in un edificio storico è possibile trasferire e implementare standard di conservazione preventiva di livello museale. La conoscenza acquisita potrà così essere impiegata nel rinnovamento attualmente in corso sui 3500 m² nell'ala ovest del Museo Nazionale Bavarese a Monaco, costruito dall'architetto Gabriel von Seidl in stile storicista e aperto nel 1900. Una parte estesa di questa ala fu distrutta durante la seconda guerra mondiale e ricostruita negli anni '50. Il completamento di questa sezione è previsto per la fine del 2011.

Come al Castello di Trausnitz l'obiettivo era di ottenere condizioni stabili a lungo termine senza danneggiare la struttura storica, ad esempio tramite l'installazione di sistemi di aria condizionata diffusa, in combinazione con il desiderio di minimizzare i costi iniziali e di gestione. Proprio per questo all'inizio della progettazione i limiti delle condizioni ambientali sono stati estesi a temperature comprese tra 18 e 26°C ed a valori di umidità relativa compresi tra il 45 ed il 60%. L'idea era di consentire al clima interno di seguire lentamente quello esterno (scivolamento stagionale) per evitare andamenti instabili con brusche escursioni che sono i più grandi nemici per la conservazione delle opere.

Per ridurre i macchinari della climatizzazione è stato deciso l'impiego di un sistema di wall tempering strutturalmente integrato in questa parte del museo ma a differenza di Trausnitz, sono stati coinvolti consulenti molto esperti [4]. Ora i tubi in rame sono ospitati all'interno dei muri d'ambito in prossimità dei pavimenti, delle finestre e dei confini delle stanze (fig. 4) e aiuteranno a evitare la condensa. Per proteggere la struttura storica dell'edificio e le opere è stato installato un sistema di condizionamento dell'aria e ventila-

zione piuttosto ridotto. Le nicchie dove erano alloggiati i radiatori del riscaldamento sono ora chiuse e usate per l'immissione dell'aria, l'aria di uscita è aspirata in uno scuretto nella parte alta delle pareti. L'unità di controllo del clima è dotata di recupero di calore ad alta efficienza dell'80% e di recupero dell'umidità attraverso il ricircolo dell'aria. Il numero di ricambi d'aria può essere ridotto a 1,5 all'ora, in modo che una minore quantità di aria debba essere condizionata e trasportata. In caso di condizioni climatiche estreme, per esempio in inverni rigidi, gli umidificatori possono essere attivati localmente per un aiuto temporaneo. La misura del clima interno funzionerà anche in questo caso tramite sensori, ma molto più piccoli di quelli usati al Castello di Trausnitz ed integrati nel muro, con un diametro di 2,5 cm.

Sono state progettate doppie finestre anche qui ma per ragioni estetiche quelle interne sono in metallo con vetrate doppie anti UV (fig.5), mentre le finestre esterne in legno sono state restaurate. Poiché non è stato consentito l'installazione di un sistema esterno di schermatura per ragioni di tutela, la protezione della luce sarà eseguita tra la nuova e la vecchia finestra. In conseguenza dell'esperienza di Trausnitz questi schermi riflettenti all'esterno, in tessuto sintetico che riduce la trasmissione UV ed IR, non saranno mobili ma fissi. Per il lato meridionale dell'edificio e per le sale espositive dove saranno in mostra opere altamente sensibili alla luce che richiedono 50 lux è stato scelto uno schermo denso con una trasmissione della luce del 4,5%, per le altre sale uno meno denso per andare incontro ai curatori che chiedevano una vista dell'esterno. In aggiunta ci saranno delle schermature oscuranti regolabili (Fig. 6). Queste si chiuderanno automaticamente dopo l'orario di visita e si apriranno la mattina per ridurre il tempo di esposizione delle opere attraverso il totale oscuramento delle stanze [6]. Specialmente in estate la durata dell'esposizione sarà così altamente ridotta.

Il calcolo degli ingegneri hanno dimostrato che le condizioni climatiche richieste potevano essere raggiunte soltanto con un carico termico minimo e che non c'era alcuna possibilità di soddisfare i requisiti con i diffusissimi punti luce alogeni. All'inizio del progetto nel 2008 non vi era alcuna soluzione alternativa ma la fiducia nello sviluppo dell'illuminazione LED è divenuta realtà. Ora costituiscono infatti una buonissima scelta per l'illuminazione dei musei.

Note

- [1] Grazie al Dr. Sigrid Sangl, Konstanze Schwadorf-Becker, entrambi del Museo Nazionale Bavarese di Monaco, e al Dr. Peter Hohenstatt, Mairland per il loro cortese aiuto
- [2] Grazie a Stefan Satzger, Versicherungskammer della Baviera, Monaco, per le note e la discussione
- [3] Grazie a Marcus Herdin, supervisore per la conservazione preventiva al Museo Nazionale Bavarese, per l'assistenza e il supporto
- [4] Ingenieurgesellschaft Hofer & Hölzl GmbH, andreas.hofer@ighuh.de
- [5] Verosol, schermo protettivo per la luce 849/936 (grigio scuro), trasmissione-VIS 4,5%
- [6] Verosol, schermo oscurante 982/000 (grigio chiaro), trasmissione-VIS 0%, riflessione solare 65 %

Bibliografia

- KOTTERER M., GROSSESCHMIDT H., FREDERICK P. BOODY, KIPPES W. (editor), *Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung – Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering*, Regensburg, Wien 2004
- KOTTERER M., GROSSESCHMIDT H., *Klima in Museen und historischen Gebäuden, Vom konservatorisch richtigen Heizen und Lüften*, in: VDR Beiträge zur Erhaltung von Kunst- und Kulturgut, Heft 1, 2008, S. 87
- HACK U., HERDIN M., *Präventive Konservierung am Bayerischen Nationalmuseum München*, in: Alexandra Jeberien, Matthias Knaut (editor), *Preventive Conservation, Beiträge des workshops Preventive conservation am 1. März 2007 an der Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, München 2007*

Passive cooling systems in the historical buildings of the Valais Canton in Sion

Camille Ançay

Engineer, building services and energy saving responsible for the Valais Canton, camille.ancay@admin.vs.ch

Abstract

The cooling of the air in the upper levels of the historical buildings may be a reason of complex problems. The necessity to preserve the historical features of the building, both for the exterior both for the interior, makes difficult to use traditional systems of air conditioning.

Furthermore, the building envelope is unsuited to a rational energy employment. The cooling of the air obtained by forcing the air throughout underground rooms may sometimes obtain interesting solutions.

Key-words

Passive cooling, underground, historical, *registre en terre*

Administrative organization of the offices for the safeguard of the historical monuments. The situation before 1997

Until 2002 the protection of the historical monuments, the assets administration of the public buildings and the archaeological surveys run to three different offices, administratively and geographically separated. Each tasks was accomplished almost independently.

Services offered

Each office accomplished to different tasks. The Buildings Heritage Office was charged to study new buildings, the maintenance of the existing ones, the monuments and landscape safeguard, concerning to the vernacular architecture. Moreover, it dealt with the restoration of particular buildings, such as bake-houses or mills. The office was responsible for the management of the loan for these interventions.

The Historical Monuments Heritage Office was responsible for the safeguard of the buildings which are considered by the historical building list. It managed the funds applications.

The Archaeological Surveys Office operated in case of new intervention in particularly tricky sites and operated the necessary excavations. In the same way, it managed the publications relative to the discoveries. The safeguard of the archeological finds was a competence of this office.

Main skills

The staff of the Buildings Office are trained upon building construction and conservation. They are specialized in the safeguard of the rural sites. An engineer with an education on technical physics, energy saving and technical plants, and a landscape architect complete the staff and collaborate with the other colleagues. The staff of the Historical Monuments office are architect and art historians which have an analytical education, oriented to the safeguards and monuments conservation.

A full-time archaeologist manages the section dedicated to the archaeological surveys. It assumes the direction of the archaeological campaigns carried out by privates. A draftman and a foreman collaborate to this activity. Their task is to verify all the planning permission applications which have been presented, in order to determine the necessity (or not) of the excavation in each site.

Relationship among the Offices

The contacts and coordination among the Offices were possible just in particular cases, but not in a systematic way. They are occurred cases in which works carried out by one of the Offices were opposite to what ordered by the other Ones.

The situation since 1997

Since 1997 the three Offices have been united in a unique Heritage Office, called Service des bâtiments, monuments et archéologie (SBMA).

The function in charge to each office have been maintained. However there is a big difference with the past: the competences are divided and the analysis made by each Office are directed towards the research of a solution which may integrate both the respect of the bonds given by the ancient buildings, both the material features and technologies related to the actual architecture, to the energy saving, to the historical and archaeological monuments.

Efficacy increase and reduction of the risks due to wrong decisions

The efficacy of the safeguard measures and interventions on

the historical monuments has been improved. The risk of a wrong intervention on a single building has been considerably reduced.

For instance, the refurbishment of a building intended to house offices, is followed by an architect. During some directive meeting, historians, engineers and archaeologists side the architect of which they are now colleagues, thus everybody may control every decisions taken with respect to the competences of each other. Compromise has often been proposed: in most cases the intervention will however carried out respecting the regulations given by the field. Since 1997 the information exchange among specialists has been quick and direct, facilitating and warranting proper solutions. What described is particularly important moreover when it needs to operate some choices: the most adapt heating system, the suitable insulation, the window frames, etc. Every member of the staff of this new big Heritage Office may avail his/herself of the colleagues' skills, specialized in history, art history physics and architecture.

As even the economic resources of the Cantons buildings are administrated by the SBMA, many interventions can be carried out quickly, directly and without necessity of inter-mediations.

In the case of sites – or buildings – with their own endowment, the SBMA operates according to the local needs and establishes the amount of the loan. In this case, the bureaucratic course is longer.

Building De Courten

The cooling passive system installed in this building of the Valais Canton at the beginning of the 90's comes from an observation: when the air temperature in the conference hall exceeded 36°C in summertime, the basement temperature in the same building was less than 18°C. The air in the underground rooms was healthy and did non has any smell. A rough estimate confirmed that the idea of forcing the cold air towards the attic was feasible. Thus, the possibility to place the air ducts from the basements to the roof was searched (fig. 1). Nowadays the plant works 24 hours a day in summertime, and supplies 1500 mc of fresh air every hour. It was thought that in time, as the device has worked, the air in the basement would have been warmed, but this did not happen.

The result was convincing: the room in the attic became available in summertime, because temperature kept under 26°C. The acoustic disturb due to the plant functioning was less than 35 dBA. Later, in occasion of similar installations in other buildings, this value has been further limited.

Building Aymon

The complete lack of calculation and relieves took just to approximate evaluations the dimensioning of a similar plant in another building, the building Aymon in Sion. Thanks to the intervention of the University of Genève, a surveys campaign has permitted to elaborate a model of the building behaviour. A dimensioning rule was quickly decided. Some old ducts, used in the past for the chimney smoke, have been used for the passage of the new ducts. This, in spite of a not balanced ventilation plant and the too small section of the existing ducts determines high loss of pressure, and consequently request of considerable power to the pump.



Fig 1 - In the closet on the right: the rising air duct

Treasure Office Building

A third building has been provided with a similar device, and this has allowed to improve the process. To avoid the warming of the air forced throughout the ducts, the vertical duct was insulated and the pump was placed outside the building. The temperature variation between the air incoming in the basement and the air outgoing in the attic is, this way, very limited. In summertime the air temperature in the attic rooms does not exceed 24,5°C, compared to values which, previously, reached 39°C.

The possibility of regulating the incoming air flow, which users can control themselves, reduce the percentage of unsatisfied users. It is interesting to notice that, even at the peak of the hot season, tenants often choose to employ reduced flows (fig. 2).

In the following Table are the costs for each device:

Building Courten	8'000.-€ without external task	1983	60 m ² cooled 140 W consumed by the fan
Building Aymon	17'000.- € with external task	1990	200 m ² cooled and 900 W consumed by the fan
Treasure Office Building	16'600.- € within a global restoration	1995	140 m ² cooled 550 W consumed by the fan



Fig 2 - On the right, the six-position control panel for the air flow

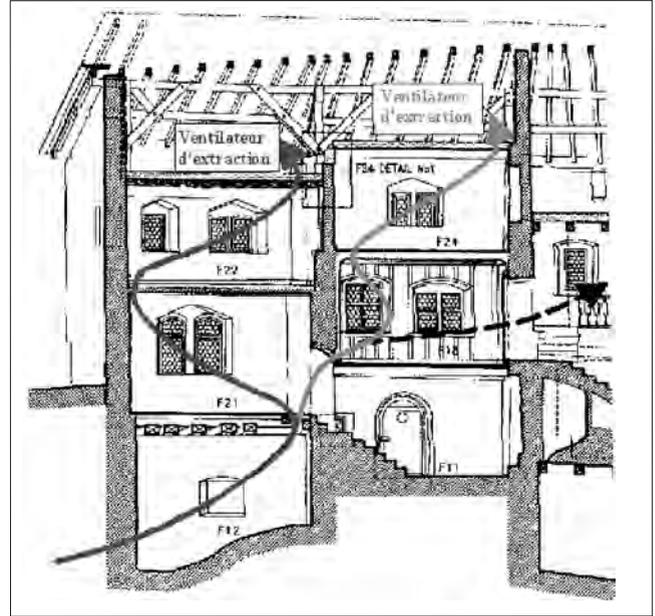


Fig 3 - Air flows throughtout the rooms of the Valère Casle in Sion

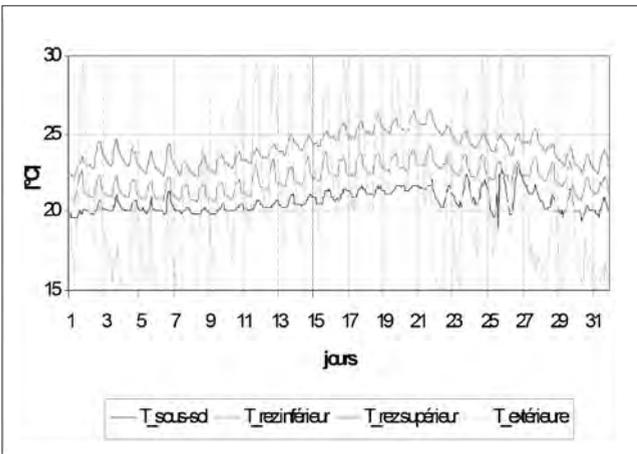


Fig 4 - Valère: Temperature trend in August

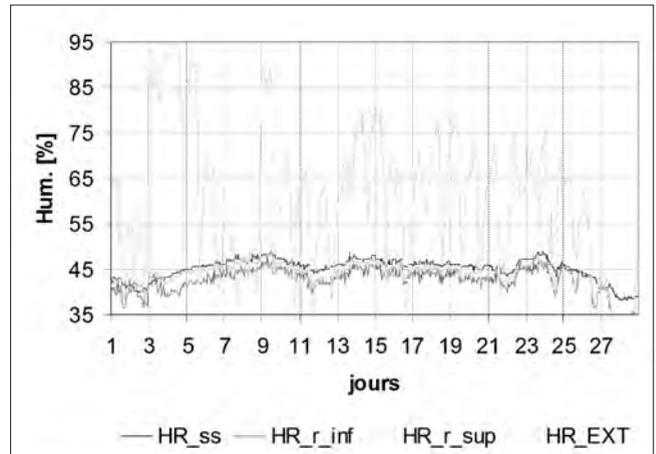


Fig 6 - Valère: Relative humidity in February

Valère Castel in Sion

A similar devise for the cooling and the passive heating has been installed in the Valère Castle. This way, it has been possible to avoid an important intervention, which would have required the installation of an air-conditioning system, with all the related risks of a too low air humidity level. The school of engineering of the Valais Canton had the possibility to adapt the rules established by the University of Genève (university centre for the study of the energy problems CUEPE) to the architectural bonds of the castle (air ducts, temperature, humidity, condensation over the wall surfaces...) (Fig. 3).

Costs

The costs of this plants are 122.000 €for the control computer, and 28.000 €for the visitors.

The results show as internal temperature is limited to acceptable values (Fig. 4). In the case of a conventional air-conditioning system, it is necessary to not underestimate the risk due to the low humidity values, the installed cooling device keeps the water content into the air to acceptable value

in the involved rooms (Fig. 6).

Among the main difficulties there is the management of the thermal and hygrometric load. Nevertheless, it is possible to maintain an acceptable internal climate (temperature between 12°C and 25°C; RH between 40 and 60%), without making invasive installations.

General considerations

Actually, if the heat exchange in the basement is effective, the incoming air temperature corresponds to the temperature of the external air, more or less lowered and reduced by a given coefficient (Fig. 5).

The cost for such a device, including a water plug in the basement, a blow – air pump, vertical ducts and a pipe for the air canalization with its own regulation system, can be evaluated in approx. 100-200 /m² of considered surface. The extreme simplicity allows running expenses of 0,27-0,35 €/m² a year.

Before studying the design process in detail, it is necessary to determine if the underground Radon concentration makes the construction of the device possible. Similarly, the installation of a passive cooling system calls for a rational way of energy consumption.

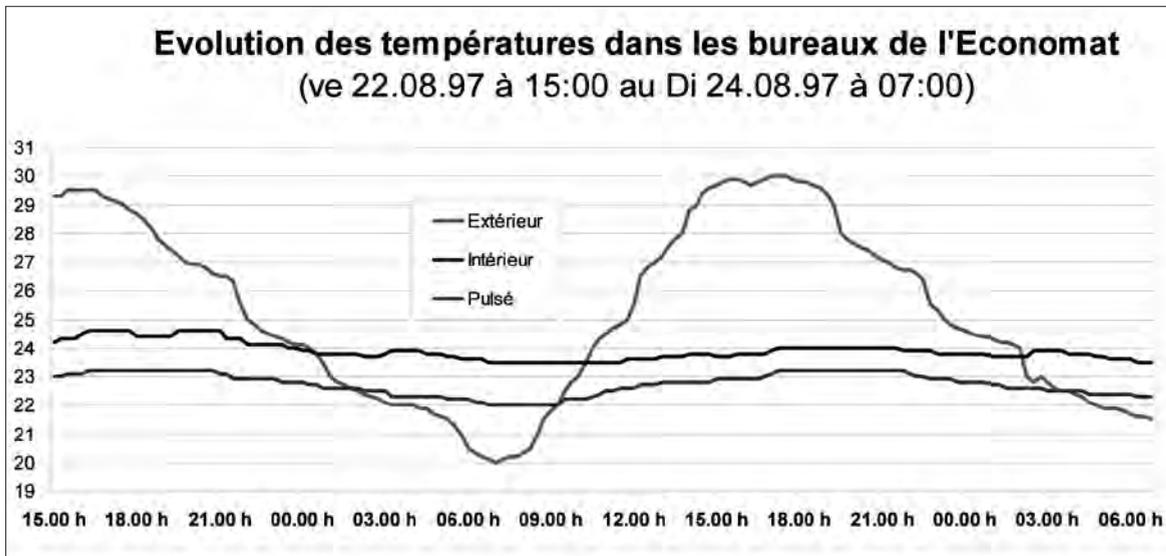


Fig 5 - Outdoor, indoor and forced temperature trend (Treasure Office Building)

The reduction of the thermal loads is necessary

If there are possibilities for the choice of materials and coating, it is necessary to advantage to increase the thermal inertia of the building as much as possible.

We have noticed that is very important to place the air plug as close as possible to the ground level, better near the cold air layer. Moreover, it is necessary to pay attention that the floor would be always in perfect cleaning conditions, assuming the air quality as a prerequisite.

In some cases, when conservative conditions are particularly strict, for instance for the conservation of iron materials the control of the RH values under 30%, it is necessary to employ active systems as dehumidifier.

The employment of the basement of buildings placed in a urban environment as a cold air supply fights with the frequent

increasing of the external temperature which happens in the urban centers. In fact, this kind of systems strongly reduced their effectiveness if placed in a urban environment: this is due to the fact that the air discharged in the warm environment of the city is renewed with other air which comes... itself from the warm environment of the city.

This choice requires a different organization of the work, so the roles of everybody (architects, engineers) must be reassigned. Even their fees must be calculated on the base of the obtained results, rather than on the quantity of the installed material.

Bibliography

- LACHAL B., HOLLMULLER P., WEBER W., *Transformation du château de Valère en musée: effets climatiques de la nouvelle affectation*, Genève CUEPE UNI 1993
- BONVIN M. *Transformation du château de Valère en musée, installations technique, évaluation des besoins*, CH-Sion, HES-SO 1997

Systèmes de refroidissement passif installés dans des bâtiments historiques de l'Etat du Valais à Sion

Abstract

Le refroidissement des étages supérieurs des bâtiments historiques peut poser problème. La nécessité de préserver le caractère historique aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur rend difficile l'emploi de systèmes ordinaires de climatisation. De plus l'enveloppe de ces bâtiments n'est pas adapté à un emploi rationnel de l'énergie. Le refroidissement de l'air neuf par les sous-sols peut être dans certains cas une solution intéressante.

Key-words

Refroidissement passif, cave, bâtiment historique, registre en terre.

Organisation des services de l'administration publique pour la protection des monuments historiques. Situation avant 1997

Jusqu'en 2000, la protection des monuments historiques, la gestion des bâtiments publics et les recherches archéologiques sont des offices séparés administrativement et localement. Ils travaillent de façon quasi indépendante.

Prestations

Chaque office ou service exécute des prestations différentes.

Le service des bâtiments s'occupe des études des nouveaux bâtiments, de l'entretien des bâtiments existants et de la pro-

tection des sites en ce qui concerne l'architecture vernaculaire. Il s'occupe aussi de la restauration de bâtiments particuliers comme les fours à pain ou les moulins. Il traite les demandes de subventions pour ces restaurations.

L'office des monuments historiques s'occupe de la sauvegarde de des bâtiments classés monuments historiques. Il gère les dossiers de demande de subventions.

L'office des recherches archéologiques intervient lors de nouvelles constructions sur des sites sensibles et effectue les fouilles archéologiques nécessaires. Il gère également les publications liées à ses découvertes. La sauvegarde des ruines mises au jour fait partie de ses prestations.

Compétences principales

Les collaborateurs du service des bâtiments sont formés et spécialisés dans la construction et la préservation des bâtiments. Ils ont également une spécialisation dans la protection des sites ruraux. Un ingénieur formé sur la physique du bâtiment, les économies d'énergie et les installations techniques nouvelles et anciennes, un paysagiste complètent ce team et collaborent horizontalement avec les autres collègues.

Les collaborateurs de l'office des monuments historique sont des architectes et des historiens d'art formés pour l'analyse, la sauvegarde et la conservation des monuments.

Un archéologue à plein temps gère la section archéologie. Il dirige les recherches effectuées par des archéologues privés. Dans cet office travaillent aussi un dessinateur et un chef de chantier. Ils ont pour tâche de vérifier toute demande d'autorisation de construire, afin de déterminer si des sondages ou une fouille sont nécessaires.

Contacts

Les contacts et coordinations avec les autres services se font seulement sur des objets particuliers mais non systématiquement. Il arrive ainsi qu'un service exécute des travaux contraires aux recommandations d'un autre service.

Situation après 1997

Dès 1997 ces trois entités sont réunies dans un seul et même service qui s'appelle désormais le Service des bâtiments, monuments et archéologie (SBMA).

Ainsi, ce qui se faisait déjà à l'intérieur de chaque service continue à être exécuté mais avec une grande différence : les compétences sont mises en commun et les réflexions de chacun débouchent sur des solutions intégrant toutes les contraintes liées à l'architecture actuelle ou ancienne, à l'économie d'énergie, aux monuments historiques et à l'archéologie.

Augmentation de l'efficacité et diminution des risques de décisions erronées

L'efficacité de la sauvegarde et de la transformation des monuments est augmentée.

Le risque de voir une mauvaise intervention sur tel ou tel bâtiment est réduit.

Exemple: la transformation d'un bâtiment pour aménager des bureaux est conduite par un architecte. Lors de séance de direction, les historiens, ingénieurs ou archéologues devenus ses collègues veillent à ce que les bonnes décisions soient prises dans leur domaine respectif. Même si des compromis

sont souvent proposés la transformation respectera le plus souvent les intérêts de chaque discipline. Depuis 1997 les contacts entre spécialistes sont rapides et directs, ce qui facilite et assure les bonnes décisions. Ce qui précède revêt toute son importance surtout lorsqu'il faut choisir le bon système de chauffage, la bonne isolation, les bons vitrages etc. Chaque collaborateur de ce nouveau grand service peut compter sur les connaissances de ses collègues spécialisés dans l'histoire, les arts, la physique ou l'architecture.

Etant donné que le budget des bâtiments cantonaux est géré par le SBMA, beaucoup d'interventions liées à la protection du patrimoine bâti peuvent être prises rapidement, directement et sans intermédiaire.

S'il s'agit de sites subventionnés, le SBMA fait exécuté les travaux selon ses exigences et détermine la part subventionnée. Dans ce deuxième cas la procédure administrative est plus longue.

Bâtiment De Courten

Le système de refroidissement passif mis en place à l'Etat du Valais au début des années 90 est né d'un constat: alors que la température de l'air de la salle conférence située dans les combles du bâtiment de Courten à Sion dépassait 36 °C en été, la température des sous-sols de ce même bâtiment ne dépassait pas 18°C. L'air des sous-sols était sain et sans odeur. Un calcul sommaire confirma que l'idée de pulser cet air frais sous le toit était intéressante. Il fut possible de trouver un passage pour l'installation des gaines de bas en haut (fig. 1). L'installation fonctionne 24 heures sur 24 en été et amène tout l'été 1500 m³ d'air frais par heure. On a pensé que le temps finirait par réchauffer l'air de la cave mais il n'en n'est rien.

Le résultat fut convaincant: la salle des combles devint utilisable en été, sa température ne dépassant pas 26°C. Le niveau de bruit n'excédait pas 35 dBA. Par la suite, lors d'installation d'un système semblable dans d'autres bâtiments, ce niveau de bruit fut ramené à des valeurs inférieures.

Bâtiment Aymon

L'absence de calcul et de mesures réduisait à " l'à peu près " le dimensionnement d'un tel système dans un deuxième bâtiment, le bâtiment Aymon à Sion. Grâce à l'intervention de l'Université de Genève, une campagne de mesures permettait la modélisation du comportement du bâtiment. Une règle de dimensionnement rapide fut établie. D'anciens conduits de fumée servirent au passage des conduits d'air de bas en haut. Toutefois, une installation de ventilation non optimisée et une section faible des conduits existants provoquèrent des pertes de pression élevées et donc une puissance plus forte au niveau du ventilateur.

Bâtiment de l'économat

Un troisième bâtiment équipé de ce système permit l'optimisation de l'installation. Pour éviter de réchauffer l'air pulsé, le conduit vertical fut cette fois isolé et le moteur du ventilateur placé à l'extérieur de ce conduit. Le réchauffement de l'air entre sa prise au sol et sa pulsion sous le toit fut ainsi fortement limité. En été, la température de l'air intérieur dans les pièces sous le toit fut ramenée à environ 24,5 °C. Elle était auparavant de 39 °C.

Le fait d'offrir à l'occupant la possibilité de régler le débit de

L'air pulsé, diminue le pourcentage d'insatisfaits. Il est intéressant de constater que même au plus chaud de l'été l'occupant choisit parfois un débit réduit (fig 2).

Les coûts :

Bâtiment de Courten	8'000.-€ sans mandat externe	1983	60 m ² refroidis 140 W pour le ventilateur
Bâtiment Aymon	17'000.- € avec mandat externe	1990	200 m ² et 900 W pour le ventilateur
Economat	16'600.- € dans le cadre d'une rénovation	1995	140 m ² et 550 W pour le ventilateur

Château de Valère à Sion

Un système semblable de refroidissement et de chauffage passif a été installé dans les bâtiments du château de Valère.

Nous avons pu ainsi éviter une importante installation de climatisation et les risques d'assèchement de l'air ambiant qui y sont liés. L'école d'ingénieurs du Valais a pu adapter les règles établies par l'université de Genève (centre universitaire d'études des problèmes liés à l'énergie CUEPE) aux contraintes architecturales sévères liées à ce type de bâtiment historique (passage de l'air température, humidité, condensation sur murs...) (fig. 3).

Les coûts

Les coûts de cette installation sont de 122'000.- € pour la centrale de commande et de 28'000.- € pour les ventilateurs.

Les résultats montrent que la température intérieure est maintenue dans une plage acceptable (fig.4).

Alors qu'avec une climatisation conventionnelle, le risque de déshydratation n'est pas à négliger, ce type de refroidissement maintient à un niveau confortable le taux d'humidité dans les locaux traités (fig. 6).

Une difficulté essentielle rencontrée avec ce type de refroidissement est la gestion des charges internes en chaleur et humidité. Malgré cela il est possible de maintenir un climat intérieur acceptable (12 °C < Tint < 25 °C, 40 % < HRint < 60 %) sans avoir recours à des installations envahissantes.

Considérations générales

En fait, si le stockage de la chaleur est efficace, la température de l'air pulsé dans les bureaux correspond à celle de l'air extérieur plus ou moins lissée et diminuée d'une certaine valeur (fig.5).

Le coût relatif d'une telle installation comprenant une prise d'air au sous-sol, un ventilateur de pulsion, une gaine verticale et un réseau de distribution de l'air avec sa régulation se situe vers les 100.- à 200 €/m² refroidi. La simplicité du système amène un coût d'exploitation de 0.27 à 0.35 €/m² an.

Avant d'étudier un tel système il est nécessaire de vérifier si la concentration de Radon dans les sous-sols autorise la poursuite de l'étude. De même, la mise en place d'un refroidissement passif impose un emploi rationnel de l'énergie.

La réduction des charges internes est impérative.

Si les choix quant aux revêtements et aux matériaux peuvent encore être faits il faut profiter de maximiser l'inertie thermique.

Nous avons constaté qu'il était très important de placer la prise d'air le plus près possible du sol tout à fait au fond du lac d'air froid. D'où la nécessaire vigilance qu'il faut avoir avec la propreté du sol; celle de l'air elle-même étant déjà acquise comme condition initiale.

Dans certains cas où les exigences de conservation sont élevées par exemple le maintien d'une humidité relative inférieure à 30% pour la conservation des métaux ferreux, il est nécessaire d'avoir recours à des systèmes actifs tels que des déshumidificateurs.

L'emploi des sous-sols des bâtiments situés en ville comme masse de stockage de la chaleur lutte contre l'élévation de température de l'air extérieur des centres-villes. En effet, ces systèmes diminuent l'augmentation en boucle de la climatisation en ville basée sur le fait que l'on évacue dans l'air de la ville la chaleur des locaux venant en grande partie de...l'air de la ville.

Ce choix demande une autre organisation de travail où les rôles de chacun (architectes, ingénieurs) doivent être redistribués. Les honoraires doivent aussi être calculés sur la qualité du résultat plutôt que sur la quantité de matériel installé.

Bibliographie

- LACHAL B., HOLLMULLER P., WEBER W., *Transformation du château de Valère en musée: effets climatiques de la nouvelle affectation*, Genève CUEPE UNI 1993
- BONVIN M. *Transformation du château de Valère en musée, installations technique, évaluation des besoins*, CH-Sion, HES-SO 1997

Tempering in Palazzo Viani Dugnani in Pallanza

The project of a climate control system

Daniele Fraternali*, Carlo Manfredi**

* Engineer, AD Servizi Territorio srl, daniele@serviziterritorio.it

** Architect, Politecnico di Milano, Laboratorio di Analisi e Diagnostica del Costruito, carlo.manfredi@polimi.it

Abstract

The control of the indoor climate of the historic buildings may be obtained by means of a close and deep knowledge of the construction history and evolution of each single building.

Palazzo Viani Dugnani is a XVIII century building which has housed the local Museum of Landscape for one hundred years. As the museum should be open during wintertime, it is necessary to supply sufficient comfort for human well being, as well as to preserve the collections and the artworks, avoiding damages caused by sudden changes of the indoor climate. A wall-tempering system – which is not exactly a heating system – was installed against rising damp, condensation, and every damage caused by thermal stress due to the temperature difference between the indoor environment and the wall surface. Furthermore, the monitoring the indoor climate is the best way to control and to run the tempering system, in order to set up a proper building maintenance.

Key-words

Tempering, environmental control, preservation, museum, indoor climate monitoring

The present essay introduces a case study and resumes three subjects. Firstly, we analyze and evaluate the use conditions of a building, Palazzo Viani Dugnani in Pallanza, and their evolution, to understand feasibility and opportunity of reuse the building for new functions. The general knowledge of the building cannot ignore the historical vicissitudes which have determined the present configuration of the building.

Secondly, we take into account the intervention which has been done in order to use this building continuatively, even during wintertime. We explicate the assumptions at the basis of the design of the heating system: to be non-invasive and recognizable, to be suitable for environmental control and for the preservation of artworks.

Finally, we make a proposal for the installation of proper tools for the monitoring of the climate parameters, in order to run the heating system and measuring data useful to understand the functional relationship between the building structure and the heating system.

The building

Our main aim now is to show the close relationship between the different subjects approached, apparently not homogeneous and relating to diverging matters. Actually, these subjects may be considered under a common program. This way only, protection and preservation of artworks can be covered.

“Wide, elegant fabric named Viani Dugnani Palace, situated in via Cavour – ancient via Ruga – is a two-storey building, over the caves, made up of 49 rooms, with kitchen gardens, gardens, and the belonging peasants [...]” [1]. That is the building in an expert’s report, written to sell the house by the inheritors of Giuseppe Castelli, the last owners and inhabitant, notable died at Pallanza in 1875. It is a question of a edifice built up since XVI or XVII century over a pre-existing constructions. The rich catalogue of the building’s substance shows a circumstantial account, not so far from the present-day situation, in order to the plans and general configuration. The building, including grounds and appurtenance, was sold in 1879 to the Municipality, which surround the northern gardens setting the road system, for the opening of via Felice Cavallotti, now via Marconi. On the whole, the edifice seems to be the same depicted.

The most ancient cadastral map found in the Pallanza Town Archive, shows on the number 1044 a great property, covering gardens and vegetables gardens near the house [2].

This depiction can be beard out by the first, precocious Masterplan of the town. It shows the undivided ownership. At least from the XVI century house and gardens were owned by the Viani, a family who still owner until 1845 [3]. The last heir Teresa, had married in 1785 with Giulio Dugnani. They did not have children.

Afterwards, many owners followed each other, and among these was Giuseppe Castelli, who left a legacy to a religious association that installed there in 1875. By way of this heritage, the building started to be used as a public building, until the Municipality bought the edifice, in order to use it for public offices: telegraphic office, post office etc. [4].

The building substance depicted in the expert’s report for the selling to the Municipality have to be evaluated [4]. It is an inventory of a careful substance, evaluating the price of all the objects to sell.

At the ground floor there are the flats in whose lived Mr. Castelli, while a “great staircase of granite” brings the visitor at

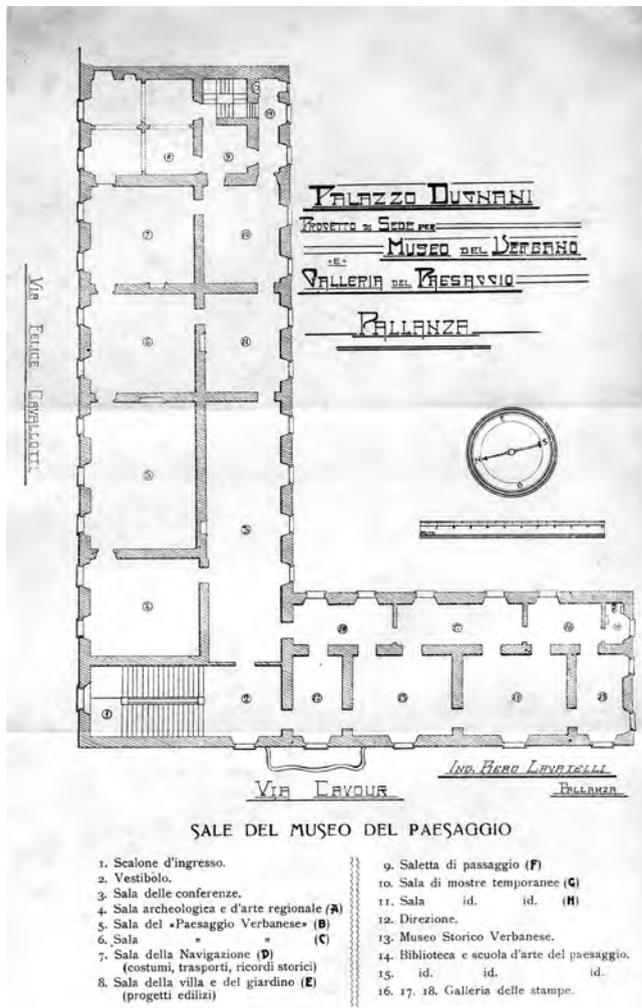


Fig. 1 - Plan of the museum, from the opening invitation postcard (1914)

the main floor: "on the left, there is an elegant flat, composed of ten rooms with terrazzo, and with painted wood ceiling. Three smaller rooms are divided by alcoves, with vaults and terrazzos, corridor and lavatory. Another lavatory is situated near the first bedroom and kitchen, entering in the flat from the staircase." It seems to be the rooms facing north, on the via Marconi.

The rooms of the fabric facing via Ruga have been depicted too [5].

Even if the state of preservation of the building is set out as "shoddy", the adjustments made for the reuse of the edifice were very scanty. The building still was a public office until 1914, when it became the seat of the Museum of Landscape. The institution, established 1909 by Antonio Massara, has been supported by the Minister of Education, Corrado Ricci.

Fifteen rooms of the main floor were chosen to house the collections, rapidly increasing and inaugurated with a landscape painting exhibition.

The private use of this building, a private house till a recent time, and the little works that transformed it into a public building, allow a good comprehension of the construction phases and the individuation of some facilities, e.g. a "service granite staircase with iron rail" joining the private apartment of the house. After the museum foundation, collections rapidly increased. The museum is now taking over some rooms in an adjacent building, which was built in 1912 in the same via Marconi.

The project

Stratigraphic analysis were made on the indoor surface of the walls, before the installation of the new building services. The stratigraphic samples have been made at 80-90 cm height from the floor. They show homogeneous conditions in all the rooms, and suggest the hypothesis of a reworking of the building, probably at the middle of XVIII century.

We tried to make an intervention paying attention to the conservation of the existing building. This means that the architect "attempted to completely prevent the installation of technical devices (heating, plumbing, and electrical) from interfering with the original masonry, this way keeping that, on one hand, not only the artistic and art-historical display value of historical buildings but, also, the original structure and substance of these buildings had to be safeguarded; moreover, on the other hand, the electrical and hydraulic utilities installed in buildings demonstrate the most important cultural representations of our times compared to the past; therefore when using or transforming an old building, we must responsibly make our own intervention clearly visible, for the future users [6]"

The Tempering system has been laid on the existing building. A continuous wainscoting – calk mortar plaster – is leaning on the external walls, housing the copper pipes with hot water. Heat first spreads into the wall, then the warm wall surface irradiate the indoor space.

When possible, water ducts have been placed inside the skylight wells, chimneys and floating floors. In other cases, they have been laid on the wall surface and expressly concealed under architectural design.

At the basis of this wainscot the plaster ends far from the floor. The remaining zone houses some technological devices and it is completed by a larch wood skirting board.

It must be noted as German scientists distinguish between *Heizungs* and *Temperierungsanlage*: the words are not synonymous [7]. In other words, the Tempering is not properly a heating system, reaching the comfort for wellbeing. Not only and not always.

Massive walls are naturally characterized by a remarkable thermal inertia. It is known that this sort of buildings soften the most heavy effects of climate stress. The heating of the shell, by means of copper pipes, enhances the inherent characteristics of walls, through two different ways. Firstly it increases the thermal insulation of the shell, stopping the heat lost. Secondly it prevents damages due to condensation over the internal surface of the external walls. Several effects follow. There are no doubt that the thermal comfort is the result more evident and it can be quickly felt. Homogeneous climate conditions between temperature of the walls and of the indoor air, avoid mechanical stresses – and therefore damages – on artworks and on architectural finishes and devices of building. This is confirmed by some, still few, researches [8].

Furthermore, irradiative heat limits convective air movements, if compared with a convective heating system. This fact reduces the decay phenomena concerning the dust transfer and others mechanisms of decay.

A new concept exceed the dichotomy between the building facilities and the building itself. The building works as an engine. Therefore, technical systems have been designed following some contrivance, in order to heighten the thermal characteristics of the building. In particular, we paid attention to insulate those parts where the heating lost is most probable, because of the little thickness of the walls. Many windows are

in the building. Most of them are laid on very thin walls. The internal surface of these walls has been covered by the copper pipes of the tempering system. This circumstance evidently reduces the thermal efficiency of the tempering system, because of the lost of heat toward the outside, and the limited thermal inertia of these parts of the structure.

The wide extension of the heat-losing surface (made by the windows surface and by the thin-walls parts of the external walls, generally corresponding to the windows), seriously endangers an effective working of the tempering system. Wood wool panels have been used to insulate the surface under the windows, avoiding the heat lost and increasing the wall thermal inertia. The thickness of panels has been chosen each time according to the particular circumstances: windowsill overhang, deepness of splays etc.

To avoid heat lost we managed to make a wide insulation over the painted wood ceiling of the main floor. Each room presents a different ceiling, with different decorations and paintings, each referring to a particular decorator and period. All these ceilings made of wood and hung to the main roof frame. The garret is non heated. Very light wood wool panels can provide a good insulation, and can be employed in multiple layer. This solution can prevent the heat lost, and preserve the wood painted surfaces, as the indoor climate is controlled in RH and temperature.

The monitoring of the indoor climate

It is quite difficult to run a building like the Landscape Museum. It requires a careful evaluation of the management costs and a careful planning of the routine maintenance. Therefore, the tempering system cannot be managed with a conventional control systems, as usual for other kind of heating systems. It requires to design a specific layout for the monitoring of the indoor climate parameters of this single building. The control of these values will be useful to set up help in the managing of the tempering system.

The control of tempering system is based on the monitoring of some conventional parameters (air temperature, RH, AH), and some other parameters as the wall surfaces temperature, walls moisture, dew point. We will use an IR thermometer to monitor the surface temperature. It will enable us to measure the temperature differences among different parts of the building, particularly over the internal surfaces of the external walls.

The Viani Dugnani Palace houses a gallery of plaster casts. Beside the wall surface, even the surface of the gypsum artworks will be monitored, to prevent moisture damages, avoiding the risk of condensation.

The "rules" for the management of the tempering system will follow by a good knowledge and comprehension of the thermo-hygrometric behavior of the building. A particular attention will be paid to the temperature variation of the wall surface and of the artworks surface.

For example, it will be possible to make the tempering working even during the late spring or in summertime, to prevent the condensation risk on the wall surface, because of the relevant moisture content in the warm air. This way, we think possible to control the humidity risk even without expensive dehumidifiers.

The control system will be designed with different characteristic for each single building, by means of a specific software which could correctly help in the regulation of the tempering system. This kind of system requires a very low ther-



Fig. 2 - The court yard



Fig. 3 - The installation of the wall tempering system



Fig. 4 - The work completed with the larch wood skirting board

mal power, because the water temperature keeps under 45°C. Therefore, it is possible to plan a layout with high efficiency thermal devices, such as heat pumps and solar panels, to reduce energy consumption of that kind of buildings under acceptable costs.

Notes

- [1] "Tenore d'inserto. Descrizione e stima dei beni stabili dismessi morendo dal Sig. Castelli Giuseppe di Antonio Maria di Pallanza" del 1875, in *Storie e vicende di Palazzo Viani – Dugnani*. This is the result of a research by Serena Marchesi and Matilde Porzio, coordinated by Elisabetta Giordani. The research is available at the museum. The authors are grateful to the members of the Landscape Museum for their cooperation, in particular to the past director, Mr. Gianni Pizzigoni
- [2] Archivio di Stato di Verbania. The cover of the album with the drawings representing Pallanza, dates 1823
- [3] At that time, the property of the Viani's family were bequeathed to Giovanni Vimercati. ZANETTI F., *Il nuovo giardino di Milano*, Milano 1869, p. 35
- [4] Archivio di Stato di Verbania, *Comune di Pallanza*, busta 204, fasc. *Compravendita di Palazzo Castelli*. In MARCHESI S. e PORZIO M., *Storia e vicende...*, p. 10
- [5] Archivio di Stato di Verbania, *Inventario dei beni dell'eredità Castelli*, fogli 119 – 124
- [6] Upstairs, in front of the staircase there is the entry to another elegant flat, formed by seven rooms: halls, bedrooms, a kitchen with a ceiling partly of painted wood, with terrazzo in all rooms, excluding two, with terracotta-tiled floor." The terrazzo and terracotta-tiled floors got lost, and the evidences of the installations are not evident. Archivio di Stato di Verbania, *Inventario dei beni dell'eredità Castelli*, fogli 119 – 124
- [7] ARNOLD B., *Geleitwort*, in *Klimagestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und Nutzerwünschen*, proceedings of the conference "Konservierungswissenschaftliches Kolloquium", Berlin, 2007, p. 4

- [8] KILLIAN R., *Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim. Auswirkungen auf das Raumklima*, München, 2004; D. DEL CURTO D. et al., *Diagnostica, intervento e monitoraggio: il caso dell'Oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso (Milano)*, in *Conservation préventive. Pratique dans le domaine du patrimoine bâti* Proceedings of the international conference, 3-4 septembre 2009, Fribourg 2009

Bibliography

- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
- BERNARDI A., *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova, 2004
- KOTTERER M., GROßESCHMIDT H., BOODY F.P., KIPPES W. (edited by), *Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung / Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering*, Schloss Schonbrunn Kultur, Wien, 2004
- KILLIAN R., *Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim. Auswirkungen auf das Raumklima*, München, 2004
- CAMUFFO D. (a cura di), *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali, Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Milano, 2006
- KÜNZEL H., *Bauphysik und Denkmalpflege*, IRB-Verlag, Stuttgart, 2006
- PRATI C., *Il Palazzo Pallavicino a Cremona*, in "Il Giornale dell'Architettura", n. 38, Torino, Allemandi, gennaio 2006, p. 19
- MANFREDI C., *Il sistema Temperierung. Esperienze di climatizzazione degli edifici storici*, in "Il rapporto restauro 2006", supplemento a "Il Giornale dell'Architettura" n. 40, Torino, Allemandi, marzo 2006, p. 12
- KÜNZEL H., KÜNZEL H.M., GROßKINSKY T., *Gelungene Sanierung durch Bauteiltemperierung am Beispiel der Salinenkapelle St Rupert in Bad Reichenhall*, in "WTA Almanach 2007", München, 2007, pp. 349-368
- DEL CURTO D., MANFREDI C., PERTOT G., PRACCHI V., ROSINA E., VALISI L., *Diagnostica, intervento e monitoraggio: il caso dell'Oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso (Milano)*, in "Conservation préventive. Pratique dans le domaine du patrimoine bâti" Atti del convegno 3-4 settembre 2009, Fribourg 2009

La Temperierung in Palazzo Viani Dugnani a Pallanza Il progetto del sistema di controllo del clima

Abstract

Le condizioni ambientali di un edificio storico possono essere controllate anche attraverso la conoscenza approfondita della storia costruttiva e dell'evoluzione dell'organismo edilizio.

Palazzo Viani Dugnani risale nel suo aspetto attuale al XVIII secolo e ospita il Museo del Paesaggio da oltre cento anni. La volontà di rendere visitabile il museo anche nella stagione invernale ha orientato l'esigenza di garantire condizioni di comfort necessarie alla permanenza di persone, così come quella di conservare adeguatamente le collezioni, evitando rischi dovuti alle sollecitazioni climatiche. La scelta è stata quella di installare un sistema Temperierung – che non è un vero e proprio sistema di riscaldamento – per limitare la presenza di umidità nelle murature ed impedire la condensazione superficiale e gli effetti dannosi dovuti alle sollecitazioni termiche riconducibili a disomogeneità di comportamento tra la temperatura dell'aria e quella della superficie delle murature perimetrali. Inoltre, un sistema di controllo del clima potrà utilmente orientare e gestire il funzionamento dell'impianto, in vista di una corretta manutenzione dell'intero edificio.

Key-words

Temperierung, controllo climatico, conservazione, museo, clima, microclima

Il contributo presenta un caso di studio che riassume tre temi. In primis, si tratta di analizzare e valutare le condizioni d'uso di un edificio, palazzo Viani Dugnani a Pallanza, per come si sono evolute nel corso del tempo e per comprendere quale sia la possibilità e l'opportunità di alloggiarvi determinate funzioni. La conoscenza dell'edificio, in senso lato, non può prescindere dalle vicende storiche e costruttive che hanno condotto alla attuale configurazione.

In secondo luogo verrà descritto sommariamente l'intervento condotto, resosi necessario in vista di un uso prolungato dell'edificio, protratto nella stagione invernale. Si esplicheranno i presupposti che hanno presieduto alla definizione delle modalità di intervento, a partire dalla minima invasività, alla riconoscibilità, all'attenzione alle condizioni di esercizio, in funzione della conservazione delle opere esposte.

A conclusione, si descriverà una proposta per la collocazione di adeguati strumenti di controllo delle condizioni microcli-

matiche, necessari tanto al corretto funzionamento dell'impianto quanto alla misura della interazione tra l'impianto stesso e l'edificio.

L'edificio

Scopo della presente relazione è mostrare quanto le tematiche descritte, apparentemente disomogenee ed afferenti a competenze divergenti, vadano invece ricondotte a unità, all'interno di un programma di coordinamento che solo può garantire la tutela e la conservazione dei manufatti.

"Ampio fabbricato signorile denominato il palazzo Viani Dugnani posto nella via Cavour, già della Ruga, elevato a due piani fuori terra, oltre i sotterranei, e composto cumulativamente di numero 49 locali, con orti, giardini, e rustici annessi, [...]" [1]. Così presenta il Palazzo la relazione di perizia redatta in occasione della cessione da parte degli eredi dell'ultimo proprietario privato, Giuseppe Castelli, notevole verbanese morto a Pallanza nel 1875. Si tratta di un edificio che è venuto accrescendosi a partire da preesistenze probabilmente almeno cinquecentesche, e che allo stato attuale degli studi è possibile solo ipotizzare. Il ricco inventario di consistenza del Palazzo ne offre una descrizione dettagliata e non troppo dissimile dall'aspetto odierno, per impianto planimetrico e sviluppo in elevazione. L'edificio, compresi terreni e pertinenze, venne venduto nel 1879 al Comune di Pallanza, il quale ne sacrificò i giardini a Settentrione per aprire alla viabilità pubblica la via Felice Cavallotti – ora via Marconi – mentre nel complesso l'edificio appare attestarsi attualmente sulla medesima consistenza rappresentata.

La più antica tavola catastale dei beni di seconda stazione che è possibile rintracciare nell'archivio di Stato di Verbania ci mostra al numero di mappa 1044 una proprietà indivisa comprendente orti e giardini adiacenti all'edificio [2].

Troviamo conferma di quanto descritto nella tavola del primo, precoce piano regolatore di Pallanza, che ci mostra la proprietà indivisa. Almeno a partire dal secolo XVI, la proprietà è ascrivibile alla famiglia Viani, che ne fu proprietaria fino al 1845 [3]. L'ultima discendente, Teresa, era andata sposa nel 1785 a Giulio Dugnani. La coppia non ebbe figli.

Le successive vicende sono costituite dal susseguirsi di proprietari diversi, tra i quali Giuseppe Castelli, il cui legato testamentario alla Congregazione di Carità, che vi stabilì nel 1875 gli alloggi di degenza, è all'origine dell'uso pubblico dell'edificio, fino all'acquisto da parte del Comune di Pallanza, che intendeva alloggiarvi l'ufficio e l'abitazione del Sottoprefetto, l'ufficio telegrafico, la Pretura e altri uffici municipali [4].

È opportuno valutare la configurazione dell'edificio nella perizia redatta in occasione della cessione al Comune: la Descrizione e stima dei beni stabili dismessi di Giuseppe Castelli [5]. Si tratta di un minuzioso inventario di consistenza, necessario a stabilire il valore di beni che la Municipalità di Pallanza aveva intenzione di acquisire.

Al piano terreno sono gli appartamenti occupati dal defunto Castelli, mentre un "grandioso scalone di granito a tutta alzata" conduce agli appartamenti del piano Nobile: "a sinistra entrando si accede ad un signorile appartamento composto di dieci camere a pavimento di battuto, e con soffitto di legno colorato ad uso antico, e tre camere più piccole divise con alcove pure con pavimento di battuto ed a volto, con corridojo e latrina annessa. Altra latrina e dispensa trovasi al fianco della prima camera e cucina entrando nel detto appartamento dello scalone." Si tratta evidentemente degli ambienti che affacciano a

nord, sull'attuale via Marconi.

Vengono poi descritti anche gli ambienti del corpo di fabbrica che prospetta su via Ruga [6].

Nonostante lo stato di conservazione sia definito "mediocre", le modifiche necessarie ad adattare l'edificio alla funzione pubblica acquisita furono molto limitate. L'edificio conserva la sua funzione fino al 1914, allorché divenne sede del Museo del Paesaggio. L'istituzione, la cui fondazione ad opera di Antonio Massara risale al 1909, fu sostenuta da Corrado Ricci, allora Ministro della Pubblica Istruzione.

I locali individuati come adatti ad ospitare le raccolte che si andavano rapidamente incrementando furono le quindici sale degli appartamenti al piano Nobile, inaugurati da una esposizione di opere di paesaggisti lombardi.

L'uso privato dell'edificio, adibito a residenza sino a tempi piuttosto recenti, e le non massicce alterazioni dovute al pur necessario adeguamento alla funzione pubblica, ne consentono una lettura comunque articolata, che distingue alcuni degli spazi di servizio, tra i quali una "scala di servizio in granito e difesa da parapetto in ferro" che collegava gli ambienti più intimi degli appartamenti privati. Negli anni successivi alla fondazione le collezioni del museo si accrebbero velocemente. L'ufficio postale che occupava il piano terreno dell'edificio venne trasferito altrove e i locali vennero acquisiti alla funzione espositiva.

Il museo occupa attualmente anche alcuni degli spazi dell'edificio delle scuole Guglielmazzi, che fu costruito nel 1912 accanto al Palazzo, a proseguire la cortina edilizia sulla via Marconi.

L'impianto

Una campagna di indagini stratigrafiche è stata preventivamente condotta sulle superfici interne che sarebbero poi state interessate dalla posa dell'impianto. I tasselli stratigrafici sono stati eseguiti ad un'altezza di circa 80-90 cm dal piano di pavimento. I saggi hanno mostrato una situazione sostanzialmente omogenea in tutti gli ambienti indagati, confermando l'ipotesi di un largo rimaneggiamento unitario dell'edificio, che probabilmente risale al secolo XVIII.

Si è cercato di adottare modalità di intervento che fossero attente alla volontà di conservazione dell'esistente. Ciò ha significato che "il progettista ha cercato di evitare in ogni modo che l'installazione dell'impianto interferisse con la muratura dell'edificio esistente, badando in questo modo che fossero salvaguardate non solo le manifestazioni artistiche e storico-artistiche dell'edificio a testimonianza del valore dell'edificio, ma anche la costruzione esistente, la sua consistenza; inoltre, per altro verso, la posa degli impianti negli edifici antichi mostra la più alta espressione culturale del nostro tempo rispetto al passato, perciò chi utilizzi oggi un edificio esistente, o lo modifichi, deve responsabilmente mostrare il proprio intervento, per il futuro."

L'impianto per la Temperierung è stato perciò, per così dire, sovrapposto all'edificio esistente. Una zoccolatura continua – intonaco in malta di calce – si appoggia alle murature perimetrali, fungendo da supporto per tubi in rame circolanti acqua calda. Il calore si diffonde all'inizio nella struttura muraria, che lo cede lentamente per irraggiamento.

Lo spazio per le linee distributive è stato ricavato, ove possibile, all'interno di cavedi, canne fumarie e pavimenti galleggianti esistenti, altrimenti anch'esso sovrapposto alle strutture e dissimulato da apposite soluzioni architettoniche.

Alla base di tale zoccolatura l'intonaco si interrompe più in alto rispetto al pavimento, ricavando in tal modo un vano, anch'esso continuo lungo tutte le murature perimetrali, che permette la posa di vari cablaggi: linee elettriche e di segnale. Il vano è chiuso da un battiscopa in legno di larice.

È da notare che la letteratura tedesca distingue tra Heizungs e Temperierungsanlage: i termini non sono sinonimi [7]. In altre parole, nel caso della Temperierung non si tratta di un vero e proprio intervento finalizzato al raggiungimento di condizioni ottimali per la permanenza di persone: o per lo meno non solo e non sempre.

Le murature massive sono per loro natura dotate di notevole inerzia termica. Come è noto, la virtù che tale caratteristica conferisce agli edifici è quella di smorzare gli effetti più violenti dovuti alle sollecitazioni climatiche esterne. Il riscaldamento puntuale dell'involucro esalta le caratteristiche intrinseche della muratura, agendo su due fronti distinti. In primo luogo la coibenza dell'involucro rispetto alle dispersioni termiche verso l'esterno viene accresciuta; in secondo luogo vengono limitati gli effetti dovuti al più o meno brusco raffreddamento delle superfici delle pareti esterne. Ne discendono conseguenze di ordine differente. La stabilizzazione del clima interno per la ricerca del comfort è la condizione intuitivamente ricercata e sensibilmente riconosciuta; altrettanto importante è però assicurare condizioni di equilibrio tanto alle opere conservate quanto all'apparato decorativo e alle finiture dell'edificio. Quest'ultimo risultato può essere raggiunto ponendo in condizioni di omogeneità termica e igrometrica l'involucro dell'edificio. Alcuni, ancora limitati, studi lo confermano [8].

Inoltre, un simile impianto assicura la diffusione del calore per irraggiamento, il che inibisce moti d'aria dovuti alla convezione, limitando i fenomeni di degrado inevitabilmente legati al trasporto di polveri e altri agenti patogeni.

La tradizionale distinzione tra edificio ed impianto è sfumata in una nuova configurazione, nella quale è l'edificio stesso – in tutta la sua complessità – che funziona per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Perciò, al fine di esaltare le caratteristiche dell'edificio, sono stati adottati alcuni accorgimenti in sede progettuale. In particolare, la coibentazione delle situazioni che presentavano una criticità evidente per quanto riguarda l'insufficiente spessore della massa muraria. L'edificio presenta un grande numero di aperture; tutte poggiano su una muratura di spessore molto ridotto, sovrapposto alla quale si appoggia l'impianto Temperierung. La resa dell'impianto ne può risultare ridotta per due ordini di motivi: maggiore dispersione verso l'esterno (ciò è in ogni caso indipendente dal tipo di impianto) e minore inerzia termica offerta dalla muratura a supporto.

Sommando le molte aperture, la superficie debole, per così dire, raggiunge tali dimensioni che rischia di compromettere significativamente la buona riuscita dell'intervento. Un pannello in fibra di legno sovrapposto alla muratura limita le dispersioni e accresce la massa inerte. Lo spessore del pannello è stato scelto di volta in volta, a seconda delle possibilità: sporto del davanzale, profondità degli sguanci, etc.

La necessità di impedire dispersioni termiche importanti è all'origine anche della volontà di coibentare l'estradosso dei soffitti del piano nobile. Pur presentando varietà di decori e finiture, che ne ascrivono l'origine a esecutori ed epoche diverse,

essi sono infatti interamente in legno, e sono ancorati all'orditura primaria delle coperture. Il sottotetto non è riscaldato, e viene usato come deposito. La coibentazione in fibra di legno leggera, che può in questo caso essere posata anche in spessori importanti, contribuisce a limitare la dispersione e a mantenere le superfici lignee decorate all'interno di un ambiente controllato nei valori di temperatura e umidità relativa.

Interventi futuri proposti per il monitoraggio del clima interno

La gestione di edifici di questo grado di complessità si confronta inoltre con la sempre più pressante necessità di valutare attentamente i costi di gestione e di programmare attentamente le prevedibili operazioni di manutenzione. Perciò, e per quanto richiamato sinora, la gestione della Temperierung non può essere demandata ai normali meccanismi che regolano il funzionamento di un impianto di riscaldamento tradizionale. Si tratta di elaborare uno schema per la rilevazione dei parametri ambientali ad hoc, che tenga in conto indicatori di valutazione adeguati, i quali possano intervenire sulla gestione del sistema.

Il controllo del sistema Temperierung si basa sulla integrazione dei parametri tipici del microclima, come la temperatura e l'umidità dell'aria (relativa ed assoluta) con altri parametri quali: la temperatura superficiale e, dove possibile, il contenuto di umidità delle pareti perimetrali. Per il monitoraggio della temperatura superficiale si prevede l'impiego diffuso del termometro a raggi infrarossi, che permetterà di rilevare le variazioni di tale parametro sui punti più significativi e rappresentativi delle murature perimetrali.

Nel caso specifico della gipsoteca alloggiata nel Palazzo Viani Dugnani, anche le opere d'arte potranno essere oggetto di monitoraggio sistematico, al fine di individuare e prevenire le possibili condizioni di condensazione superficiale del vapore acqueo.

Dalla comprensione del comportamento igrometrico degli ambienti, ma soprattutto dalla lettura dell'andamento della temperatura superficiale in punti critici delle strutture, ma anche di alcune opere esposte, opportunamente monitorate, nasceranno le "regole" per la gestione del sistema Temperierung che non esclude a priori, ad esempio la possibilità di immettere energia nei circuiti riscaldanti anche nelle stagioni intermedie o addirittura in estate, quando il contenuto di vapore nell'atmosfera è più elevato e le temperature superficiali possono in alcune situazioni trovarsi a ridosso della temperatura di rugiada. Si ritiene possibile in questo modo controllare i rischi dovuti all'umidità ambientale, evitando l'impiego di costosi impianti di deumidificazione.

Si tratta di costruire uno schema di gestione, che deve essere diverso caso per caso, e che si avvarrà di un software dedicato, capace di orientare in modo intelligente il funzionamento dell'impianto. Con le ridotte potenze in gioco, grazie anche ad una temperatura dell'acqua circolante che viene mantenuta a livelli inferiori a 45°C, si apre la possibilità di impiego di macchine termiche ad alta efficienza, come le pompe di calore, che possono essere integrate con l'apporto di energia solare, con l'obiettivo di riportare il consumo energetico di simili edifici a livelli compatibili con il loro uso ed il loro funzionamento.

Note

- [1] "Tenore d'inserto. Descrizione e stima dei beni stabili dismessi morendo dal Sig. Castelli Giuseppe di Antonio Maria di Pallanza". Il documento risale al 1875. Si veda la ricerca di Serena Marchesi e Matilde Porzio *Storie e vicende di Palazzo Viani - Dugnani*, coordinata da Elisabetta Giordani. Il materiale di studio è disponibile presso il Museo. E questa l'occasione per ringraziare i soci del Museo del Paesaggio per la collaborazione fornita, in particolare l'allora Direttore Gianni Pizzigoni
- [2] Archivio di Stato di Verbania. La copertina dell'album contenente le tavole relative a Pallanza reca la data 1823
- [3] A quella data i beni della famiglia Viani furono legati a Giovanni Vimercati. ZANETTI F., *Il nuovo giardino di Milano*, Milano 1869, p. 35
- [4] Archivio di Stato di Verbania, *Comune di Pallanza*, busta 204, fasc. *Compravendita di Palazzo Castelli*. In MARCHESI S. e PORZIO M., *Storia e vicende...*, p. 10
- [5] Archivio di Stato di Verbania, *Inventario dei beni dell'eredità Castelli*, fogli 119 - 124
- [6] "Sempre dal ripiano dello scalone per entrata di fronte si entra ad altro signorile appartamento composto di sette locali fra sale, camere da letto, cucina parte a plafone, e parte a solajo di legno colorato ad uso antico, e pavimentato a battuto ad eccezione di due che sono a tavelle." I pavimenti "a battuto" e "a tavelle" sono perduti, e le tracce relative all'ubicazione degli impianti non sono più riconoscibili. Archivio di Stato di Verbania, *Inventario dei beni dell'eredità Castelli*, fogli 119 - 124
- [7] ARNOLD B., *Geleitwort*, in *Klimagestaltung im Spannungsfeld zwischen Kulturgutschutz und Nutzerwünschen*, atti del convegno "Konservierungswissenschaftliches Kolloquium", Berlin, 2007, p. 4
- [8] KILLIAN R., *Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim. Auswirkungen auf das Raumklima*, München, 2004; D. DEL CURTO D. et al., *Diagnostica, intervento e monitoraggio: il caso dell'Oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso (Milano)*, in "Conservation préventive. Pratique dans le domaine du patrimoine bâti" Atti del convegno, 3-4 settembre 2009, Fribourg 2009

Bibliografia

- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
- BERNARDI A., *Conservare opere d'arte. Il microclima negli ambienti museali*, Il Prato, Padova, 2004
- KOTTERER M., GROßESCHMIDT H., BOODY F.P., KIPPES W. (a cura di), *Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung / Climate in Museums and Historical Buildings: Tempering*, Schloss Schönnbrunn Kultur, Wien, 2004
- KILLIAN R., *Die Wandtemperierung in der Renatuskapelle in Lustheim. Auswirkungen auf das Raumklima*, München, 2004
- CAMUFFO D. (a cura di), *Il riscaldamento nelle chiese e la conservazione dei beni culturali, Guida all'analisi dei pro e dei contro dei vari sistemi di riscaldamento*, Milano, Electa 2006
- KÜNZEL H., *Bauphysik und Denkmalpflege*, IRB-Verlag, Stuttgart, 2006
- PRATI C., *Il Palazzo Pallavicino a Cremona*, in "Il Giornale dell'Architettura", n. 38, Torino, Allemandi, gennaio 2006, p. 19
- MANFREDI C., *Il sistema Temperierung. Esperienze di climatizzazione degli edifici storici*, in "Il rapporto restauro 2006", supplemento a "Il Giornale dell'Architettura" n. 40, Torino, Allemandi, marzo 2006, p. 12
- KÜNZEL H., KÜNZEL H.M., GROßKINSKY T., *Gelungene Sanierung durch Bauteiltemperierung am Beispiel der Salinenkapelle St Rupert in Bad Reichenhall*, in "WTA Almanach 2007", München, 2007, pp. 349-368
- DEL CURTO D., MANFREDI C., PERTOT G., PRACCHI V., ROSINA E., VALISI L., *Diagnostica, intervento e monitoraggio: il caso dell'Oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso (Milano)*, in "Conservation préventive. Pratique dans le domaine du patrimoine bâti" Atti del convegno 3-4 settembre 2009, Fribourg 2009.

Indoor investigations and computational fluid-dynamics analysis applied for designing the HVAC system of the Wedding Chamber (Camera Picta) in Mantova

Cesare Bonacina*, Piercarlo Romagnoni**, Antonio G. Stevan***

* Department of Technical Physics - Università degli Studi di Padova

** University IUAV of Venezia

***Syncro Advanced Engineering Consulting-Padova

Abstract

The necessity to verify the real indoor microclimate conditions of the Camera Picta requested to perform investigations by means of permanent measurements of the air temperature, air humidity and surfaces temperatures.

The measurements have been implemented by IR thermography investigations and by local air velocity measurements. The collected data allows to carefully characterize the microclimate of the Camera Picta and a fully knowledge of the profiles of the internal walls. The remarkable possibilities of modern computer simulations codes coupled with the mathematical modelisation allow to obtain useful information for conservation scopes: the method applicability is proposed here for the design of a HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning) plant in a case in which peculiar attention to intrusive apparatus shall be paid. It is important to point out that the mathematical simulation must be put right with measurements and a considerable number of simulations is necessary for a more detailed analysis.

The possible variations of the microclimate due to the presence of the visitors have been evaluated; at the same time it is possible to evaluate which indoor thermal conditions can strongly influence the conservation of painted walls.

The system solution has been adopted because of previous studies addressed to the knowledge of the thermal behaviour of the indoor climate of the Camera Picta in different operating conditions. The adopted solution allows to check and to control the indoor air quality levels (minimizing the exchanges with the adjacent rooms and with the outdoor), to make stable the indoor vapour in order to avoid surfaces condensation phenomena and minimizing the capillarity condensation and, when possible, to allow to increase the number of visitors simultaneously present inside the Camera Picta.

Key-words

Computational Fluid Dynamics, HVAC system, air diffuser, reversibility, Camera Picta

1. Introduction

The control of indoor microclimate in a hosting cultural heritage building is an important issue of preservation policies [1], [2]. In Italian law and national standard [3], [4] impose values of the main physical parameters to be maintained for a better preservation. When a material lies inside a building, it begins to exchange heat and moisture with indoor air. The rate of these exchanges depends on outdoor climatic conditions and, if present, on air handling unit. When the temperature and humidity balance is achieved exchanges stop, but many conservation problems occurs because usually the balance condition is not the best one for the materials integrity.

If the object to preserve is a fresco or something which it is not possible to move or keep inside a case, it is necessary to prevent temperature and moisture variations, which may occur for example when lot of people visit the place.

As shown by evidence a microclimate analysis is required to prevent degradation phenomena and to preserve monuments: for this purpose there are different methods of investigation. One possibility is the use of probes for monitoring environmental parameters (indoor and outdoor): even if this the preferable way to “take a picture” of real conditions, nevertheless probes can affect air temperature, air velocity and moisture contents measurements.

Another way is represented by CFD simulations: the method requires that the studied space will be divided into a collection of elements (computational mesh) and the thermal properties, such as air temperature, and physical, such as air velocity, are calculated for each elements. The continuum domain is reduced to a discrete domain using a limited number of cells (orthogonal grid). The use of CFD could be a new physical approach that is necessary to develop close the measurements or experimental facilities for checking errors. The comparison with experimental data will allow to verify critical condition with careful modelisation performed for the governing equations and for mathematical procedure. The analyzed case (The Camera Picta, in St Giorgio Castle, Mantova – Italy) proposes an example for the applicability of the method: the indoor climate monitoring started on May 1995 with the recording of internal air temperature and the relative humidity.

6 points were monitored: one sensor recorded the values of outdoor air, the other ones are placed near the corner N-W where the effect of a thermal bridge is noticed. The collected data allow to point out some consideration: the peak of the indoor air temperature and air humidity are correspondent to the higher people's crowd. The thermal bridges support the surface condensation during winter and spring period.

The carbon dioxide and dust concentrations points out that the natural air ventilation changes are insufficient. As in similar situation the main question is to harmonize the conservation necessity with the visitors' comfort: in many cases this scope can be attained with the active control of the indoor conditions, e.g. a HVAC plant with low thermal capacity but high flexibility. The characteristics of this plant can be put right with a long period measurements: this activity allows to verify the thermal behaviour of the room. Moreover, some careful fluid-dynamics simulations can help to study the better performances of the proposed solutions. For this task, it is important to verify the hypothesis adopted for the simulations with the experimental results. Numerical buildings simulation have been already utilized for comparison between computer and experimental data [5]. The main limits of this code are in the correctly computation of the radiation exchanges, in the maximum number of cells domain, in the number of boundary conditions and in the two dimensional simplification; it is considered here only as a qualitative tool. We have used this code as first step: the study of the thermal and velocity field will be improved using most powerful Computer Code (i.e. PHOENICS,...) that allows the 3D simulation and a more detailed simulation of the system (i.e. inlet and outlet air plenum, air cleaner insertion, ...).

2. The Computational Fluid Dynamics

The term CFD (Computational Fluid Dynamics) usually indicates the ensemble of operations related to the computer numerical modeling of velocity, pressure and temperature fields in a fluid domain subject to known boundary and initial conditions.

The main application of this technique was, initially, in the field of fluid mechanics (especially aerospace industry). Thanks to the increased availability of computer systems, in recent years some researchers began to use CFD also to analyze air movement in closed and air conditioned spaces and in many problems involving heat and mass transfer [6], [7]. CFD simulations have been already used for the optimization of the air supply in a closed space containing invaluable artifacts: for example the air circulation patterns and air velocity inside the Sistine Chapel have been analyzed with such technique [8].

The behaviour of a fluid system is governed by a system of partial derivative non-linear equations derived from the basic physical principles of physics such as conservation of mass, linear momentum and energy [6]. All numerical techniques seek an approximate solution of the above mentioned equations discretizing them in the time and spatial domains, i. e., a computational mesh is superimposed to the studied time/space domain subdividing it into a collection of points/subdomains (or elements). The objective is to reduce the continuous problem to a discrete one with a finite number of degrees of freedom and this is usually achieved using the Finite Difference Method or the Finite Element Method.

Each method is characterized by the velocity, pressure and temperature approximation used in space and in time. For each

point/element, the thermal and physical properties are calculated with the discretized approximate equations of conservation of mass, energy and momentum (possibly supplemented by constitutive equations describing substance/material behaviour and equations for the turbulence closure model [9]).

For the solution of the resulting system of equations, an appropriate set of boundary conditions is necessary.

Here the Finite Volume Method [10] has been used as implemented in the code PHOENICS (version 2.1.3). Since the solution method is the result of a significant number of assumptions and simplifications, the solution itself is necessarily approximate. The CFD simulations should then be validated against experimental measurements and benchmark problems to evaluate the magnitude of the errors, i.e., some simulations should be performed in order to assess the results through the analysis of different conditions and the adoption of different solutions methods. The comparison of results against experimental data allows to check the adopted governing equations, the model implementation and of the solution procedure for the particular application considered.

To this purpose, before using numerical simulations, i.e. to verify the impact of a HVAC system on the indoor air velocity field (especially near the wall surfaces), a careful comparison of simulation results against experimental data shall be performed.

The calculation method adopted here shall investigate the better system description describing the heat and mass transfer phenomena. The air flows are correlated to momentum equation (even if fans are present); the thermal energy produced (respiration) and the heat transmitted through the surfaces of the refrigerated space or exchanged during the door opening shall be correlated to the energy conservation. The cooling coils are the device utilized to remove generated or exchanged heat and humidity and a corresponding boundary condition shall be posed to consider this mass and thermal exchange. Other condition shall be posed in the motion: we consider the free convection is negligible when the fans are on (boundary forces are negligible respect the external forces due to fans). The density variations due to humidity variation and/or to the gas exhalation are negligible. It is also assumed that the velocity distribution is not depending from the temperature field and the description (and the mathematical resolution) of the problem is simpler: the transport phenomena are treated separately. The first step is the velocity field simulation (no thermal exchanges are considered during this simulation). With the obtained velocity distribution, the temperature field has been calculated: this procedure is very fast because the Navier-Stokes equation is resolved only during the first step. Two openings corresponding to the doors located in West and South wall acts as inlet and outlet ways for air for simulations without HVAC system. Along the walls, where the boundary layer function for k-e method has been applied, we impose $u = 0$ and the walls' surface temperatures are assumed from measured values.

3. The "Camera Picta": The Analysis

In 1460, Andrea Mantegna (Isola di Carturo, Padova 1431 - Mantova 1506) moved from Padova to Mantova and he was appointed official painter of the Duke Gonzaga (master of the city). During this period, his main opera is unanimously considered the decoration of the Camera Picta (1465-1474, Palazzo Ducale). This Camera is the official bedroom of the Duke

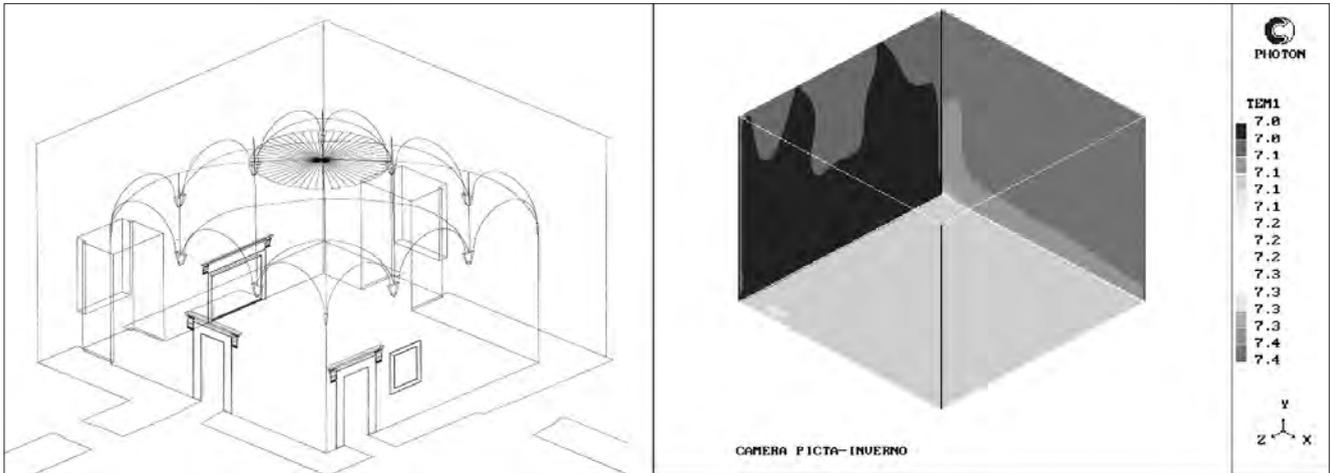


Fig. 1 - View of the Camera Picta and model for simulations (right side)

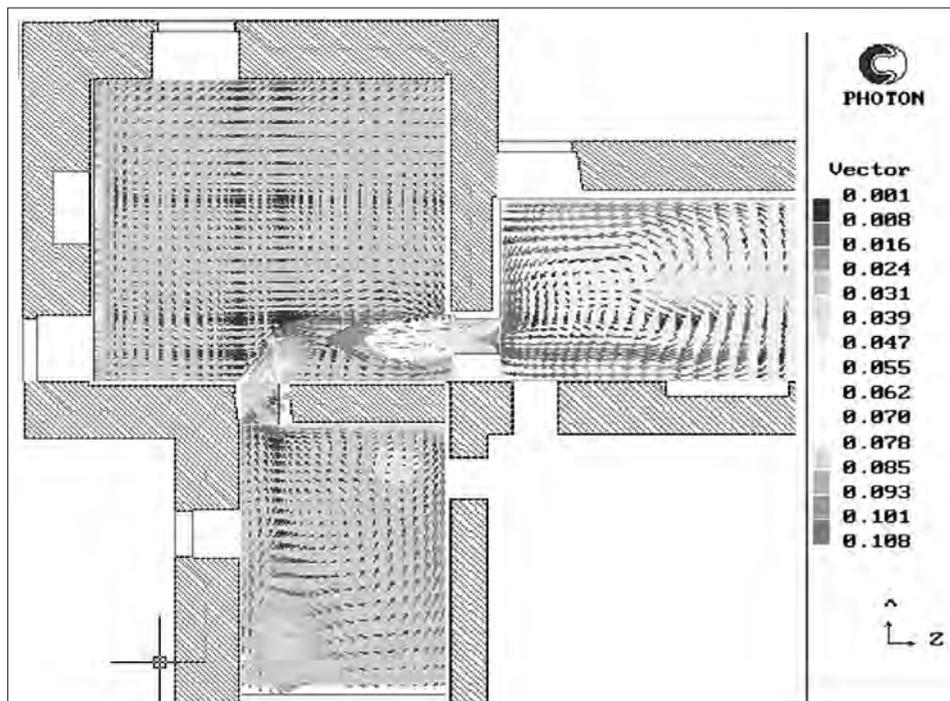


Fig. 2 - Camera Picta simulation (free convection): air velocity field (wintertime)

Gonzaga in the St. George castle. The importance of this fresco is due to the effect of the three-dimensional view and to the invention of the Oculo in trompe-l'oeil. The Camera Picta was restored in 1984-86 by the Italian Istituto Centrale del Restauro: the main problems in frescoes' conservation are due to the moisture condensation in the North corner.

The continuous monitoring of the indoor air parameters allow to describe the long period performance of the controlled room. Concerning the air temperature (and air humidity), from the knowledge of the instantaneous values of these parameters in different points we can deduce the flow rates of mass and energy between the indoor and outdoor. The dew point temperature, related with the internal surface temperature of the painted surfaces, can allow the determination of the risk of moisture surface condensation. Moreover, it is possible to calculate the theoretical value of the relative humidity in the boundary layer (near the painting film): if the temperature gradient between the surface and the indoor air is relevant, this calculated value can be different from the measured one and the difference can be consistent also if the measurement has

been made few centimetres away the wall surface. This data is very important for the evaluation of the number and the time period of the crystallisation and for the dissolution of the soluble salts. Previous works [11], [12] allowed to compare the recorded measurements with the simulations performed: the measured values have been used as boundary conditions in order to optimize the model mesh and the accuracy of the mathematical solution. This analysis was implemented with other simulations performed in the adjacent rooms, as the Sala dei Soli and the Sala delle Esposizioni. Figure 1 shows a view of the Camera Picta (left side) and the model used for computer simulation (right side). The Figure 2 shows the temperature values (measured) used as boundary conditions for the simulations of the same rooms.

4. The proposal for HVAC system

The installation of a mechanical ventilation system inside Camera Picta comes to preservation needs of the Mantegna's paintings. At same time, it will be possible to improve the visi-

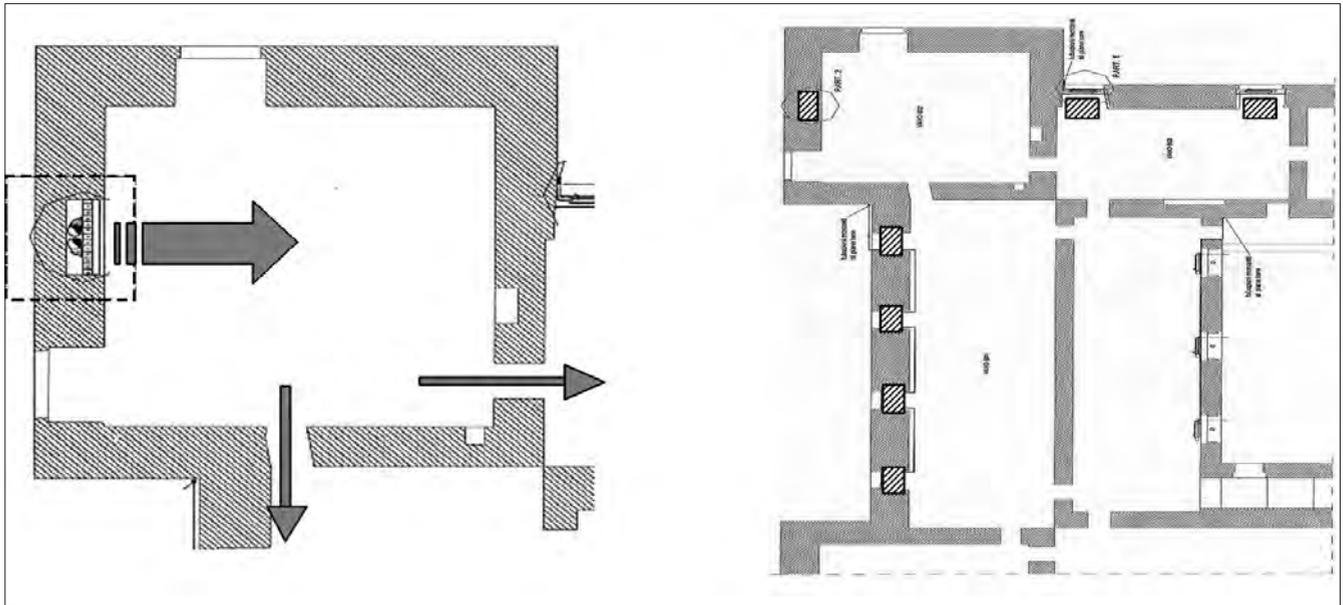


Fig. 3 - Positions of air suppliers and air paths

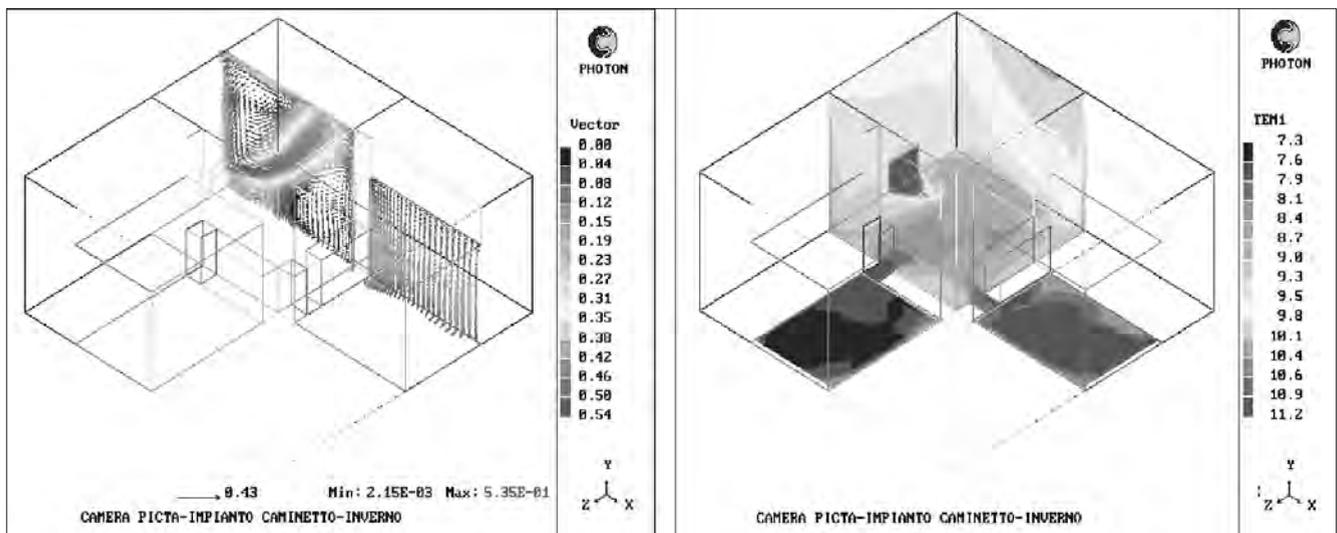


Fig. 4 - Air temperatures and air velocities in Camera Picta with the proposed air system (wintertime)

tors conditions for a better enjoyment of the paintings. A similar mechanical system was already installed in Milano (The Cenacolo, S. Maria delle Grazie) and in Padova (Scrovegni Chapel) even if it is very important to comply with some cautions as:

- air speed shall not modify the thermal and hygrometrical equilibria especially near the painted surfaces;
- the ducts and pipes installation shall be completely reversible (i.e. buildings structures shall not be modified and the mechanical system can be removed without damages for indoor environment);
- indoor microclimate shall not be heavily modified by the mechanical system.

The proposed solution is based on previous analysis and studies that allowed to obtain a deep knowledge of the Camera Picta with different conditions [11], [13]. The adopted solution allows to:

1. check and to control the indoor air quality levels (minimizing the exchanges with the adjacent rooms and with the outdoor);
2. make stable control the indoor vapor in order to avoid sur-

faces condensation phenomena and minimizing the capillary condensation;

3. allow to increase the number of visitors simultaneously present inside the Camera Picta.

The number of air changes (ach) is the main parameter controlled for a correct counterbalancing of the people emissions of heat, water vapor and carbon dioxide. For the installation of the mechanical system no interventions have been made on the walls of the Camera Picta, whereas inside the adjacent rooms the perimetric band of the floor was removed and re-installed with the same materials (cotto fired tiles). Figure 3 and 4 show the terminal units positions and the CFD results of temperature and velocity fields as supposed with the installation of the proposed HVAC system. Inside the Camera Picta only one element of the ventilation system is present and evident: the air diffuser is lodged inside the space of the fireplace at the centre of the Northern wall. Two circular ducts are lodged inside the existing flue and they are connected with an Air Treatment Unit placed inside the room of the upper floor. The design of the air diffuser (see picture in Figure 5) was

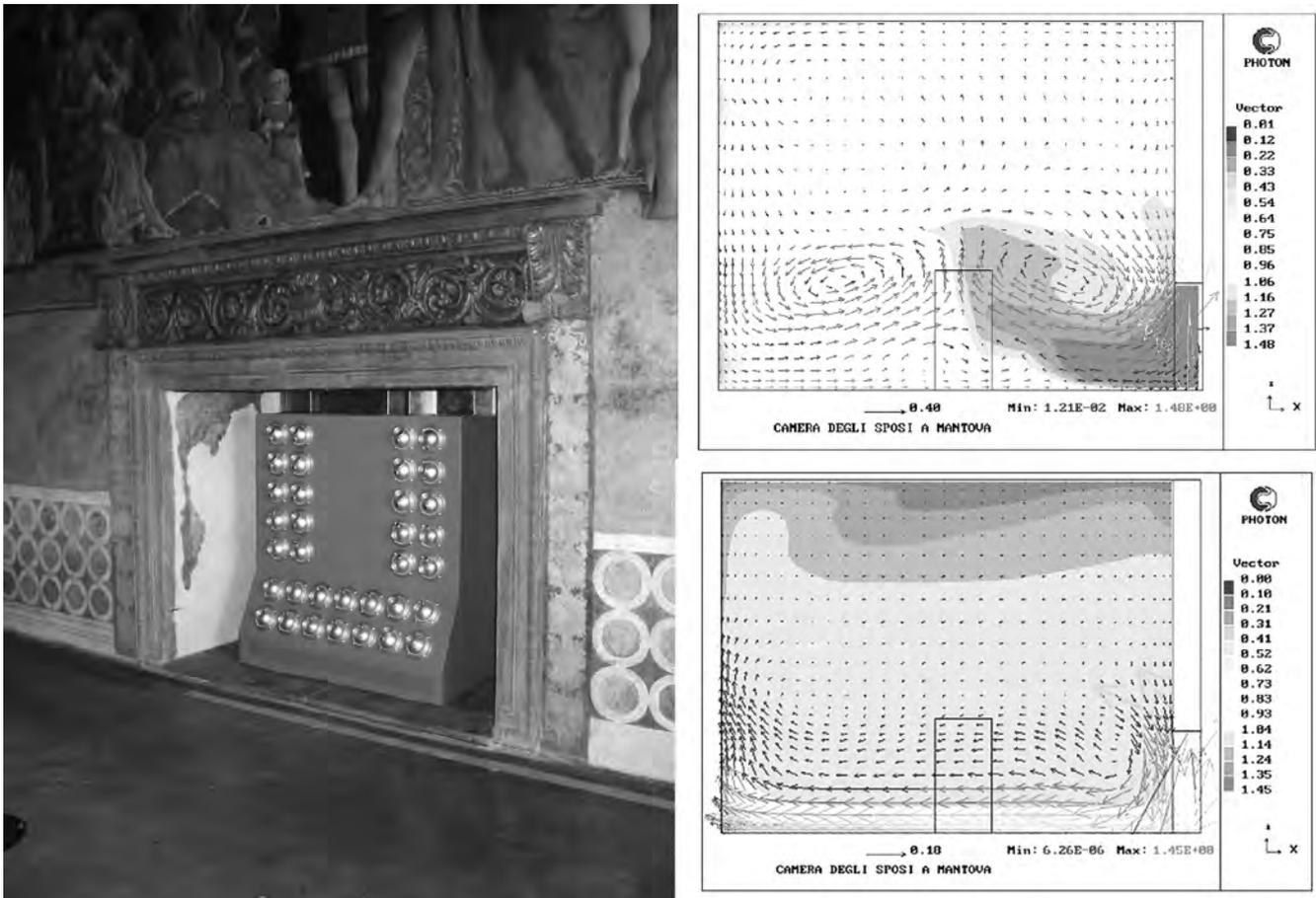


Fig. 5 - Picture of the air diffusers and air pattern in wintertime and summertime obtained by means of CFD simulation in mean vertical section of Camera Picta

directly supported by the CFD simulations.

Air diffuser shall not heavily modify the air patterns avoiding high velocity (over $1 \div 1,5$ m/s) near the painted surfaces and avoiding to direct the air flow towards the visitors. The air diffusion system is composed by two different sections supplied by low diameter and high induction nozzles. The return air section is placed on the basis of the air diffuser. The air diffusion is optimized following the indoor air temperature as requested by indoor conditions. Multiple direct-expansion units have been adopted for adjacent rooms: VRV (Variable Refrigerant Volume) units can be easily installed and their obstructions are very reduced compared with common fan coil units. At same time the high level of confidence allows high energy performances and reduce the risk of damages. The air treatment unit is placed in the attic at second floor; each section can treat $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ by means of variable air volume rate fans; the different air flow rates are regulated as requested by the sensible and latent loads.

Before the thermal and hygrometric treatment, the air is cleaned by means of a modular filtration systems composed by mechanical filters and high efficiency charcoal canister and activated by potassium permanganate alumina filters; a regenerator utilizes the enthalpic heat from the internal side air for the treatment. Direct expansion coils and electrical post heating coils allow the heating and cooling of the discharged intake air. In order to reduce noise emissions, noise silencers are inserted in the air treatment units.

The fan coils units placed under windows are designed on purpose: the air intake section is placed on the lower part for the whole width of the unit. The supply air is discharged by

means of adjustable fins in the higher part of the fan coil units.

The automatic control system is managed by means of a DDC microprocessor with a dedicated software designed for the purpose. Remote control can be realized by means of the web server and of a local terminal display; the system alarm can send messages to the millwright for a real time signaling of the faults.

The fan coil units in the adjacent rooms are controlled in order to maintain the air inside these environments at the same temperature that in the Camera Picta. The control system measures the air temperature and relative humidity of the outdoor intake air and the difference of pressure between the two sides of filter sections and gives the status of functioning of variable speed fans: all probes for measurement of critical parameters are doubled for avoiding system malfunctions. The heating and cooling capacities are provided by 3 heat pump units placed inside the tower of the castle (see Figure 6). First unit can heat and cool simultaneously both for the air treatment unit and for the fan coils of the adjacent room named "Camera dei Soli". Other two units are designed for the other room. Copper refrigerant pipelines are insulated and their pattern towards the terminal units are on sight in the attics whereas the outdoor ways are sheltered by a copper carter. The internal ways are installed into the floor; the network for the condensed water collection is made by high density polyethylene and the water is drained away directly in the moat by means of copper drainpipes. The mechanical system is continuously monitored and the recorded data allowed to test the answers of the Camera Picta and adjacent rooms to different functioning conditions. The data analysis will allow to improve, if necessary, the system controls



Fig. 6 - View of the Northern tower with the main components of the HVAC system

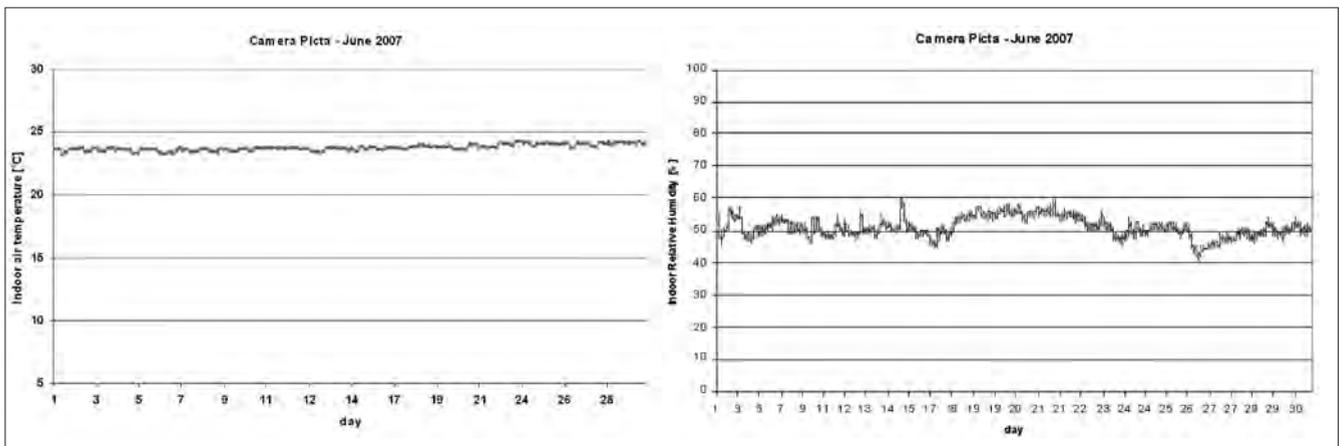


Fig. 7 - Graph carts of air temperature and relative humidity inside the Camera Picta

(see Figure 7). The periodical maintenance of the system components is time scheduled as requested by maintenance plan.

With the building refurbishment, the thermal system of the ground and first floor have been upgraded. As for the Camera Picta, special attention has been paid to the insertion of the pipelines and the end elements inside the historical structures in order to avoid damages and to allow the reversibility of the installations.

5. Conclusions

When a restoration of an historical building is planned, the use of computer CFD simulations and of non destructive measurements (i.e. IR thermographic analysis [11]) can help to opti-

mize the HVAC design. Moreover, the insertion of a mechanical system must be carefully supported by a detailed system control able to record and monitor the indoor thermophysical parameters. Each solution shall be analyzed referring to building's characteristics and to the microclimate conditions necessary to preserve possible damages to the heritage.

References

1. G. THOMSON (1986) *The museum environment*, Butterworth-Heinemann, London
2. D. CAMUFFO (1998) *Microclimate for cultural heritage*, Elsevier, Amsterdam
3. Italian Rule May 10th, 2001, "Atto di indirizzo sui criteri tecnico scientifici e

- sugli standard di funzionamento e di sviluppo dei musei”, Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 238, October 12th, 2001
4. UNI 10829/1999 *Works of historical importance - Ambient conditions for the conservation - Measurement and analysis*
 5. P. BAGGIO, C. BONACINA, P. ROMAGNONI, A.G. STEVAN (2004) *Microclimate analysis of the Scrovegni Chapel in Padua - Measurements and simulations*, Studies in Conservation Vol. 49, nr 3, 2004, pp. 161 -17
 6. R. B. BIRD, W.E. STEWART, E.N. LIGHTFOOT (1962) *Transport Phenomena*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York
 7. C.A. J. FLETCHER (1997) *Computational techniques for fluid dynamics*, Springer Verlag, Vol. I/ II, 2nd Edition
 8. C.E. BULLOCK, F. PHILIP, W. PENNATI (1996) *The Sistine Chapel: HVAC Design for Special-Use Buildings*, ASHRAE Journal, April 1996, Vol. 38, nr 4, pp. 49 - 58
 9. B.E. LAUNDER, D.B. SPALDING (1973) *Mathematical models of turbulence*, Academic Press, London & New York
 10. S.V. PATANKAR (1980) *Numerical heat transfer and fluid flow*, Hemisphere
 11. E. GRINZATO, C. BRESSAN, F. PERON, P. ROMAGNONI, A. G. STEVAN (2000) *Indoor climatic conditions of ancient buildings by numerical simulation and thermographic measurements*, Proc. of Thermosense XXII Congress; Orlando (USA), April 24-28/ 2000, Vol. 4020, pp. 314 - 323
 12. F. CAPPELLETTI, F. PERON, L. PORCIANI, P. ROMAGNONI AND A.G. STEVAN (2004) *The Use of Computational Fluid Dynamics for Microclimate Investigation: the “Camera Picta” in Mantova*, Proceedings of “6th Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin”, Lisbon, Portugal, 7-10 April 2004
 13. Syncro Advanced Engineering Consulting, “Monitoraggio continuo delle condizioni ambientali all’interno della Camera Picta”, Report on the researches performed by order of Istituto Centrale per il Restauro and of Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici Brescia, Cremona e Mantova, Padova (I), 1995-2001

Indagini ambientali e analisi termofluidodinamica applicate alla progettazione dell'impianto di condizionamento della Camera degli Sposi a Mantova

Abstract

La necessità di verificare le reali condizioni microclimatiche interne della Camera Picta ha richiesto l'esecuzione di indagini per mezzo di misure continue della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria e delle temperature superficiali.

Queste misure sono state integrate dalla termografia infrarossa e dalla misura in alcuni punti della velocità dell'aria. I dati rilevati hanno consentito di caratterizzare accuratamente il microclima della Camera Picta e la completa conoscenza dei profili delle pareti.

Le notevoli possibilità offerte dai moderni codici di simulazione abbinati alla modellazione numerica hanno permesso di ottenere informazioni utilizzabili ai fini conservativi: in questa memoria è presentata un'applicazione per la progettazione di un impianto di condizionamento in un caso che richiede una particolare attenzione per evitare soluzioni invasive.

È importante osservare che le simulazioni numeriche devono essere corrette con misurazioni ed è necessario un notevole numero di simulazioni per una più dettagliata analisi.

Sono state valutate le possibili variazioni del microclima dovute alla presenza di visitatori; nello stesso tempo è possibile osservare che le condizioni ambientali interne possono influenzare fortemente la conservazione delle pareti dipinte.

La soluzione impiantistica è stata adottata in base agli studi che hanno permesso di conoscere il comportamento del microclima della Camera Picta nelle diverse condizioni di esercizio. Permette di verificare e controllare la qualità dell'aria interna, riducendo gli scambi con gli ambienti adiacenti e con l'esterno, di stabilizzare il contenuto di vapore dell'aria per evitare fenomeni di condensazione superficiale, di minimizzare la condensazione capillare e, quando possibile, di permettere un aumento del numero di visitatori contemporaneamente presenti all'interno della Camera.

Key-words

Fluidodinamica computazionale, condizionamento dell'aria, diffusore, reversibilità, Camera Picta

1. Introduzione

Il controllo del microclima interno in un edificio che contiene opere d'arte è un importante aspetto della conservazione [1], [2]. La normativa italiana e gli standard internazionali [3], [4] suggeriscono i valori dei principali parametri fisici che devono essere mantenuti per una corretta conservazione. Quando un materiale è collocato all'interno di un edificio, inizia a scambiare calore e umidità con l'aria interna. L'ammontare di questi scambi dipende dalle condizioni esterne e, se presente, dall'impianto di trattamento aria. Una volta raggiunte le condizioni di equilibrio questi scambi cessano, ma molti problemi di conservazione si verificano perché di solito le condizioni di equilibrio non sono le più adatte per l'integrità dei materiali.

Nel caso che il manufatto da conservare sia un affresco o un altro manufatto che non è possibile spostare o tenere all'interno di una vetrina, è necessario prevenire le variazioni di temperatura e umidità che si possono avere, ad esempio, quando si hanno molti visitatori.

Appare evidente che lo studio del microclima è richiesto per prevenire i fenomeni di degrado e per preservare i monumenti: per questo scopo ci sono differenti metodi di indagine. Una possibilità è l'uso di sonde per rilevare i parametri interni ed esterni: sebbene questo sia il metodo da preferire per “fotografare” le reali condizioni, le sonde possono modificare il campo di temperatura, di umidità e di velocità dell'aria.

Un'altra possibilità è data dalla fluidodinamica computazionale (CFD): il metodo richiede che lo spazio studiato venga suddiviso in un insieme di elementi (mesh di calcolo) e che le proprietà termiche, come la temperatura dell'aria e fisiche, come la velocità dell'aria, vengano calcolate per ciascun elemento.

Il dominio continuo viene ridotto a un dominio discreto usando un numero limitato di celle (griglia ortogonale). L'uso della CFD potrebbe essere un nuovo approccio fisico che è necessario sviluppare accanto a misurazioni o impianti sperimentali per verificarne gli errori.

Il confronto con i dati sperimentali permetterà di verificare le condizioni critiche con una accurata modellizzazione eseguita per governare le equazioni e per il procedimento matematico.

Il caso esaminato (la Camera degli Sposi nel Castello di San Giorgio a Mantova) propone un esempio dell'applicabilità del metodo: il monitoraggio delle condizioni interne è iniziato nel maggio del 1995 con il rilievo della temperatura e della umidità relativa dell'aria interna su sei punti di misura. Una sonda rileva, inoltre, i valori dell'aria esterna e alcune sonde di temperatura superficiale sono situate in prossimità dell'angolo nord ovest, dove sono stati osservati gli effetti del ponte termico.

Le misure della concentrazione di anidride carbonica e di polveri indicano che il numero dei ricambi d'aria è insufficiente. Come in altre situazioni il problema principale è conciliare le esigenze di conservazione con il comfort dei visitatori: in molti casi questo scopo è stato ottenuto con il controllo attivo delle condizioni interne, ad esempio con un impianto di condizionamento di potenza ridotta ma con grande flessibilità di impiego.

Le caratteristiche di questo impianto si possono definire con i dati del monitoraggio a lungo termine che permette di conoscere il comportamento termico dell'ambiente.

Inoltre, alcune accurate simulazioni fluidodinamiche possono aiutare nella ricerca delle migliori prestazioni della soluzione proposta. Per questo compito è importante verificare le ipotesi adottate per la simulazione con i risultati sperimentali [5].

I principali limiti del codice usato inizialmente e considerato solo uno strumento qualitativo sono nel calcolo corretto degli scambi per radiazione, nel numero massimo di celle del dominio, nel numero di condizioni al contorno e nel calcolo bidimensionale.

Successivamente lo studio del campo termico e di moto è stato migliorato usando un più potente codice come Phoenix che permette un approccio tridimensionale al problema e una simulazione più dettagliata dell'impianto e dei dispositivi di mandata e ripresa.

2. La fluidodinamica computazionale

Il termine CFD (fluidodinamica computazionale) di solito indica l'insieme di operazioni correlate alla modellazione dei campi di velocità, pressione e temperatura in un dominio fluido soggetto a condizioni al contorno iniziali conosciute.

La principale applicazione di questo metodo è stato inizialmente il campo della meccanica dei fluidi specialmente nell'industria aerospaziale.

Grazie alla aumentata disponibilità di sistemi di calcolo, negli anni recenti alcuni ricercatori hanno iniziato ad usare la CFD anche per analizzare il moto dell'aria in ambienti confinati condizionati e in molti problemi riguardanti il trasporto di calore e di massa. Le simulazioni fluidodinamiche sono già state utilizzate nell'ottimizzazione della distribuzione dell'aria in ambienti contenenti opere d'arte, come ad esempio il modello della circolazione e della velocità dell'aria all'interno della Cappella Sistina [8].

Il comportamento di un fluido è governato da un sistema di equazioni non lineari alle derivate parziali che si basano sui principi fondamentali della fisica come la conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia.

Tutti i metodi numerici cercano una soluzione approssimata delle equazioni sopra menzionate discretizzate nel dominio del tempo e dello spazio; ad esempio, la mesh di calcolo viene sovrapposta al dominio tempo/spazio studiato, suddividendolo in un insieme di punti/subdominii detti elementi. L'obiettivo è di ridurre il problema da continuo a discreto con un numero finito di gradi di libertà e ciò è solitamente ottenuto usando il

metodo delle differenze finite o il metodo degli elementi finiti.

Ciascun metodo è caratterizzato dall'approssimazione della velocità, pressione e temperatura nello spazio e nel tempo. Per ciascun elemento le proprietà termiche e fisiche sono calcolate con le equazioni, approssimate nel discreto, di conservazione della massa, energia e moto (a volte integrate da equazioni che descrivono il comportamento dei materiali e da equazioni di chiusura della turbolenza [9]).

Per la soluzione dei sistemi di equazioni risultanti è necessario un insieme di condizioni al contorno.

In questo studio il metodo dei volumi finiti [10] è stato impiegato così come è implementato nel codice Phoenix (versione 2.1.3). Dal momento che il metodo di soluzione è risultato di un numero significativo di assunzioni e semplificazioni, la soluzione stessa è necessariamente approssimata.

Le simulazioni CFD possono allora essere validate per confronto con misurazioni sperimentali e problemi di riferimento in modo da stimare l'entità degli errori; per esempio alcune simulazioni possono essere eseguite per valutare i risultati attraverso l'esame di differenti condizioni e l'adozione di differenti metodi di soluzione.

La comparazione dei risultati con i dati sperimentali permette di verificare le equazioni adottate, l'implementazione del modello e la procedura di soluzione per la particolare applicazione considerata.

Per questo scopo, prima di usare le simulazioni numeriche, ad esempio per verificare l'impatto dell'impianto di condizionamento sul campo di velocità, specialmente in prossimità delle superfici parietali dipinte, è stata effettuata un'accurata comparazione dei risultati con i dati sperimentali.

Il metodo di calcolo qui adottato dovrà ricercare la migliore rappresentazione del sistema per descrivere i fenomeni di trasporto di calore e di massa. Il flusso dell'aria è correlato alle equazioni di moto (in caso di convezione forzata); il calore generato internamente e quello trasmesso attraverso le superfici dell'ambiente raffrescato o scambiato durante l'apertura della porta devono essere correlati con la conservazione dell'energia.

Le batterie di raffreddamento sono il dispositivo utilizzato per eliminare il calore e l'umidità e le corrispondenti condizioni al contorno sono state imposte per tenere conto degli scambi termici e di massa.

Altre condizioni sono state poste per quanto riguarda le caratteristiche del moto: viene considerata trascurabile la convezione naturale quando è attivo l'impianto di condizionamento (le componenti interne sono trascurabili rispetto a quelle esterne dovute alla ventilazione meccanica). La variazione di densità dovuta alla variazione di umidità e/o inquinanti gassosi è trascurabile. La distribuzione della velocità dell'aria viene considerata indipendente dal campo di temperatura, così risulta semplificata la descrizione del problema e la sua soluzione matematica, trattando separatamente il fenomeno del trasporto.

La prima fase consiste nella simulazione del campo di velocità in assenza di scambi termici. Con la distribuzione della velocità così ottenuta viene calcolato il campo di temperatura; questa procedura è molto veloce perché le equazioni di Navier-Stokes sono risolte solo durante questa prima fase.

Le due aperture corrispondenti alle porte situate nelle pareti est e sud si comportano come vie di ingresso e uscita di aria per le simulazioni senza impianto di condizionamento.

In prossimità delle pareti, dove è stata applicata la funzione dello strato limite per il metodo k-ε è stata imposta $u=0$ e per la temperatura superficiale sono stati utilizzati i valori misurati.

3. Lo studio della Camera degli Sposi

Nel 1460 Andrea Mantegna (Isola di Carturo, Padova 1431 – Mantova 1506) si trasferì a Mantova e divenne pittore ufficiale del duca Gonzaga. Durante questo periodo la sua opera principale è unanimemente considerata la Camera degli Sposi o Camera Picta (1465-1474) nel Castello di San Giorgio che fa parte del complesso monumentale di Palazzo Ducale.

L'importanza di quest'opera è dovuta all'effetto della veduta tridimensionale e all'invenzione dell'oculo trompe l'œil al centro del soffitto.

I dipinti murali della Camera sono stati restaurati negli anni 1984-86 dall'Istituto Centrale del Restauro. Un importante problema nella conservazione dei dipinti è dovuto alla condensazione superficiale nell'angolo nord.

Il monitoraggio continuo dei parametri dell'aria interna permette di descrivere le condizioni di esercizio dell'ambiente. Per quanto riguarda la temperatura e l'umidità relativa dell'aria la conoscenza dei valori istantanei nei differenti punti consente di valutare gli scambi di energia e di massa tra interno ed esterno.

La temperatura di rugiada, messa in relazione con la temperatura delle superfici dipinte permette di determinare il rischio di condensazione superficiale.

Inoltre, è possibile calcolare il valore teorico dell'umidità relativa dello strato limite, in prossimità della pellicola pittorica: se il gradiente di temperatura tra la superficie e l'aria interna è rilevante, questo valore calcolato differisce da quello misurato e la differenza può essere accentuata anche se la misura in aria avviene a pochi centimetri dalla superficie.

Questo dato è molto importante per la valutazione del numero e della durata dei cicli di cristallizzazione e dissoluzione dei sali solubili.

Un precedente lavoro [11], [12] permette di confrontare i valori rilevati con le simulazioni effettuate: I valori misurati sono stati utilizzati come condizioni al contorno al fine di ottimizzare la modellizzazione e l'accuratezza della soluzione numerica.

Questo studio è stato integrato da altre simulazioni eseguite per gli ambienti adiacenti e cioè la Camera dei Soli e la Sala delle Esposizioni. La figura 1 (a sinistra) mostra una vista della Camera e il modello usato per le simulazioni termofluidodinamiche (a destra). La stessa figura 1 mostra i valori di temperatura superficiale misurati usati come condizioni al contorno.

Come risultato di una prima serie di simulazioni, basate sulle misure raccolte, i campi di temperatura e velocità dell'aria sono mostrati nella figura 2. Queste simulazioni possono illustrare i percorsi dell'aria e la distribuzione della temperatura: flussi non controllati d'aria dagli ambienti adiacenti possono favorire la deposizione di polveri, la variazione del contenuto di umidità e indirettamente aumentare il rischio di condensazione nel ponte termico dell'angolo nord [11].

Le condizioni non controllate del microclima rendono la Camera isoterma, situazione pericolosa se il contenuto di umidità aumenta per effetto della presenza dei visitatori.

Altre considerazioni possono riguardare le variazioni stagionali e annuali: l'assenza di un trattamento dell'aria favorisce elevate oscillazioni.

4. L'impianto di condizionamento proposto

L'installazione di un impianto di ventilazione meccanica deriva dalle esigenze di conservazione dei dipinti di Mantegna. Nello stesso tempo sarà possibile aumentare il comfort dei visitatori

per una migliore fruizione dell'opera. Un analogo impianto è stato già installato a Milano nel Cenacolo di Santa Maria delle Grazie e a Padova nella Cappella degli Scrovegni. Non ci sono controindicazioni ad una soluzione impiantistica purché vengano osservate alcune precauzioni:

- la velocità dell'aria non dovrà modificare l'equilibrio termico e igrometrico specialmente in prossimità delle pareti dipinte;
- l'installazione dei canali e delle tubazioni dovrà essere completamente reversibile
- il microclima interno non dovrà essere pesantemente modificato dall'impianto.

La soluzione proposta è basata su precedenti studi e analisi che hanno permesso di raggiungere una profonda conoscenza del comportamento della Camera in differenti condizioni di esercizio [11], [13]. La soluzione adottata consente di:

1. verificare e controllare la qualità dell'aria interna, riducendo gli scambi con gli ambienti adiacenti e con l'esterno;
2. stabilizzare l'umidità relativa dell'aria interna al fine di evitare i fenomeni di condensazione superficiale e minimizzare la condensazione capillare;
3. permettere di aumentare il numero dei visitatori contemporaneamente presenti all'interno della Camera.

Il principale parametro controllato per compensare il calore, il vapore acqueo e l'anidride carbonica emessa dai visitatori è il numero di ricambi d'aria.

Per l'installazione dell'impianto ovviamente non era possibile intervenire sulle pareti della Camera, mentre negli ambienti adiacenti è stata rimossa la fascia perimetrale del pavimento in cotto e ripristinata con lo stesso materiale.

Le figure 3 e 4 mostrano la posizione dei terminali dell'impianto e i risultati della simulazione del campo di moto e di temperatura che si ottengono con la soluzione impiantistica proposta.

All'interno della Camera l'unico elemento visibile dell'impianto è il diffusore alloggiato all'interno del camino, al centro della parete nord. Due canali circolari sono stati inseriti nella canna fumaria esistente e collegati all'unità di trattamento aria installata in un ambiente al piano superiore.

Il diffusore dell'aria (vedi figura 5) è stato progettato con il supporto delle simulazioni termofluidodinamiche.

La diffusione dell'aria non dovrà modificare il campo di moto in prossimità delle pareti dipinte, evitando di investire direttamente i visitatori con il flusso dell'aria trattata.

Il diffusore è composto da due differenti sezioni equipaggiate di ugelli di piccolo diametro ad elevata induzione. La sezione di ripresa è situata alla base del diffusore.

È così possibile ottimizzare la diffusione dell'aria trattata in funzione della sua temperatura, regolata secondo la richiesta dell'ambiente.

Per gli ambienti adiacenti sono state adottate unità ad espansione diretta a volume di refrigerante variabile che possono essere facilmente installate, grazie all'ingombro ridotto delle reti se confrontato con quello richiesto dai comuni ventilconvettori. Nello stesso tempo l'alto livello di affidabilità consente elevate prestazioni e riduce il rischio di inconvenienti.

L'unità di trattamento aria è situata al piano superiore; ciascuna sezione può trattare 1000 m³/h per mezzo di ventilatori a portata variabile, regolati in funzione dei carichi sensibili e latenti.

Prima del trattamento termico e igrometrico, l'aria attraversa un sezione di filtrazione composta da filtri meccanici e da un filtro a carboni attivi e da allumina attivata con permanganato di potassio. Un recuperatore entalpico utilizza il calore e l'umidità dell'aria estratta per il pretrattamento di quella di rinnovo.

La sezione di trattamento è costituita da batterie ad espansione diretta e da una batteria di postriscaldamento elettrica. All'interno dell'unità sono inseriti i silenziatori per contenere la rumorosità di ventilazione.

I ventilconvettori situati nelle sale sono collocati sotto le finestre, all'interno di un carter metallico realizzato su disegno e provvisto di presa d'aria a tutta larghezza alla base e superiormente di una bocchetta di mandata ad alette orientabili.

La regolazione automatica è del tipo DDC (direct digital control) con software sviluppato appositamente per questa applicazione. Il controllo remoto avviene tramite web server e quello locale con un terminale touch screen; il sistema di allarme può inviare messaggi direttamente al manutentore per segnalare in tempo reale i malfunzionamenti.

I ventilconvettori delle sale adiacenti sono regolati per mantenere l'aria ambiente alla stessa temperatura di quella della Camera. Il sistema di regolazione rileva le condizioni termogrometriche dell'aria esterna, la differenza di pressione a cavallo di ciascun filtro e la portata dei ventilatori a velocità variabile. Tutte le sonde che misurano i parametri critici sono duplicate per evitare inconvenienti in caso di guasti.

La potenza termica di riscaldamento e raffreddamento è fornita da tre unità a pompa di calore situate nella torre del castello (vedi figura 6). La prima unità, in grado di riscaldare e raffreddare contemporaneamente è a servizio dell'unità di trattamento aria e dei ventilconvettori della Camera dei Soli. Le altre unità con funzionamento a commutazione sono a servizio dei ventilconvettori delle sale.

Il percorso delle tubazioni dalle centrali ai terminali avviene a vista nelle soffitte e con linee montanti esterne all'edificio, protette da un carter in rame. I percorsi interni sono realizzati con posa in traccia sottopavimento, rimuovendo soltanto la fascia perimetrale del rivestimento, per consentire un agevole ripristino. La rete di raccolta condensa è realizzata in polietilene ad alta densità termosaldato e lo smaltimento avviene nei pluviali o direttamente nel fossato con doccioni.

Il sistema di monitoraggio continuo tiene sotto controllo il funzionamento dell'impianto e i dati raccolti permettono di verificare la risposta della Camera e degli ambienti collegati nelle differenti condizioni di funzionamento. L'analisi dei dati permetterà, se necessario, di modificare i parametri di regolazione (vedi figura 7).

La manutenzione periodica dei componenti dell'impianto è programmata secondo il piano di manutenzione.

L'intervento ha interessato anche il piano terra del castello e le altre sale del piano nobile. Come per la Camera degli Sposi è stata posta una speciale attenzione nell'installazione delle reti e dei terminali nelle strutture storiche per evitare danneggiamenti e permettere la reversibilità dell'installazione.

5. Conclusioni

Nell'intervento su un edificio storico l'uso della fluidodinamica computazionale e delle indagini non distruttive (come la termografia IR [11]) possono aiutare nell'ottimizzazione dell'impianto di condizionamento. Inoltre, l'inserimento di un impianto meccanico deve essere accuratamente supportato da un sistema di misura in grado di monitorare e registrare i parametri termofisici interni. Ciascuna soluzione dovrà essere analizzata riferita alle caratteristiche dell'edificio e alle condizioni microclimatiche necessarie per preservare da possibili danni le opere d'arte.

Riferimenti

1. G. THOMSON (1986) *The museum environment*, Butterworth-Heinemann, London
2. D. CAMUFFO (1998) *Microclimate for cultural heritage*, Elsevier, Amsterdam
3. Italian Rule May 10th, 2001, "Atto di indirizzo sui criteri tecnico scientifici e sugli standard di funzionamento e di sviluppo dei musei", Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 238, October 12th, 2001
4. UNI 10829/1999 *Works of historical importance - Ambient conditions for the conservation - Measurement and analysis*
5. P. BAGGIO, C. BONACINA, P. ROMAGNONI, A.G. STEVAN (2004) *Microclimate analysis of the Scrovegni Chapel in Padua - Measurements and simulations*, Studies in Conservation Vol. 49, nr 3, 2004, pp. 161 -17
6. R. B. BIRD, W.E. STEWART, E.N. LIGHTFOOT (1962) *Transport Phenomena*, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York
7. C.A. J. FLETCHER (1997) *Computational techniques for fluid dynamics*, Springer Verlag, Vol. I/II, 2nd Edition
8. C.E. BULLOCK, F. PHILIP, W. PENNATI (1996) *The Sistine Chapel: HVAC Design for Special-Use Buildings*, ASHRAE Journal, April 1996, Vol. 38, nr 4, pp. 49 - 58
9. B.E. LAUNDER, D.B. SPALDING (1973) *Mathematical models of turbulence*, Academic Press, London & New York
10. S.V. PATANKAR (1980) *Numerical heat transfer and fluid flow*, Hemisphere
11. E. GRINZATO, C. BRESSAN, F. PERON, P. ROMAGNONI, A. G. STEVAN (2000) *Indoor climatic conditions of ancient buildings by numerical simulation and thermographic measurements*, Proc. of Thermosense XXII Congress; Orlando (USA), April 24-28/ 2000, Vol. 4020, pp. 314 - 323
12. F. CAPPELLETTI, F. PERON, L. PORCIANI, P. ROMAGNONI AND A.G. STEVAN (2004) *The Use of Computational Fluid Dynamics for Microclimate Investigation: the "Camera Picta" in Mantova*, Proceedings of "6th Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin", Lisbon, Portugal, 7-10 April 2004
13. Syncro Advanced Engineering Consulting, "Monitoraggio continuo delle condizioni ambientali all'interno della Camera Picta", Report on the researches performed by order of Istituto Centrale per il Restauro and of Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici Brescia, Cremona e Mantova, Padova (I), 1995-2001

PART 3

METHODS AND TOOLS FOR MICROCLIMATE EVALUATION
AND MANAGEMENT IN MUSEUMS AND HISTORIC BUILDINGS

PARTE 3

*STRUMENTI E METODI PER LA VALUTAZIONE E LA GESTIONE
DEL MICROCLIMA NEI MUSEI E NEGLI EDIFICI STORICI*

Evolution of thermo-hygrometric standards for cultural heritage preservation

An overview

Andrea Luciani

PhD Student, Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura Pianificazione, andrea.luciani@mail.polimi.it

Abstract

The paper focuses on the evolution of thermo-hygrometric parameters for cultural heritage preservation in the second part of XX century. It is discussed how standards concerning relative humidity and temperature developed starting from experiences related to artworks recovery during the Second World War and assumed greater importance thanks to the spread of preventive conservation theories, up to the most recent legislation and scientific debate.

Key-words

Indoor climate, standards, museums, historic buildings

This paper focuses on the development of thermo-hygrometric parameters for cultural heritage preservation in Europe since the Second World War, especially considering the values of relative humidity and temperature.

After the return of its collections from the stores in which they were located during the Second World War, the National Gallery decided to install an air conditioning system in some of its galleries.

Such a disposition was recommended in a fundamental document, "The Weaver Report on the cleaning of pictures in the National Gallery [1]: *"Although it is generally known how large is the extent to which abrupt changes in temperature, and especially of relative humidity, affect the condition of works of art, it is necessary to lay much more emphasis on this subject. It is understood that experimental work has been done in this field both by the Ministry of Works and by the Scientific Adviser to the National Gallery. It is understood also that equipment for an installation sufficient to provide for part of the collections of the National Gallery is now available, and a plan is developed. The remarkable arrest of deterioration of the pictures during their time at Manod Quarry (where temperature and relative humidity were under control), followed by the difficulties (buckling and flaking of paint, and warping and cracking of panels) which developed in many of them after their return to London is sufficient evidence that control of atmospheric conditions is by far the most important single means of their proper conservation"* [2]. These considerations are followed by the recommendation: *"That for the general conservation of the pic-*

tures a scheme of full air conditioning be introduced as soon as practicable" [3].

During the war the collections were stored into Manod slate quarry in Wales to protect them from air strikes and placed in brick storages built into the quarry. Obviously microclimatic conditions underground were prohibitive for artworks preservation but extremely stable: a constant temperature of about 8 °C (63 °F) and relative humidity fluctuations between 95 and 100% all year round [4]. Hence the need to equip the underground storages with environmental control facilities: *"It was manifest that some kind of air-conditioning would be essential and a simple system by temperature heating alone (without dehumidification) was decided upon, which proved remarkably efficient. In brief a relative humidity of 58 per cent at a temperature of 63 °F [17 °C] was maintained year in year out for some five years, with exceedingly slight variations"* [5].

It was one of the first cases in which an entire collection was stored for such an extended period of time in stabile and controlled microclimate conditions. Paintings, kept in such conditions throughout the war, were conserved so well that their time of maintenance and repair of cracking and flaking reduced from eight months in London to a single month in the first year in Manod and became completely useless by the end of the conflict.

However, once relocated in the National Gallery, still not equipped with any climate control system, artworks started again to suffer decay and require frequent restorations.

The indications of the Weaver Report were finally adopted and in 1950 it was decided to equip some rooms of the London museum with air conditioning [6], setting temperature and humidity running parameters on those of Manod.

How were these parameters established? The designers of the system quote experiments performed before the war in the National Gallery by the museum's scientific laboratory in collaboration with Ministry of Works and Forest Products Research Laboratory to measure the average moisture content in wood samples acclimated in the museum rooms [7]. J. P. Brown and W. B. Rose in a 1996 well-documented article [8] report earlier Research Forest Products Laboratory experiments carried out on behalf of the National Gallery in the late Twenties to study the influence of changes in relative humidity over the degradation of paintings on wood [9].

The Manod experience had such an impact to be cited and

proposed several times in the following decades as an evidence of the effectiveness of those thermo-hygrometric values and of the need for air conditioning in museums. In particular, Plenderleith, considered one of the most eminent scholars in that period, quoted it both in his 1956 work [10] and in the special issue of *Museum*, "*Climatology and conservation in museums*", written with P. Philippot [11]. This publication reports the results of a research promoted by ICOM in 1955 to study the effects of indoor climate on the conservation of artworks in museums: a questionnaire was distributed to 64 institutions, including museums, libraries and archives in 11 countries, asking them to indicate which were considered the ideal preservation conditions. Curiously, the responses to the questionnaire indicated quite variable values but they were only reported by the authors as an appendix to the publication with the following justification: "*The recommendations of curators concerning the most favourable conditions in galleries, in reply to the questionnaire, frequently reflect the actual conditions in the museums for which they are responsible and of which they have personal experience rather than those defined as ideal by the specialists. They are presented, as a matter of interest, in Annex I*" [12]. It was reported that the average values of UR collected stood in a range between 50 and 70% and was referred as ideal a value of 60%. Once again it is interesting to note which reasons were given: "*The figure of 60 per cent has the interest and guarantee of having been subjected to very thorough testing during the period of the second world war, when it was found to afford complete and absolute protection to a large variety of objects, including furniture and paintings kept in the special repository constructed for the British and the Victoria and Albert Museums in England*" The Manod experience was then quoted because "*it provides the strongest argument in favour of the air-conditioning of picture galleries and, incidentally, of maintaining 58 per cent RH for the protection of panel paintings on wood*" [13].

The publication in fact explicitly recommended full air conditioning systems in museums or, if not possible, single air conditioners to be placed in rooms.

Since the early Sixties a major contribution in defining environmental decay factors and preservation techniques came from sciences like chemistry, physics and biology that reached an even greater role in debates within the field of museology and restoration. Related to that was the increasing success of the theories of the so called preventive conservation.

Gaël de Guichen, one of the first in spreading science on climate control in museums [14] has recently proposed to divide the development of preventive conservation in different periods, ranking in the years from 1965 to 1975 the setting of issues, from 1976 to 1985 the definition of the term, from 1986 to 1995 the codification of an "action strategy" [15].

Preventive conservation includes nowadays a huge and elaborate set of preservation and museology issues. Focus is on what surrounds the artworks, in an attempt to preserve them from decay derived from external factors. Preventive practices related to thermo-hygrometric parameters control tend to consist in recommendations aimed in defining an ideal environment for preservation [16].

In the late Seventies the famous "*The Museum Environment*" by Gary Thomson [17] was published, a book still significant for those involved in preservation and microclimate in museums.

The connection of this book with the theories of preventive conservation is underlined by the author himself [18] and its success is probably due to its effective dissemination of aware-

ness and knowledge on the risks for museum collections placed into an unsuitable preservation environment, even suggesting appropriate preservation practices.

It was noticed, however, that in the book is produced poor scientific evidence of indicated data [19], since these are probably derived from Thomson direct experience as scientific adviser of the National Gallery in London or quoted from previous literature (see similarities with mentioned 1960 article by Plenderleith). The major reservations about the consequences of this book, however, are paradoxically related to its own success: the values were widely quoted and applied all over the world, but often in an uncritical way [20], ignoring applicability limits or changes needed in relation to local climate and context that Thomson identified and highlighted [21]. This misunderstanding was probably even increased by the addition of an appendix to the 1986 second edition in which preferable values were summarized in a schematic way and divided into two classes. The Class 1, "*appropriate for major National museums, old or new, and also for all important new museum buildings*" [22], indicated for relative humidity values between 50 or 55 ± 5% and a temperature of 19 ± 1 °C in winter and 24 ± 1 °C in summer. Very strict parameters that only through high-powered air conditioning or enclosing artworks in showcases could be obtained.

Research on this topics had a great development thanks to the spread and success of Preventive Conservation as attested by important international conferences in Paris in 1992 and in Ottawa in 1994 [23].

Dating from these years are a certain number of studies and articles in which efficiency and usefulness of restrictive standards usually adopted were analyzed and discussed, even by testing them in laboratory with different types of simple and composite materials. It was shown that relative humidity values suggested by Thomson, were appropriated for mechanical decay prevention on hygroscopic materials but not always the ideal thing for other types of decay. The real suitability of such strict parameters was questioned considering high running costs and technical requirements since many materials were demonstrated to withstand higher fluctuations in relative humidity before irreversible change and to adapt in the long period to conditions considered prohibitive [24].

Besides studies on materials, targeted research was carried out in the field of physics and meteorology applied to cultural heritage, aimed to define the relationship between the object to be preserved and its surrounding microclimate [25].

Despite these developments in research, the reassuring recourse to preservation standards continued to be a widespread practice and, quoting T. Padfield, "*The guidance on humidity that is available to museum managers and architects is, I think, far below the quality that we could achieve by coherently presenting our present knowledge. Poor understanding of humidity fundamentals encourages the imposition of standards that are wrong, or needlessly strict, in the particular circumstances, because people who do not understand the issues tend to shelter behind semi-official standards so that they cannot be blamed if things go wrong. This attitude inhibits the use of cheap, alternative methods of climate control. I do not doubt that the present relative humidity standard has caused unnecessary investment in expensive and complicated equipment.*" [26]

The publication in recent times of documents such as "*Standards in preventive conservation: meanings and applications*" by Rebeca Alcantara within an institution such as ICCROM [27], confirms that the debate on the application and validity of stan-

dards, and in particular thermo-hygrometric ones, is still actual.

From this point of view it may be interesting to analyze a significant standard from Italian legislation, UNI 10829:1999, *Works of art of historical importance. Ambient conditions for the conservation. Measurement and analysis*. Spread of preventive conservation practices in the Italian context is generally considered quite recent, but a great contribute to research on preventive issues in restoration theories was given by Giovanni Urbani at the ICR (Central Institution for Restoration) in the Seventies, through the development of the concept of "Preventive restoration" defined by Brandi [28] into the one of "Planned conservation" [29] and through a renewed attention to risk factors related to environmental context in which cultural heritage objects were placed.

This mentioned standard should therefore be placed in the footsteps of these theoretical and practical contributions and in relation with the theories of preventive conservation. Its objective is to define microclimate survey and control procedures so that "*beni di interesse storico e artistico [...] siano collocati in luoghi ove le condizioni ambientali, influenzanti i processi di degrado, siano opportunamente controllate al fine di limitare la velocità dei processi stessi*" ("*historical and artistic heritage will be placed in locations where environmental conditions influencing decay processes are properly controlled in order to limit the speed of the processes themselves*") [30].

If recommended methods for environmental monitoring activities are still widely accepted and used for the analysis of museums and historic buildings indoor environment, discussion raised over the table in the appendix where "sono riportati ai fini della progettazione di nuovi impianti di climatizzazione per ambienti contenenti beni di interesse storico o artistico, a titolo indicativo, i valori di riferimento da considerarsi in mancanza di indicazioni specifiche diverse, per i parametri ambientali relativi alla conservazione di 33 categorie di materiali e oggetti, in condizioni di clima stabile nel tempo" ("*for the design of new air conditioning systems in rooms containing historical or artistic heritage reference values to be considered in case of absence of alternative specific guidance are reported as an indication. These values regard the environmental parameters for the preservation of 33 categories of materials and objects, in stable climate conditions over time*") [31].

In recent times global climate change and consequent needs for energy savings and greenhouse gases reduction gave a new pulse towards a re-thinking of the museum environment.

Standards and research thus follow a different approach, that is no more (or not only) based on the definition of ideal values. Such values have furthermore proved to be difficult, or even impossible, to guarantee and requiring an high energy consumption.

Indications from ASHRAE for museums [32], as an example, emphasize the role of temperature and relative humidity fluctuations as a decay factor and propose a classification of conservation indoor environments based on classes of control.

It follows that attention will be on performances of the "building envelope-HVAC" system and that determining admissible ranges will be easier since they will be applied to the whole collection rather than to a single object.

Interesting developments are possible if this approach is enforced with efficient tools for system analyses and management [33] or with risk assessment models, related both with past and expectable events [34].

A rather different approach, since focused on methodological indications rather than on prescriptive ones, is described in

the recent EU standard EN 15757:2010 - *Conservation of Cultural Property. Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*, incorporating many enunciations from the Italian standard which it replaces, the UNI 10969:2002 - *Cultural heritage. General principles for the choice and the control of the microclimate to preserve cultural heritage in indoor environments* [35].

Once again the analysis of fluctuations amplitude and frequency is considered crucial and suggested interventions are focused on their limitation.

A basic importance is assumed by the concept of "historical climate" [36]. As a consequence, the most appropriate preservation conditions for hygroscopic materials should be derived from the study of occurred decay in relation to the object past climatic history and, therefore, from a scrupulous study and instrumental analysis of the environment which the object has acclimated to [37].

A preservation environment is generally a result of constructive and technical characteristics of the building housing artworks and of its faculty in mediating between external and internal environment and, as a consequence, the link between artworks preservation and knowledge of the architectural structure in charge of containing them, as suggested by ASHRAE indications too, cannot any longer be ignored and such a knowledge can only be reached through a deep analysis on how the building works from an environmental point of view.

In case of artworks hosted in historic buildings, the comparative use of tools derived from research on architecture and history of architecture, such as geometrical survey, materials and decay analysis and historical use reconstruction, will be required.

Indoor environment study and analysis, as well as the quantitative determination of its values, should be therefore included in this knowledge process and considered as a fundamental tool both for artworks and buildings preservation.

Notes

[1] The report, written in 1947, was reported and commented on a dedicated issue of the review *Museum* by UNESCO: WEAVER et al., 1950.

[2] *Ibidem*, p.134.

[3] *Ibidem*, p. 135.

[4] See RAWLINS, 1943.

[5] KEELEY, RAWLINS, 1951, p.194.

[6] It is described in KEELEY, RAWLINS, 1951.

[7] "*The second investigation was to determine the moisture-content of wood. For the purpose, small samples of fir, oak, elm, beech were placed in various key positions, and their weight recorded every month. Thus, it was seen how the intake and output of moisture (compared with dry weight) varied with the seasons. The peaks and troughs were normal for London, but the variations were judged to be severe enough to impose considerable strains on panels, especially those known to be of delicate construction. From all the relevant data, it was deduced that the average moisture-content throughout the year was about 11 per cent (compared with dry weight). On inserting this figure in the equilibrium curve for wood as a function of the relative humidity of the atmosphere in which the sample is placed, it follows that the optimum value for the latter (R. H.) is between 55 and 60 per cent. It was for this reason that 58 per cent R. H. was established at the wartime repository, with the satisfactory results already described.*" *Ibidem*, p.195.

[8] BROWN, ROSE, 1996.

[9] "*the Forest Products Research Laboratory (FPRL) which ran experiments in the early 1930s on sections taken from original panel paintings. The sections were subjected to long-term humidity fluctuations (40 to 90% RH in 5% RH steps and back again at 10% RH steps; 250C; one four-month cycle), rapid humidity fluctuations (40 to 80% RH and then*

back in one step; 400C; 26 cycles, steady states lasting from two days to six hours); and forced bending without a humidity change to the same level of warping caused by extreme humidity change (about five bends per minute; each deflection equivalent to the maximum warp occurring during the long-term humidity test). The results indicated that long-term humidity change caused cracking and flaking, frequent short-term humidity oscillations caused less damage (partly because the high temperature increased flexibility of paint film but also because changes were too quick for wood surfaces to react fully), and simple bending without humidity fluctuation caused very little damage." *Ibidem*, p.14.

- [10] PLENDERLEITH, 1956.
- [11] PLENDERLEITH, PHILIPPOT, 1960.
- [12] *Ibidem*, p.254.
- [13] *Ibidem*, p. 254-255.
- [14] See GUICHEN, 1983.
- [15] GUICHEN, 2003, p. 15.
- [16] See the paper by DEL CURTO in this book.
- [17] THOMSON, 1978. A second edition was published in 1986.
- [18] "The book is based on the growing need for a summary of the "preventive medicine" of conservation" THOMSON, 1978, Preface.
- [19] See BROWN, ROSE, 1996, pp.18-19 and ERHARDT et al., 2007, pp.12-13.
- [20] It's interesting to note that this problem was immediately noted. In a book review to the second edition is written: "this is not so much a weakness of the author, but rather of the reader" WEINTRAUB S., *Book Review*, Journal of the American Institute for Conservation, 27/1 (1988), pp. 47-50.
- [21] See THOMSON, 1986, pp. 87-92 about the influence of local climate and seasonal fluctuations; on allowable RH fluctuations he wrote: "the question of how constant RH needs to be to ensure that no physical deterioration will occur remains at present unanswered. The standard specifications of ± 4 or $\pm 5\%$ RH control is based more on what we can reasonably expect the equipment to do than on any deep knowledge of the effect of small variations on the exhibit." *Ibidem*, p.118.
- [22] *Ibidem*, p. 268.
- [23] La conservation préventive, ARAAFU 3^e Colloque International, Paris 1992 and Preventive Conservation. Practice, Theory and research, IIC, Ottawa 1994.
- [24] See MICHALSKI, 1993, ERHARDT, MECKLENBURG, 1994, PADFIELD, 1994 and MECKLENBURG et al., 1998.
- [25] See CAMUFFO, BERNARDI, 1985 and CAMUFFO, 1998.
- [26] PADFIELD, 1994.
- [27] ALCANTARA, 2002.
- [28] BRANDI, 1977, p.57.
- [29] See URBANI 1973 e AA.VV., 1976.
- [30] UNI 10829:1999, p. 1 (translation by the author).
- [31] *Ibidem*, p. 2 (translation by the author). To investigate principles followed for parameters determination see AGHEMO et al., 1996.
- [32] ASHRAE, 2007
- [33] See the paper from BONVICINI et al. in this book. A smart use of the cumulative frequency, drawing on some indications from UNI 10829:1999, should be underlined.
- [34] MICHALSKI, 2007
- [35] For a discussion and a comparison of mentioned UNI standards see: CAMUFFO, 2008 and COSTANZO et al., 2006.
- [36] "Climatic conditions in a microenvironment where a cultural heritage object has always been kept, or has been kept for a long period of time (at least one year) and to which it has become acclimatized" EN 15757:2010, p.6.
- [37] "Given the extreme complexity of the response of materials found in cultural property to variations of temperature and RH, this standard proposes a methodology leading to general specifications to limit climate-induced physical damage of organic hygroscopic materials. (...) The proposed methodology is based on an analysis of a particular historical climate environment and a condition survey of the most vulnerable and/or valuable objects. The decision therefore is made on the harmlessness (or otherwise) of the existing climatic conditions." *Ibidem*, p.4.
- London. Its influence upon the preservation and presentation of pictures, Museum, 4/3, UNESCO, Paris 1951, pp.194-200
4. BROWN J. P., ROSE W. B. *Humidity and Moisture in Historic Buildings: The Origins of Building and Object Conservation*, APT Bulletin, 27/3 Museums in Historic Buildings, 1996, pp. 12-24
5. PLENDERLEITH H. J., *Conservation of antiquities and works of art*, Oxford University Press, London, New York 1956
6. PLENDERLEITH H. J., PHILIPPOT P., *Climatology and conservation in museums*, Museum, 13/4, UNESCO, Lausanne 1960
7. GUICHEN, G., *Conservazione preventiva nei musei: il controllo dell'illuminazione, il controllo del clima*, ICCROM, Roma 1983
8. GUICHEN G., *Introduzione alla Conservazione Preventiva* in: MENEGAZZI C., SILVESTRI I. (eds.), *Servizi e professionalità "nuove" per la tutela. La Conservazione Preventiva delle raccolte museali [Atti del convegno del 27 Marzo 1999]*, Nardini Editore, Firenze 2003, pp. 13-18
9. THOMSON G., *The Museum Environment*, Butterworths, London (1986) [78]
10. ERHARDT D., TUMOSA C. S., MECKLENBURG M. F., *Applying science to the question of museum climate* in: PADFIELD T., BORCHERSEN K. (eds.), *Museum Microclimates*, National Museum of Denmark 2007, pp. 11-18
11. MICHALSKI S., *Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values* in: AA.VV., *ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meeting. Washington D.C. Preprints, Vol. II*, ICOM Committee for Conservation, Paris 1993, pp. 624-629
12. ERHARDT D., MECKLENBURG M., *Relative humidity re-examined* in: ROY A., SMITH P. (eds.), *Preventive conservation: practice, theory and research. Preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*, IIC, London 1994, pp. 32-38
13. PADFIELD T., *The role of standards and guidelines. Are they a substitute for understanding a problem or a protection against ignorance?*, in: KRUMBEIN, W. E. (ed), *Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage*, Wiley and Sons, Chichester 1994, pp. 191-199
14. MECKLENBURG, M. F., TUMOSA, C. S., ERHARDT D., *Structural response of painted wood surfaces to changes in ambient relative humidity*, in: Dorge V., Howlett F. C. (eds.), *Painted Wood: History and Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 1998, pp. 464-483
15. CAMUFFO D., BERNARDI A., *Fattori microclimatici e conservazione dei beni artistici*, Edizioni del Laboratorio, Brescia 1985
16. CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
17. ALCANTARA R., *Standards in preventive conservation: meanings and applications*, ICCROM, Roma 2002
18. BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino 1977 [63]
19. URBANI G. (ed.), *Problemi di conservazione. Atti della Commissione per lo sviluppo tecnologico della conservazione dei beni culturali*, Compositori, Bologna 1973
20. AA.VV., *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo a cura di Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*, ICR, Roma 1976
21. *Norma Italiana UNI 10829 - Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*, UNI, Milano 1999
22. AGHEMO C., FILIPPI M., PRATO E. (eds.), *Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliografica comparata*, Comitato Giorgio Rota, Torino 1996(?)
23. ASHRAE, *Museum, libraries and archives*, ASHRAE Applications Book, SI Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta 2007
24. MICHALSKI S., *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*. Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, held in April 2007, in Tenerife, Spain, The Getty Conservation Institute
25. CAMUFFO D., *Clima e microclima: la normativa in ambito nazionale ed europeo*, Kermes. La rivista del Restauro, 21/71, Nardini, Firenze 2008, pp.49-67.
26. COSTANZO S., CUSUMANO, A., GIACONIA, C., GIACONIA, G., *Preservation of the artistic heritage within the seat of the Chancellorship of the University of Palermo: a proposal on a methodology regarding an environmental investigation according to Italian Standard*, Building and environment, 41/12 2006, pp. 1847-1859
27. *European Standard EN 15757 - Conservation of Cultural Property. Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*, CEN, Brussels 2010

Bibliography

- WEAVER J. R. H., STOUT G. L., COREMANS P., *The Weaver Report on the Cleaning of Pictures in the National Gallery*, Museum, 3/2-3 Cleaning of pictures, UNESCO, Paris 1950
- RAWLINS F. I. G., *The National Gallery in war-time*, Nature 151/3822 1943, pp. 123-128
- KEELEY T. R., RAWLINS F. I. G., *Air conditioning at the National Gallery*,

L'evoluzione dei parametri termoigrometrici per la conservazione dei beni culturali

Abstract

Questo articolo delinea l'evoluzione dei parametri termoigrometrici per la conservazione dei beni culturali nella seconda metà del XX secolo. Si considera come gli standard relativi ai valori di umidità relativa e temperatura si svilupparono a partire dalle esperienze legate al ricovero delle opere d'arte durante la Seconda Guerra Mondiale e assunsero nuova importanza grazie alla diffusione delle teorie della conservazione preventiva fino ad arrivare al dibattito scientifico ed alla normativa più recente.

Key-words

Indoor climate, standards, museums, historic buildings

Questo contributo delinea lo sviluppo dei parametri termoigrometrici per la conservazione dei beni culturali in Europa dal secondo Dopoguerra ad oggi, considerando in particolare i valori di umidità relativa e temperatura.

Dopo il ritorno delle collezioni dai depositi in cui erano state dislocate durante la Seconda Guerra Mondiale, la National Gallery decise di adottare un sistema di condizionamento dell'aria per le proprie gallerie.

Indicazioni in questo senso erano infatti contenute in un fondamentale documento, "The Weaver Report on the cleaning of pictures in the National Gallery" [1]: "Although it is generally known how large is the extent to which abrupt changes in temperature, and especially of relative humidity, affect the condition of works of art, it is necessary to lay much more emphasis on this subject. It is understood that experimental work has been done in this field both by the Ministry of Works and by the Scientific Adviser to the National Gallery. It is understood also that equipment for an installation sufficient to provide for part of the collections of the National Gallery is now available, and a plan is developed. The remarkable arrest of deterioration of the pictures during their time at Manod Quarry (where temperature and relative humidity were under control), followed by the difficulties (buckling and flaking of paint, and warping and cracking of panels) which developed in many of them after their return to London is sufficient evidence that control of atmospheric conditions is by far the most important single means of their proper conservation" [2]. Alla luce di queste considerazioni viene raccomandato: "That for the general conservation of the pictures a scheme of full air conditioning be introduced as soon as practicable" [3].

Durante il conflitto le collezioni erano state infatti conservate nella cava di ardesia di Manod in Galles per proteggerle dai bombardamenti aerei; furono riposte in depositi costruiti in mattoni dentro la cava. Come si può immaginare, le condizioni microclimatiche in un ambiente sotterraneo non erano adatte alla conservazione delle opere, sebbene estremamente stabili: circa 8° C (63°F) costanti di temperatura e umidità relativa oscillante tra il 95 e il 100% per tutto l'anno [4]. Da qui la necessità di dotare i depositi sotterranei di un impianto per il controllo ambientale: "It was manifest that some kind of air-conditioning would be essential and a simple system by tem-

perature heating alone (without dehumidification) was decided upon, which proved remarkably efficient. In brief a relative humidity of 58 per cent at a temperature of 63°F [17°C] was maintained year in year out for some five years, with exceedingly slight variations" [5].

Si trattava di uno dei primi casi in cui un'intera collezione veniva conservata per un così esteso periodo di tempo in condizioni microclimatiche stabili e controllate. I quadri, tenuti in queste condizioni durante tutto il periodo bellico, si conservarono tanto bene che il periodo di manutenzione e riparazione della collezione da fessurazioni e distacchi diminuì dagli otto mesi di Londra ad un solo mese nel primo anno di permanenza a Manod, fino a diventare completamente inutile per la fine del conflitto. Tuttavia, una volta ricollocate alla National Gallery, allora senza alcun sistema di controllo del clima, le opere tornarono a degradarsi richiedendo frequenti interventi di restauro.

Le indicazioni del Weaver Report vennero infine recepite e nel 1950 il museo londinese decise di dotare alcuni ambienti di un impianto di aria condizionata [6] ricalcando i valori termoigrometrici di esercizio su quelli di Manod.

Come erano stati stabiliti tali valori? Gli autori dell'impianto citano in particolare gli esperimenti condotti prima della guerra nella stessa National Gallery ad opera del laboratorio scientifico del museo in collaborazione con il Ministry of Works ed il Forest Products Research Laboratory, volti a misurare il contenuto medio annuo d'acqua in campioni di legno acclimatati all'interno del museo [7]. J. P. Brown e W. B. Rose in un ben documentato articolo del 1996 [8], riportano anche precedenti esperimenti del Forest Products Research Laboratory eseguiti su incarico della National Gallery per studiare l'influenza delle variazioni di umidità relativa sul degrado dei dipinti su tavola [9].

Nei decenni successivi la rilevanza dell'esperienza di Manod fu tale da venir più volte ripresa e riproposta come prova dell'efficacia di quei valori termoigrometrici e della necessità del condizionamento dell'aria nei musei. In particolare Plenderleith, considerato uno dei più influenti studiosi del tempo, la citò sia nella sua opera del '56 [10] che nel numero monografico di Museum "Climatology and conservation in museums", scritto con P. Philippot [11]. Quest'ultima pubblicazione in particolare riporta i risultati di un'indagine promossa dall'ICOM nel 1955 per studiare gli effetti del clima interno sulla conservazione delle opere nei musei: un questionario venne distribuito a 64 istituzioni tra musei, biblioteche e archivi di 11 paesi, chiedendo di indicare quali venissero ritenute le condizioni ideali di conservazione. È curioso notare come le risposte al questionario indichino valori anche molto diversi tra di loro ma come esse siano presentate dagli autori solo in appendice alla pubblicazione con la seguente giustificazione: "The recommendations of curators concerning the most favourable conditions in galleries, in reply to the questionnaire, frequently reflect the actual conditions in the museums for which they are responsible and of which they have personal experience rather than those defined as ideal by the specialists. They are presented, as a matter of interest, in Annex 1" [12]. Si segnala che la media dei valori di UR raccolti si attesta in un intervallo compreso tra 50 e 70% e viene indicato come ideale un valore del 60%. Ancora una volta è interessante notare le

motivazioni addotte: "The figure of 60 per cent has the interest and guarantee of having been subjected to very thorough testing during the period of the second world war, when it was found to afford complete and absolute protection to a large variety of objects, including furniture and paintings kept in the special repository constructed for the British and the Victoria and Albert Museums in England". L'esperienza di Manod viene quindi riportata in quanto "it provides the strongest argument in favour of the air-conditioning of picture galleries and, incidentally, of maintaining 58 per cent RH for the protection of panel paintings on wood" [13].

La pubblicazione consiglia infatti esplicitamente l'adozione in tutti i musei di impianti centralizzati per il condizionamento totale dell'aria, ove possibile, o in alternativa di condizionatori portatili da disporre nelle varie stanze.

A partire dagli anni Sessanta un importante contributo alla definizione dei fattori di degrado ambientale e delle tecniche della conservazione venne dalle discipline scientifiche (chimica, fisica, biologia) che entrarono in modo sempre più determinante nel dibattito disciplinare della museologia e del restauro e dal successo di quel complesso di teorie che va sotto il nome di conservazione preventiva.

Gaël de Guichen, tra i primi a impegnarsi nella divulgazione scientifica sul controllo del microclima nei musei [14], ha recentemente proposto una periodizzazione dello sviluppo della conservazione preventiva che colloca negli anni dal 1965 al 1975 la presa di coscienza delle problematiche, dal 1976 al 1985 l'entrata in scena del termine, dal 1986 al 1995 la codificazione di una "strategia di intervento" [15].

Per conservazione preventiva si intende oggi un vasto e complesso insieme di operazioni conservative e museologiche in cui l'attenzione si concentra su quanto circonda le opere, nel tentativo di preservarle dai fattori di degrado esterni. Le pratiche preventive relative al controllo dei parametri termoigrometrici si sostanziano tendenzialmente in raccomandazioni volte a definire un ambiente ideale per la conservazione [16].

Alla fine degli anni Settanta uscì il famoso "The Museum Environment" di Gary Thomson [17], opera ancora oggi non trascurabile da chi si occupa di conservazione e microclima in ambito museale.

Il legame di quest'opera con le teorie della conservazione preventiva era sottolineato dallo stesso autore [18] ed il suo grande successo si deve probabilmente all'efficace divulgazione tra gli addetti ai lavori di una certa consapevolezza e conoscenza dei rischi per le collezioni museali se poste in un ambiente di conservazione non idoneo, anche tramite il suggerimento di opportune pratiche operative.

È stato rilevato tuttavia come non sempre i dati riportati nel libro fossero supportati da evidenza scientifica [19], essendo questi probabilmente ricavati dall'esperienza diretta di Thomson come scientific adviser alla National Gallery di Londra o ripresi da letteratura precedente (si vedano le affinità con il citato articolo di Plenderleith del 1960). Le riserve maggiori sull'impatto di questo testo sono però paradossalmente legate proprio al suo successo: i valori indicati vennero largamente quotati ed utilizzati in tutto il mondo ma spesso in modo acritico [20], ignorando i limiti di applicabilità o la necessità di variazioni in relazione al clima locale ed al contesto che lo stesso Thomson individuava e sottolineava [21]. Ad aumentare questa incomprendenza fu probabilmente anche l'aggiunta alla seconda edizione del 1986 di un'appendice in cui venivano riassunti in modo schematico i valori preferibili suddivisi in due classi. La Class 1, "appropriate for major National museums, old or new, and also for all impor-

tant new museum buildings" [22] prevedeva per l'umidità relativa valori di 50 o $55 \pm 5\%$ ed una temperatura compresa tra i $19 \pm 1^\circ\text{C}$ invernali e $24 \pm 1^\circ\text{C}$ estivi, valori molto restrittivi e ottenibili solamente attraverso potenti impianti di condizionamento dell'aria o racchiudendo le opere in vetrine.

La ricerca su questi temi conobbe un nuovo sviluppo grazie alla diffusione e al successo della Conservazione Preventiva, come testimoniano gli importanti convegni a Parigi nel 1992 e a Ottawa nel 1994 [23].

Risalgono a questi anni anche una serie di studi ed articoli in cui l'effettiva efficacia e utilità dei restrittivi standard utilizzati fino a quel momento vennero analizzate e discusse, ricorrendo anche a prove in laboratorio su diversi tipi di materiali semplici e composti. Venne dimostrato come i valori indicati da Thomson si prestassero molto bene alla prevenzione del degrado meccanico dei materiali igroscopici ma che non sempre fossero ideali per altri tipi di degrado. Venne poi messa in dubbio l'effettiva convenienza del mantenimento di tali parametri a fronte degli alti costi gestionali e dei complessi requisiti tecnici, dal momento che si evidenziò come nella realtà molti materiali potessero sopportare fluttuazioni di umidità relativa anche elevate prima di incorrere in livelli critici di degrado e come diversi manufatti avessero dimostrato capacità di adattamento nel lungo periodo a condizioni teoricamente proibitive [24]. Oltre che sui materiali, studi sempre più mirati vennero effettuati nel campo della fisica e della meteorologia applicata al patrimonio culturale, volti a definire le modalità di interazione tra l'oggetto da tutelare e le condizioni microclimatiche che lo circondano [25].

Nonostante tali sviluppi nella ricerca si può affermare che il ricorso all'uso rassicurante di standard continuò ad essere la pratica più diffusa e citando T. Padfield: "The guidance on humidity that is available to museum managers and architects is, I think, far below the quality that we could achieve by coherently presenting our present knowledge. Poor understanding of humidity fundamentals encourages the imposition of standards that are wrong, or needlessly strict, in the particular circumstances, because people who do not understand the issues tend to shelter behind semi-official standards so that they cannot be blamed if things go wrong. This attitude inhibits the use of cheap, alternative methods of climate control. I do not doubt that the present relative humidity standard has caused unnecessary investment in expensive and complicated equipment." [26]

La pubblicazione in tempi recenti di documenti quali Standards in preventive conservation: meanings and applications di Rebeca Alcantara presso un'istituzione come ICCROM [27], testimonia del resto come il dibattito sull'uso e la validità degli standard, ed in particolare di quelli termoigrometrici, sia ancora attuale.

Da questo punto di vista può essere interessante analizzare uno standard particolarmente significativo della normativa italiana, la Norma UNI 10829:1999, Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi.

Se il successo nella realtà italiana di procedure legate alla Conservazione Preventiva è da considerare relativamente recente, è anche vero che un grande impulso sulla ricerca riguardante attività preventive nell'ambito disciplinare del restauro fu dato dall'azione di Giovanni Urbani presso l'ICR negli anni Settanta, con lo sviluppo del concetto di Restauro preventivo enunciato da Brandi [28] in quello di Conservazione programmata [29] e con una rinnovata attenzione per i fattori di rischio derivanti dal contesto ambientale in cui il bene culturale veniva a trovarsi.

La citata norma va considerata in continuità con questi apporti teorici e operativi nonché in affinità con le teorie della conservazione preventiva. L'obiettivo è definire le procedure per il rilievo ed il controllo del microclima affinché i "beni di interesse storico e artistico [...] siano collocati in luoghi ove le condizioni ambientali, influenzanti i processi di degrado, siano opportunamente controllate al fine di limitare la velocità dei processi stessi" [30].

Se la metodologia indicata per le attività di monitoraggio ambientale è largamente condivisa e utilizzata ancora oggi per l'analisi degli ambienti interni nei musei e negli edifici storici, oggetto di discussione è la tabella in appendice in cui "sono riportati ai fini della progettazione di nuovi impianti di climatizzazione per ambienti contenenti beni di interesse storico o artistico, a titolo indicativo, i valori di riferimento da considerarsi in mancanza di indicazioni specifiche diverse, per i parametri ambientali relativi alla conservazione di 33 categorie di materiali e oggetti, in condizioni di clima stabile nel tempo" [31].

Un nuovo impulso verso il ripensamento dell'ambiente museale è venuto in tempi recenti dal cambiamento climatico globale e dalle conseguenti esigenze di risparmio energetico e abbattimento dei gas serra, necessità non più ignorabili o procrastinabili.

Le normative e le ricerche più recenti seguono quindi un approccio diverso, non più (o non solo) basato sulla definizione di standard ideali di conservazione che si sono dimostrati difficili, quando non impossibili, da garantire, se non a prezzo di consumi diventati insostenibili.

Le indicazioni fornite da ASHRAE per i musei [32], ad esempio, enfatizzano il ruolo delle fluttuazioni di temperatura e umidità relativa come causa di degrado e propongono una suddivisione degli ambienti di conservazione basata su varie classi di controllo. Ne risulta una rinnovata attenzione per le capacità prestazionali del sistema involucro-impianto nonché una maggiore flessibilità e semplicità nella determinazione dei range di valori ammissibili, in quanto applicati alla totalità della collezione piuttosto che al singolo oggetto.

Interessanti sono poi gli sviluppi che una tale impostazione può originare se implementata con efficaci strumenti di analisi e gestione del sistema [33] o con modelli per la stima del rischio, sia in relazione a situazioni già occorse che di tipo predittivo [34].

Ancora diversa, poiché basata su indicazioni metodologiche piuttosto che prescrittive, è l'impostazione della recente norma europea EN 15757:2010 - Conservation of Cultural Property. Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials, che riprende in molti aspetti la norma italiana che va a sostituire, la UNI 10969:2002 - Beni Culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni [35].

Anche in questo caso diventa fondamentale lo studio e la valutazione dell'ampiezza e della frequenza delle fluttuazioni, sulla cui limitazione va incentrata l'eventuale azione correttiva.

Fondamentale importanza assume poi il concetto di "clima storico" [36]: le più opportune condizioni di conservazione per i materiali igroscopici devono essere ricavate dallo studio del degrado avvenuto in relazione con la storia climatica pregressa dell'oggetto e dunque da scrupolosi studi e analisi strumentali dell'ambiente a cui esso si è acclimatato [37].

In quest'ottica, essendo in genere un ambiente di conservazione inevitabilmente determinato dalle caratteristiche costrut-

tive e tecniche dell'edificio che ospita i beni e dalla sua capacità di mediare tra ambiente esterno e ambiente interno, si sancisce, come nel caso delle ASHRAE, un legame non più ignorabile tra conservazione delle opere e conoscenza della struttura architettonica preposta a contenerle attraverso l'analisi del suo funzionamento dal punto di vista microclimatico, soprattutto nel caso non raro in cui le opere si trovino in edifici storici. Diventa a tal fine fondamentale il ricorso ed il confronto con metodologie analitiche proprie della ricerca architettonica e storico-architettonica, quali il rilievo geometrico, l'analisi dei materiali e dei degradi, la ricostruzione storica dei modi d'uso.

Lo studio e le analisi dell'ambiente interno e la determinazione quantitativa dei suoi valori, inseriti in tale processo di conoscenza, si pongono dunque come strumento fondamentale non solo per la conservazione delle opere, ma per la conservazione dell'architettura stessa.

Note

- [1] Il rapporto, scritto nel 1947, viene riportato e commentato nel doppio numero della rivista *Museum* ad esso dedicato dall'UNESCO: WEAVER et al., 1950.
- [2] *Ibidem*, p. 134.
- [3] *Ibidem*, p. 135.
- [4] Vedi RAWLINS, 1943.
- [5] KEELEY, RAWLINS, 1951, p.194.
- [6] L'impianto è descritto in KEELEY, RAWLINS, 1951.
- [7] "The second investigation was to determine the moisture-content of wood. For the purpose, small samples of fir, oak, elm, beech were placed in various key positions, and their weight recorded every month. Thus, it was seen how the intake and output of moisture (compared with dry weight) varied with the seasons. The peaks and troughs were normal for London, but the variations were judged to be severe enough to impose considerable strains on panels, especially those known to be of delicate construction. From all the relevant data, it was deduced that the average moisture-content throughout the year was about 11 per cent (compared with dry weight). On inserting this figure in the equilibrium curve for wood as a function of the relative humidity of the atmosphere in which the sample is placed, it follows that the optimum value for the latter (R. H.) is between 55 and 60 per cent. It was for this reason that 58 per cent R. H. was established at the wartime repository, with the satisfactory results already described." *Ibidem*, p.195.
- [8] BROWN, ROSE, 1996.
- [9] *Ibidem*, p.14.
- [10] PLENDERLEITH, 1956.
- [11] PLENDERLEITH, PHILIPPOT, 1960.
- [12] *Ibidem*, p. 254.
- [13] *Ibidem*, p. 254-255.
- [14] Vedi GUICHEN, 1983.
- [15] GUICHEN, 2003, p. 15.
- [16] Cfr. l'articolo di DEL CURTO in questo volume
- [17] THOMSON, 1978. Una seconda edizione ampliata uscì nel 1986.
- [18] "The book is based on the growing need for a summary of the "preventive medicine" of conservation" THOMSON, 1978, Preface.
- [19] Vedi BROWN, ROSE, 1996, pp.18-19 and ERHARDT et al., 2007, pp.12-13.
- [20] Interessante notare come questa criticità venga da subito sottolineata. Una recensione alla seconda edizione del libro afferma in proposito: "this is not so much a weakness of the author, but rather of the reader" WEINTRAUB S., *Book Review*, Journal of the American Institute for Conservation, 27/1 (1988), pp. 47-50.
- [21] Cfr. THOMSON, 1986, pp. 87-92, sull'influenza del clima locale esterno e delle variazioni stagionali, mentre sulle variazioni di UR ammesse Thomson scrive: "the question of how constant RH needs to be to ensure that no physical deterioration will occur remains at present unanswered. The standard specifications of ± 4 or $\pm 5\%$ RH control is based more on what we can reasonably expect the equipment to do than on any deep knowledge of the effect of small variations on the exhibit." *Ibidem*, p.118.
- [22] *Ibidem*, p. 268.
- [23] La conservation préventive, ARAAFU 3e Colloque International, Paris 1992 e Preventive Conservation. Practice, Theory and research, IIC, Ottawa 1994

- [24] Vedi ad esempio MICHALSKI, 1993, ERHARDT, MECKLENBURG, 1994, PADFIELD, 1994 and MECKLENBURG et al., 1998.
- [25] Cfr. CAMUFFO, BERNARDI, 1985 e CAMUFFO, 1998.
- [26] PADFIELD, 1994.
- [27] ALCANTARA, 2002.
- [28] BRANDI, 1977, p.57.
- [29] Vedi URBANI 1973 e AA.VV., 1976.
- [30] UNI 10829:1999, p.1.
- [31] *Ibidem*, p.2. Per approfondire i criteri seguiti per la determinazione dei parametri vedi: AGHEMO et al., 1996.
- [32] ASHRAE, 2007
- [33] Cfr. l'articolo di BONVICINI et al. in questo volume. Da sottolineare in proposito l'efficace uso delle frequenze cumulate per la definizione di indicatori di scostamento, riprendendo le indicazioni della UNI 10829:1999.
- [34] MICHALSKI, 2007
- [35] Per un commento approfondito ed un confronto sulle due norme UNI citate vedi: CAMUFFO, 2008 e COSTANZO et al., 2006.
- [36] "Climatic conditions in a microenvironment where a cultural heritage object has always been kept, or has been kept for a long period of time (at least one year) and to which it has become acclimatized" EN 15757:2010, p.6.
- [37] "Given the extreme complexity of the response of materials found in cultural property to variations of temperature and RH, this standard proposes a methodology leading to general specifications to limit climate-induced physical damage of organic hygroscopic materials. (...) The proposed methodology is based on an analysis of a particular historical climate environment and a condition survey of the most vulnerable and/or valuable objects. The decision therefore is made on the harmlessness (or otherwise) of the existing climatic conditions." *Ibidem*, p.4.
10. ERHARDT D., TUMOSA C. S., MECKLENBURG M. F., *Applying science to the question of museum climate* in: PADFIELD T., BORCHERSEN K. (eds.), *Museum Microclimates*, National Museum of Denmark 2007, pp. 11-18
11. MICHALSKI S., *Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values* in: AA.VV., *ICOM Committee for Conservation 10th Triennial Meeting. Washington D.C. Preprints, Vol. II*, ICOM Committee for Conservation, Paris 1993, pp. 624-629
12. ERHARDT D., MECKLENBURG M., *Relative humidity re-examined* in: ROY A., SMITH P. (eds.), *Preventive conservation: practice, theory and research. Preprints of the contributions to the Ottawa Congress, 12-16 September 1994*, IIC, London 1994, pp. 32-38
13. PADFIELD T., *The role of standards and guidelines. Are they a substitute for understanding a problem or a protection against ignorance?*, in: KRUMBEIN, W. E. (ed), *Durability and change: The science, responsibility and cost of sustaining cultural heritage*, Wiley and Sons, Chichester 1994, pp. 191-199
14. MECKLENBURG, M. F., TUMOSA, C. S., ERHARDT D., *Structural response of painted wood surfaces to changes in ambient relative humidity*, in: Dorge V., Howlett F. C. (eds.), *Painted Wood: History and Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 1998, pp. 464-483
15. CAMUFFO D., BERNARDI A., *Fattori microclimatici e conservazione dei beni artistici*, Edizioni del Laboratorio, Brescia 1985
16. CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam 1998
17. ALCANTARA R., *Standards in preventive conservation: meanings and applications*, ICCROM, Roma 2002
18. BRANDI C., *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino 1977 [63]
19. URBANI G. (ed.), *Problemi di conservazione. Atti della Commissione per lo sviluppo tecnologico della conservazione dei beni culturali*, Compositori, Bologna 1973
20. AA.VV., *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria. Progetto esecutivo a cura di Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*, ICR, Roma 1976
21. *Norma Italiana UNI 10829 - Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*, UNI, Milano 1999
22. AGHEMO C., FILIPPI M., PRATO E. (eds.), *Condizioni ambientali per la conservazione dei beni di interesse storico e artistico. Ricerca bibliografica comparata*, Comitato Giorgio Rota, Torino 1996(?)
23. ASHRAE, *Museum, libraries and archives, ASHRAE Applications Book*, SI Edition. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta 2007
24. MICHALSKI S., *The Ideal Climate, Risk Management, the ASHRAE Chapter, Proofed Fluctuations, and Toward a Full Risk Analysis Model*. Contribution to the Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, held in April 2007, in Tenerife, Spain, The Getty Conservation Institute
25. CAMUFFO D., *Clima e microclima: la normativa in ambito nazionale ed europeo*, *Kermes. La rivista del Restauro*, 21/71, Nardini, Firenze 2008, pp.49-67.
26. COSTANZO S., CUSUMANO, A., GIACONIA, C., GIACONIA, G., *Preservation of the artistic heritage within the seat of the Chancellorship of the University of Palermo: a proposal on a methodology regarding an environmental investigation according to Italian Standard*, *Building and environment*, 41/12 2006, pp. 1847-1859
27. *European Standard EN 15757 - Conservation of Cultural Property. Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*, CEN, Brussels 2010

Bibliography

1. WEAVER J. R. H., STOUT G. L., COREMANS P., *The Weaver Report on the Cleaning of Pictures in the National Gallery*, Museum, 3/2-3 Cleaning of pictures, UNESCO, Paris 1950
2. RAWLINS F. I. G., *The National Gallery in war-time*, *Nature* 151/3822 1943, pp. 123-128
3. KEELEY T. R., RAWLINS F. I. G., *Air conditioning at the National Gallery, London. Its influence upon the preservation and presentation of pictures*, *Museum*, 4/3, UNESCO, Paris 1951, pp.194-200
4. BROWN J. P., ROSE W. B. *Humidity and Moisture in Historic Buildings: The Origins of Building and Object Conservation*, *APT Bulletin*, 27/3 Museums in Historic Buildings, 1996, pp. 12-24
5. PLENDERLEITH H. J., *Conservation of antiquities and works of art*, Oxford University Press, London, New York 1956
6. PLENDERLEITH H. J., PHILIPPOT P., *Climatology and conservation in museums*, *Museum*, 13/4, UNESCO, Lausanne 1960
7. GUICHEN, G., *Conservazione preventiva nei musei: il controllo dell'inquinazione, il controllo del clima*, ICCROM, Roma 1983
8. GUICHEN G., *Introduzione alla Conservazione Preventiva* in: MENEGAZZI C., SILVESTRI I. (eds.), *Servizi e professionalità "nuove" per la tutela. La Conservazione Preventiva delle raccolte museali [Atti del convegno del 27 Marzo 1999]*, Nardini Editore, Firenze 2003, pp. 13-18
9. THOMSON G., *The Museum Environment*, Butterworths, London (1986) [78]

Humidity and indoor air quality for collections in historic buildings and castles in the UK

Providing suitable indoor environmental conditions for collections in historic buildings

Frank Mills

BSc(Hons) FCIBSE MIMechE MASHRAE MASHETechnical Director, famills@skm.co.uk

Abstract

In the UK many historic buildings such as castles, palaces and stately homes are no longer used purely as residential family homes. They have become sites for museums and galleries. This transition has occurred partly because their original owners did in fact use them to house collections acquired through battles or purchased during travels, and partly because the buildings themselves have become seen as historic artworks with many being listed both externally and internally and seem ideal for this purpose. Their architecture and interior design are statements to the best design and craftsmanship of their time and are preserved for future generations to see, enjoy and learn from.

However recent research in the UK has shown that poor air quality and unstable temperature and humidity is affecting artifacts displayed or in storage. Collections range from 'hard' materials such as sculptures to 'soft' such as fabrics, curtains, furniture and so forth. All of these are subject to deterioration through time due to the effects of pollution and physical changes through temperature and humidity fluctuations, albeit it at different rates and in different ways. Research at Hampton Court has identified the impact that large visitor numbers are having through particulate pollution.

The safest way of avoiding such deterioration is to provide environmentally controlled exhibition and storage spaces. However this is not currently the case at many historic buildings due partly to the high capital and running costs involved, and partly due to concerns about effects on the building fabric. There is also the more idealistic concern that unless this can be done in an energy efficient and sustainable manner, the very act of creating conservation facilities causes their demise by damaging the global environment.

This paper examines these issues against the desire to use historic buildings and castles to house antiquities and precious collections. It considers the way that they rely on the massive structures and dense materials of the buildings themselves to attenuate the environment and provide stable conditions. It considers the success or otherwise of such an approach and the effects that may be occurring to the collections. It considers how such buildings may be remodeled to be able to house collections within using a low energy approach.

The paper provides some technical guidance on acceptable environments and their design and gives case study examples of good practice comparing their success with purpose designed new facilities.

Key-words

Indoor air quality, Humidity control, Library collections, Artifact protection

Introduction

In times gone by those who had power and wealth were able to live in large houses, palaces and even castles. These were not simply homes or dwellings, but places to store accumulated belongings and wealth and to protect and raise families.

In the days before democratic governments it was a question of families or tribal power rising above others to show who was the leader, who were the subjects and who were the enemy.

Castles emerged as well defined fortress communities and provided space for valued possessions with a well organized workforce carrying out cleaning, operating and maintenance duties as well as security and armed protection of the castle and its contents.

As civilizations developed into larger territories such leaders spread their influence beyond a single built entity into an area or region in which a number of discrete towns and villages all had allegiance to their leader and worked to expand and protect his wealth and prosperity. In fact their quality of life and future prospects were integrally bound with this, although they at a lower and often frugal level. As human society developed in this way leaders constructed fine palaces and stately homes preferring architectural quality, planning and openness to the somewhat somber and austere nature of castles, although there are some notable exceptions, such as Windsor Castle which has some very fine spaces to enjoy.

Regional rulers ranged from small areas, boroughs, to counties, shires and in fact whole countries. Instead of castle walls, those subjects living in villages on the periphery were the first line of defence, with other such layers protecting a fine, open palace or stately home located in a position chosen for its beauty rather than its defence, because protection was

being afforded in the areas around by well organized forces.

The trend for such rulers to collect wealth continued, sometimes acquired from local artists and craftsmen, but often acquired during expeditions into other territories.

Whatever the reason – an appreciation for art, desire to collect things, curiosity for new interesting spoils, or simply a demonstration of wealth – those in a position of power sought to fill their fine palaces and stately homes with all manner of wondrous goods, ranging from stone sculptures, carvings, china to furniture, fabrics, jewellery and ornaments.

It was important to protect these collections, not only from would be enemies, but also from the effects of pollution, damage, wear and tear and the weather. In an era before electricity, which is a relatively new energy source, people relied upon fossil fuelled heating and lighting, with inevitable carbon deposits being emitted to contaminate these buildings and their contents. People were employed to clean and dust and a major effort to clean and protect was undertaken.

Of course the concept of air conditioning was not known and buildings were constructed to rely on natural resources, topography and climate conditions, with design solutions which used solar, wind and water to advantage.

Pollution was acknowledged to be not only a nuisance, but unhealthy as buildings became more dense. Again those with wealth chose to build in areas with more space, and limited urban growth.

In the UK collections grew significantly in Victorian times as trade spread around the world and merchants brought back treasures

Castle Howard is the family home of the Howards and used to house artwork collected over 300 years. Details are:

- Design started in 1699
- Local Yorkshire stone mellowed to gold colour with weathering
- Built to house collections acquired by the Charles Howard

third Earl of Carlisle and his descendants

- Family stately home

It is evident from the research carried out by climate change scientists that air quality in industrial centres in the British Isles deteriorated after the start of the Industrial Revolution. However, in country areas air quality would have been reasonably stable but subject to nature and the seasons where the practice of naturally ventilating buildings would have admitted spores, pollen, dust, insects and airborne bacteria to differing degrees depending on seasons.

Manchester was the first industrial city starting to use fossil fuels in 1765, (initially coal) to provide heat and power and creating urban smog at a local level and greenhouse gases at global level.

Through this period acquired collections would have been affected by both manmade and natural pollutants. Research has been undertaken to establish causes of damage and deterioration to collections.

At Hampton Court, England a research programme is investigating the impact that visitors have on collections [1], Increasing numbers raise pollution risks, and increased concerns over pollutant levels from people and traffic.

Sealed and air conditioned museums and art galleries were introduced in the twentieth century to achieve two objectives:

- Protective indoor climate for artifacts and collections
- Comfortable and healthy environment from occupants

The criteria for each differ, and it is important to identify the criteria for each and to decide which takes precedence

In fact in general the conditions for artifacts should be met unless this poses health and safety issues for occupants. In such cases the solution is often to enclose the artifact in a climate controlled glass cabinet and to design the gallery for comfort conditions.



Fig. 1 - Moreton Hall, Cheshire, is a typical UK historical building now used as a museum

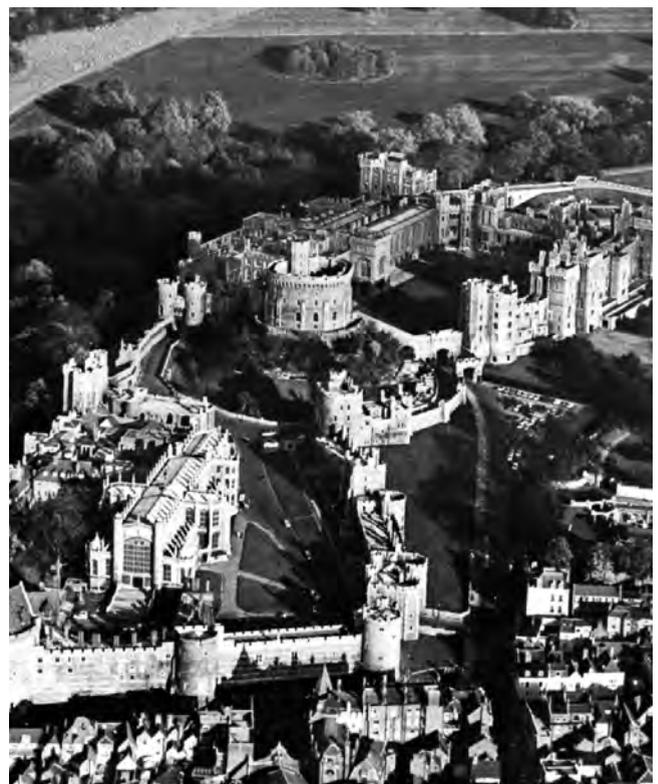


Fig. 2 - Windsor castle – still used as the family home of the Windsors and also a public place for collections of artwork and historical artifacts

Air Quality

Depending on the type of materials being stored in the collection various pollutants cause damage and air quality is a key issue to consider.

In buildings where natural ventilation is used, there will be risk of particulate matter, pollutants and gasses entering through windows or natural ventilation inlets.

For many castles and stately homes their location means that outside air is relatively clean and the major risks are from airborne dust, farm chemicals such as sprayed fertilizers and plant materials such as pollens, spores. The latter can give rise to wear through bacterial attacks and fungal growth.

Hampton Court Palace is carrying out research into the impact that visitors – and visitor numbers- have on collections. The findings are that visitors are the principal source of dust and particulate matter. Besides being unsightly, if dust is not removed from objects and surfaces it causes chemical reactions and cements onto surfaces. It is difficult to avoid, but most dust comes from visitors as they move through the palace. The greatest amount is shed from people when they move quickly, bend over and take twists and turns. In fact people shed around 3000 squames- or skin particles- per hour.

As Hampton Court says...*'We're sorry to have to tell you this, but if you're visiting the palace you're spreading this devious agent of decay and harming the collections.'*

This dust will also absorb moisture and pollutants and serve as food for bacteria and other pests, all of which damage objects.

In urban areas outside air contains urban particulates, vehicle pollutants – Sox, Nox CO² – and other gaseous contaminants – as well as dust particles, which will impact on collections. At the British Museum in Central London, the galleries are arranged so that the more susceptible artefacts are contained in the inner galleries well away from the roads outside, and some artifacts are contained within environmentally controlled cabinets to separate them from airborne particles.

The Tower of London is located in the middle of London, exposed to vehicle emission and industrial pollution from the city and beyond. How much of that pollution gets inside the building and could cause damage to the important artefacts on display?

Historic Royal Palaces has recently completed a collaborative project [2], funded by the European Commission, which measured the pollutant levels inside the Tower of London and developed new ways to manage the impact of pollution on artefacts using a new “preventive conservation strategy”. They harnessed new technology to measure pollution levels so that when pollution levels get too high, they can take action before damage is caused to the objects.

This study project has just finished but will continue to use the technology to monitor pollution levels at the Tower of London to make sure that showcases are performing to highest standards to protect the valuable objects within.

The study showed that levels of sulphur dioxide (SO₂) and ozone (O₃) inside the Tower of London are very low. But, the levels of nitrous oxides (NO_x), which are produced by vehicle exhausts, can become quite high throughout the year. Nitrous oxides can damage organic material such as paper and silk. Some of our most fragile objects are inside showcases to protect and keep them safe for now and in the future.



Fig. 3 - Castle Howard in Yorkshire.



Fig. 4 - Hampton Court, Large tourist attraction



Fig. 5 - Hampton Court include military collections which are an important record of UK history

Thermal inertia

The thermal mass which is inherent in the construction of castles, stately homes and mansions provides a means of stabilizing temperatures and humidity. Both air temperature and radiant temperature are affected as heat flows into the thermal mass when room temperatures rise above fabric structure temperatures and out of the thermal mass when room temperatures drop below fabric temperature.

This effect can be significant and provide a very stable temperature for storage in places such as ground or basement level areas. Ground coupling can be particularly useful, where storage rooms are located in basements against solid ground which acts to stabilise temperatures.

National Library of Wales houses a large number of the treasured artifacts associated with Welsh history covering not just books but paintings, sculptures, film and digital materials, ancient coins and other such materials. The solid construction of the building is ideal and its presence on a steep hillside has allowed it to take advantage of ground thermal inertia for stability. Whilst it requires air conditioning for much of the collections, energy use is kept low through these passive design techniques. The film and digital material are contained in a number of basement cells lined with copper to form Faraday Cages (Fig.6).

Current research

Research is being undertaken to understand more fully the preferred condition for collections, and the 'band of tolerance', or the 'range' within which they can survive. The difference between 'absolute' protection and controlled preservation, particularly the rate of deterioration at the edge of control bands needs to be understood.

The EGOR working group (Environmental Guidelines : Opportunities and Risks) set up by the UK based AHRC/EPSRC Science and Heritage programme has met to progress this issue and identified the need for further investigation.

Research questions covered:

1. Relevance of current environmental guidelines, standards, sustainability targets for
 - Cultural Heritage
 - Historic buildings/structures
 - Modern buildings
 - Community targets



Fig. 6 - Film and digital materials stored in a 'Faraday cage' archive store lined with copper to protect against radiation and air conditioned to achieve control of temperature, 11degC humidity, 50% RH and clean, filtered air

2. Costs

- Current
- Future projected
- Adapting buildings
- New build

Understanding the costs

- Costs need to be identified according to use of space and interrelationships of spaces with multiple uses: storage, display, office, restaurants, shops
- Effectiveness of passive environmental management
- Effectiveness of HVAC systems
- What factors increase energy costs: visitor comfort, RH control?
- Are there energy savings by allowing greater fluctuations about a set point?
- How much does it cost to keep massive structures warm in winter and cool in summer?

This raises the question of whether it might be more cost effective to build purpose designed, high performance buildings rather than try to adapt historic buildings.

Purpose designed environmentally controlled buildings

An example is the new British Library Archives Storage, BLAST, located at Boston Spa, Wetherby, Yorkshire, where a vast store of books- over 7 million - is maintained at a constant 16 deg C and 50%RH ready for anyone to borrow and use as and when required. Completed in 2007 at a cost of £26M this facility has a nitrogen enriched environment to suppress fires without having to use sprinklers which would cause water damage to the books if they ever went off.

- World's most advanced library storage facility
- 163 miles of book storage space (262 km)
- Temperature controlled to 16 +/- 1 degC throughout
- Humidity controlled to 50 +/- 5% throughout
- Robotic librarians, no occupants
- No lighting – avoids heat gains and maintenance
- Air leakage 0.5m3/m2/hr @50Pa
- Nitrogen enriched atmosphere (low oxygen system) 14.5 % to prevent fire spread



Fig. 7 - British Library Archives Storage, Yorkshire



Fig. 8 - BLAST has a computerized robotic book collection system

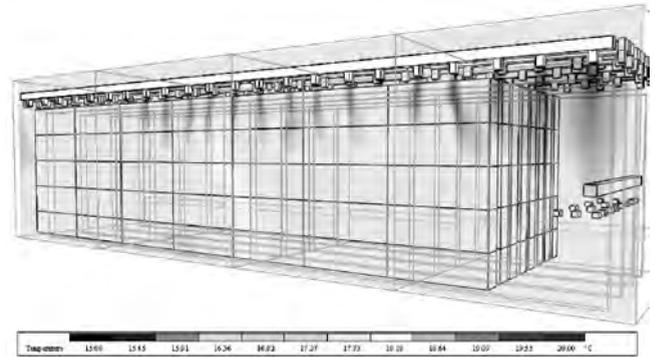


Fig. 9 - CFD modeling was carried out to confirm that the conditions would be met throughout facility

Energy efficiency

Museums and art galleries need to embrace energy efficiency to tie up with their broader remit of protecting artifacts as well as the environment. Several areas are relevant:

Scope for Passive Technologies:

- Natural Ventilation
- Daylight
- Thermal Storage and PCM's
- Ground Coupling

Better Use of Existing Technologies:

- Building Management Systems
 - Automatic Control
 - Monitoring of Conditions
 - Early Warning of problems
 - Prioritizing Issues
- Heat Recovery
 - Controlled ventilation
 - Efficient, controlled lighting
 - Occupancy detection
 - Efficient Boiler plant
 - Variable Speed Driver

New Technologies

- Heat Pumps and energy recovery.
- Renewable Energy sources
 - Wind Power
 - Photovoltaics
 - Solar Hot Water Panels
- Light Emitting Diodes – LED's – have a role to play, light quality, color rendition.
- On Site Generation
- Geothermal Energy, Thermal Aquifers.
- Thermal Walls, Floors, Ceilings
 - Using PCM's
 - Using Embedded Coils

Environmentally Controlled Cabinets are also being used to provide close controlled protected environments for artifacts within rooms where occupants can view them without risk of pollutant damage.



Fig. 10 - Close control cabinet for manuscripts at the Middle Temple, London

The historic built environment

Surprisingly, there is no comprehensive overview of conditions within historic buildings in the UK, or across the world. However, some are collecting data and there are research groups such as EGOR 2 – the Environmental Guidelines: Opportunities and Risks Group set up by the UK Science and Heritage program that is starting to analyse and compare feedback received from those involved. However, there is a vast untapped knowledge base yet to get involved. It would be tremendously useful to know the range of conditions across all museums, art galleries and libraries providing an insight into extremes, and the prospect of benchmarking against specified types of collections. This feedback would also provide evidence on the condition of collections and on the rate of deterioration against identified factors – occupant numbers, humidity levels, temperatures, air pollutants, locations and so forth.

ASHRAE has collated what research has been carried out and published guidance in Chapter 21 of the ASHRAE Application Handbook. Table 2 usefully identifies the major gaseous pollutants of concern against the collection materials most at risk. Table 3 recommends Temperature and Relative Humidity levels for types of collections and identifies up to 5 classes of control. A great deal of the new research contributing to this chapter has come from organizations such as the Getty Institute which has funded studies into issues such as air quality and use of air filtration systems. Maekawa identified the fact that collections take priority over occupants (human comfort) [3]. Further research at Getty seeks to reduce energy consumption and achieve sustainable operations: Cecily Grzywacz [4], by identifying 'banded' data for various types of collections, dismissed the myth that humidity and temperature need to be closely controlled, when in fact most artefacts can be adequately protected within a broad range.

Design standards

The drive for more sustainable facilities has seen new standards emerge, such as the New Design Standard for Building Archival Facilities from the Society of American Archivists (SAA). In the UK the National Archives have published a policy document which is effectively the standard to be followed for all collections whether they are in historic buildings or other, maybe purpose built facilities [5].

- British Standard and BS5454: Recommendations for the Storage and Exhibition of Archival Documents.
- ISO 11799:2003: Information and Documentation – Document Storage Requirements for Archive and Library Materials.
- ANSI/NISO Z39.79-2001 ISSN: 1041-5653: Environmental Conditions for Exhibiting Library and Archival Materials.
- NARA 1571: Archival Storage Standards.
- Library of Congress Guidelines and Specifications
- ASHRAE Chapter 21 Applications Handbook.

Cultural Heritage

Historic buildings and the collections they house are a rich resource collected over the ages to provide enjoyment and learning to visitors, who may come from the local community or from further afield, even abroad. In fact they are often the reason for people choosing to travel and visit places and provide income through leisure and tourism.

Concerns about deterioration of the buildings and collections has led to increasing use of energy resources – heating, cooling, ventilation – to maintain environments within specified ranges. Those responsible for caring for collections seek to improve environmental controls, but at a cost, both financial and environmental as use of energy leads to pollution, climate change and depletion of resources.

Conclusions

The traditional use of historic buildings over the ages for storing collections of art work, artifacts and other memorabilia has been generally successful. However in recent times, the onset of the industrial revolution, the widespread use of fossil fuels to generate power and the use of motor vehicles that use diesel or petrol fuels has seen pollutant levels rise and harmful dust spread. In more recent times increased interest in visiting and viewing exhibits has seen a big increase in occupancy levels and people themselves are creating pollutants and harming exhibits. The obvious solution of air conditioning all affected galleries would be extremely expensive, difficult to integrate into historic buildings, require a large amount of energy resource and be contrary to the mission statement of galleries to protect the past for the benefit of the future.

Research is showing that there are low energy, technical solutions which can achieve protection alongside public viewing at little cost and respecting the historic nature of buildings. There are design guides being issued and used which apply this research as it delivers results, retaining the original 'passive' design features with limited energy consumption.

References

1. *Hampton Court studies*, EGOR working group 2009
2. *Historic Royal Palaces, Hampton Court Palace*, 2004. Garden, Buildings and Estate Conservation
3. MAEKAWA S., *Alternative Climate Control for Collections*, in *Historic Structures Using Sustainable Technologies*; ASHRAE Transactions, January 2010
4. GRZYWACZ C., *Humidity and Air Quality Standards for Museums and Art Galleries to Protect Collections*, Seminars 59 ASHRAE Meeting, Orlando, January 2010
5. National Archives. *Preservation policy*, June 2009. Issue 5
6. MILLS F.A., *Conditions for Collections*, Historic Seminar 59, ASHRAE Meeting, Orlando January 2010

Umidità e qualità dell'aria per le collezioni negli edifici storici e nei castelli nel Regno Unito

Garantire condizioni ambientali adeguate per le collezioni negli edifici storici

Abstract

Nel Regno Unito molti edifici storici come castelli, palazzi e dimore signorili non sono più usate puramente come case di residenza familiare. Sono diventati sedi di musei e gallerie. Questo cambiamento è avvenuto in parte perché i loro proprietari originari le usavano proprio per ospitare le collezioni acquisite durante campagne militari o acquistate durante viaggi, ed in parte perché gli edifici stessi sono oggi visti come opere d'arte, tanto che molti di essi sono tutelati sia per l'interno che per l'esterno, e sono ritenuti ideali per questo scopo. La loro architettura e i loro interni sono testimonianze delle migliori capacità progettuali e artigianali del loro tempo e vanno dunque conservati perché le future generazioni possano vederli, viverli e trarne insegnamento.

Tuttavia recenti ricerche nel Regno Unito hanno mostrato come la scarsa qualità dell'aria e instabili condizioni di temperatura e umidità stiano danneggiando le opere esposte o in deposito. Le collezioni variano da materiali resistenti come le sculture ad altri deboli come stoffe, tende, arredamenti e così via. Sono tutti soggetti a deterioramento nel tempo per gli effetti dell'inquinamento ed i cambiamenti fisici dovuti alle fluttuazioni dei valori di temperatura e umidità, benché a diverso grado e in diversi modi. Una ricerca ad Hampton Court ha definito l'impatto che un largo numero di visitatori determina attraverso l'inquinamento da particolato.

Il modo più sicuro per evitare questo tipo di deterioramento è quello di dotare gli spazi espositivi e di deposito di un ambiente climaticamente controllato. Tuttavia questo non è attualmente il caso di molti edifici storici, in parte a causa degli alti costi di investimento e gestione coinvolti ed in parte per le preoccupazioni riguardanti gli effetti sulla struttura architettonica. C'è anche una preoccupazione più idealistica concernente il fatto che, a meno di agire in modo energeticamente efficiente e sostenibile, l'atto stesso di creare strumenti conservativi determina la loro scomparsa danneggiando l'ambiente globale.

Questo articolo esamina queste argomentazioni contrarie all'uso degli edifici storici e dei castelli per ospitare preziose ed antiche collezioni. Analizza il modo in cui questi si affidino alle strutture massive ed ai materiali compatti di cui sono costituiti per regolare le condizioni ambientali e offrire condizioni stabili. Considera il successo o meno di questo tipo di approccio e gli effetti che potrebbero interessare le collezioni. Studia come questo tipo di edifici possa essere rimodellato per poter ospitare delle collezioni all'interno usando un approccio di basso consumo energetico.

L'articolo fornisce inoltre alcuni principi tecnici su quali ambienti siano adatti e su come progettarli e dà alcuni esempi di casi studio di buona pratica, confrontando i risultati raggiunti con i nuovi impianti progettati a questo scopo.

Key-words

Qualità dell'aria, controllo dell'umidità, collezione libraria, protezione delle opere

Introduzione

Nei tempi passati chi aveva potere e benessere poteva permettersi di vivere in grandi residenze, palazzi e perfino castelli. Queste non erano semplicemente case o abitazioni, ma luoghi dove accumulare possedimenti e beni e dove proteggere e accrescere le famiglie.

Prima dei governi democratici era una questione tra famiglie o di potere tribale, da estendere sugli altri per mostrare chi fosse al comando, chi fossero i sottoposti e chi i nemici.

I castelli emersero come ben definite comunità fortificate e offrivano spazi ideali per i possedimenti di valore avendo una forza lavoro ben organizzata con compiti di pulizia, gestione e manutenzione così come di sicurezza e protezione armata del castello stesso e del suo contenuto.

Con lo sviluppo delle civiltà in territori più ampi, chi era al potere estese la sua influenza dal singolo edificio ad un'area o regione in cui un certo numero di cittadine e villaggi dovevano fedeltà al loro governante e lavoravano per espandere e proteggere il suo benessere e la sua prosperità. A questo erano infatti totalmente legate la loro qualità di vita e le loro prospettive future, sebbene le loro condizioni fossero spesso più basse e modeste. Con l'evolversi della società umana i potenti costruirono bei palazzi e dimore signorili preferendo la loro qualità architettonica e progettuale e la loro ampiezza alla talvolta cupa e austera natura dei castelli, sebbene vi siano anche delle notevoli eccezioni come Windsor Castle, che ha alcuni ambienti molto piacevoli di cui godere.

I governanti locali avevano influenza su territori che andavano da piccole aree o cittadine fino a contee o interi stati. Invece delle mura dei castelli, erano gli abitanti dei villaggi nelle aree marginali a costituire la prima linea di difesa e, insieme ai successivi livelli, a proteggere un palazzo o una dimora piacevole e aperta posta in una posizione scelta per la sua bellezza piuttosto che per le sue caratteristiche difensive, dal momento che la protezione era assicurata da forze ben organizzate nei territori circostanti.

L'abitudine di questi governanti di collezionare beni continuò, talvolta acquistandoli da artisti e artigiani locali, ma spesso saccheggiandoli durante spedizioni militari in altri territori.

Qualunque fosse la ragione – apprezzamento per l'arte, desiderio di collezionare, interessamento verso nuovi bottini o semplicemente una dimostrazione di benessere – coloro che si trovavano in posizione di potere cercavano di riempire in tutti i modi i loro bei palazzi e le loro dimore signorili con beni meravigliosi, dalle sculture in pietra, gli oggetti intagliati e le porcellane fini fino agli arredi, i tessuti, i gioielli e gli ornamenti.

Era importante proteggere queste collezioni, non solo da eventuali nemici, ma anche dagli effetti di inquinamento, danni accidentali, usura e condizioni atmosferiche. Nell'era precedente all'elettricità, che è una risorsa relativamente nuova, le persone dipendevano da riscaldamento e illuminazione a base fossile, con inevitabile emissione di depositi di carboniosi a

contaminare questi edifici e il loro contenuto. Venivano usate delle persone per pulire e spolverare e uno sforzo maggiore veniva fatto per pulire e proteggere.

Ovviamente il concetto di aria condizionata era sconosciuto e gli edifici erano costruiti in modo da poter sfruttare le risorse naturali, la topografia e le condizioni climatiche con soluzioni progettuali che usavano l'energia solare, il vento e l'acqua a proprio vantaggio.

L'inquinamento era riconosciuto non soltanto come inconveniente, ma come causa di condizioni insalubri non appena gli edifici diventavano più fitti. Chi era ricco continuava a decidere di costruire in aree con più spazio e limitata crescita urbana.

Nel Regno Unito le collezioni crebbero significativamente in età vittoriana, quando il commercio si espanse in tutto il mondo ed i mercanti portavano indietro tesori.

Castle Howard è la casa di famiglia degli Howard e conteneva opere d'arte collezionate per 300 anni. Le sue caratteristiche sono:

- Il progetto cominciato nel 1699
- Uso di pietra locale dello Yorkshire invecchiata dagli agenti atmosferici fino ad assumere una tonalità dorata.
- Costruito per ospitare le collezioni acquisite da Charles Howard, terzo Conte di Carlisle, e dai suoi discendenti
- Dimora signorile di famiglia

È evidente dalle ricerche portate avanti dagli scienziati che si occupano del cambiamento climatico che la qualità dell'aria nei centri industriali delle Isole Britanniche si è deteriorato dopo la Rivoluzione Industriale. Tuttavia, nelle campagne la qualità dell'aria sarebbe rimasta ragionevolmente stabile anche se soggetta alla natura e alle stagioni, dal momento che la pratica di areare in modo naturale gli edifici consente l'ingresso di spore, polline, polvere, insetti e batteri trasportati dall'aria in diverse quantità a seconda delle stagioni.

Manchester fu la prima città industriale a cominciare a usare carburanti fossili nel 1765 (inizialmente carbone) per ottenere calore e forza motrice e a creare smog urbano a livello locale e gas serra a livello globale.

Durante questo periodo le collezioni acquisite avrebbero sofferto sia degli inquinanti prodotti dall'uomo che di quelli naturali. Sono state intraprese delle ricerche per stabilire le cause di danno e deterioramento delle collezioni.

Ad Hampton Court un programma di ricerca sta indagando l'impatto che i visitatori hanno sulle collezioni [1]. Il loro crescente numero fa aumentare i rischi di inquinamento.

Musei chiusi ermeticamente e dotati di aria condizionata furono introdotti negli anni '20 per raggiungere questi due obiettivi:

- Un clima interno che proteggesse opere e collezioni
- Un ambiente confortevole e salutare per gli occupanti

I criteri legati a ciascuno dei due obiettivi sono diversi ed è importante identificarli rispettivamente e decidere quali hanno la precedenza.

Infatti in generale le condizioni per le opere dovrebbero essere raggiunte a meno che ciò ponga problemi di salute e sicurezza per gli occupanti. In questi casi la soluzione è spesso quella di racchiudere le opere entro vetrine a climatizzate e progettare la galleria per il comfort delle persone.

Qualità dell'aria

A seconda del tipo di materiale conservato nella collezione vari inquinanti sono causa di danno e la qualità dell'aria diventa una questione chiave da considerare.

In edifici in cui viene usata la ventilazione naturale ci sarà rischio di particelle di particolato, inquinanti e gas che entrano attraverso le finestre o le bocchette di immissione del sistema.

Per molti castelli e dimore signorili la loro localizzazione implica che l'aria esterna sia relativamente pulita e i rischi principali derivano dalla polvere sospesa nell'aria, dalle sostanze chimiche usate in agricoltura come i fertilizzanti spray e dai materiali vegetali come pollini e spore. Queste ultime possono far lievitare il danno da attacchi batterici e crescita di funghi.

Hampton Court Palace sta portando avanti una ricerca sull'impatto che i visitatori – ed il loro numero – hanno sulle collezioni. Si è scoperto che i visitatori sono la principale fonte di polvere e particelle di particolato. Oltre ad essere sgradevole, se la polvere non viene rimossa dagli oggetti e dalle superfici causa reazioni chimiche e si fissa sulle superfici. È difficile evitarlo, ma la maggior parte della polvere viene dai visitatori mentre si muovono per l'edificio. La quantità più ingente è sparsa dalla gente quando si muove velocemente, si piega, si gira e si volta. Di fatto le persone spargono circa 3000 squame – o particelle di pelle – all'ora. Come è scritto ad Hampton Court "Ci spiace di dirvelo ma se state visitando il palazzo state spargendo un subdolo agente di degrado e danneggiando le collezioni"

La polvere assorbirà anche l'umidità e gli inquinanti e servirà come nutrimento per batteri e insetti, tutti quanti causa di danno.

Nelle aree urbane l'aria esterna contiene particolato urbano, inquinanti dei veicoli – Sox, Nox CO² e altri contaminanti gassosi – così come particelle di polvere, che hanno un impatto sulle collezioni. Al British Museum nel centro di Londra le gallerie sono sistemate in modo da disporre le opere d'arte più delicate nelle gallerie più interne, ben lontane dalle strade esterne, e alcune opere sono contenute entro vetrine ad ambiente controllato per separarle dalle particelle sospese nell'aria.

La Torre di Londra è situata in mezzo a Londra, esposta alle emissioni dei veicoli e all'inquinamento industriale proveniente dalla città e oltre. Quanto di questo inquinamento entra nell'edificio e può causar danno alle importanti opere in mostra?

Historic Royal Palaces ha recentemente completato un progetto di collaborazione [2] finanziato dalla Commissione Europea che ha misurato il livello di inquinanti all'interno della Torre di Londra e ha sviluppato nuovi metodi per gestire l'impatto dell'inquinamento sulle opere usando una nuova "strategia di conservazione preventiva". È stata sfruttata una nuova tecnologia per misurare i livelli di inquinamento in modo che quando questo raggiunge livelli eccessivi si possa agire prima che venga causato danno agli oggetti.

Questo progetto di studio è appena terminato ma si continuerà a usarne la tecnologia per monitorare i livelli di inquinamento della Torre di Londra per essere sicuri che le vetrine funzionino secondo gli standard più elevati per proteggere gli oggetti di valore che contengono.

Lo studio ha mostrato che i livelli di diossido di zolfo (SO₂) e ozono (O₃) all'interno della torre sono molto bassi. I livelli di ossidi di azoto (NO_x), che sono prodotti dagli scarichi dei veicoli, possono diventare abbastanza alti nell'arco dell'anno. Gli ossidi di azoto possono danneggiare i materiali organici come carta e seta. Alcuni dei nostri oggetti più fragili si trovano all'interno di vetrine per proteggerli e mantenerli al sicuro oggi e nel futuro.

Inerzia termica

La massa termica che è propria alle costruzioni di castelli, dimore signorili e ville fornisce un mezzo di stabilizzazione delle temperature e dell'umidità. Sia la temperatura dell'aria che quella radiante sono influenzate dal momento che il calore viene ceduto alla massa termica quando la temperatura delle stanze è superiore a quella delle strutture costruttive mentre viene rilasciato dalla massa termica quando queste si trovano a temperature inferiori a quella delle stanze.

Questo meccanismo può essere importante e conferisce una temperatura molto stabile ai depositi posti in luoghi come piani terreni o interrati. Il collegamento con il suolo può essere particolarmente utile laddove i depositi siano posti in piani interrati a contatto con del terreno compatto che stabilizza la temperatura.

La National Library del Galles ospita un gran numero di preziose opere d'arte legate alla storia gallese, comprendente non soltanto libri ma anche dipinti, sculture, pellicole e materiali digitali, antiche monete e altri materiali simili. La struttura solida dell'edificio è ideale e il suo essere inserito sul versante scosceso di una collina ha permesso di sfruttare per la stabilità del clima l'inerzia termica del suolo. Nonostante l'aria condizionata sia necessaria per la maggior parte delle collezioni, il consumo di energia è tenuto basso ricorrendo a queste tecniche passive. Il materiale digitale e su pellicola è conservato in scompartimenti rivestiti in rame per formare delle gabbie di Faraday (Fig.6).

Ricerche in corso

Si stanno portando avanti ricerche per capire in modo più completo le condizioni preferibili per le collezioni e la "banda di tolleranza" o il "range" entro i quali esse possano sopravvivere. La differenza tra una protezione "assoluta" e una conservazione controllata, in particolare deve essere compreso il livello di deterioramento con valori prossimi ai limiti di controllo.

Il gruppo di lavoro EGOR (Environmental Guidelines : Opportunities and Risks) costituito nel Regno Unito all'interno del programma AHRC/APSRC Science and Heritage, si è riunito per sviluppare questo tema e ha individuato la necessità di ulteriori studi.

I temi della ricerca sono:

1. Pertinenza delle attuali linee guida, standard e obiettivi di sostenibilità per

- Patrimonio culturale
- Edifici/strutture storiche
- Edifici moderni
- Obiettivi comunitari

2. Costi

- Correnti
- Previsti in futuro
- Adattamento degli edifici
- Nuove costruzioni

Comprendere i costi

- I costi devono essere individuati a seconda dell'uso dello spazio e dell'interrelazione tra spazi con funzioni diverse: deposito, esposizione, ufficio, ristorazione, negozi
- Efficacia della gestione passiva dell'ambiente
- Efficacia degli impianti HVAC
- Quali fattori incrementano il consumo energetico: comfort dei visitatori, controllo della RH?
- Si può risparmiare energia consentendo maggiori fluttuazioni

intorno ad un set point?

- Quanto costa mantenere delle costruzioni massive al caldo in inverno e al fresco in estate?

Si solleva così la questione se sia più conveniente costruire edifici dalle alte prestazioni appositamente progettati piuttosto che cercare di adattare gli edifici storici.

Edifici progettati specificatamente per il controllo ambientale

Un esempio è il nuovo British Library Archives Storage, BLAST, situato a Boston Spa, Wetherby, in Yorkshire, dove un vasto deposito di libri – più di 7 milioni – è tenuto a condizioni costanti di 16°C e 50% di RH aperto all'uso di tutti come e quando richiesto. Completato nel 2007 e costato 26 milioni di sterline, questo edificio ha un ambiente arricchito al nitrogeno per spegnere gli incendi senza l'uso di sprinkler che se si attivassero potrebbero causare danno bagnando i libri.

- Deposito di biblioteca più avanzato del mondo
- Spazio per il deposito di 163 miglia di libri (262 km)
- Temperatura controllata ovunque a 16 +/- 1°C
- Umidità relativa controllata ovunque a 50 +/- 5%
- Bibliotecari robotici, nessun occupante
- Nessuna illuminazione per evitare i carichi termici e la manutenzione
- Perdita d'aria di 0.5m³/m²/hr a 50Pa
- Atmosfera arricchita al nitrogeno (sistema a basso uso di ossigeno) 14.5% per evitare la diffusione del fuoco

Efficienza energetica

I musei e le gallerie d'arte devono adottare strategie di efficienza energetica per definire in modo più estensivo la propria missione di proteggere le opere così come l'ambiente. Diversi aspetti sono importanti.

Ambiti di applicazione delle tecnologie passive:

- Ventilazione naturale
- Luce diurna
- Accumulo termico e uso di materiali a cambiamento di fase (PCM)
- Sfruttamento della capacità termica del suolo

Miglior uso di tecnologie esistenti:

- Sistemi di gestione degli edifici
 - Controllo automatizzato
 - Monitoraggio dei parametri
 - Segnalazione tempestiva dei problemi
 - Definizione delle priorità
- Recupero del calore
 - Ventilazione controllata
 - Illuminazione efficiente e controllata
 - Rilievo del numero di occupanti
 - Installazione di caldaie ad alta efficienza
 - Regolatori della velocità dell'aria

Nuove tecnologie:

- Pompe di calore e recupero dell'energia
- Risorse energetiche rinnovabili
- Energia eolica
- Sistemi fotovoltaici
- Pannelli solari termici
- Light Emitting Diodes – LED – devono giocare il loro ruolo per quanto riguarda qualità della luce e resa del colore

- Generazione di energia in loco
- Energia geotermica, falde acquifere termali
- Muri, pavimenti e soffitti termici
 - uso dei PCM
 - uso di serpentine integrate

Anche le vetrine ad ambiente controllato sono usate per ottenere ambienti protetti strettamente regolati per le opere in stanze dove i visitatori possono osservarle senza rischio di danno da contaminazione.

L'ambiente del costruito storico

Sorprendentemente non esiste una panoramica completa delle condizioni all'interno degli edifici storici britannici o del mondo. Tuttavia c'è chi sta raccogliendo dati e ci sono gruppi di ricerca come l'EGOR 2 – Environmental Guidelines: Opportunities and Risks Group – istituito dal programma britannico Science and Heritage che sta iniziando un'analisi comparata delle valutazioni ricevute da chi vi è stato coinvolto. Tuttavia c'è un grande patrimonio di conoscenza ancora non sfruttato che deve essere coinvolto. Sarebbe davvero molto utile poter conoscere il range di parametri microclimatici in tutti i musei, le gallerie d'arte e le biblioteche, ricavandone un'idea dei valori estremi ed una veduta d'insieme di quelli di riferimento rispetto a determinati tipi di collezioni. Questa valutazione potrebbe anche fornire una testimonianza sulla condizione delle collezioni e sul grado di deterioramento rispetto a determinati fattori – numero degli occupanti, livelli di umidità, temperatura, inquinanti, localizzazione e così via.

La ASHRAE ha raccolto ciò che la ricerca ha scoperto e pubblicato una guida nel capitolo 21 del ASHRAE Application Handbook. La Tabella 2 identifica utilmente i principali e più preoccupanti inquinanti gassosi rispetto ai materiali più a rischio delle collezioni. La tabella 3 fornisce livelli di temperatura e umidità relativa per tipo di collezione e distingue 5 classi di controllo. Gran parte delle ultime ricerche che hanno contribuito a questo capitolo provengono da organizzazioni come il Getty Institute che ha finanziato studi su argomenti come la qualità dell'aria e l'uso di sistemi di filtraggio dell'aria. Maekawa ha stabilito che le collezioni hanno la priorità sugli occupanti (comfort umano) [3]. Ulteriori ricerche al Getty puntano a ridurre il consumo energetico e ottenere processi sostenibili: Cecily Grzywacz [4], individuando dei dati "in serie" "in bande" per diversi tipi di collezioni, ha confutato il mito che umidità e temperatura dovessero essere severamente controllate, poiché nei fatti la maggior parte delle opere può essere adeguatamente protetta dentro un range più ampio di valori.

Standard di progetto

Il percorso verso possibilità più sostenibili ha visto emergere nuovi standard, come i New Design Standard for Building Archival Facilities della Society of American Archivists (SAA). Nel Regno Unito National Archives hanno pubblicato un documento di indirizzo che indica effettivamente quali standard seguire per tutte le collezioni, che si trovino in edifici storici o altro, magari anche strutture specificatamente costruite [5].

- British Standard and BS5454: Recommendations for the Storage and Exhibition of Archival Documents.
- ISO 11799:2003: Information and Documentation – Document Storage Requirements for Archive and Library Materials.
- ANSI/NISO Z39.79-2001 ISSN: 1041-5653: Environmental

Conditions for Exhibiting Library and Archival Materials.

- NARA 1571: Archival Storage Standards.
- Library of Congress Guidelines and Specifications
- ASHRAE Chapter 21 Applications Handbook.

Patrimonio culturale

Gli edifici storici e le collezioni che ospitano sono una ricchezza raccolta lungo i secoli per dare piacere e insegnamento ai visitatori, che potrebbero provenire dalla comunità locale o da più lontano, perfino dall'estero. Nei fatti sono spesso la ragione per cui le persone decidono di viaggiare e visitare un luogo, portando così gli indotti dovuti al tempo libero ed al turismo.

Le preoccupazioni sul degrado degli edifici e delle collezioni hanno portato ad un crescente uso di risorse energetiche – riscaldamento, raffrescamento, ventilazione – per mantenere gli ambienti entro parametri specifici. Chi è responsabile della cura delle collezioni cerca di migliorare il controllo ambientale ma ad un certo costo, sia economico che ambientale, poiché l'uso di energia causa inquinamento, contribuisce al cambiamento climatico ed impoverisce le risorse.

Conclusioni

L'uso tradizionale degli edifici storici lungo i secoli per conservare collezioni di opere d'arte, manufatti e altri memorabilia va considerato generalmente positivo. Tuttavia in tempi recenti l'inizio della rivoluzione industriale, la diffusione dell'uso di carburanti fossili per generare energia e l'uso di veicoli a motore che impiegano carburanti diesel o a benzina, ha visto un innalzamento del livello di inquinamento e una diffusione di polveri dannose. In tempi più recenti l'accresciuto interesse nel visitare e vedere mostre ha visto un grande incremento dei livelli di affollamento e le persone stesse sono creatrici di inquinamento e danneggiano le opere esposte. La soluzione scontata di installare sistemi di condizionamento dell'aria in tutte le gallerie colpite sarebbe estremamente costosa, porterebbe problemi di integrazione negli edifici storici, richiederebbe un grande impiego di risorse energetiche e sarebbe contrario allo scopo fondamentale delle gallerie di proteggere il passato a beneficio del futuro.

La ricerca sta dimostrando che ci sono soluzioni tecniche a basso consumo energetico che possono garantire protezione ed allo stesso tempo pubblica visibilità senza costi eccessivi e rispettando la natura storica degli edifici. Vi sono guide alla progettazione pubblicate ed utilizzate che applicano i risultati ottenuti da queste ricerche, mantenendo le originarie caratteristiche di progetto "passive" con consumo di energia limitato.

Riferimenti

1. Hampton Court studies, EGOR working group 2009
2. Historic Royal Palaces, Hampton Court Palace, 2004. Garden, Buildings and Estate Conservation
3. MAEKAWA S., Alternative Climate Control for Collections, in Historic Structures Using Sustainable Technologies; ASHRAE Transactions, January 2010
4. GRZYWACZ C., Humidity and Air Quality Standards for Museums and Art Galleries to Protect Collections, Seminars 59 ASHRAE Meeting, Orlando, January 2010
5. National Archives. Preservation policy, June 2009. Issue 5
6. MILLS F.A., Conditions for Collections, Historic Seminar 59, ASHRAE Meeting, Orlando January 2010

Museums in historical buildings: actual and potential opportunities for microclimatic control

Chiara Bonvicini**, Stefano P. Corgnati*, Valentina Fabi*, Marco Filippi*

* Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica, TEBE Research Group, www.polito.it/tebe

** Onleco srl, www.onleco.com

Abstract

Microclimatic control in museum environment is a crucial aspect for the preservation of works of art. Nevertheless, the microclimatic quality level can not be analysed if, at the same time, the potentialities of the building envelope class plant system is clearly defined. To this aim, the approach proposed by “ASHRAE Application Handbook” in dividing in control classes the “building-plant system” is very useful when museum environments are investigated.

In this paper the connections between thermal quality level and the control classes are analysed by means of long term in field investigations applied to different case studies. The ultimate aim of the study is to verify the real microclimatic quality related to the potentiality of thermohygrometric control. The analysis shows some critical aspects regarding both the climatic control and the available potentialities of the building envelope and of the conditioning system in controlling indoor environmental parameters.

Key-words

Microclimate, Conservation, Long-term monitoring, Classes control, Building-plant system

Introduction

Over the last years there has been an increasing interest in microclimate control inside the museums for the preservation of the works of art there displayed [1]. In particular, the emanation of Italian standard “Atto di Indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei” (D.M. 10 maggio 2001) [2] has undoubtedly contributed at this growing interest. The standard explicitly refers to the microclimate control demand of this kind of indoor environment (aspect focused on Ambito VI – Sottoambito 1).

Before this standard, The Standard UNI 10829 of 1999 “Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi” (“Works of art of historical importance. Environmental conditions for conservation. Measurement and analysis”) [3] defines the guidelines for the microclimatic parameters monitoring for preservation

purposes and, in appendix A, suggests some acceptability intervals for such parameters to be used as a reference for the preservation of different kinds of works of art, in case there are no specific indications based on the “climate history” from the exhibition curator. Microclimatic monitoring as described in the Italian standards has a fundamental importance not only to observe and assess the quality of the environment microclimatic, but also for diagnostic purposes, in order to understand thermohygrometric fluctuations and at the same time to catch up any critical modes of control and regulation of plant systems. Consequently, monitoring allows to propose corrective actions to improve the microclimate [4].

The crucial topic consists on being able to maintain parameters and humidity stable over time and uniform in space.

For this reason, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) [5], moves the attention from the object to the environment where such object is kept, by defining the thermo-hygrometric control requirements for exhibition or storage areas, which are divided into 5 **control classes** required for the artefact preservation, on the basis of specific sensitivity thresholds (accepted seasonal or short-term fluctuations) (Table 1).

Once thermohygrometric parameters values for conservation are identified, the appropriate class of control (AA - A - B - C - D), indicating the allowed short fluctuations (space gradients) and seasonal adjustment in system set point, is defined. Thus, these control classes allow to move the attention to the entire building-plant: curators have to take consciousness about microclimatic control potentialities in the environment for conservation of cultural heritage. AA class is the more restrictive one, because of its severe requirements. B and C classes are the most frequent ones, typical of small and medium-sized museums. These classes require a less severe control of temperature and humidity, but it's the maximum obtainable when old historical buildings take on the function of museums. In the class D only relative humidity is controlled.

Based on these introductory considerations, a study to examine the microclimatic quality actually achieved in the environment in relation to the potential control of temperature and relative humidity, is developed. The study is conducted by means of analysis of monitoring data of some case studies.

TABLE 1: CLASSES OF THERMO-HYGROMETRIC CONTROL FOR PRESERVATION ACCORDING TO ASHRAE (2007)

Type	Set Point or Annual Average	Maximum Fluctuations and Gradients in Controlled Spaces			Collection Risks and Benefits
		Class of Control	Short Fluctuations plus Space Gradients	Seasonal Adjustments in System Set Point	
General Museums, Art Galleries, Libraries, and Archives All reading and retrieval rooms, rooms for storage of chemically stable collections, especially if mechanically medium to high vulnerability.	50% rh (or historic annual average for permanent collections) Temperature set between 15 and 25°C <i>Note: Rooms intended for loan exhibitions must handle set point specified in loan agreement, typically 50% rh, 21°C, but sometimes 55% or 60% rh.</i>	AA Precision control, no seasonal changes	±5% rh ±2 K	Relative humidity no change Up 5 K; down 5 K	No risk of mechanical damage to most artifacts and paintings. Some metals and minerals may degrade if 50% rh exceeds a critical relative humidity. Chemically unstable objects unusable within decades.
		A Precision control, some gradients or seasonal changes, not both	±5% rh ±2 K	Up 10% rh, down 10% rh Up 5 K; down 10 K	Small risk of mechanical damage to high vulnerability artifacts, no mechanical risk to most artifacts, paintings, photographs, and books. Chemically unstable objects unusable within decades.
			±10% rh ±2 K	RH no change Up 5 K; down 10 K	
		B Precision control, some gradients plus winter temperature setback	±10% rh ±5 K	Up 10%, down 10% rh Up 10 K, but not above 30°C Down as low as necessary to maintain RH control	Moderate risk of mechanical damage to high vulnerability artifacts, tiny risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books and no risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods will double life.
		C Prevent all high risk extremes	Within 25 to 75% rh year-round Temperature rarely over 30°C, usually below 25°C		High risk of mechanical damage to high vulnerability artifacts, moderate risk to most paintings, most photographs, some artifacts, some books and tiny risk to many artifacts and most books. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods will double life.
D Prevent dampness	Reliably below 75% rh		High risk of sudden or cumulative mechanical damage to most artifacts and paintings due to low humidity fracture; but high-humidity delamination and deformations, especially in veneers, paintings, paper, and photographs, is avoided. Mold growth and rapid corrosion avoided. Chemically unstable objects unusable within decades, less if routinely at 30°C, but cold winter periods will double life.		
Archives, Libraries Storage of chemically unstable collections	Cold Store: -20°C, 40% rh	±10% rh ±2 K		Chemically unstable objects usable for millennia. Relative humidity fluctuations under one month do not affect most properly packaged records at these temperatures (time out of storage becomes the lifetime determinant).	
	Cool Store: 10°C 30 to 50% rh	(Even if achieved only during winter setback, this is a net advantage to such collections, as long as damp is not incurred)		Chemically unstable objects usable for a century or more. Such books and papers tend to low mechanical vulnerability to fluctuations.	
Special Metal Collections	Dry room: 0 to 30% rh	Relative humidity not to exceed some critical value, typically 30% rh			

Note: Short fluctuations means any fluctuation less than the seasonal adjustment. However, as noted in the section on Response Times of Artifacts, some fluctuations are too short to affect some artifacts or enclosed artifacts.

Case studies description

With regard to the characterization of the examined environments, reference is made to their potential to control the thermo-hygrometric parameters according to Table 1. In particular, four different environment typologies are been analyzed. Each of these environment is characterized by different thermo hygrometric control (Table 2):

- **Class D environment**, uncontrolled (without conditioning system). With regard to indoor air quality, control is carried out through natural ventilation by opening windows and infiltration. It is no check for the humidity parameters (**Torino 1 case study**)
- **Class C environment**, partly controlled. With regard to air quality checks are carried out with natural ventilation by opening windows and infiltration. Air temperature is controlled by water system (a fan-coil) only in winter, while the relative

humidity remains uncontrolled. (**Torino 2 case study**).

- **Class A environment**, totally controlled. Air temperature and relative humidity are controlled throughout the year by an all-air plant (**Brescia case study**) or mixed with primary air and radiant floor panels (for heating and cooling) (**Torino 3 case study**).

With regard to the relative humidity control, the classes C and D environments are not equipped with any mechanical control system, even if localized (local humidifiers and dehumidifiers). For these environments, the values of relative humidity set-point shown in Table 2 were therefore assumed to be indicative with the unique purpose of defining their thermo hygrometric potential, based on the gradients listed in Table 1.

It is also noted that in the class D environment some show-cases with desiccant (Art Sorb) were used for displaying works of art at higher risk in order to carry out a passive type of relative humidity control. In class A environments (case study

TABLE 2: ANALYZED ENVIRONMENT CHARACTERISTICS

Case study	Environment			
	Torino 1	Torino 2	Torino 3	Brescia
Thermal capacity	Medium	High	High	High
Air permeability	Medium	Medium	Medium-High	Medium
Climatic control system	No plant	Fan coil only for winter	mixed primary air and radiant floor panels	all-air
Attended climatic control class	D	C	A	A
Monitoring period	April-September	January-February	November- March	October-April
Set-point T [°C]	22	20	22	20
Set-point R.H. [%]	(50)	(50)	50	50
Works of art material	Paintings on canvas, paper documents	Documents on paper or parchment	Paintings on canvas	Paintings on canvas
Acceptability interval T [°C]	Da 19 a 24	Da 15 a 25	Da 21 a 23	Da 18 a 22
Acceptability interval U.R. [%]	Da 45 a 55	Da 40 a 55	Da 45 a 55	Da 45 a 55

Brescia and case study Torino 3) the relative humidity control is effected by central air treatment.

With regard to elaboration and analysis methods of data coming from the monitoring conducted as described by DM 10.05.2001 and UNI (10829), in each case-study the temporal profiles were evaluated, the frequency distributions and cumulative frequency distribution of temperature and relative humidity were examined. The study does not include any analysis related to air quality. The monitoring conducted have also allowed us to evaluate the hourly and daily gradients of the thermo hygrometric parameters, but for reasons of space they are not reported and analyzed in detail in this paper.

From the knowledge of the cumulative frequency of the measured values an index of performance was evaluated (Performance Index, PI) [6, 7, 8] with regard to the maintenance of microclimatic conditions considered as "acceptable" for the conservation of works on the basis of curators' indications. This index expresses a brief evaluation on the quality of the indoor environment in relation to the conservation of the works contained in it: it represents the percentage of time during which the measured parameters fall within their acceptable ranges set.

Results

The results of in field thermo hygrometric investigations, carried out on cases studies, are here presented. They are critically analyzed with the aim to examine the thermo hygrometric control potentiality related to the actually reached environment conditions.

Class D environment is an historical building of two rooms with museum destination. The results of a monitoring campaign carried out during a temporary exhibition, from April to September are here analyzed. During this period, indoor environment was uncontrolled.

For this reason, the most sensitive and valuable works of art, requiring stable values of relative humidity, have been exposed inside museum showcases. In this way, a passive control of relative humidity level has been conducted with the use of pre-

conditioned at 55% of relative humidity buffer materials.

The analysis of microclimatic parameters, measured in the two rooms (Fig. 1), shows that temperature and relative humidity conditions were reasonably acceptable for the works of art preservation during the monitoring period.

In Figure 1 the time profiles of temperature and relative humidity measured in the room and inside a showcase are presented. From the diagrams, it is clear that the showcase's rela-

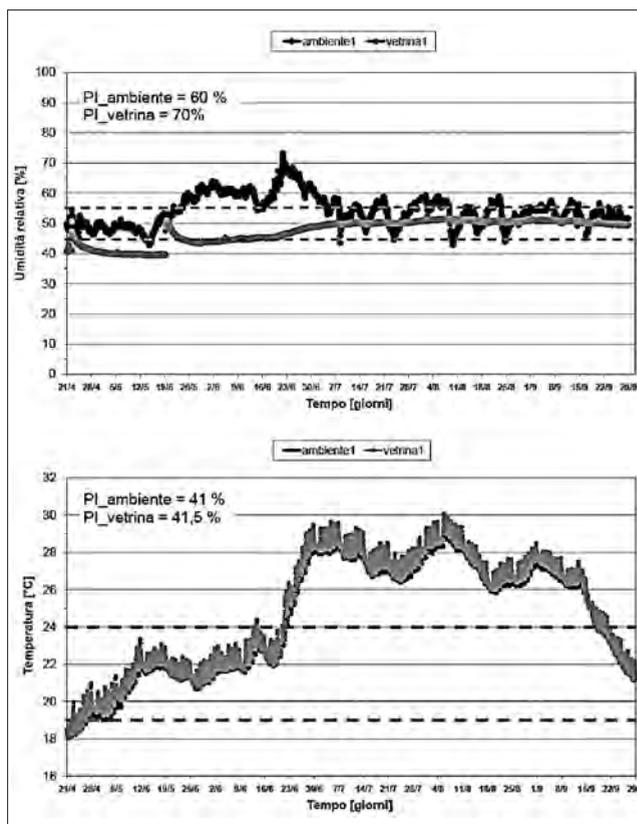


Fig. 1 - Time profile of relative humidity and temperature values (exhibition rooms and showcase)

tive humidity trend appears very “flat” and stable compared to the fluctuations of the exhibition room. A correctly sized quantitative of buffer materials and a good air tightness of the showcase have allowed to stabilize external relative humidity fluctuations, both on the short and long period.

In the exhibition hall (room 1) the relative humidity values shows an average value of 52-53% and the Performance Index is equal to 60%. Temperature values present a more critical situation for the conservation of the art-works. In particular, the values of Performance Index is only equal to 41%.

In the **Class C environment**, an historical building with “archive / library” destination use, historical books and works of art (manuscripts, paper and parchment documents, paper drawings...) are preserved. The historical building is provided with an hydronic heating system, with two-pipe fan coils, which allows the only temperature control in winter season. The monitoring campaign has been conducted in the winter period, in operating conditions.

Figure 2 shows the time profile and cumulative frequency distribution of temperature and relative humidity values of the room. The figure highlights the acceptability interval for the conservation of art-works defined by conservators as well.

The temperature values standing out of the acceptability thresholds are above the upper limit and, by consequence, the relative humidity values are lower than the inferior limit.

Thus, for the temperature values, a quite high Performance Index has been calculated, just above 70%. However, it must be pointed out that the defined environmental conservation requirements were not very stringent. The relative humidity values, instead, are very lower and completely outside of the acceptability interval; the Performance Index is equal to 0%.

From the analysis of the thermo hygrometric profiles, a supervision of the air conditioning system more oriented to the comfort of the occupants rather than the preservation of the library collection, appears very clear.

In Figure 2, it is evident a switching-off or attenuation of

plants operation during the night. This kind of plants conduction leads to the typical fluctuating profile of the temperature. It is also clearly visible the plant’s switching-off during the weekend with a consequent appreciable drop in temperature.

This conduction, though assuring an average temperature value suitable for conservation, causes strong temperature gradients in time (24 hours gradient is very high), those could create works of art degradation.

In addition, the high temperature values, in the proximity of the upper limit of conservation acceptability interval, cause a low level of relative humidity, below the minimum allowed.

The analysis of the trends described above, allows to formulate some solutions in order to contain thermo hygrometric parameters fluctuations.

The analyzed environment is characterized by a non-impulsive, but continuing and not heavy, visitors’ flow. Consequently, the absolute humidity level in the room is stable and uniform in space.

For this reason, a temperature set-point value reduction would cause an immediate increase in relative humidity, that could re-enter in the acceptability interval set by the conservator.

For example, by dropping the temperature from 24°C (average measured value) to 20°C and by maintaining constant the absolute moisture level, it would be possible to raise relative humidity values from 35% of relative humidity (average measured value) to 45%.

These considerations lead to the conclusion that microclimatic improvements can be achieved by adopting strategies deduced by a detailed monitoring data analysis. This is possible in not fully air conditioned environments, without direct relative humidity control as well.

The analysis shows that a Class C environment, that potentially provides a better indoor environmental parameters control, if badly managed, can perform significantly worse than a Class D environment (the first case study presented), where

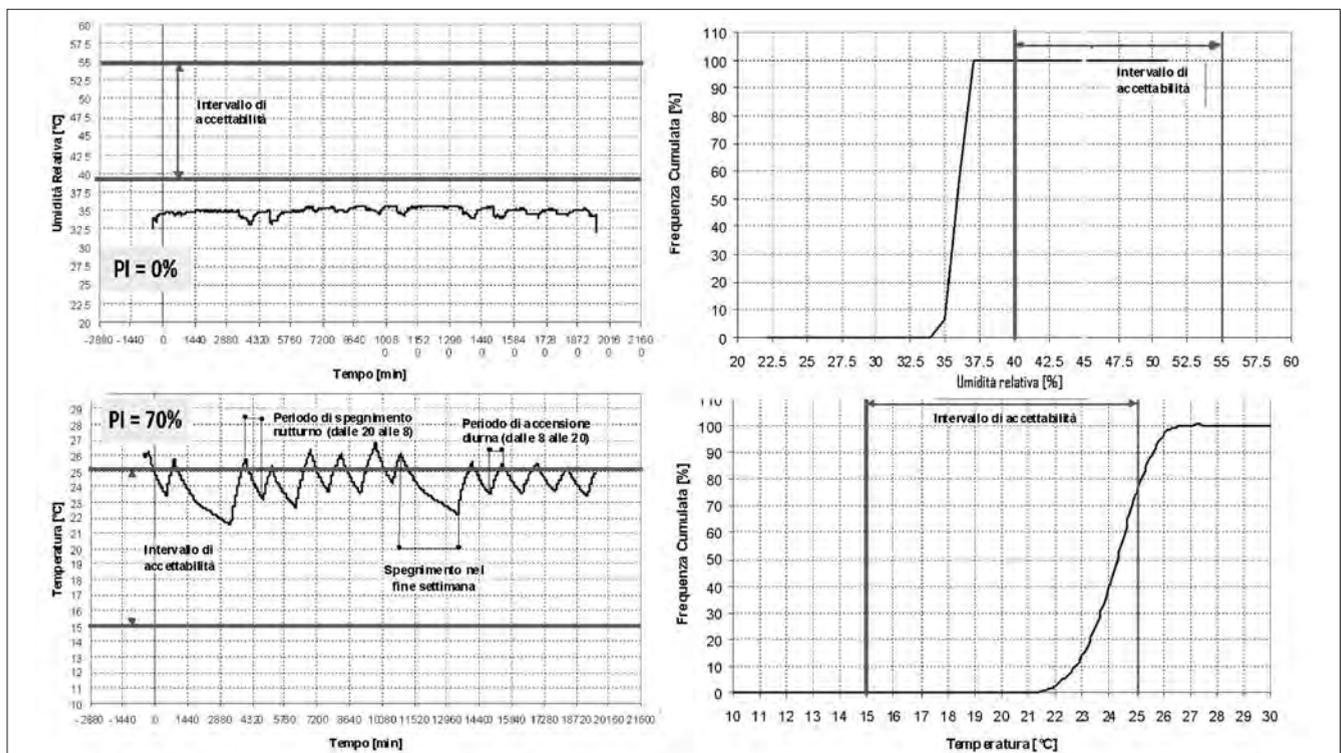


Fig. 2 - Time profile and cumulative frequency distribution of relative humidity and temperature. Class C environment – monitoring period: January 2003

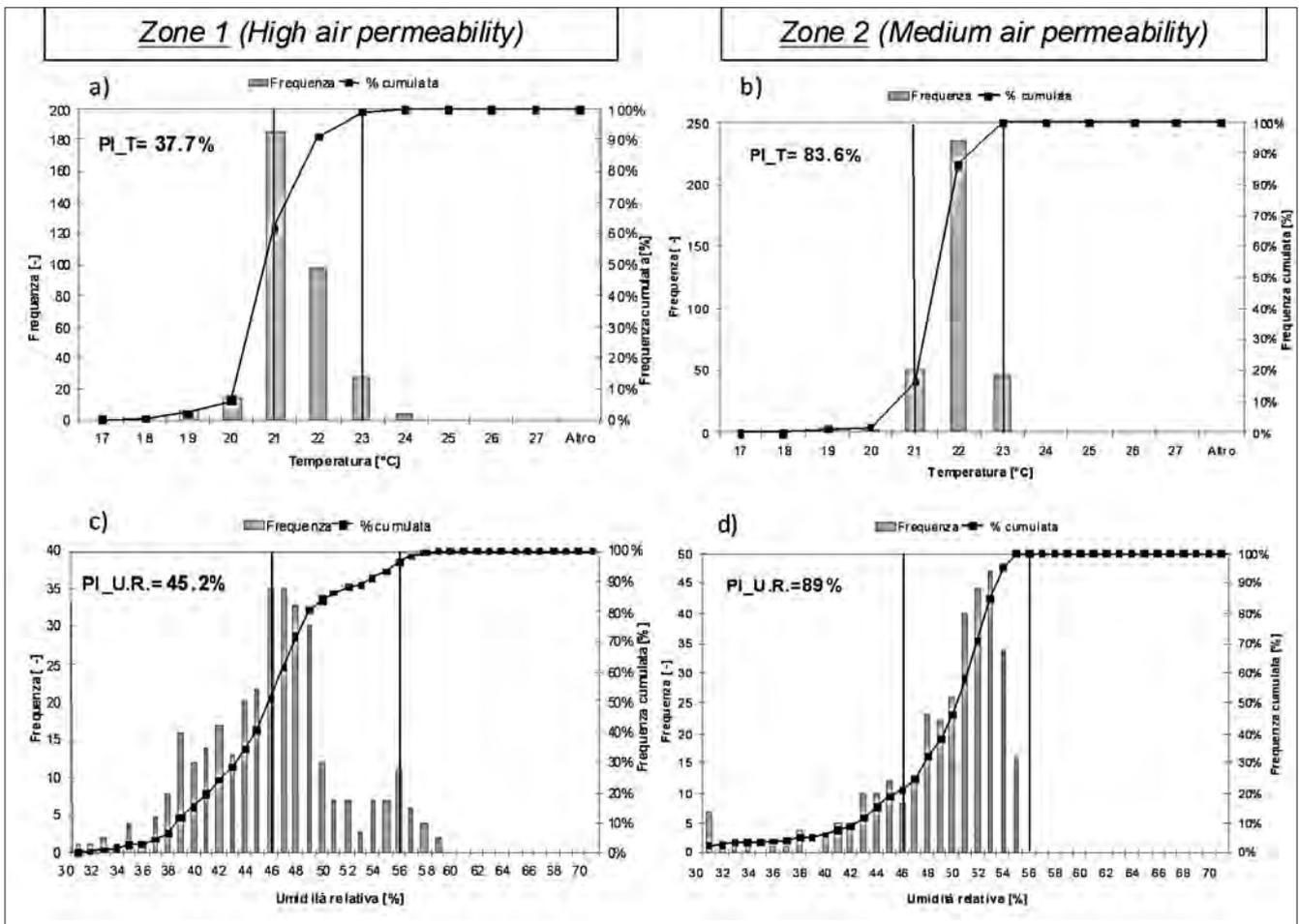


Fig. 3 - Cumulative frequency distribution of temperature and relative humidity values. Class A environment – Torino 3 case study. Monitoring period: September - March 2007

all the thermal dynamics are related to the energy building performances.

In figure 3, are reported the monitoring microclimate results of a Class A environment (Torino, case study), a large exhibition area that preserves art-works like “painting on canvas”. The monitoring campaign has been conducted both in the winter and in the summer period.

The exhibition area is provided with a water-air conditioning system. The water system is made up of radiant floor panels, working both for summer cooling and winter heating (24 hour/day operating). The thermo hygrometric investigations have been conducted in two zones characterized by different air permeability of the building envelope. The data analysis (Fig. 3) shows how the thermo hygrometric performance, and in particular relative humidity performance, is closely related to the characteristics of building envelope.

Histogram of zone 2 (medium air permeability of the building envelope) underlines a careful control of the thermo-hygrometric parameters. The Performance Indexes calculated by cumulative frequency curves of temperature and relative humidity are quite elevated. In particular, 83.6% of temperature values and 89% of relative humidity values fall into the acceptability interval for the works of art-preservation.

On the contrary, in zone 1 (high air permeability of the building envelope), thermo hygrometric parameters seem to be badly controlled.

It is clearly evident, since the cumulative frequency distribution of the temperature values (Fig. 3a), that only 37% of the measured values fall into the allowed interval.

In field surveys, conducted during the monitoring period, have largely confirmed that the cause of this critical situations can be related to the high air permeability of the building doors and windows frames, that caused elevated external air infiltrations.

It is also essential to underline that zone 1 borders to areas with uncontrolled indoor environment.

The analyzed cases studies demonstrate that if the building features performances are inadequate a good environmental quality cannot be reached, even with a high potential environmental control plant system.

Figure 4 shows temperature and relative humidity time profile of an exhibition area in which it is provided an air conditioning system. (**Class A environment** – Brescia case study).

As well as the graph highlights, the measured relative humidity values are included in the acceptability interval for the conservation of the works of art, with the exception of the initial monitoring period (left side of the graph), characterized by major fluctuations and higher relative humidity values.

On the contrary, a better temperature control is pointed out. The Performance Index is optimal ($PI_T = 100\%$).

The graph below (Fig.5) shows the monthly detail of the starting period that revealed to be critical.

In October, very wide fluctuations of the thermo hygrometric environment parameters have been highlighted. The causes of this inefficient performance are due both to an uncorrected value of the air conditioning system’s set-point, and to particularly external critical environmental conditions, that have strong influenced the thermo hygrometric internal values. In

October, external values of temperature and relative humidity were higher than the seasonal average values. Moreover, air-conditioning system was calibrated for the winter season without air cooling and dehumidification. In this way the plant system could not keep the desired conditions of temperature and humidity. This is a typical problem that occurs in mid-season, when the external environmental conditions are unexpected (hot and humid even in the heating season).

Classification of potential control

The study allowed to point out that the potential of thermo-hygrometric control depends not only on the structural features of the building-plant system, but also, and often, mostly by the way of management. In this regard, it is significant the case of the environment with total absence of climate control. Actually, in order to analyze the environment characteristics, it was classified according to its potential to control climatic conditions (Table 1) Class D (Table 2).

From the analysis of the results shown above, it is exemplary that the high heat capacity of the housing combined with careful exposure modes (showcases with passive control of relative humidity) have led to an high performance control of the building-plant system, reaching a real capability to control parameters of temperature and relative humidity.

The environment of potential control level "D" achieves a level of real control typical of class "C" by monitoring verification. Figure 6 presents the scatter plot on hourly average values of temperature and relative humidity obtained during the monitoring of the environment.

As shown in the table, the percentage of values falling in the range defined on the basis of Table 1 for class C is in fact close to 100%. The graph shows how the values of the parameters of temperature and relative humidity fall perfectly within the framework

that characterizes the class D proposed by ASHRAE, but at the same time the requirements for Class C are satisfied as well.

Therefore, it is important to highlight that careful management of building-plant system can afford to get control classes exceeding the expectations potential; vice versa in the case of inefficient management.

The graph in Figure 7 is related to the measured values in the class of potential control A, case study Torino 3. It soon becomes clear that the values of the parameters measured in the room (zone 1, high permeability) do not comply in any way the class proposed by ASHRAE. As described in the table, the proportion of values falling in class A is equal to 33 % only.

In this case the presence of factors related to the envelope have negatively affected the performance of the building-plant system, unskilling environment from potential control class A to a real class B.

Conclusions

The study has highlighted the need for an accurate check of the potentialities of thermo hygrometric control of a building-plant system by monitoring the environment in order to establish and verify the corresponding control class ASHRAE.

The results of monitoring conducted at several case studies have shown how real thermo hygrometric control is depending by some factors that can affect performance. It's pointed out also that not always the potential thermo hygrometric control coincides with the actual performance of the building-control system. These influencing parameters regards both the building (insulation, heating capacity, air permeability), and the facilities (plant functioning) and their management. To ensure the preservation of the artworks is therefore advisable to check through the results of in field monitoring the relationship between potential and actual control classes.

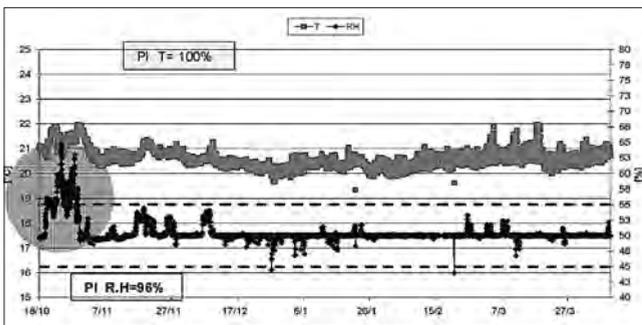


Fig. 4- Time profile of relative humidity and temperature values Class A environment - Brescia case study

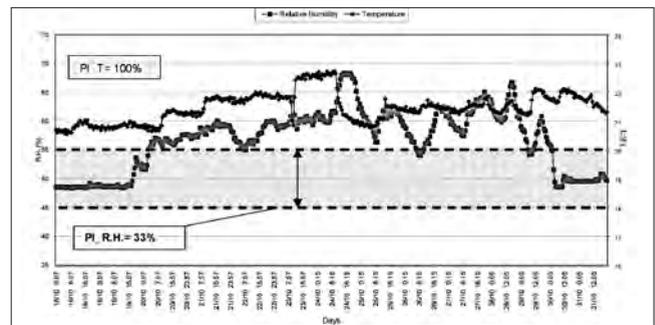


Fig. 5- Time profile of relative humidity and temperature values Class A environment - Brescia case study. First monthly of monitoring (conditioning system start-up)

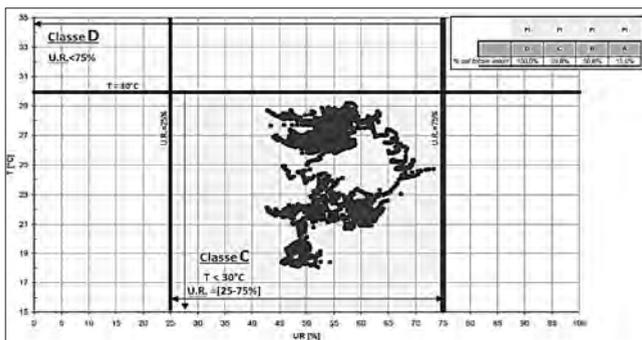


Fig. 6 - Scatter plot of temperature and relative humidity values coming from the monitoring carried out on an environment classified according to ASHRAE table in class D

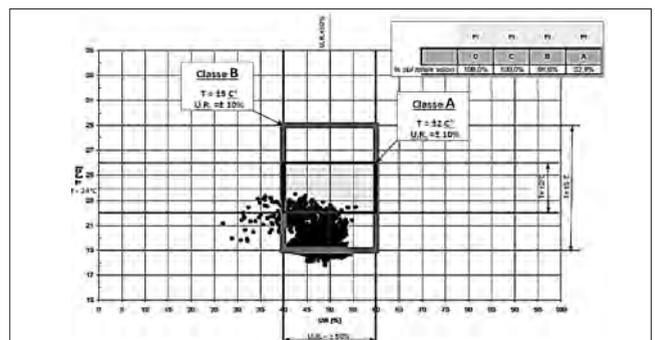


Fig. 7 - Scatter plot of temperature and relative humidity coming from the monitoring carried out on an environment classified according to ASHRAE table in class A

References

1. FILIPPI M., *L'ambiente per la conservazione delle opere d'arte*, Condizionamento dell'Aria n.6, giugno 1996
2. Ministero per i beni e le attività culturali, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.M. 10.5.2001, G.U. n. 238; 19.10.2001
3. UNI 10829, *Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*, 1999
4. FILIPPI M., *Air conditioning for works of art*, Bulletin of the International Institute of Refrigeration, n. 3, 1997
5. ASHRAE, *Museum, libraries, and archives*, ASHRAE Applications Book, chapter 21, 2007.
6. CORGNATI S.P., FABI V., FILIPPI M., *A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: application to a temporary exhibit*, Building and Environment, Volume 44, Issue 6, June 2009, 1253-1260, ISBN: 0360-1323
7. CORGNATI S.P., FILIPPI M., PERINO M., *A new approach for the IEQ (Indoor Environment Quality) assessment*, Research in Building Physics and Building Engineering (P. FAZIO; H. GE; J. RAO; G. DESMARAIS) Taylor & Francis (GBR) pp.837-844 ISBN:0415416752.
8. CORGNATI S.P., FILIPPI M., ANSALDI R., *Classification of the Indoor Thermal Quality: results from a field campaign*, The 6th International Symposium on heating, ventilating and air conditioning – Nanjing, China, vol.2, pp.1132-1139, 2009

Musei in edifici storici: opportunità attuali e potenziali per il controllo del microclima

Abstract

Il controllo del microclima in un ambiente museale è un aspetto di fondamentale importanza per la conservazione delle opere d'arte.

Tuttavia il livello di qualità microclimatica non può essere stabilito se, nello stesso tempo, non vengono chiaramente definite le potenzialità del sistema edificio-impianto. A tal fine, l'approccio proposto dal "ASHRAE Application Handbook", che definisce le classi di controllo per il sistema edificio-impianto, risulta molto utile quando si analizza l'ambiente museale.

In questo articolo, le relazioni tra il livello di qualità e le classi di controllo del microclima sono analizzate per mezzo di indagini di lungo periodo condotte in campo per differenti casi studio. Il fine ultimo di questo studio è indagare l'effettiva qualità ambientale in relazione alle potenzialità di controllo termoigrometrico. L'analisi mette in luce alcuni aspetti critici riguardanti sia il controllo del clima interno che le potenzialità effettive dell'involucro edilizio e del sistema di climatizzazione nel controllare i parametri dell'ambiente interno.

Key-words

Microclima, Conservazione, Monitoraggio di lungo periodo, Classi di controllo, Sistema edificio-Impianto

Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad una continua crescita d'interesse nei confronti delle problematiche di controllo microclimatico nei musei ai fini della conservazione delle opere d'arte in essi custodite [1]. A questo incremento di interesse ha senza dubbio contribuito l'emanazione dell'Atto di Indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo nei musei (D.M. 10 maggio 2001) [2] che richiama in modo esplicito la necessità di prestare grande attenzione al controllo del microclima (questo aspetto è stato in particolare affrontato nell'Ambito VI – Sottoambito 1).

Anticipando il suddetto Atto di Indirizzo, la norma UNI 10829 del 1999 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi" [3]

traccia le linee guida per il monitoraggio dei parametri microclimatici ai fini conservativi e, in appendice A, indica per i parametri stessi gli intervalli di accettabilità che, in assenza di indicazioni specifiche, possono essere presi come riferimento per la conservazione di oggetti di diversa natura. Il monitoraggio microclimatico così come delineato dal Decreto Ministeriale e descritto nella norma ha un'importanza basilare non solo per osservare e stabilire la qualità microclimatica dell'ambiente, ma anche a scopo diagnostico, per comprendere le dinamiche termoigrometriche del sistema edificio-impianto e per cogliere eventuali criticità nelle modalità di controllo e regolazione dei sistemi impiantistici e, conseguentemente, proporre eventuali azioni correttive per il miglioramento del microclima [4].

Il problema cruciale consiste nel riuscire a mantenere stabili nel tempo e uniformi nello spazio i parametri termoigrometrici.

Per questo motivo, nell'Application Handbook ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) [5], partendo dalla consapevolezza di trattare beni irripetibili e consci che ciascuna collezione rappresenta unicum, l'attenzione si sofferma non più sul singolo oggetto ma sull'ambiente atto a conservare l'opera o intere collezioni attraverso la definizione di classi di controllo per il sistema edificio-impianto, in particolare ASHRAE stabilisce i requisiti di controllo termoigrometrico per gli ambienti che espongono/conservano opere, suddivisi in **Classi di Controllo** richieste per la conservazione degli oggetti (Tabella 1). ASHRAE si propone quindi attraverso un approccio metodologico differente da quello proposto dalla norma UNI che si focalizza invece sul monitoraggio e sulla verifica dell'ottenimento di specifiche condizioni ambientali per la singola opera.

Individuati i valori dei parametri termoigrometrici compatibili con la conservazione di una collezione, si individua la idonea classe di controllo del sistema edificio-impianto (AA - A - B - C - D) che identifica le fluttuazioni ammesse a breve termine (o gradienti) e quelle stagionali rispetto al valore di set-point (o ai valori medi su base annua), come si legge in tabella 1. Le "classi di controllo" consentono dunque di spostare l'attenzione dall'oggetto singolo al sistema edificio-impianto nella sua interezza: i curatori dell'istituzione museale devono essere conseguentemente consapevoli delle potenzialità di controllo

climatico indoor all'interno dell'ambiente che custodisce le opere. Come individuato in tabella 1, la classe AA è la più restrittiva, presentando i requisiti più stringenti che vanno progressivamente allargandosi nelle altre classi. Le categorie B e C sono le più frequenti, tipiche dei musei piccoli e medi, imponendo un controllo di temperatura ed umidità meno rigido che però è spesso il massimo ottenibile quando vecchi edifici storici assumono la funzione museale. Nella classe D il controllo è limitato all'umidità relativa.

Sulla base di queste considerazioni introduttive, è stato condotto uno studio finalizzato a esaminare la qualità termo igrometrica effettivamente raggiunta in ambiente rispetto alla potenzialità di controllo termoigrometrico, mediante l'analisi dei dati di monitoraggio di alcuni casi di studio.

Descrizione dei casi studio

Relativamente alla caratterizzazione degli ambienti esaminati, si è fatto riferimento alla loro potenzialità di controllo termoigrometrico in base alla tabella 1.

In particolare, si sono esaminate quattro differenti tipologie di ambiente caratterizzate da una diversa categoria di controllo termoigrometrico (si veda tabella 2):

- **ambiente di classe D**, non controllato (assenza di impianti di climatizzazione). Relativamente alla qualità dell'aria interna, il controllo viene effettuato tramite ventilazione naturale mediante apertura delle finestre e per infiltrazione. Non è eseguito alcun controllo relativamente ai parametri termoigrometrici. (**caso studio Torino 1**)

- **ambiente di classe C**, parzialmente controllato. Relativamente alla qualità dell'aria viene effettuato un controllo con ventilazione naturale mediante apertura delle finestre e per infiltrazione. La temperatura dell'aria viene controllata tramite impianto ad acqua (a ventilconvettori) solo nella stagione invernale, mentre l'umidità relativa rimane incontrollata. (**caso studio Torino 2**).

- **ambiente di classe A**, totalmente controllato. Viene effettuato un controllo di tipo meccanico della qualità dell'aria, della temperatura e dell'umidità relativa per tutto l'anno mediante impianto a tutt'aria (**caso studio Brescia**) o misto ad aria primaria e pavimento radiante (per il riscaldamento e il raffrescamento) (**caso studio Torino 3**).

Relativamente al controllo dell'umidità relativa, gli ambienti di classe C e D non sono provvisti di alcun sistema di controllo meccanico, neanche di tipo localizzato (umidificatori e deumidificatori locali). Per questi ambienti, i valori di set-point di umidità relativa riportati in tabella 2 sono pertanto stati assunti in modo puramente indicativo con l'unica finalità di definire le loro potenzialità di controllo termo igrometrico, sulla base dei gradienti riportati in tabella 1.

Si segnala inoltre che nell'ambiente di classe D sono state utilizzate, per l'esposizione delle opere d'arte a maggior rischio, alcune vetrine dotate di materiale igroscopico (panetti di Art Sorb), in modo da effettuare un controllo di tipo passivo dell'umidità relativa. Negli ambienti di classe A (caso studio Brescia e caso studio Torino 3) il controllo dell'umidità relativa è effettuato mediante trattamento dell'aria centralizzato.

Relativamente alle metodologie di elaborazione ed analisi dei dati di monitoraggio in campo condotte secondo le modalità descritte dal D.M. e dalla norma UNI (10829), in tutti i casi studio esaminati, sono stati valutati i profili temporali, le distribuzioni in frequenza e frequenza cumulata delle grandezze termo igrometriche. Non sono invece state effettuate analisi

relative alla qualità dell'aria. I monitoraggi condotti hanno anche permesso di valutare i gradienti orari e giornalieri di temperatura e umidità relativa che però, per ragioni di spazio, non sono riportati e analizzati in dettaglio nel presente lavoro.

A partire dalla conoscenza della frequenza cumulata dei valori misurati, è stato valutato l'Indice di Prestazione (Performance Index, PI) [6, 7, 8] relativo al mantenimento di condizioni microclimatiche ritenute "accettabili" per la conservazione delle opere sulla base delle indicazioni dei responsabili della conservazione. Tale indice esprime un giudizio sintetico sulla qualità dell'ambiente interno in relazione alla conservazione delle opere in esso contenute: rappresenta la percentuale di tempo durante la quale i parametri rilevati ricadono nei rispettivi intervalli di accettabilità fissati.

Risultati

Si presentano di seguito i risultati ottenuti nelle indagini termoigrometriche effettuate sui casi di studio introdotti con l'obiettivo di esaminare le potenzialità di controllo termoigrometrico in relazione alle condizioni effettivamente raggiunte in ambiente.

L'**ambiente di classe D** riguarda un edificio storico a destinazione museale costituito da due sale. I risultati del monitoraggio che vengono qui analizzati sono riferiti al periodo di una mostra temporanea, allestita durante i mesi da aprile a settembre, intervallo di tempo nel quale l'ambiente non è soggetto ad alcun controllo meccanico. Per questo motivo, per le opere d'arte di maggior pregio, con esigenza di valori maggiormente stabili di umidità relativa, è stata prevista la loro collocazione in vetrine espositive nelle quali è stato effettuato un controllo di tipo passivo dell'umidità relativa tramite l'inserimento di materiale igroscopico precondizionato ad un valore di umidità relativa di 55%.

Dall'analisi dei parametri microclimatici rilevati nelle due sale (Fig. 1), emerge che nel periodo di monitoraggio le condizioni termoigrometriche risultano, rispetto alle attese, ragionevolmente accettabili per la conservazione delle opere esposte.

In figura 1 sono presentati gli andamenti orari di temperatura ed umidità relativa in ambiente e in una vetrina tipo: dai diagrammi si evince come l'andamento dell'umidità relativa in vetrina si mostri molto "piatto" a confronto con le perturbazioni presenti nella sala, a dimostrare il fatto che la presenza di materiale buffer correttamente dimensionato e una buona tenuta all'aria della vetrina, consentono di stabilizzare in modo soddisfacente le fluttuazioni esterne alle vetrine, sia sul breve che sul lungo periodo.

Nella sala espositiva (ambiente 1 in figura) i valori di umidità relativa si attestano intorno ad un valore medio del 52-53% e l'indice di prestazione calcolato è pari al 60%. I valori di temperatura risultano maggiormente critici per la conservazione delle opere esposte ed il Performance Index risulta raggiungere un valore pari soltanto al 41%.

Nella figura 2 sono rappresentati il profilo temporale e la distribuzione in frequenza cumulata di temperatura e umidità relativa dell'aria in un salone di un edificio storico con destinazione "archivio/biblioteca" (**ambiente di classe C**) in cui sono custoditi testi di valore storico e artistico (manoscritti, documenti su carta e pergamena, disegni su carta, etc.). Nel grafico è inoltre riportata la banda di valori ritenuti accettabili per la conservazione delle opere dai responsabili della conservazione. L'edificio è dotato di solo impianto di riscaldamento ad acqua, del tipo a ventilconvettori a due tubi, che consente il solo controllo della temperatura in periodo invernale. Il moni-

toraggio è stato condotto in condizioni di esercizio in tale periodo.

I valori fuori limite per la temperatura si situano al di sopra della soglia superiore dell'intervallo di accettabilità, e, di conseguenza, i valori di umidità relativa sono più bassi del limite inferiore.

Nel salone, avendo assunto requisiti ambientali per la conservazione non stringenti, si registra un indice di prestazione relativo alla temperatura abbastanza elevato, di poco superiore al 70%.

Per quanto riguarda l'umidità relativa dell'aria, essa presenta valori decisamente inferiori e completamente al di fuori del campo di accettabilità per cui il relativo indice di prestazione è pari allo 0%.

Analizzando i profili delle grandezze misurate, si osserva una gestione dell'impianto di climatizzazione tipicamente orientata al comfort degli occupanti più che alla conservazione del patrimonio librario.

Come mostrato in figura 2, gli impianti presentano uno spegnimento o un'attenuazione notturna che porta ad avere il tipico andamento "oscillante" della temperatura. È inoltre evidente lo spegnimento dell'impianto nel fine settimana con conseguente apprezzabile abbassamento della temperatura interna. Questa gestione, pur garantendo livelli di temperatura mediamente compatibili con la conservazione, determina la formazione di forti gradienti termici temporali (il gradiente sulle 24 ore è molto elevato) che possono indurre fenomeni di degrado. Inoltre, i valori di temperatura sono situati nell'intorno del limite superiore dell'intervallo di accettabilità: ciò comporta un livello di umidità relativa nell'ambiente sempre al di sotto del minimo consentito.

Gli andamenti sopra riportati stimolano alcune riflessioni rispetto alla possibilità di poter contenere le fluttuazioni dei parametri termoigrometrici nella banda di accettabilità.

L'ambiente in esame è caratterizzato da un flusso di visitatori non impulsivo, bensì continuativo e di bassa entità. Ciò ha come conseguenza il fatto che l'umidità assoluta in ambiente è sostanzialmente stabile e uniforme nello spazio, per cui una riduzione nel valore di set-point della temperatura comporterebbe un immediato aumento dell'umidità relativa: essa potrebbe quindi riportarsi all'intervallo di accettabilità definito dal conservatore. Per esempio abbassando la temperatura da 24°C (valore medio misurato) a 20°C, considerando l'umidità assoluta costante, sarebbe orientativamente possibile riportare il valore di umidità relativa da 35% (valore mediamente riscontrato) a 45%, quindi ben all'interno dell'intervallo di accettabilità.

Queste considerazioni portano a concludere che anche in ambienti non totalmente climatizzati, senza controllo diretto dell'umidità relativa, possono essere ottenuti miglioramenti microclimatici adottando strategie desunte da un'analisi dettagliata dei dati del monitoraggio. L'analisi effettuata dimostra come un ambiente di classe C, quindi potenzialmente dotato di una maggiore capacità di controllo dei parametri ambientali indoor, se mal gestito, si possa comportare in modo significativamente peggiore di un ambiente di classe D (come ad esempio quello prima presentato) in cui tutte le dinamiche termiche sono legate alle prestazioni energetiche dell'edificio.

In figura 3, viene presentato l'esito di un'attività di monitoraggio microclimatico in periodo estivo e invernale all'interno di un grande locale espositivo (**ambiente di classe A, caso studio Torino 3**) con opere prevalentemente del tipo "dipinti su tela".

Il locale oggetto del monitoraggio è climatizzato mediante un impianto misto acqua-aria. L'impianto ad acqua è a pannelli

radianti a pavimento, destinati sia al riscaldamento invernale sia al raffrescamento estivo (operante 24 al giorno).

L'analisi dei monitoraggi effettuati in due zone con diverse permeabilità all'aria dell'involucro edilizio, (si veda figura 3) mostra come il valore delle grandezze termoigrometriche, ed in particolare dell'umidità relativa, sia strettamente legato alle caratteristiche di permeabilità all'aria dell'involucro.

Gli istogrammi della zona 2 (media permeabilità all'aria dell'involucro edilizio) mostrano un controllo accurato dei parametri termoigrometrici: dall'andamento della curva cumulata si può desumere che gli indici di prestazione sia della temperatura che dell'umidità relativa rispetto agli intervalli stabiliti dai curatori della conservazione siano apprezzabili: in particolare l'83.6% dei valori di temperatura e l'89% dei valori di umidità relativa ricadono all'interno degli intervalli di accettabilità necessari per la conservazione delle opere.

Nella zona 1 (alta permeabilità all'aria dell'involucro edilizio), sebbene presente l'impianto di climatizzazione, i parametri termoigrometrici risultano essere scarsamente controllati: dall'andamento della curva cumulata relativa ai valori di temperatura, (figura 3 a) si può desumere come solo il 37% dei valori misurati in ambiente cadano all'interno dell'intervallo consentito.

I sopralluoghi sul luogo nel periodo di monitoraggio hanno ampiamente confermato che la causa di tali criticità possa essere riferita alla elevata permeabilità all'aria dell'edificio e alla cattiva tenuta dei serramenti con conseguenti elevate infiltrazioni di aria esterna in ambiente. È inoltre rilevante la contiguità della zona 1 con ambienti privi di controllo climatico che ne influenzano conseguentemente le dinamiche termiche.

Gli esempi esaminati evidenziano quindi come anche in presenza di impianti con elevata potenzialità di controllo, se le caratteristiche prestazionali dell'involucro non sono adeguate la qualità ambientale non può essere mantenuta ai livelli richiesti.

La figura 4 mostra invece il profilo di temperatura ed umidità relativa riferito ad un ambiente espositivo climatizzato con un impianto a tutt'aria (ambiente di classe A, caso studio Brescia).

Come mostra il grafico, i valori misurati in ambiente ricadono per la maggior parte all'interno degli intervalli di accettabilità per la conservazione delle opere esposte, ma la parte a sinistra del diagramma è caratterizzata da maggiori oscillazioni verso valori più elevati dei parametri.

In questo caso, l'attenzione viene soffermata sul monitoraggio dei valori dell'umidità relativa misurati in ambiente, in quanto il Performance Index relativo alla temperatura risulta essere ottimale ($PI_T = 100\%$).

In generale, osservando il profilo temporale di temperatura e umidità relativa, è possibile osservare che la maggior parte dei valori che cadono fuori dall'intervallo fissato per la corretta conservazione delle opere si colloca all'inizio della mostra. Approfondendo l'analisi, il diagramma seguente mostra i risultati del dettaglio mensile di tale periodo.

Dal diagramma di figura 5 si evince che il mese di ottobre (inizio mostra), presenta delle oscillazioni molto ampie dei parametri termoigrometrici in ambiente, ma dal mese successivo fino alla fine della mostra i valori di temperatura e umidità relativa cadono di nuovo entro i limiti di accettabilità. Le cause di questo comportamento inefficiente sono dovute da un lato alle variazioni del valore di set-point impiantistico del sistema di condizionamento dell'aria, dall'altro alle condizioni ambientali esterne che hanno influenzato fortemente i valori termoigrometrici interni. I valori di temperatura e umidità relativa dell'aria esterna nello specifico mese di ottobre in analisi si trova-

vano infatti di molto superiori alle medie stagionali ed il sistema di condizionamento dell'aria era già stato tarato nel modo operativo invernale, senza raffrescamento dell'aria e deumidificazione. In questo modo l'impianto non ha potuto mantenere le condizioni termo igrometriche desiderate. Si tratta di un tipico problema che si verifica nella mezza stagione, quando le condizioni ambientali esterne sono inusuali (caldo e umido anche nella stagione di riscaldamento).

Classificazione delle potenzialità di controllo

La sperimentazione ha permesso di sottolineare che le potenzialità di controllo termoigrometrico dipendono non solo dalle caratteristiche strutturali del sistema edificio-impianto, ma anche e spesso, prevalentemente dalle modalità di gestione dello stesso.

A questo proposito risulta significativo il caso dell'ambiente con totale assenza di controllo climatico. Per le caratteristiche dell'ambiente esaminato, questo viene classificato in base alla sua potenzialità di controllo termo igrometrico (Tabella 1) in classe D (Tabella 2).

Dall'analisi dei risultati mostrati in precedenza risulta esemplare che l'alta capacità termica dell'involucro abbinata ad un'attenta modalità di esposizione (vetrine con controllo passivo dell'umidità relativa) hanno permesso di ottenere un'alta prestazione di controllo del sistema edificio-impianto, raggiungendo una reale capacità di controllo dei parametri di temperatura ed umidità relativa di molto migliore ai risultati attesi.

L'ambiente di potenziale livello di controllo D, tramite la verifica effettuata con il monitoraggio, raggiunge un livello di controllo reale tipico di classe C. La figura 6 presenta il grafico a dispersione relativo ai valori medi orari di temperatura ed umidità relativa ottenuti durante il monitoraggio in ambiente.

Come evidenzia la tabella in figura la percentuale dei valori che cadono nell'intervallo di tolleranza definito sulla base della Tabella 1 per la classe C è infatti prossima al 100%. Il grafico mette in evidenza come i valori dei parametri di temperatura ed umidità relativa rientrino perfettamente nel quadro che caratterizza la classe D proposta da ASHRAE, ma come allo stesso tempo soddisfino anche i requisiti posti per la classe C.

È importante quindi sottolineare che un'attenta gestione del sistema edificio-impianto può permettere di raggiungere classi di controllo anche superiori rispetto alle potenzialità attese; viceversa nel caso di una gestione non oculata.

Il grafico in figura 7 è relativo ai valori misurati nell'ambiente di classe di controllo potenziale A, caso studio Torino 3. Risulta subito chiaro che i valori dei parametri misurati in ambiente (zona 1, alta permeabilità all'aria) non soddisfano in alcun modo la classe A proposta da ASHRAE. Così come descritto in tabella, infatti, la percentuale dei valori che rientra in classe A risulta pari solo al 33%.

In questo caso la presenza di fattori relativi alle prestazioni dell'involucro hanno influenzato negativamente la prestazione del sistema edificio-impianto, dequalificando l'ambiente da una potenziale classe di controllo A ad una reale classe B.

Conclusioni

Lo studio ha permesso di evidenziare la necessità di una verifica puntuale delle potenzialità di controllo termoigrometrico di un sistema edificio-impianto mediante monitoraggio ambientale al fine di stabilire e verificare la classe di controllo ASHRAE corrispondente.

Gli esiti dei monitoraggi effettuati su diversi casi studio hanno mostrato la dipendenza del controllo termoigrometrico reale da alcuni fattori che possono influenzare la prestazione, sottolineando che non sempre il livello di controllo termo igrometrico potenziale coincide con la reale performance di controllo del sistema edificio-impianto. Questi parametri influenzanti riguardano sia l'edificio (isolamento, capacità termica, permeabilità all'aria), sia l'impianto (buon funzionamento impiantistico) sia la loro gestione.

A garanzia della conservazione delle opere risulta quindi opportuno verificare attraverso i risultati di monitoraggi in campo la relazione esistente fra classe di controllo potenziale e reale.

SIMBOLI

– PI	performance index
– UR	umidità relative dell'aria
– T	temperatura dell'aria

Riferimenti

1. FILIPPI M., *L'ambiente per la conservazione delle opere d'arte*, Condizionamento dell'Aria n.6, giugno 1996
2. Ministero per i beni e le attività culturali, *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, D.M. 10.5.2001, G.U. n. 238, 19.10.2001
3. UNI 10829, *Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi*, 1999
4. FILIPPI M., *Air conditioning for works of art*, Bulletin of the International Institute of Refrigeration, n. 3, 1997
5. ASHRAE, *Museum, libraries, and archives*, ASHRAE Applications Book, chapter 21, 2007.
6. CORGNATI S.P., FABI V., FILIPPI M., *A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: application to a temporary exhibit*, Building and Environment, Volume 44, Issue 6, June 2009, 1253-1260, ISBN: 0360-1323
7. CORGNATI S.P., FILIPPI M., PERINO M., *A new approach for the IEQ (Indoor Environment Quality) assessment*, Research in Building Physics and Building Engineering (P. FAZIO; H. GE; J. RAO; G. DESMARAIS) Taylor & Francis (GBR) pp.837-844, 2006, ISBN:0415416752.
8. CORGNATI S.P., FILIPPI M., ANSALDI R., *Classification of the Indoor Thermal Quality: results from a field campaign*, The 6th International Symposium on heating, ventilating and air conditioning – Nanjing, China, vol.2, pp.1132-1139, 2009

Evaluation of energy and environmental performance of the Pinacoteca of Brera in Milan

Elena Lucchi

Architect, PhD., contract professor, Politecnico di Milano, Dipartimento BEST, elena.lucchi@polimi.it

Abstract

In the contemporary age, the museum is dealing with unexpected challenges, related to the transformation of social structures, educative methods and cultural diffusion. The need of integration between the opposite requirements of heritage conservation and tourist promotion has developed a modern concept, accepted at international level, of “dynamic museum”. That means a multidisciplinary and continuously transforming place, with new functions such as: conservation and enhancement of building, exhibit and collection, education and didactics, cultural and social entertainment. Close to traditional structure deputed to preservation and displaying, arose educational centres, amusement spaces, bookshops, conference rooms, libraries, shops, cafeterias and restaurants.

The conversion of heritage buildings into exhibition spaces and the renovation of existent exhibitions, involves a series of conservation risks and issues. Environmental quality in museum buildings depends on achieving the right balance between a number of complex and frequently contradictory parameters such as: public enjoyment, users comfort, communication and display, appropriate conservation of the heritage, energy consumption and safety precaution for the works of art, visitors and staff.

The research carries out an operative instrument to assist museum authorities and project-designers during refurbishment, to optimise preventive conservation actions and to plan efficient control solutions in renovation museum buildings. This study demonstrates that taking care, users’ comfort and energy saving are mutually compatible when having: rational planning, interdisciplinary cooperation between designs and conservators, deep knowledge of requirements, threats and opportunities of building and collection. The operational instrument has successfully been applied in the Pinacoteca of Brera in Milan, in order to evaluate conservation risks, plan environmental control, energy consumption, spatial layout and maintenance procedures.

Key-words

Preventive Conservation, Indoor Climate, Energy Audit

Introduction

The care and the enhancement of the historic and artistic patrimony preserve the memory of the community and assist the social development of a nation. Safeguarding action facilitates the diffusion of a “sense” of cultural heritage and gives to the patrimony a social, cultural and economical value.

The balance of conservation and valorisation aspects made possible a realization of the “Museum” as a dynamic space, deputed to represent the historic matrix and to identify collective and individual cultural aspiration. The Neoclassic image of a static place for contemplation and delight has been completely changed departing from the early XXTH Century, when has been instituted the position of the Museum Conservator. In those years, also, the idea of a centre for studying, taking care and managing the collections has taken place. In the second post-war period, after a scientific organization of museology, has been developed a great consciousness of the importance of conservation and valorisation of artefacts and museum buildings, in order to favour the use and the comprehension of the art.

Behind, increases a “typological model” based on hierarchic distribution of conservative, expositive, pedagogic, administrative and storing functions. The functional scheme is adopted both for new constructions and for historic buildings. In Italy, the innovative design planning has elaborated the model of “modern museum in historic context” (Huber, 1997; Ranellucci, 2005). In these buildings, the compatibility, integration and reversibility of the energy programmes are the principal items involved. The presence of bonds has imposed the strictly connection to the specific building and, in some cases, the transformation of the original aesthetics. The exhibits through the realization of monumental spaces with perspective view, natural and zenithal light, precious materials, authentic environment and original artefacts and furniture emphasize the values of prestige and culture, that in the past was associated to ancient building.

The *Post-Pompidou Age* (Davies, 1990) represents the real conceptual and technological fracture with the past. The project of the Centre George Pompidou in Paris realised by Renzo Piano e Richard Rogers (1972), in fact, interprets the new pedagogical, psychological and semiotic theories, that consider

the visitor as an “active part” of the museum. The “advanced museum” is conceived. This means a dynamic model, based on multidisciplinary and continuously transforming place, with new functions such as: conservation and enhancement of building, exhibit and collection, education and didactics, cultural and social entertainment. Close to traditional structure deputed to preservation and displaying, arose educational centres, amusement spaces, bookshops, conference rooms, libraries, shops, cafeterias and restaurants.

In existing buildings not specifically projected for preserving the artistic collections, the conversion into exhibition spaces and the renovation of exhibits, have involved a series of conservation risks and issues. Environmental quality in museum buildings depends on achieving the right balance between a number of complex and contradictory actions. In one side, safeguard of cultural and economic value foresee the minimization of damage and long-term control of internal conditions. In the other side, the exhibit is bound to objective needs of admission and requires appropriate comfort levels for occupancies. The needs of care, users’ comfort and energy saving are mutually compatible having: rational planning, interdisciplinary collaboration between designs and conservators, deep knowledge of requirements, threats and opportunities of museum building and its collection.

The case study: the Pinacoteca of Brera

The research presents a method for evaluating environmental and energy quality of museum buildings, in order to extend the lifetime of their patrimony, to verify the conservation risks, to assist museum authorities and project designers during refurbishment. The instrument has been adopted to evaluate conservation risks into Pinacoteca of Brera in Milan, one of the most important Fine Art Museum in Italy. The actions proposed are paradigmatic in the sense that they respond to a very typical situation in the Nation. The museum is sited in the centre of Milan, a town with a “multi-pollutants situation” as many other European cities. The current exhibit begins from different architectural styles, that are related to specific and historic museological measurement [2]. The museum is housed in an historical group of heritage buildings where other functions take place (Library, Academy of Fine Arts, Astronomical Observatory and Botanical Garden). It is a multidisciplinary place, with conservation and enhancement activities, microclimatic control storages, a bookshop, a cloakroom, a photographic laboratory, some itinerant restoration place and a space for education activities. These supplementary services involve a series of risks. For example, the resolution of malfunctioning problems involves the increase of air conditioning plants. The Pinacoteca collection is made by precious paintings (oil, gouache and pencil on wood, textile and paper), from Gothic to Modern. This collection requires severe, non-homogeneous and constant conditions, more easily reachable with mechanical and electric systems. Finally, the thermal performances of the envelope and the mechanical plant don’t respect normative and constructive standards, causing high-energy consumption of building. Therefore it was necessary a preventive conservation and energy audit program, in order to optimise the decision-making purposes, to prioritise conservative and expositive problems and to delineate actions and design scenarios that can balance environmental performances with energy saving.

Method of diagnosis

The method of diagnosis is devoted to evaluate energy and environmental performances of Pinacoteca of Brera in Milan. This means to effect inspection, analysis and survey of energy flow, for reducing energy inputs, also maintaining or improving safeguarding of museum and collection, security, human comfort, health and safety. The evaluating method consists of the following phases:

- Energy audit based on relief, documentary research and non-invasive tests;
- Evaluation of indoor performance of the building;
- Definition of the suitable retrofitting actions;
- Evaluation of the structural, constructive, physical and economical compatibility of each action;
- Evaluation of technological feasibility and economic value of selected actions;
- Strategic planning of activities;
- Individuation and transmission of conservative and expositive benefits of the retrofitting program.

These two analyses are comparable because utilize same techniques and, often, reach to complementary results.

ENERGY AUDIT

The energy audit is a systematic method for collecting, gathering and evaluating energy performances and saving of buildings, in order to individualize the inefficiencies and the malfunctioning. This means to effect inspection, analysis and survey of energy flow, for reducing energy inputs, improving human comfort, health and safety. A detailed financial analysis based on cost estimation techniques, site-specific operating cost savings and customer’s investment criteria was performed for each action. The method has permitted to define the most appropriate energy and environmental retrofit, in order to enhance the historical value of the building, to preserve the surrounding landscape, to reduce energy consumption and to improve human comfort, health and safety (Thumann e Younger 2003). The evaluating method consists of the following phases:

- Historical analysis of the building, related to technological and morphological aspects;
- Simulation of energy and environmental performances of the real use of the building;
- Evaluation of energy consumption of the building and the plants;
- Environmental monitoring of light, temperature and relative humidity;
- Individuation of energy threats.

Energy performances of envelope, functioning of mechanical systems, management data of buildings are necessary to realize the energy audit. The first step has intended to perform an initial assessment on the building. Information such as square footage, house volume, window data, insulation levels, appliance types and age, HVAC information, previous energy bills and materials of construction are necessary to realize the energy audit. Geometric relieve was made to verify dimensions, performances and damage of structures. Technological data were estimated comparing handbooks, regulations, visual testing, infrared thermography and computations of energy performances. Particularly, infrared thermography verified the historical data and individualised the most important energy problems. The inspection evidenced the presence of thermal bridges, low energy performances of envelope and air leakage

at windows, joints and junctions of the building envelope. Also, it showed the closure of a XIXTH Century roof and the correct functioning of heating radiant panels in the floor.

The normative calculation (UNI TS 11300-1:2008) was used to estimate thermal transmittance of walls and roofs. In fact, geometric conformation may be compared with the traditional schemes. Besides, the maintenance (or the decay) of the building were evaluated by visual testing, in order to verify structural, constructive and physical compatibility of retrofitting actions. Particularly, infrared thermography permitted to identify thermal inefficiency, moisture, damage, wrong management and malfunctioning.

Mechanical data regarded performances and functioning of mechanical systems (boiler and air conditioning), functioning of heating systems (radiant panels), piping (distribution and circulation), regulation systems, humidifiers and sanitary hot water. Data were taken by visual testing and disposable documentation. Electrical data regarded the asset, the maintenance and the security of artificial lighting (halogen lamps and ballast). These information were gathered by the study of technical disposal and by the visual test. The interrelation among these analyses permitted to achieve an accurate result. Technological and management features were implemented with energy consumption profiles of existing buildings. The analyses realised during the energy audit are detailed in Table 1.

TABLE 1: ANALYSES REALISED DURING THE ENERGY AUDIT IN THE PINACOTECA OF BRERA

Element evaluated	Performance	Diagnostic method
Opaque envelope	U-value	Normative calculation Infrared thermography
Glasses	U-value	Apposite instrument
Frames	U-value	Normative calculation
Roofs	U-value	Project data
Thermal bridges	Presence	Infrared thermography
Boilers	Performances	Technical documentation
Heating systems	Homogeneity	Infrared thermography
Piping systems	Thermal insulation	Evaluation
Regulation systems	Presence	Technical documentation
Sanitary Hot Water	Performances	Technical documentation
Electrical installations	Performances	Technical documentation
Lighting	Performances	Performances

The “energy profile” of the building was estimated using two static simulation software conformed to Italian rules (UNI TS 11300:2008 and Lombardy Region norms). This simulation permitted to define the main energy problems due to envelope or plants.

ENVIRONMENTAL AUDIT

Beside the energy audit was conducted the environmental audit of Pinacoteca. The evaluation considered the opposite exigencies for caring and valorising the cultural heritage housed in museum buildings. The balance for conservation and human comfort was defined through the confront among technical studies, diagnostic analysis, restoration procedures, national and international norms, environmental standards, best and good practices relating caretaker, management, exhibit and light design. Furthermore, the collection doesn’t conceive for the “museum” and the provenience of artefacts is different. For this reason, the exhibits are inevitability different from the artist thinking, the original site or the ancient location. Environmental evaluation regarded the following analyses:

- Historical analysis of conservation, exhibition and management needs of the museum;
- Analysis of building, exhibit and collection;
- Evaluation of indoor performance of the building related to human comfort;
- Monitoring of light, acoustic, thermal, hygrometric and indoor air quality performance of the buildings;
- Identify and prioritise conservative and expositive problems of museum collection through the correlation between current damage and real microclimate values;
- Identification of priority areas of intervention, which are zone with high environmental risks.

A deep documentation research has been required to study the historical evolution of the Pinacoteca and of the consistency of its cultural heritage. Particularly, was analysed the history of the museum departing from his foundation on 1882 till now.

The data were integrated with typological and constructive characterization of edifice, related to registered data (reference codes, localisation, use, hierarchy, historical data, owner and governing body), conservative data (individuation, structural data, dimensional data, constructive data, level of use, level of accessibility), management data (type and use of collection, care, display and storage policies, maintenance procedures), chemical and physical proprieties and “climatic history” of the artefacts. Dimensional and functional data permitted to verify the compatibility among indoor pollution activities (i. e. restoration and photographic laboratories), great public areas (i. e. bookshop, shops and atrium) and conservative program. The relief of information was based on the Italian standards (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione). These studies showed the absence of punctual decay due to technological systems.

The knowledge of opening times, operations hours, number and frequency of the visitors permitted to verify the presence of damage due to great flux of people and, sometimes, of incompatibility between the museum policies and protection of cultural assets. Finally, it was realised a classification of museum objects in homogeneous typologies in order to select the best microclimate values for preventive conservation. The general recommended values for preventive conservation are referred to existing specific literature and norms.

The correlation between environmental conditions and damage of artefacts permitted to identify precisely environmental and management factors that affects cultural heritage (Table 2).

TABLE 2: ANALYSES EFFECTUATED FOR EVALUATING THE DECAY OF CULTURAL HERITAGE IN THE PINACOTECA OF BRERA

Damage	Parameter	Instruments
Natural "life-time"	Chemical and physical nature	Diagnostic analyses
	Climatic history	
Photochemical	Level of light	Luxmeter
	Intensity of light	Luxmeter, opening hours
	Energy exposition for year	
	UV radiation	UV detector
Thermal	Air temperature	<i>Data-logger</i>
	Thermal gradient	
Hygrometric	Relative humidity	<i>Data-logger</i>
	Hygrometric-gradient	
Biologic	SO _x - NO _x	Coupon of corrosion
	CO ₂	<i>Data-logger</i>
	Incompatibility	Visual test

The comfort was appraised with questionnaires and interviews conducted using the Post Occupancy Evaluation method. The users were classified in different groups based on: activity, age, country of origin, academic level, knowledge and interest about collection. The analyses were conducted on three categories of users: museum staff, single visitors and groups.

The comparison between the problems of discomfort and the operative environmental conditions permitted to arise possible malfunctioning of mechanical and management systems. The following parameters were monitored to seek "areas of present and potential risk": light (illumination level, luminance, UV radiance), temperature (external and internal temperature, daily and seasonal gradient), relative humidity (external and internal relative humidity, daily and seasonal gradient) and air (air change rate, indoor air movement, CO₂ concentration and number of visitors). Light and hygrometric and thermal monitoring was conducted using a data-logger. The monitoring procedures were based on walking-through approach (short-time monitoring) that permitted to individuate the "conservation-risk-rooms". On "areas at risk", long-time monitoring was conducted to plan correct actions for retrofit and governance of museum building. CO₂ and pollution monitoring was conducted using data-loggers, coupons of corrosion and visual tests. The monitoring was made during spring, summer, autumn and winter, in order to test the global efficiency all year round. It was simulated the real performances of museum - day-by-day, week-by-week and season-by-season - using Computer simulations. Subsequently, are indicated the analyses effected for evaluating user's comfort (Table 3).

TABLE 3: ANALYSES EFFECTUATED FOR EVALUATING THE COMFORT OF USERS IN THE PINACOTECA OF BRERA

Comfort	Parameter	Instruments
Visual	AI	Calculation
	Average light factor	Luxmeter
	Level of light	Luxmeter
		Comfort analysis
	Contrast of luminance between rooms	Luminance instrument
		Comfort analysis
	Contrast of luminance between artefact and background	Luminance instrument
		Comfort analysis
	Contrast of light between lamp and view zone	Luxmeter
		Luminance instrument
	Superficial reflection	Luminance instrument
		Comfort analysis
	Chromatic contrast	Visual test
		Comfort analysis
Superficial reflectance	Visual test	
	Comfort analysis	
Colour rendering index	Technical documentation	
	Comfort analysis	
Chromatic temperature	Technical documentation	
	Comfort analysis	
Thermal	Temperature	<i>Data-logger</i>
	Radiant temperature	<i>Data-logger</i>
	Superficial temperature	Thermometer IR
Hygrometric	Relative humidity	<i>Data-logger</i>
Air	Air-change rate	Anemometer
	Air leakage	Calculation
	CO ₂	<i>Data-logger</i>

The comparison among human comfort values, existence of recommended values for conservation and real microclimatic parameters permitted to prioritise the operative area for intervention.

The results

The use of non-invasive techniques permitted to determinate sustainable and technical solutions, to protect and mitigate the vulnerability of museum and collection.

ENERGY AUDIT

The energy audit was done by characterizing the real energy scheme of Pinacoteca of Brera, modelling the technologies and evaluating the potential cost effectiveness of the upgrades.

The thermal performances of envelope are different. The walls, realised by bricks, guarantee good thermal and hygrometric performances, both in winter and in summer. The transmittance of existing outer (along with the norm UNI TS 11300:2008 is 1.39 W/m²K), the thermal phase shift and the attenuation coefficient are aligned to the similar ancient building.

Infrared thermography is based on measuring the distribution of radiant thermal energy (heat) emitted from a target surface, and on converting this to a map of radiation intensity differences (surface temperature map) or thermogram. The infrared images showed the thermal uniformity of the envelope and the lack of thermal bridges, infiltration of air and of water. For this reason, the increase of energy performances of envelope didn't require insulation systems. However, the invasiveness of internal or external ETICS may erase the historical traces and artistic value of the heritage. The lower ceiling and the roof, instead, have high energy loses due to the missing of insulation. Particularly, infrared thermography showed the thermal loses from the historic radiant panels inserted in the floor. To insulate the lower insole preserving the floor designed by Piero Portaluppi, was necessary to make other non-destructive tests. While, to insulate the roof could be realised a superior insulation compatible with the morphology of the original roof.

Transparent envelope is characterised by high thermal loses, despite the replacement of windows in 1980. Particularly, the curtain glass on the roof presents convection, air leakage and moisture. For this reason, it was necessary to evaluate the replacement of existent glasses and frames with new windows having better performances of thermal insulation, air permeability, water resistance and UV protection.

The existent boiler has a very low thermal performance. May be evaluated the replacement with an innovative heat pump. Radiant panels, instead, are a very good conservative solution for the user's comfort and for energy efficiency of the building. Infrared thermography showed the homogeneity of radiant panel while environmental monitoring revealed the instability of indoor thermal condition. That is due to the missing of the insulation.

The electric system is safety from risks. The lighting has discrete energy performances, guaranteed by the integration with daylight, by the choice of halogen lamps and by the periodic maintenance off inefficient devices.

ENVIRONMENTAL EVALUATION

The museum objects were classified in homogeneous typologies, useful to designers for a comprehensive overview of the problem. The artefacts that are more exposed to photochemical and hygrometric decay are the precious paintings (oil, gouache and pencil on wood, textile and paper, wax sculpture) that constituted great part of the museum collection (Table 4).

TABLE 4: ENVIRONMENTAL CONDITION ON ARTEFACT CONSERVED IN THE PINACOTECA OF BRERA (UNI 10829:1999)

Type of artefacts	Conservative conditions			
	E _{max} (lux)	UV _{max} (μW/lm)	T (°C)	UR (%)
Paintings on canvas and wood	150	75	19÷24	40÷55
Wax sculpture	150	75	<18	-
Stones	-	-	15÷25	20÷60
Frescoes	150	75	10÷24	55÷65
Painting on walls detached	150	75	10÷24	50÷45
Watercolours, gouache, pencil and pastels on paper	50	75	19÷24	45÷60
E = Level of light T = Temperature UR = Relative humidity UV _{max} = UV radiation				

The original project signed by Piero Castiglioni foresaw the lowering of the light sources in the long period. The level of light designed was higher than the museum standard. Now, the level of light is lightly superior to national norms. It's necessary to reduce the annual "energy exposure level" to reduce the photochemical damage foreseeing the rotation of objects [4]. Only the reduction of level of light may create visual discomfort for the users, as showed by the questionnaires. On the artefact have been inserted anti-UV and anti-IR filters.

Moisture problems were related to the procedures for cleaning, managing and maintaining museum building and collection. Particularly, the tax of relative humidity produced by the humidifiers is 60 %. The lack of plants favours the stability of the indoor relative humidity, which varies only with rain and plenty of visitors in the smaller rooms (Fig. 1).

On the contrary, the portable humidifiers causes a great indoor instability (Fig. 2).

For this reason, it is necessary switch-on the humidifiers only when the hygrometric levels are inferior to the museum standards (30÷35 %). Humidifiers have also very high energy consumption but aren't required by conservative policies. It is necessary to use clean procedures without water, more suitable with the objects. It may be foreseen also a ventilation system in order to reduce energy loses, to maintain a stable moisture level and to eliminate the indoor air pollution.

The inorganic object, as statues, vases and cenotaphs of stone, doesn't require conservative threats. For this reason they can be placed freely along the museum. These artefacts should be enhanced through proper exhibition, in order to create cen-

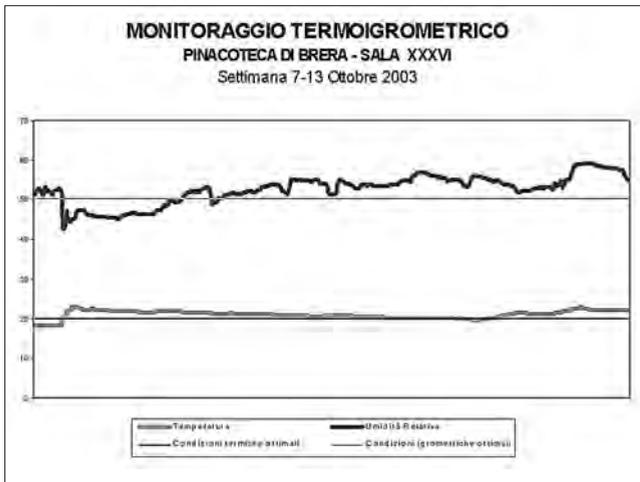


Fig 1 - Indoor climate has a good stability



Fig 2 - The portable humidifiers cause a great indoor instability

tres of visual attention and information areas dedicated to these works.

A separate discussion deserve the murals and frescoes inserted in Mocchirolo and San Giuseppe Chapels, which require limited light levels and perfect climate stability. In these rooms it is necessary to foresee a separate climate control and to regulate the visits. The solution is feasible because the galleries are located in a separate area, at the entrance of the museum. It is useful to create lighting that emphasizes the “warm tones” of the paintings, as was foreseen in the original exhibition of Portaluppi.

Actually, were not adopted specific requirements for thermal control, which is limited to the storage areas. The objects don't present conservation problems due to inadequate or unstable temperature range. On the contrary, it was noted the discomfort of the users. The detailed monitoring showed the absence of thermohygro-metric regulation, with fluctuations of temperature and of relative humidity in different rooms. In summer, temperature grows (20÷33 °C) and relative humidity decreases (55÷45 %) from first to last rooms. In winter the opposite occurs, with temperatures reaching 16 °C. The problem was repeated seasonally.

The analysis, also, showed the inadequacy of visual comfort. Particularly, the lighting doesn't emphasize aesthetic and chromatic value of the collection. The main criticism of the visitors regarded the colours of the plaster and of artificial

lighting. The drafting of a white and matt plaster has completely changed the atmosphere created by the original project, which included a bright plaster in colours “yellow Brera”. Unlike the present, this colour created a bright and warm atmosphere. Similarly, the replacement of fluorescent lamps with halogen lamps improved the energy performance of the plants, also modifying the perception of users. The Post Occupation Evaluation on museum staff showed that light sources provided by Castiglioni flatten the hues of the paintings. The lighting is too cold and uniform along the exhibition, and it is necessary to create visual centres directed to individual objects.

Currently, on the market there are light sources with superior performance related to energy efficiency, to the absence of ultraviolet and infrared emissions, to the colour rendering index and to the chromatic temperature. These lamps respect the prevalent colour of the paintings.

The survey instrument and analysis of comfort haven't detected the presence of glare and visual problems (Table 5).

TABLE 5: COMPARISON BETWEEN HUMAN COMFORT VALUES AND THE BEST MICROCLIMATE VALUES FOR PREVENTIVE CONSERVATION OF THE COLLECTION IN THE PINACOTECA OF BRERA

Type of artefacts	Conservative conditions		
	E(lux)	T(°C)	UR(%)
Paintings on canvas and wood, wax sculpture	300÷400	19÷26	45÷55
Stones	>300	19÷26	45÷55
Painting, frescoes, detached paintings	200÷300	19÷26	45÷55
Watercolours, gouache, pencil and pastels on paper	50	20	50
E = Level of light T = Temperature UR = Relative humidity			

For each homogenous typology of objects was evaluated the compatibility among the microclimate values for preventive conservation and for users comfort. The conditions are defined by the confront between norms and real values (Table 6).

TABLE 6: CLIMATIC DATA MONITORING IN THE PINACOTECA OF BRERA

Type of artefacts	Conservative conditions			
	E_m (lux)	T_m (°C)	UR_m (%)	Problems
Paintings on canvas and wood	400	16÷21 Summer	45÷55 Summer	E_m T_m UR_m
		25÷30 Winter	55÷65 Winter	
Wax sculpture	400	20÷24	55÷60	UR_m T_m
Stones	400	16÷26	55÷60	-
Frescoes	200	22÷24	50÷60	E_m UR_m
Painting on walls detached	300	22÷24	50÷55	E_m
Watercolours, gouache, pencil and pastels on paper	50	20	50	-

E_m = Average level of light
 T_m = Average temperature
 UR_m = Average relative humidity

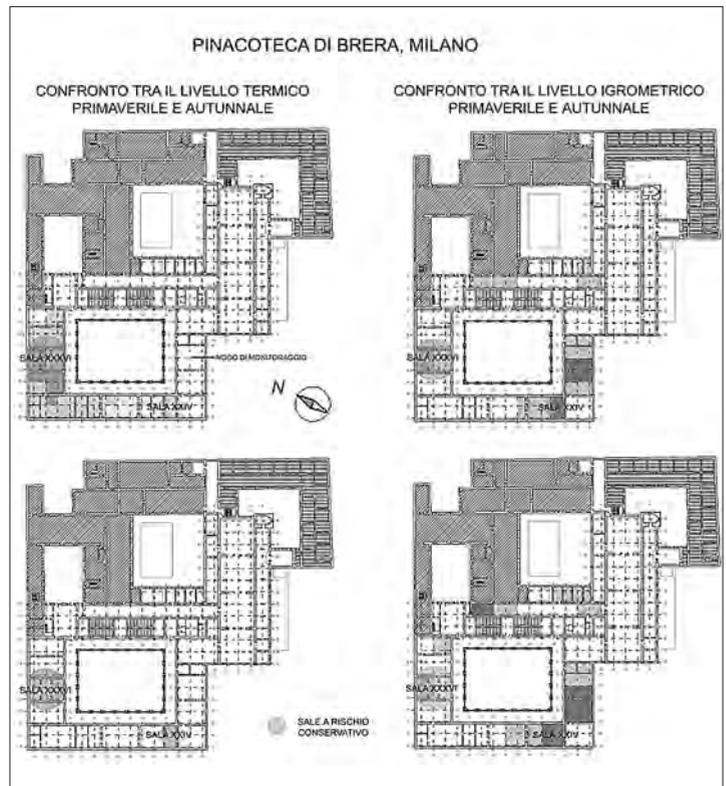


Fig 3 - Individuation of the "areas with a potential conservative risk"

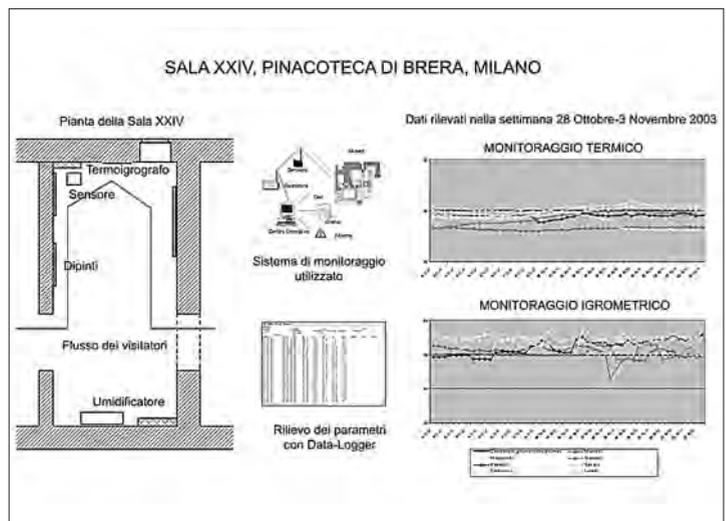


Fig 4 - Environmental monitoring carried out in the rooms with conservative risk

The comparison among the best ambient condition for preventive conservation and human comfort, the discomfort situations, the energy efforts and the real environmental condition permits to seek the "areas with a potential conservative risk" (Fig. 3).

On the "areas at risk", long-time monitoring is conducted for three years, in order to individuate the causes of environmental vulnerability (Fig. 4).

Conservative problems are due to fragmentary modification of exhibits in different historical periods, to solve specific and contingent efforts. To enhance the museum building is necessary to plan a preventive conservation program. It was individualised a "Matrix of Strategies" of environmental and energy control technologies. This Matrix helps project-designs to choose components and to compare performances. The exper-

imentation also improved interest and participation in museum attendants; they have become conscious of the importance of their role inside the museum, both for taking care and for energy efficiency.

Conclusion

The method is indicated for historical and bounded buildings. Public administrations, contractors, technical and legal studies may use it, for evaluating financial disposability, for optimising the resources and for programming the retrofit actions. The method suggests a strategic and repeatable approach for the "conservation and enhancement" of cultural heritage, recognizing that conservation is not limited to the design of the building, but it requires maintenance and updating over time.

Notes

- [1] The Pinacoteca of Brera is sited in the centre of Milano. In XIITH Century, the area placed the Convent of Umiliati, very closely to the roman walls. On 1572 the Palace became a "Collegium" of Jesuits for young education. Increased use of the "Collegium", which later became the university, has requested the extension of the original building. The project is entrusted to Martino Bassi (1580-1589), reviewed in full by Francesco Maria Richini (1651-1686) and completed by Giuseppe Piermarini (1774-1782). In the actual asset, includes the Astronomical Observatory, the Botanical Garden, the Academy of Fine Arts and the National Library. The laws of suppression of monastic orders have encouraged the transfer of works belonging to churches and monasteries at the Palace. On 1789, the building became a museum open upon request to the public. The expansion of the collection as a result of legacies, donations and Napoleonic expropriations, leads to reorganization of the building under the direction of Andrea Appiani (1807). This project transformed the Church of Santa Maria of Brera in the Museum of Ancient Lombardy (ground floor) and in the Gallery (first floor). The museum was founded in 1882. From this year, a series of measures was made to give a modern image. Under the direction of Giuseppe Bertini (1882-1898) and of Corrado Ricci (1889-1903) were built warehouses and a photo archive, were opened some skylights to illuminate the works with natural light and were closed all windows (except those placed along the entrance corridor). At the direction of Ettore Modigliani (1908-1934), the exhibition was completely renewed by Piero Portaluppi. Mosaic and marble floors, baseboards, frames and painted walls were created. Also, were replaced the original skylights with frosted glass. On 1943 the Second World War destroyed the roof and smashed few floors.
- [2] The restoration of the gallery was made by Portaluppi (1946-1950) who, after having ensured the consolidation of static building and rebuilt the Chapel Mocchirolo in its original form, reorganized the display area according to the principles of fluidity, rationalization of functions and pathways and natural light. In the same years, Franco Albini designed a "comb gallery" to host temporary exhibitions and was changed the existing heating system with radiant panels. The shortage of funds for maintenance has created a new situation of damage, with rain infiltrations from the roof, security problems for the electrical system, lesions in the walls and in the skylights. The Gallery was closed to the public on 1974 and was reopened on 1978. Alberico and Ludovico Belgiojoso projected a bookshop in the hall, a bar in the lodge, two climate control storages and the offices of the Superintendence for Artistic and Historical Heritage of Milan. Subsequently, Gregotti and Associates and Piero Castiglioni (1985-1991) updated the exhibition by conservation, security and innovative lighting standards.
- [3] The European Directive 2006/32/CE related to energy efficiency in final users defines energy audit as a «[...] systematic procedure to obtain adequate knowledge of the energy consumption profile of a building or group of buildings, an activity and/or industrial facility or public or private services, to identify and quantify energy saving opportunities from a cost-effectiveness profile and to report the results».
- [4] Annual energy procedure is defined by the product between the level of light (400 lux) and the annual opening hours (3.394 ore). The value is 1.357.600 luxh/year, while the maximum level is 500.000 luxh/year. This value, with a light level of 400 lux, corresponds at 150 expositive days.

Bibliography

- AVRAMI E. et alii, *The Conservation Assessment: a Proposed Model for Evaluating Museum Environmental Management Needs*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (1999).
- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam (1998).
- CASSAR M., *Environmental Management. Guidelines for Museums and Galleries*, Routledge, London-New York (1995).
- DAVIES D., *The museum transformed: design and culture in the post-Pompidou age*, Abbeville Press, New York (1990).
- DEAN D., *Museum Exhibition: Theory and Practice*, Routledge and Routledge, London-New York (1994).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI 10829 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione" (1999).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI 10969 "Beni culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni" (2001).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI TS 13100-1 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" (2008).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNITS 13100-2 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria" (2008).
- HUBER A., *Il museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi. Attualità dell'esperienza museografica degli anni '50*, Lybra Immagine, Milano (1997).
- INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF PRESERVATION AND RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY, *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma (2004).
- LUCCHI E., *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, (2009).
- LUCCHI E., (2009), *Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale del XX secolo*, in Canziani Andrea (a cura di), *Conservazione programmata per il patrimonio architettonico del XX secolo*, Electa Editore, Milano, pp. 228-241.
- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, Decreto Ministeriale n. 238 del 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" (2001).
- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, Legge n. 41 del 22 Gennaio 2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (2004).
- PIVA A., *Il museo: la coscienza lucida dell'ambiguità*, Edizioni Lybra Immagine, Milano (2005).
- RANELLUCCI S., *Allestimento museale in edifici monumentali*, Edizioni Kappa, Roma (2005).
- TARDITO R., *Brera. Storia della Pinacoteca e delle sue collezioni*, Editoriale Cantini, Milano (1986).
- THUMANN A., YOUNGER W. J., *Handbook of Energy Audits*, Fairmont Press, New York (2003).

Valutazione delle prestazioni energetiche e ambientali della Pinacoteca di Brera a Milano

Abstract

Il museo nella contemporaneità sta affrontando sfide inedite, relative alla trasformazione delle strutture sociali, delle identità individuali, dei metodi pedagogici e delle modalità di produzione e di divulgazione della conoscenza. Questi cambiamenti hanno portato a una fruizione allargata degli ambienti tradizionalmente deputati alla protezione del patrimonio culturale, che sono divenuti modelli di diffusione del sapere, di educazione sociale e di turismo culturale. I requisiti opposti di tutela e calorizzazione hanno sviluppato un concetto nuovo di museo, accettato a livello internazionale, di "museo dinamico", che rimanda a un luogo in continua trasformazione con funzioni differenziate conservazione, valorizzazione dell'edificio, della esposizione e della collezione, educazione e didattica, intrattenimento culturale e sociale.

Il problema diviene più complesso negli edifici non specificamente pensati per ospitare una collezione artistica, in cui le possibilità espressive, morfo-tipologiche, tecnologiche, impiantistiche e scenografiche del progetto sono fortemente influenzate dalle caratteristiche dell'edificio. La conversione dell'edificio storico in uno spazio espositivo e il rinnovo, o il restauro, dell'edificio esistente comporta una serie di rischi conservativi. La qualità ambientale negli edifici espositivi investe un'ampia gamma di tematiche volte a far coesistere le esigenze contrapposte di libero accesso, benessere degli utenti, comunicazione ed educazione culturale, salvaguardia del patrimonio, efficienza energetica dell'edificio e sicurezza delle opere, dei visitatori e del personale tecnico.

La ricerca restituisce uno strumento operativo che assiste le autorità museali e i progettisti durante le operazioni di riqualificazione, al fine di ottimizzare e di pianificare soluzioni efficienti di controllo del processo di rinnovo del edificio museale. Lo studio dimostra che le esigenze di conservazione, benessere degli utenti ed efficienza energetica sono compatibili tra loro grazie alla pianificazione razionale, alla cooperazione interdisciplinare tra progettisti e conservatori, all'approfondita conoscenza di requisiti, problemi e opportunità dell'edificio e della collezione. Lo strumento è stato applicato presso la Pinacoteca di Brera a Milano, al fine di individuare i rischi, le misure di controllo ambientale, i consumi energetici, le tecnologie costruttive, i sistemi impiantistici e le procedure di gestione museotecnica più appropriati per attuare un intervento di riqualificazione consapevole.

Key-words

Conservazione preventiva, clima interno, valutazione energetica

Introduzione

La tutela e la valorizzazione dell'eredità storico-artistica concorrono a preservare la memoria della comunità e a promuovere lo sviluppo sociale di una nazione. L'intervento di protezione, dunque, è un presupposto irrinunciabile per la diffusione del "senso" del patrimonio e, come tale, è dotato di una valenza etica, culturale ed economica rivolta al manufatto e al sistema sociale di riferimento.

La necessità di integrare le esigenze opposte di conservazione e di promozione turistico-culturale ha sviluppato una nozione internazionalmente condivisa di "Museo" come luogo dinamico dotato di un ruolo sociale, culturale ed economico di rappresentazione della "matrice storica" e di identificazione delle "aspirazioni culturali" collettive e individuali. L'immagine neoclassica di luogo statico destinato alla contemplazione e al diletto è completamente rinnovata nei primi anni del Novecento, quando nasce la figura del conservatore museale e si afferma l'idea di un centro destinato allo studio, alla tutela e alla gestione della collezione. Nel Secondo Dopoguerra, la riorganizzazione scientifica del sapere museologico porta a una maggiore consapevolezza dell'importanza della cura e della valorizzazione dei manufatti e dell'edificio museale, al fine di favorire la fruizione e la piena comprensione del significato delle opere d'arte. In questi anni, si sviluppa un "modello tipologico" basato sulla distribuzione gerarchica delle funzioni conservative, espositive, educative, amministrative e di deposito. Lo schema funzionale è adottato indistintamente per la costruzione di nuovi edifici e per la riconversione dei palazzi storici in sedi espositive. In Italia, la riorganizzazione planimetrica e funzionale del patrimonio esistente, porta allo sviluppo del "museo moderno in contesto storico" (Huber, 1997; Ranellucci, 2005). In questi edifici, la presenza di vincoli storici, artistici, strutturali, tipologici e impiantistici comporta la realizzazione di progetti strettamente legati all'ambiente specifico e, in alcuni casi, anche a modificare l'aspetto estetico dell'immobile originario. I valori di prestigio e di cultura, che in passato erano associati all'edificio antico, sono esaltati dall'allestimento mediante la realizzazione di locali monumentali caratterizzati da viste prospettiche, dall'illuminazione naturale e zenitale, dalla diffusione di materiali preziosi, dalla ricostruzione dell'ambientazione autentica delle opere e dalla frammistione tra manufatti ed arredi storici.

La vera frattura concettuale e tecnologica con il passato risale alla Post-Pompidou Age (Davies, 1990), ovvero all'epoca successiva alla realizzazione del Centre George Pompidou di Parigi ideato da Renzo Piano e Richard Rogers (1972). Il progetto interpreta le nuove teorie pedagogiche, psicologiche e semiotiche che concepiscono il visitatore come un soggetto attivo dell'esperienza percettiva. Nasce il concetto di "museo evoluto" che vede affermarsi di un modello dinamico, basato sull'interrelazione tra le funzioni istituzionali, di conservazione e di valorizzazione delle collezioni, e innovative di didattica, educazione, svago e intrattenimento turistico per i visitatori. Dal punto di vista architettonico, accanto alle funzioni conservative ed espositive sorgono nuove attività di intrattenimento del pubblico, che comprendono: laboratori, centri didattici, spazi ludici, sale conferenze, bookshop, biblioteche, aree di ristoro e negozi specializzati in merchandising.

Negli edifici esistenti, non specificatamente pensati per ospitare una collezione artistica, la difficoltà di adattare l'edificio alle mutevoli esigenze di visita è particolarmente evidente in quanto l'introduzione di funzioni innovative e di prestazioni aggiornate può comportare una serie di rischi conservativi. Da un lato, la salvaguardia del valore culturale ed economico dei beni esige la limitazione del deterioramento, l'implementazione delle prestazioni energetiche, il controllo delle condizioni ambientali e della

sicurezza interna mentre, dall'altro, l'esigenza espositiva è legata a oggettivi bisogni fruitivi e richiede livelli appropriati di benessere per gli occupanti, la presenza di funzioni di intrattenimento turistico e di comunicazione culturale. L'integrazione tra le esigenze opposte di tutela, comfort ed efficienza energetica può essere ottenuta solo attraverso la pianificazione razionale, la cooperazione interdisciplinare e l'approfondita conoscenza di requisiti, opportunità e criticità.

Il caso-studio: la Pinacoteca di Brera

La ricerca presenta un metodo di valutazione delle prestazioni energetiche e ambientali degli edifici espositivi, validato da una sperimentazione effettuata presso la Pinacoteca di Brera di Milano. Il museo è ospitato in un palazzo di pregio storico che, nel corso degli anni, ha subito una serie di trasformazioni, aggiunte e modifiche di destinazioni d'uso [1]. L'allestimento nella forma attuale nasce dalla frammistione tra linguaggi espressivi diversi, che individuano le specificità museografiche, museotecniche e impiantistiche delle diverse epoche in cui sono stati realizzati [2]. La complessità delle misure di conservazione e di valorizzazione nasce anche dalla funzionalità mista dell'edificio, che comprende le attività espositive, un deposito climatizzato a vista, un bookshop, un guardaroba, un laboratorio fotografico, i laboratori temporanei di restauro e le attività didattiche itineranti. I servizi supplementari hanno prodotto situazioni ambientali non sempre compatibili con la conservazione delle opere e il benessere dei fruitori e, per ovviare ai problemi legati alla multifunzionalità del museo, si è incrementato l'uso degli impianti di condizionamento. La Pinacoteca, inoltre, ospita una collezione permanente di arte decorativa e plastica, con opere di varia natura che necessitano di condizioni conservative severe, disomogenee e perfettamente stabili nel tempo, più facilmente conseguibili usando impianti elettrici e meccanici. Infine, le prestazioni termofisiche dell'involucro edilizio e degli impianti di climatizzazione estiva e invernale non rispettano gli standard legislativi e costruttivi attuali, a fronte di consumi energetici piuttosto rilevanti nel bilancio economico dell'istituzione museale. Si richiedeva, pertanto, un progetto di conservazione preventiva e di diagnosi energetica volto a riorganizzare l'allestimento e la gestione delle opere secondo i criteri museografici e museotecnici più aggiornati e ad individuare gli sprechi energetici, i malfunzionamenti edilizi e impiantistici e gli interventi di riqualificazione ambientale più opportuni.

Il metodo diagnostico

Il metodo diagnostico adottato si basa su un duplice livello di analisi, rivolto alla valutazione integrata delle prestazioni energetiche e ambientali della Pinacoteca di Brera di Milano. I due aspetti, infatti, sono strettamente correlati tra loro, poiché l'efficienza energetica dell'edificio non può prescindere dalla corretta conservazione ed esposizione delle opere, dal benessere e dalla sicurezza degli occupanti, nel pieno rispetto della valenza storica e culturale dell'edificio, dell'allestimento e della collezione. Il metodo è strutturato nelle seguenti fasi operative:

- Diagnosi energetica dell'edificio;
- Valutazione delle prestazioni ambientali;
- Definizione delle azioni di riqualificazione energetica e ambientale più opportune;
- Valutazione della fattibilità tecnica ed economica degli interventi;
- Valutazione delle disponibilità tecnologiche e stima econo-

mica degli interventi da effettuare;

- Pianificazione strategica delle attività;
- Individuazione e diffusione dei benefici di salvaguardia delle opere e di soddisfazione degli utenti promossi dagli interventi conservativi, espositivi, economici e gestionali.

Le due analisi sono state svolte parallelamente poiché utilizzano tecniche analoghe e, spesso, raggiungono risultati complementari.

DIAGNOSI ENERGETICA

La diagnosi energetica indica un insieme sistematico di attività di rilievo, raccolta e analisi delle prestazioni e dei consumi del sistema edificio-impianto, allo scopo di individuare le cause degli sprechi e la presenza di eventuali malfunzionamenti o inefficienze [3]. Una volta evidenziate le carenze del sistema, è necessario individuare gli interventi di riqualificazione più adeguati, secondo un'ottica di sostenibilità ambientale e di riduzione delle emissioni inquinanti. Un ulteriore obiettivo, infatti, riguarda la valorizzazione del patrimonio immobiliare attraverso il miglioramento della classe energetica di appartenenza e l'aggiornamento delle caratteristiche architettoniche e impiantistiche (Thumann e Younger, 2003). Il metodo di diagnosi energetica è strutturato nelle seguenti fasi:

- Raccolta, studio e analisi dei documenti e delle informazioni relative agli aspetti edilizi, impiantistici e gestionali dell'immobile;
- Calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio nelle condizioni reali di utilizzo;
- Stima della distribuzione dei consumi energetici dell'edificio e degli impianti;
- Monitoraggio dei parametri luminosi e termoigrometrici;
- Individuazione delle criticità energetiche.

Per effettuare la diagnosi energetica sono state raccolte le informazioni relative agli aspetti edilizi (ubicazione, geometria, dimensioni dell'edificio e caratteristiche termofisiche dell'involucro), impiantistici (prestazioni degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione artificiale, sistema elettrico) e gestionali (utilizzo, numero di persone, orari e giorni di funzionamento del museo e di attivazione degli impianti) e i dati di consumo delle utenze elettriche, termiche e frigorifere. Per verificare e completare le informazioni localizzative, dimensionali e geometriche dell'edificio e dei componenti edilizi è stato effettuato un rilievo geometrico. Particolare attenzione è stata posta al rilievo degli spessori di murature, telai e vetri, che hanno costituito il punto di partenza per l'analisi delle prestazioni termofisiche dell'involucro edilizio. Lo studio è stato supportato dalla ricerca documentaria, storiografica e manualistica dei sistemi costruttivi storici. In aggiunta, la termografia a raggi infrarossi ha permesso di verificare i dati storici e di individuare i ponti termici di forma e di materia, la stratigrafia delle pareti e delle solette, l'assenza di materiale isolante, le infiltrazioni di aria da porte, finestre e lucernari, la chiusura ottocentesca di alcune aperture, la presenza di pannelli radianti a pavimento con funzionamento uniforme.

La trasmittanza termica delle pareti verticali e dei solai è stata stimata con il metodo tabellare, poiché la conformazione geometrica riprende sistemi tradizionali e diffusi (norma UNI TS 11300-1:2008). Inoltre, i rilievi effettuati sul campo hanno verificato lo stato di manutenzione (o di degrado) dei componenti edilizi e quindi l'opportunità di prevedere interventi di riqualificazione tecnologica abbinati al retrofit energetico. In particolare, la termocamera ha consentito di identificare le criticità termiche e igrometriche, i difetti di costruzione, i degradi

in atto e la presenza di errori di manutenzione o di problemi di efficienza impiantistica.

Le informazioni impiantistiche raccolte hanno riguardato i sistemi di produzione (generatori di calore e climatizzazione estiva), emissione (terminali scaldanti costituiti da pannelli radianti a pavimento), distribuzione (rete di distribuzione ed elettropompe di circolazione) e regolazione del calore (sistemi di regolazione) e sono state desunte da elaborati tecnici specifici (schemi funzionali dell'impianto termico e dell'impianto elettrico), dalla documentazione obbligatoria (libretti di centrale, NOP) e dalle targhe presenti in centrale termica. Le informazioni relative agli impianti di illuminazione artificiale (lampade ai vapori di alogenuri metallici e regolatori elettronici), di controllo igrometrico (umidificatori portatili) e di produzione di acqua calda ad usi sanitari sono state raccolte mediante l'analisi dei progetti storici e verificati nella conformazione attuale dell'edificio. Successivamente, sono stati individuati i dati di consumo energetico delle utenze elettriche, termiche e frigorifere e i fattori di utilizzo di ciascun impianto. Di seguito si riportano le analisi effettuate per realizzare la diagnosi energetica (Tabella 1).

TABELLA 1: ANALISI EFFETTUATE PER LA DIAGNOSI ENERGETICA DELLA PINACOTECA DI BRERA

Elemento valutato	Prestazioni	Metodo diagnostico
Involucro opaco	Trasmittanza termica	Metodo tabellare Termografia IR
Vetri	Trasmittanza termica	Spessivetro
Telai	Trasmittanza termica	Metodo tabellare
Velai	Trasmittanza termica	Dati progettuali
Ponti termici	Presenza	Termografia IR
Produzione di calore	Prestazioni	Libretto di centrale
Terminali scaldanti	Uniformità	Termografia IR
Rete di distribuzione	Isolamento	Stima
Regolazione	Presenza	Documentazione tecnica
Acqua Calda Sanitaria	Prestazioni	Documentazione tecnica
Impianto elettrico	Prestazioni	Documentazione tecnica
Luce artificiale	Prestazioni	Documentazione tecnica

La correlazione tra le prestazioni stimate e le condizioni reali di esercizio ha permesso di ricostruire il "modello energetico" dell'edificio e di effettuare una valutazione precisa dei flussi di energia legati all'involucro, all'impianto termico e al sistema elettrico. In questo modo è stato possibile individuare le criticità energetiche dell'edificio.

VALUTAZIONE AMBIENTALE

Parallelamente alla diagnosi energetica, sono state valutate le prestazioni ambientali della Pinacoteca in funzione di due aspetti diacronici e complementari, che riguardano la tutela del valore culturale ed economico della collezione e il benessere fisico e percettivo per gli occupanti. Le opere, inoltre, non sono state concepite per essere "musealizzate" e hanno una provenienza differente dal museo: il modo in cui sono mostrate è inevitabilmente diverso da quello previsto dall'artista, dal luogo in cui sono state rinvenute o per il quale sono state concepite. È stato necessario anche approfondire le caratteristiche dell'ambiente espositivo attraverso le seguenti analisi:

- Individuazione di specificità storiche, esigenze conservative ed espositive del museo;
- Analisi dello stato di conservazione dell'edificio, dell'allestimento e della collezione;
- Valutazione del comfort visivo, termoigrometrico e aerobiologico degli utenti;
- Monitoraggio dei parametri luminosi, termoigrometrici e degli agenti patogeni;
- Individuazione dello stato di rischio ambientale cui sono sottoposte le opere, attraverso l'analisi integrata delle patologie di degrado e delle reali condizioni microambientali;
- Identificazione delle aree prioritarie di intervento, ovvero delle zone in cui il livello di rischio ambientale supera i livelli massimi ammissibili definiti dai protocolli normativi e procedurali.

L'analisi dell'evoluzione storica della Pinacoteca e della consistenza del patrimonio artistico ha richiesto un'approfondita ricerca documentaria delle fonti dirette e indirette. In particolare, è stata analizzata la storia del museo dalla sua fondazione nel 1882 fino ai giorni nostri. I dati sono stati integrati con le caratteristiche funzionali, tipologiche, dimensionali, costruttive e impiantistiche dell'edificio nella conformazione attuale, delle procedure di gestione museotecnica (tutela, sicurezza, pulizia, gestione, deposito, mobilitazione e prestito delle opere), delle proprietà chimico-fisiche e della "storia climatica" vissuta dai beni.

I dati funzionali e dimensionali hanno consentito di valutare la compatibilità tra le funzioni conservative e le attività che producono inquinamento indoor, come i laboratori di restauro e le aree con grande affluenza di pubblico (bookshop, negozi, atrio). Le informazioni sono state rilevate seguendo i tracciati schedografici elaborati dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, al fine di renderle compatibili con le politiche di catalogazione nazionale.

Le informazioni relative alle caratteristiche costruttive e impiantistiche hanno permesso di individuare l'assenza di degradi puntuali dovuti ai sistemi tecnologici.

La conoscenza degli orari di apertura e delle procedure di gestione della collezione ha consentito di verificare la sussistenza di problemi legati agli elevati flussi di visita e, a volte, di incompatibilità tra le politiche museotecniche adottate e la salvaguardia dei beni. Infine, sono state analizzate le pro-

prietà chimico-fisiche dei manufatti al fine di individuare i livelli microclimatici ottimali per la tutela, in funzione dell'attitudine individuale al degrado.

L'analisi integrata di questi fattori ha consentito di identificare i problemi conservativi, individuando in modo preciso le cause ambientali e gestionali della vulnerabilità dei manufatti (Tabella 2).

TABELLA 2: ANALISI EFFETTUATE PER VALUTARE IL DEGRADO DEL PATRIMONIO CULTURALE CONSERVATO PRESSO LA PINACOTECA DI BRERA

Degrado	Grandezza	Strumenti
Attitudine al degrado	Natura chimico-fisica	Analisi diagnostiche
	Storia climatica	
Fotochimico	Livello di illuminamento	Luxmetro
	Dose di luce	Luxmetro, ore di apertura
	Esposizione energetica annua	
	Radiazione ultravioletta	Spettro-radiometro
Termico	Temperatura dell'aria	Data-logger
	Gradiente termico	
Igrometrico	Umidità relativa dell'aria	Data-logger
	Gradiente igrometrico	
Aerobiologico	SO _x - NO _x	Coupon di corrosione
	CO ₂	Rilevatore
	Incompatibilità	Analisi visiva

Il comfort è stato valutato attraverso la stesura di questionari e la realizzazione di interviste condotte secondo il metodo della Post Occupancy Evaluation. L'analisi è stata svolta su tre categorie di utenti: il personale, i visitatori singoli e i gruppi di visita.

I problemi di discomfort rilevati sono stati confrontati con le reali condizioni ambientali, al fine di fare emergere eventuali disfunzioni gestionali o carenze impiantistiche. In particolare, è stato rilevato l'andamento dei parametri luminosi (livello di illuminamento, luminanza, radianza ultravioletta), termici (temperatura dell'aria, gradiente termico giornaliero e stagionale), igrometrici (umidità relativa dell'aria, gradiente igrometrico giornaliero e stagionale) e aerobiologici (concentrazione di inquinanti gassosi e di sostanze particolate) che influenzano la conservazione delle opere e il benessere degli occupanti. Il rilievo luminoso e termico è stato realizzato con un data-logger dotato di sonda luxometrica, luminanzometrica, radiometrica, termoigrometrica e anemometrica. È stato effettuato un monitoraggio puntuale su tutta la Pinacoteca, al fine di individuare le aree con problemi conservativi, sulle quali è stato rea-

lizzato un monitoraggio continuo durato tre anni. L'inquinamento ambientale è stato valutato con un analizzatore di anidride carbonica e con i coupon di corrosione chimica che misurano la concentrazione degli ossidi di zolfo e di azoto. È stato anche necessario verificare la compatibilità tra i manufatti, i sistemi di allestimento, le procedure di pulizia e di maintenance. Di seguito sono elencate le analisi effettuate nella valutazione ambientale (Tabella 3).

TABELLA 3: ANALISI EFFETTUATE PER VALUTARE IL COMFORT DEGLI UTENTI NELLA PINACOTECA DI BRERA

Comfort	Grandezza	Strumenti	
Visivo	Rapporto aero-illuminante	Calcolo	
	Fattore luce diurna medio	Luxmetro	
	Livello di illuminamento	Luxmetro Analisi comfort	
	Contrasto di luminanza tra ambienti limitrofi	Luminanzometro Analisi comfort	
	Contrasto di luminanza tra opera-sfondo	Luminanzometro Analisi comfort	
	Contrasto luminoso tra sorgente e zona del compito	Luminanzometro Analisi comfort	
	Riflessione superficiale	Analisi visiva Analisi comfort	
	Contrasto cromatico	Analisi comfort	
	Riflettanza delle superfici	Analisi visiva	
	Resa cromatica	Documenti tecnici	
	Temperatura al colore	Documenti tecnici	
	Termico	Temperatura	Data-logger
		Temperatura media radiante	Globo-termometro
Temperatura superficiale		Termometro IR	
Igrometrico	Umidità relativa	Data-logger	
Olfattivo	Velocità aria	Anemometro	
	Ricambio d'aria	Calcolo	
	CO ₂	Rilevatore	

La comparazione tra i problemi di discomfort rilevati, le soglie microclimatiche massime ammissibili secondo la normativa internazionale e le reali condizioni interne ha permesso di individuare le aree operative prioritarie, dove è opportuno concentrare le azioni di riqualificazione ambientale.

I risultati

L'utilizzo integrato di tecniche diagnostiche non invasive ha consentito di individuare le azioni energetiche e ambientali più appropriate, nell'intento di realizzare un intervento "minimo" e compatibile con il valore materiale e immateriale del patrimonio culturale.

DIAGNOSI ENERGETICA

La diagnosi energetica ha permesso di definire un "modello termico" della Pinacoteca di Brera nelle reali condizioni di utilizzo, differenziando gli aspetti legati alle caratteristiche dell'involucro edilizio, degli impianti tecnici e delle procedure gestionali.

Nel complesso, l'involucro si caratterizza per prestazioni termofisiche differenziate. Le pareti verticali, costituite da una muratura in mattoni a tre teste, garantiscono buone prestazioni termiche e igrometriche nel periodo invernale ed estivo. I valori di trasmittanza (secondo la norma UNI TS 11300:2008 è 1.39 W/m²K), i tempi di sfasamento e i coefficienti di attenuazione sono in linea rispetto alle costruzioni realizzate in quest'epoca storica. L'analisi termografica ha mostrato anche la presenza di temperature superficiali apparenti abbastanza uniformi, la mancanza di ponti termici di materia, di infiltrazioni d'aria e di acqua. Pertanto, per incrementare le prestazioni energetiche delle pareti perimetrali non si è ritenuto necessario aumentare l'isolamento termico (peraltro, gli interventi realizzabili di cappotto esterno e interno non sono compatibili con i caratteri storico-artistici dell'edificio e dell'allestimento storico). Il solaio inferiore e la copertura, invece, presentano elevate dispersioni per trasmissione, dovute alla mancanza di isolamento termico. L'analisi termografica ha mostrato che i pannelli radianti a pavimento, realizzati negli anni Sessanta nel solaio inferiore, tendono a far fuoriuscire il calore verso il piano sottostante. Per isolare il solaio è opportuno effettuare analisi diagnostiche più approfondite per valutare la fattibilità dell'isolamento termico in intercapedine o a estradosso, tutelando i pavimenti marmorei ideati da Piero Portaluppi. Per isolare la copertura, invece, può essere realizzato un isolamento a estradosso, che consente di conservare integralmente la morfologia della copertura originale.

L'involucro trasparente si caratterizza per elevate dispersioni termiche, nonostante gli interventi degli anni Ottanta che hanno previsto la sostituzione dei vetri singoli delle finestre e dei velai con una doppia vetratura. In particolare, i grandi velari realizzati nella copertura presentano infiltrazioni d'aria e d'acqua. Pertanto, è necessario valutare la sostituzione dei telai e dei vetri esistenti con sistemi dotati di migliori prestazioni di isolamento termico, di tenuta all'aria e all'acqua e di filtrazione della radiazione ultravioletta.

La caldaia esistente ha un rendimento termico piuttosto scarso e, pertanto, è opportuno valutare la sua sostituzione con un generatore di calore di moderna concezione. I pannelli radianti a pavimento, invece, rappresentano un'ottimale soluzione conservativa, per il benessere degli utenti e per l'efficienza energetica dell'edificio. L'analisi termografica ha mostrato l'uniformità di funzionamento, mentre il monitoraggio ambientale ha rilevato la presenza di condizioni termiche disuniformi lungo il percorso museale. Le cause, non sono attribuibili ai terminali scaldanti, ma all'assenza di isolamento termico nel solaio.

L'impianto elettrico è in sicurezza e l'illuminazione ha prestazioni energetiche discrete, garantite dall'integrazione tra luce naturale e artificiale, dalla scelta di lampade a vapori di alogenuri metallici e dalla sostituzione periodica degli apparecchi inefficienti.

VALUTAZIONE AMBIENTALE

La collezione della Pinacoteca è stata ordinata in categorie merceologiche caratterizzate da analoga attitudine al degrado. Le opere maggiormente soggette a degrado fotochimico e igrometrico sono i dipinti a olio e a tempera su tavola e su tela, i guazzi, i dipinti a tecnica mista su tela, canovaccio e tavola e le sculture in cera, che costituiscono la parte più consistente della collezione (Tabella 4).

TABELLA 4: CONDIZIONI DI TUTELA DELLE OPERE CONSERVATE PRESSO LA PINACOTECA DI BRERA (NORMA UNI 10829:1999)

Tipo di manufatto	Requisiti di tutela			
	E _{max} (lux)	UV _{max} (μW/lm)	T (°C)	UR (%)
Dipinti su tela e tavola	150	75	19÷24	40÷55
Sculture in cera	150	75	<18	-
Materiale lapideo	-	-	15÷25	20÷60
Dipinti murali e affreschi	150	75	10÷24	55÷65
Pitture a secco staccate	150	75	10÷24	50÷45
Acquerelli, disegni, pastelli	50	75	19÷24	45÷60

E = Livello di illuminamento
T = Temperatura dell'aria
UR = Umidità relativa dell'aria
UV_{max} = Radianza ultravioletta

Il progetto originario di Piero Castiglioni ha previsto il deprezzamento delle sorgenti luminose nel tempo, stabilendo un livello di illuminamento poco più alto rispetto alle prescrizioni museografiche. Attualmente, il livello di illuminamento interno è di poco superiore rispetto ai limiti conservativi. Per ridurre il foto-degrado è opportuno limitare l'esposizione energetica annua entro i limiti normativi, ad esempio prevedendo la rotazione delle opere in esposizione e in deposito [4]. La riduzione del solo livello di illuminamento potrebbe creare difficoltà visive per gli utenti, come è emerso dai questionari di valutazione del comfort e dalle interviste. Non sono stati rilevati problemi di radianza ultravioletta e infrarossa poiché sulle aperture sono inseriti filtri anti-UV e anti-IR.

I problemi di natura igrometrica sono legati a procedure museotecniche non corrette. Nella Pinacoteca, infatti, sono presenti umidificatori a evaporazione forzata che mantengono un tasso di umidità relativa costante del 60 %. Il monitoraggio ambientale ha mostrato in assenza di impianti, l'umidità relativa interna oscilla solo in caso di pioggia o di elevati flussi di visita nelle sale più piccole (Fig. 1).

Al contrario, l'accensione degli umidificatori portatili provoca una forte instabilità igrometrica (Fig. 2).

Pertanto, è opportuno accendere gli umidificatori solo quando il livello igrometrico è inferiore rispetto ai limiti minimi normativi (30÷35 %). Gli umidificatori hanno anche consumi energetici piuttosto elevati, peraltro non motivati da ragioni conservative. È necessario adottare metodi di pulizia compatibili con le opere esposte e privi di acqua. Si può prevedere anche un impianto termodinamico di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore, che limita le dispersioni energetiche per ventilazione, mantiene costanti i tassi di umidità relativa ed elimina ogni inquinante atmosferico.

I beni di natura inorganica, costituiti da statue, cenotafi e vasi in materiale lapideo, non presentano alcun rischio conservativo e possono essere inseriti liberamente lungo il percorso museale. Questi manufatti andrebbero valorizzati attraverso un allestimento appropriato, capace di creare centri di attenzione visiva e luoghi di sosta mirati con informazioni dedicate a queste opere.

Un discorso a parte meritano i dipinti murali a secco e gli affreschi inseriti nelle Cappelle di Mocchirolo e San Giuseppe, che richiedono livelli di illuminamento contenuti e una perfetta stabilità igrometrica. In queste sale è opportuno prevedere zone a controllo climatico separato e regolare l'afflusso dei visitatori. La soluzione è praticabile poiché si trovano all'ingresso della Pinacoteca, in una posizione separata dal resto del museo. È utile realizzare un'illuminazione che enfatizzi le tonalità calde delle opere, come era previsto nell'allestimento di Portaluppi.

Nelle sale espositive non sono state adottate particolari prescrizioni di controllo termico, che è limitato ai depositi. Le opere non mostrano problemi conservativi dovuti a range termici inadeguati o instabili mentre, al contrario, è stato rilevato il discomfort degli utenti. Il monitoraggio puntuale ha evidenziato l'assenza di una regolamentazione termoigrometrica, con temperature e umidità relative variabili nelle diverse sale. In estate i valori termici crescono dalle prime alle ultime sale (20÷33 °C) mentre quelli igrometrici decrescono (55÷45 %). In inverno si verifica la situazione opposta, con temperature che raggiungono 16 °C. Il problema si ripete stagionalmente.

L'analisi del comfort ha mostrato anche l'inadeguatezza dell'ambiente luminoso per enfatizzare la valenza estetica e cromatica delle opere. La principale critica dei visitatori riguarda il colore degli intonaci e della luce artificiale. La stesura di un intonaco bianco e opaco ha modificato completamente l'atmosfera originaria del progetto di Portaluppi, che prevedeva un intonaco brillante nella tonalità "giallo Brera". A differenza dell'attuale, questo colore riusciva a creare un ambiente luminoso caldo e con luce diffusa. Analogamente, la sostituzione delle sorgenti fluorescenti con lampade ai vapori di alogenuri metallici ha migliorato le prestazioni energetiche dell'impianto, modificando anche l'aspetto percettivo degli utenti. Le sorgenti di luce previste da Castiglioni, come ha dichiarato il personale museale nelle interviste, appiattiscono le tonalità cromatiche delle opere pittoriche. L'illuminazione artificiale appare troppo fredda e uniforme lungo l'ambiente espositivo, mentre è necessario creare dei centri di attenzione visivo rivolti ai singoli manufatti.

Attualmente, inoltre, sono in commercio sorgenti luminose dotate di prestazioni superiori per quanto concerne l'efficienza energetica, l'assenza di emissioni ultraviolette e infrarosse, la resa al colore massima e la presenza di temperature correlate al colore rispettose delle tonalità prevalenti dei dipinti. I rilievi strumentali e le analisi del comfort non hanno rilevato la presenza di problemi di abbagliamento visivo (Tabella 5).

TABELLA 5: CONDIZIONI DI BENESSERE DEGLI OCCUPANTI E DI VALORIZZAZIONE DELLE OPERE CONSERVATE NELLA PINACOTECA DI BRERA

Tipo di manufatto	Condizioni di benessere		
	E(lux)	T(°C)	UR(%)
Dipinti su tela e tavola, sculture in cera	300÷400	19÷26	45÷55
Materiale lapideo	>300	19÷26	45÷55
Dipinti murali, affreschi, pitture a secco staccate	200÷300	19÷26	45÷55
Acquerelli, disegni, pastelli	50	20	50
E = Livello di illuminamento T = Temperatura dell'aria UR = Umidità relativa dell'aria			

Per ciascun tipo di manufatto è stata valutata la compatibilità tra le condizioni di tutela e di comfort degli occupanti definiti dalla normativa e i dati rilevati strumentalmente (Tabella 6).

TABELLA 6 ANDAMENTO DEI PARAMETRI MICROCLIMATICI RILEVATI STRUMENTALMENTE NELLA PINACOTECA DI BRERA

Tipo di manufatto	Condizioni reali			
	E _m (lux)	T _m (°C)	UR _m (%)	Problemi
Dipinti su tela e tavola	400	16÷21 Estate 25÷30 Inverno	45÷55 Estate 55÷65 Inverno	E _m T _m UR _m
Sculture in cera	400	20÷24	55÷60	UR _m T _m
Materiale lapideo	400	16÷26	55÷60	-
Dipinti murali e affreschi	200	22÷24	50÷60	E _m UR _m
Pitture a secco staccate	300	22÷24	50÷55	E _m
Acquerelli, disegni, pastelli	50	20	50	-
E _m = Livello di illuminamento medio T _m = Temperatura media UR _m = Umidità relativa media				

Il confronto tra le condizioni di tutela previste dai protocolli normativi e procedurali, i livelli di benessere per gli occupanti, le situazioni di discomfort descritte dagli utenti, le criticità energetiche individuate durante l'audit, e l'andamento dei parametri ambientali monitorati strumentalmente ha permesso di individuare le sale a rischio conservativo (Fig. 3).

Nelle sale a rischio conservativo è stato effettuato un monitoraggio microclimatico durato tre anni, al fine di individuare le cause delle problematiche ambientali (Fig. 4).

I problemi conservativi sono legati a modifiche frammentarie e non coordinate degli allestimenti nelle diverse epoche storiche per risolvere emergenze espositive e problemi contingenti. Si richiede un progetto basato su azioni programmate, volte ad aggiornare l'immagine rispetto alle rinnovate esigenze fruitive e a migliorare la gestione del museo. A questo fine, è stata definita una "matrice" delle possibili strategie di intervento energetico e ambientale, lasciando liberi i progettisti e il personale museale di scegliere le misure più convenienti dal punto di vista logistico, economico e istituzionale.

Conclusioni

L'organizzazione preliminare delle attività museotecniche è particolarmente mirata per un'istituzione pubblica, in quanto consente di valutare preventivamente le disponibilità finanziarie, di ottimizzare le risorse e di programmare nel tempo gli interventi, limitando gli ostacoli, i disagi, i tempi e i costi operativi. Il metodo proposto suggerisce un approccio strategico e continuamente reiterabile di "valorizzazione conservativa e fruitiva", che si sviluppa secondo un'ottica sistemica di integrazione tra risorse culturali, strutturali, gestionali, umane e finanziarie del museo, nella consapevolezza che l'azione conservativa non si limita alla progettazione dell'edificio, ma esige il mantenimento e l'aggiornamento delle prestazioni nel tempo.

Note

- [1] La Pinacoteca di Brera sorge su un'area che nel XII secolo ospitava un convento degli Umiliati, collocato a ridosso delle mura romane. Nel 1572, in seguito alla soppressione dell'ordine monastico, il Palazzo diviene sede di un "Collegium" gesuita per l'istruzione giovanile. L'aumento della fruizione del Collegio, divenuto poi sede universitaria, ha richiesto l'ampliamento dell'edificio originario. Il progetto è affidato a Martino Bassi (1580-1589), rivisto integralmente da Francesco Maria Richini (1651-1686) e completato da Giuseppe Piermarini (1774-1782) nell'assetto attuale, che contempla l'Osservatorio Astronomico, l'Orto Botanico, l'Accademia e la Biblioteca Nazionale Braidense. Le leggi di soppressione degli ordini monastici hanno favorito il trasferimento delle opere appartenute a chiese e conventi presso il Palazzo che, nel 1789, diviene sede museale aperta al pubblico su richiesta. L'ampliamento della collezione a seguito di lasciti, donazioni ed espropriazioni ecclesiastiche in Età Napoleonica, porta alla riorganizzazione dell'edificio sotto la direzione di Andrea Appiani (1807) che trasforma la Chiesa di Santa Maria di Brera nel Museo dell'Antichità Lombarda (piano terreno) e nella Pinacoteca (piano superiore). «I lavori [...] dovevano venire eseguiti secondo i più moderni criteri espositivi: colonne a segnare la divisione fra sala e sala, lucernari per fare entrare la luce dall'alto secondo il gusto dei musei neoclassici. [...] Nel 1808 si autorizza anche la demolizione della facciata della chiesa» (Tardito, 1986, p. 39). L'istituzione museale viene fondata nel 1882. Da quest'anno si susseguono una serie di interventi volti a donare un'immagine moderna al museo. Sotto la direzione di Giuseppe Bertini (1882-1898) e di Corrado Ricci (1889-1903) si costruiscono i depositi e un archivio fotografico, si aprono alcuni lucernari cruciformi per illuminare le opere con luce naturale e si murano tutte le finestre, eccetto quelle disposte lungo il corridoio d'ingresso. Durante la direzione di Ettore Modigliani (1908-1934), l'allestimento è completamente rinnovato da Piero Portaluppi che realizza nuovi pavimenti musivi e marmorei, zoccolature, cornici e tinteggiature delle pareti e sostituisce i vetri dei lucernari napoleonici con vetri retinati e velari smerigliati. Nel 1943 i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale distruggono la copertura e sfondano alcuni solai.
- [2] Il restauro della Pinacoteca è affidato a Portaluppi (1946-1950) che, dopo avere garantito il consolidamento statico della costruzione e ricostruito la Cappella Mocchirolo nella forma originaria, riorganizza lo spazio espositivo secondo i principi di fluidità, di razionalizzazione delle funzioni e dei percorsi e di illuminazione naturale. Negli stessi anni, Franco Albini

progetta una galleria a pettine per ospitare le mostre temporanee ed è realizzato l'impianto di riscaldamento con pannelli radianti a pavimento. La carenza di fondi per la manutenzione ordinaria ha generato una nuova situazione di degrado, con infiltrazioni d'acqua dai pluviali della copertura, problemi di sicurezza per l'impianto elettrico, lesioni nelle pareti e possibile caduta dei lucernari. Nel 1974 la Pinacoteca viene chiusa al pubblico ed è riaperta nel 1978 dopo che Alberico e Ludovico Belgiojoso hanno modificato l'assetto museografico con la costruzione di un *bookshop* nell'ingresso, di un bar nel loggiato, di due depositi a controllo ambientale e degli uffici della Sovrintendenza per i Beni Artistici e Storici di Milano. Il progetto architettonico dello Studio Gregotti e Associati e quello illuminotecnico di Piero Castglini (1985-1991) riguardano l'aggiornamento dell'allestimento di Portaluppi secondo gli standard di conservazione, di sicurezza e di illuminazione più innovativi.

- [3] La Direttiva 2006/32/CE concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici definisce la diagnosi energetica come una «[...] procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività e/o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati».
- [4] L'esposizione energetica annua è determinata dal prodotto tra il livello di illuminamento (400 lux) e le ore di apertura annuale (3.394 ore). Attualmente il suo valore è pari a 1.357.600 luxh/anno, mentre il livello massimo deve essere di 500.000 luxh/anno, che con un livello di illuminamento di 400 lux equivale a 150 giorni di esposizione delle opere.

Bibliografia

- AVRAMI E. et alii, *The Conservation Assessment: a Proposed Model for Evaluating Museum Environmental Management Needs*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (1999).
- CAMUFFO D., *Microclimate for Cultural Heritage*, Elsevier, Amsterdam (1998).
- CASSAR M., *Environmental Management. Guidelines for Museums and Galleries*, Routledge, London-New York (1995).
- DAVIES D., *The museum transformed: design and culture in the post-Pompidou age*, Abbeville Press, New York (1990).
- DEAN D., *Museum Exhibition: Theory and Practice*, Routledge and Routledge, London-New York (1994).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI 10829 "Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione" (1999).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI 10969 "Beni culturali. Condizioni ambientali di conservazione. Principi generali per la scelta e il controllo dei parametri microclimatici in ambienti interni" (2001).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI TS 13100-1 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale" (2008).
- ENTE NAZIONALE DI UNIFICAZIONE, Norma UNI TS 13100-2 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria" (2008).
- HUBER A., *Il museo italiano. La trasformazione di spazi storici in spazi espositivi. Attualità dell'esperienza museografica degli anni '50*, Lybra Immagine, Milano (1997).
- INTERNATIONAL CENTRE FOR THE STUDY OF PRESERVATION AND RESTORATION OF CULTURAL PROPERTY, *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Roma (2004).
- LUCCHI E., *Tutela e valorizzazione. Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, (2009).
- LUCCHI E., (2009), *Diagnosi energetica e ambientale del patrimonio culturale del XX secolo*, in Canziani Andrea (a cura di), *Conservazione programmata per il patrimonio architettonico del XX secolo*, Electa Editore, Milano, pp. 228-241.
- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, Decreto Ministeriale n. 238 del 10 maggio 2001 "Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" (2001).
- MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI, Legge n. 41 del 22 Gennaio 2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio" (2004).
- PIVA A., *Il museo: la coscienza lucida dell'ambiguità*, Edizioni Lybra Immagine, Milano (2005).
- RANELLUCCI S., *Allestimento museale in edifici monumentali*, Edizioni Kappa, Roma (2005).
- TARDITO R., *Brera. Storia della Pinacoteca e delle sue collezioni*, Editoriale Cantini, Milano (1986).
- THUMANN A., YOUNGER W. J., *Handbook of Energy Audits*, Fairmont Press, New York (2003).

A sound indoor climate for a museum in a monumental building

Marco Martens*, Henk Schellen**

*PhD student, Eindhoven University of Technology, m.h.j.martens@bwk.tue.nl

**PhD, associate professor, Eindhoven University of Technology, h.l.schellen@tue.nl

Abstract

Museums are often housed in monumental buildings. Apart from some originally built museums, most of these buildings were not built for this purpose. For the preservation of the artifacts in a museum the indoor climate is often restricted to a very narrow interval for temperature, but most of all for relative humidity. This restricted indoor climate originally dates from the 1970's. Unfortunately, restricted museum climates do not fit well into old buildings. The indoor surface conditions near cold walls under winter conditions lead to mould growth and other deterioration of the wall surfaces. Moreover, the museum conditions of artifacts near cold walls are not in line with museum recommendations.

To show the building physical effects of a restricted indoor museum climate on old buildings, case studies were carried out in selected Dutch museums. The buildings and their HVAC systems were analyzed in a methodical way. For at least a year, temperature and relative humidity measurements were recorded in different rooms and at different external wall surfaces of the museums. Additionally, outdoor climate, CO₂, ventilation and infiltration measurements were performed when needed.

The results of this measurement campaign reveal that there were a large number of indoor climate conditions that did not satisfy the originally formulated restricted climate. There was a large contrast between the target indoor museum climate and the measured resultant indoor climate in rooms and near external walls.

The target indoor climate in museums which are housed in monumental buildings should be reconsidered. A multidisciplinary network of people involved with indoor climate in museums (conservators, museum-, monumental building- and HVAC consultants and building physicists) has been set up to formulate new guidelines for the indoor climate in Dutch museums. The current ASHRAE guidelines are introduced as an assessment tool for measured climates.

Introduction

In 2005 the State Inspectorate for Cultural Heritage asked themselves questions about the quality of the indoor climate in Dutch State museums. Furthermore they were interested in the indoor climate in respect to the original demands on it. The

Eindhoven University of Technology (TU/e) started a measurement campaign on the indoor climate in three state museums. The results of these case studies were eye 2 openers. Where a great deal of effort was put into creating an indoor climate with very narrow restrictions on the indoor temperature and relative humidity, a number of results were very disappointing. The study concluded that it may not be possible to combine very strict indoor climate conditions with old monumental buildings, without improving the thermal quality of the external envelopes.

After the study, it was decided that the recommendations for the indoor climate in Dutch museums and especially state museums should be reconsidered. A museum indoor climate network was formed, a PhD study was started at the TU/e and recommendations were reformulated.

This paper starts with the measurement and classification method. Then the development of guidelines is discussed. After that the ASHRAE guidelines are used as assessment criteria. Some results of case studies are given. Finally some conclusions are drawn.

Measurement And Classification

For the PhD study 21 museums were chosen based on their difference in building construction and climate system. In figure 1 a schematic overview is displayed. The buildings are divided using the complexity of the construction: the number of materials and the method of construction.

For the climate system the type of ventilation (natural, mechanical), thermal potential (heating, cooling), hygical potential (humidifying, dehumidifying), the medium type (water, air, electricity) and the control (thermostatic, hygrostatic, both, computer controlled) are also translated into a complexity. In all museums the same approach is used, including permanent measurements on T and RH with an interval of 10 minutes over a period of at least 1 year.

Development of guidelines

Until now Dutch museums used guidelines from the Netherlands Institute for Cultural Heritage (ICN). These guidelines with recommended values for air temperature and relative humidity were based on the maximum security and lowest

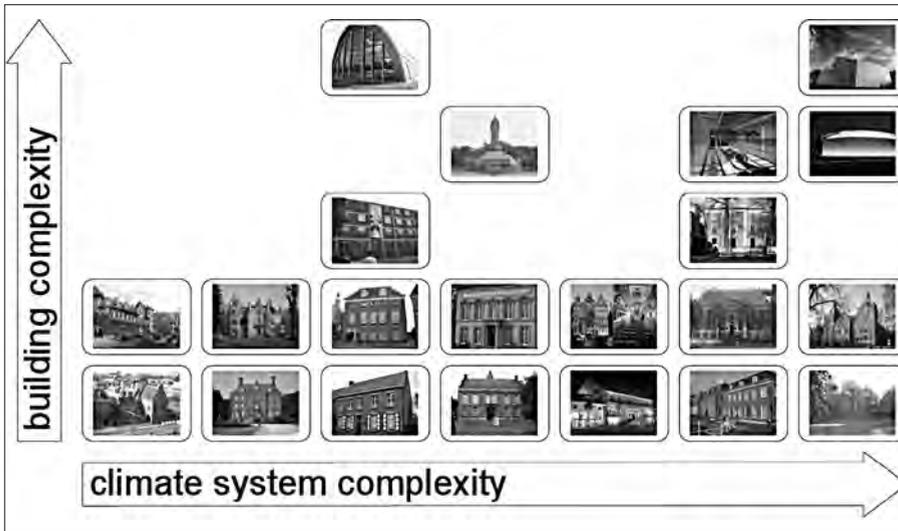


Fig. 1 - 21 museums in The Netherlands chosen on their complexity in building construction and climate system

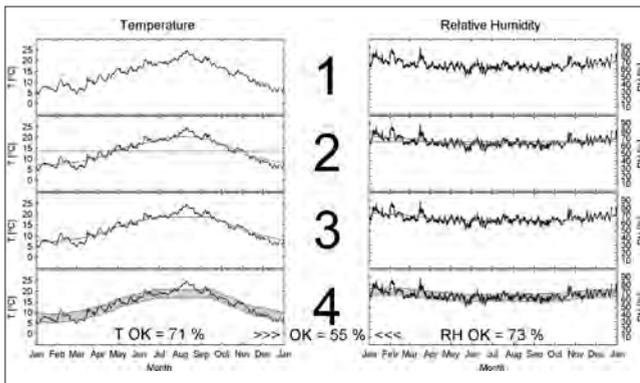


Fig. 2 - Measured temperature and humidity compared to ASHRAE class A with a seasonal shift in both temperature and humidity

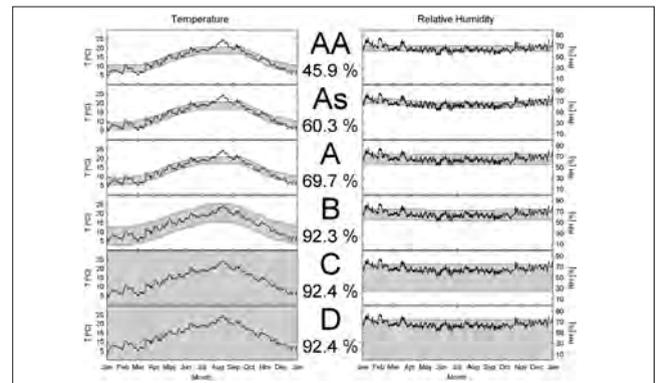


Fig. 3 - Comparison of one year of data to ASHRAE climate classes AA to D. The middle percentages correspond to the amount of time the class is met

risks for humidity sensitive valuable materials. Museums used these values even for rooms where those materials were not exposed.

Most of these guidelines are derived from 'The Museum Environment' from (Thomson 1978) dating back to 1978. In this edition 55%RH is mentioned as a recommended, safe mean value for mixed collections, with acceptable deviations from plus or minus 5%RH. Thomson himself indicated that these deviation values were not based on pure research, but that they were values which were feasible for the HVAC systems from that time.

The mean recommended 55%RH value was based on the yearly mean expected indoor RH value in buildings in Northern Europe: the experience that fluctuations around 55%RH might be largest, without causing damage.

New recommendations for the indoor museum climate go back to the relation between T and RH and possible damage to objects of value. In these considerations, not only the value and sensitivity of objects is important, but also the possible damage to buildings and their exterior envelope. Based on these considerations the optimal determined indoor climate does not always have to be the most stringent.

Regarding the formulation of the new guidelines the following four principles were determined to be the most important:

1. Determination of value of collection and building

Possible measures to reduce climate risks for collections have to be weighed against the changed values for building and collection. The introduction of an HVAC installation or the use of

display cases e.g. may change the historical value of a room.

2. Indoor climate and possibilities of the building

As can be seen from the case studies, there is a limit to the possibilities old and monumental buildings can tolerate regarding allowable RH values. To maintain stringent RH values in these buildings, very drastic building physical measures like inside insulation and air tightness have to be taken.

3. Risks to collection

For each part of the exposed collection, the risks for degradation linked with 4 several climate classes [3] have to be determined. Three degradation mechanisms should be considered: chemical, physical and biological degradation.

4. Indoor climate control

An analysis of the most efficient measures to maintain a certain recommended climate around objects of value should be carried out. Models like HAMBASE [5] may be helpful.

Ashrae museum climate assessment

ASHRAE [3] provides a few clearly distinguishable climates when looking into the risks and benefits for mixed collections. These guidelines can also be used the other way around: for the assessment of measured climate classes.

From indoor climate measurements the yearly average temperature and relative humidity are determined. These averages are used as the '(historic) annual average'. Also the seasonal running average is determined for both temperature and relative humidity. According to ASHRAE the temperature set point

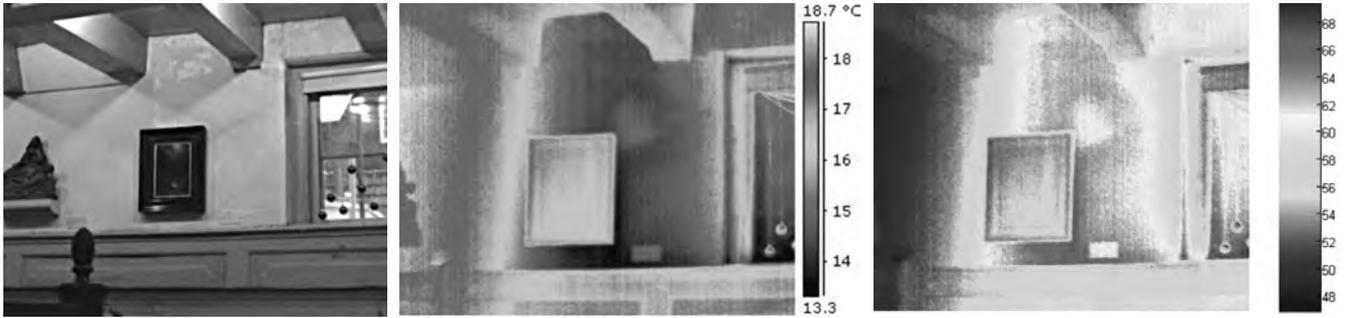


Fig. 4 - Left: painting hanging at an exterior wall. Middle: infrared thermal image. Right: relative humidity near the painting

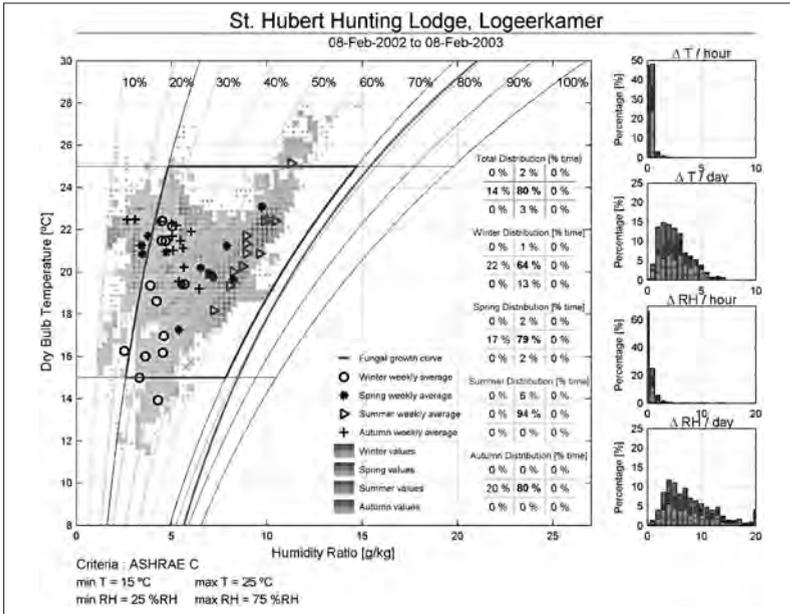


Fig. 5 - Climate Evaluation Chart of indoor conditions in the living room

should be in between 15 and 25°C for comfort reasons. For collection purposes, however, the temperature is allowed to be lower than 15°C. The choice is therefore not to include these temperature restrictions.

Each climate class is now considered separately. The seasonal drift is compared to the allowed drift and changed accordingly. The value for the allowed short fluctuations is used to shift the running average up and down; this determines the actual bandwidth.

Class C and D state an absolute minimum and maximum for the relative humidity of 25% and 75% (D only the maximum). These restrictions are not specified in classes AA, A and B. If one starts at an annual (historic) value of around 50% these values are not reached, but when the yearly average value differs from 50% this might be the case. The suggestion is to check whether the maximum allowed RH exceeds 75%. If so, the maximum is limited to this value and the minimum is changed simultaneously in order not to affect the bandwidth between minimum and maximum. The same goes for the minimum allowed RH.

Figure 2 gives an example of comparing a data set to ASHRAE climate class A with an allowed seasonal change in RH. The top graphs (1) show temperature and humidity over time. Graphs (2) show the calculated yearly average and the seasonal running average. Graphs (3) display the limited running average: the seasonal temperature increase is limited to 5K in July, August and September, according to ASHRAE class A. The bottom graph (4) shows the minimum and maximum

curves. Also these are limited: the January and February upper limit is fixed at 75% while the minimum value is lowered to 65% (equal to the limit of 75% minus twice the short fluctuation). The graph also displays the percentage each parameter is within the limits (the grey zone). In the middle the percentage that both parameters are OK simultaneously is displayed: 55% in this particular case.

This method of comparison is carried out for each class in the ASHRAE table. Although the average T and RH are the same for all climate classes, the differences in allowed seasonal change and bandwidth make sure that for each climate class a different result is obtained. An example of a comparison is shown in figure 3. In grey the original data is displayed. The black lines are the minimum and maximum values allowed for each climate class. In the middle for each climate class a percentage is given. This is the amount of time each class is met.

This way the indoor climate in different rooms or positions in a museum is classified. According to the collection risks and needs one can decide which are the best positions in a particular museum for typical collection parts.

Other results from some case studies

In the results of many case studies a common problem was that the assumed indoor climate for the preservation of the objects was in conflict with the preservation of the external façade. Given below are a number of examples.

MUSEUM OUR LORD IN THE ATTIC AMSTERDAM

Museum Our Lord in the Attic in Amsterdam is a 17th century building. The museum houses a number of original 17th century authentic rooms and a church shelter. The Eindhoven University of Technology (TUE), together with the Netherlands Institute for Cultural Heritage (ICN) and The Getty Conservation Institute (GCI) have made an extensive analysis of the indoor climate in [1]. For the conservation of the objects the indoor humidity climate is controlled to about 60%RH by local humidifiers and dehumidifiers, which are used throughout the building. The combination of this rather high relative humidity in combination with low winter surface temperatures of the glazing most often has lead to condensation. The results of these frequent condensation events are visible at the rotten wooden frames of the glazing. Moreover some of the wooden beams in the building were rotten at the end of the beams where these are supported by the wall. A number of these beams already has been repaired with epoxy.

At the surfaces of the external walls valuable paintings are hanging. During wintertime these surfaces are cold and the relative humidity near these surfaces may be high. In figure 4 one of these paintings can be seen. The middle picture shows an infrared thermal image. What can be seen from this picture is that it is hanging at a wall that is an internal wall on the left hand side and an external wall at the location the painting is oriented. The painting is warmed up by the air, and a large temperature gradient can be detected from painting to wall. The right picture is a visualization of the relative humidity, a so called hygrogram. The picture was constructed from the thermal image, in connection with the specific humidity from other measurements. The technique was introduced by Schellen [7].

In the future the specific humidity in the museum will be lowered in combination with a lower air temperature during wintertime.

HUNTING LODGE ST. HUBERT

Hunting Lodge St. Hubert was designed by the famous Dutch architect Berlage and was built in the period from 1916 to 1922. The building and its collection are a so-called Gesamtkunstwerk. The building is one of the most valuable monuments, with a very priceless interior too. Because of this rich interior one was concerned about the indoor climate for preservation. Therefore the indoor climate was monitored over the period of a year. For one of the rooms, the results of measurements taken over the one-year period are displayed in a Climate Evaluation Chart proposed by Martens [8] (see Figure 5). From the graph it can be concluded that during the heating season relative humidities

below 20 to 30%RH were recorded. These are dangerously low values for the preservation of the wooden interior parts, like furniture. Because of the unique character of the interior, visible solutions to improve the indoor climate, such as show cases, humidifiers or HVAC systems, were not usable as alternatives. It was decided to do a test by conservation heating. The results of these tests were encouraging [6].

Conclusion

A sound indoor climate for a museum in an old monumental building is a climate that has the lowest risks for the objects of value and the building itself. It is quite risky to recommend one single very stringent value for an entire building. Moreover, the energy costs for such recommendations may be unacceptably high. It may be wiser to turn to a large number of alternatives available to preserve objects of value or vulnerable objects e.g. the introduction of a locale climate.

Acknowledgements

The authors would like to thank Bart Ankersmit and the other members of the museum indoor climate network for their close cooperation.

References

1. MAEKAWA S., ANKERSMIT B., NEUHAUS E., SCHELLEN H., BELTRAN V., BOERSMA F., *Investigation into impacts of large number of visitors on the collection environment at Our Lord in the Attic*, Museum Micro Climate Conference, Copenhagen, November 2007, pp. 99-105
2. RUISINGER U., *Hygrothermal analysis of external walls of the Rijksmuseum Amsterdam*, Dresden University of Technology, Faculty of Architecture, Institute for Building Climatology 2004.
3. ASHRAE *Museums, Libraries and archives*, in *2007 ASHRAE Handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications*, 51 edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2007, Capitolo 21, pp. 21.1-21.23
4. THOMSON G., *The Museum Environment*, 1st edition, Butterworths, London 1978, p. 114.
5. DE WIT M.H., *HAMBase, Heat, Air and Moisture Model for Building and Systems Evaluation*, Technische Universiteit Eindhoven, Unit BPS 2006.
6. NEUHAUS E., SCHELLEN H.L., *Conservation Heating for a Museum Environment in a Monumental Building*, *Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X*, 2-7 dicembre 2007, Clearwater Beach, Florida
7. SCHELLEN H.L., *Heating Monumental Churches, Indoor Climate and Preservation of Cultural Heritage*, tesi di dottorato, Eindhoven University of Technology 2002.
8. MARTENS M.H.J., SCHIJNDEL A.W.M. VAN, SCHELLEN H.L., *Evaluation of indoor climates using the 'Climate Evaluation Chart'*, AIVC Conference, Lyon 2007.

Un sano clima interno per un museo in un edificio monumentale

Abstract

I musei sono spesso ospitati in edifici monumentali. Salvo alcuni, costruiti originariamente come musei, la maggior parte di questi edifici non furono edificati a questo scopo. Per la conservazione dei manufatti, il clima interno in un museo è spesso confinato entro uno stretto intervallo di temperature, ma soprattutto di umidità relativa. Questo confinamento del clima interno risale agli anni Settanta. Purtroppo, i climi museali confinati mal si adattano agli edifici storici. Le condizioni delle superfici interne vicino a pareti fredde in situazioni invernali favoriscono la crescita di muffe e altri degradi delle superfici delle pareti. Inoltre le condizioni museali dei manufatti prossimi alle pareti fredde non sono in linea con le raccomandazioni per i musei.

Per mostrare gli effetti fisici di un clima interno confinato sugli edifici storici, sono stati affrontati casi di studio relativi ad una selezione di musei olandesi. Gli edifici ed i loro impianti di condizionamento sono stati analizzati metodicamente. Per almeno un anno, sono state registrate misure di temperatura e umidità relativa in diverse stanze e su diverse superfici delle pareti perimetrali dei musei. Inoltre, quando necessario, sono state effettuate misure del clima esterno, dell'anidride carbonica, della ventilazione e delle infiltrazioni.

I risultati di questa campagna di misurazione hanno rivelato come ci fosse un gran numero di condizioni di clima interno che non soddisfaceva il confinamento del clima inizialmente definito. È risultato un netto contrasto tra il clima interno di riferimento del museo e l'effettivo clima interno nelle stanze e in prossimità delle pareti perimetrali.

L'obiettivo per il clima interno di musei ospitati in edifici monumentali dovrebbe essere rivisto. È stata costituita una rete multidisciplinare di persone che hanno a che fare con il clima interno dei musei (conservatori, consulenti di musei, edifici monumentali e impianti di climatizzazione, fisici degli edifici) per formulare nuove linee guida per il clima interno negli edifici olandesi. Le attuali linee guida ASHRAE sono adottate come strumento di valutazione per i climi misurati.

Introduzione

Nel 2005 l'Ispettorato Statale per il Patrimonio Culturale si è posto il problema della qualità del clima interno nei Musei Statali Olandesi; era inoltre interessato al clima interno relativamente alle originali richieste su di esso. L'University of Technology di Eindhoven (TU/e) ha iniziato una campagna di misurazione sul clima interno in tre musei statali. I risultati di questi casi di studio sono stati illuminanti. Laddove era stato compiuto un notevole sforzo per creare un clima interno confinato con limiti molto stretti di temperatura e umidità relativa, un certo numero di risultati sono stati deludenti. Lo studio ha concluso che potrebbe essere impossibile associare condizioni climatiche interne severamente confinate a edifici storici e monumentali, senza migliorare la qualità termica degli involucri esterni.

In seguito allo studio è stato deciso che le raccomandazioni per il clima interno nei musei olandesi e specialmente nei

musei statali devono essere riviste. È stata costituita una rete per il clima interno dei musei, è stata intrapresa una ricerca di dottorato presso la TU/e e le raccomandazioni sono state riformulate.

Questo contributo inizia con il metodo di misurazione e classificazione. Poi viene discusso lo sviluppo delle linee guida. Successivamente le linee guida ASHRAE vengono utilizzate come strumento di valutazione. Vengono illustrati alcuni risultati dei casi di studio, infine vengono tratte alcune conclusioni.

Misurazione e classificazione

Per la ricerca di dottorato sono stati scelti 21 musei sulla base delle differenze dei sistemi costruttivi e di climatizzazione. Nella figura 1 è mostrata una panoramica schematica. Gli edifici sono divisi secondo il livello di complessità della costruzione: il numero di materiali e le tecniche costruttive.

La complessità del sistema di climatizzazione è data dai seguenti fattori: il tipo di ventilazione (naturale, meccanica), il potenziale termico (riscaldamento, raffreddamento), il potenziale igrico (umidificazione, deumidificazione), il tipo di mezzo (acqua, aria, elettricità) e il controllo (termostatico, igrostatico, entrambi, controllato dal computer). In tutti i musei viene utilizzato lo stesso approccio, che include la misurazione permanente della temperatura (T) e dell'umidità relativa (UR) ad intervalli di 10 minuti su un periodo di almeno un anno.

Sviluppo delle linee guida

Fino ad ora i musei olandesi hanno usato le linee guida dell'Istituto dei Paesi Bassi per il Patrimonio Culturale (ICN). Queste linee guida con valori raccomandati di temperatura dell'aria e umidità relativa erano basate sulla sicurezza massima e il più basso rischio per materiali di valore sensibili all'umidità. I musei hanno adottato questi valori anche per stanze in cui tali materiali non erano esposti.

La maggior parte di queste linee guida sono tratte da "The Museum Environment" di G. Thomson, risalente al 1978. In questa edizione il 55% di UR è citato come valore medio raccomandato, sicuro per le collezioni eterogenee, con deviazioni accettabili di $\pm 5\%$. Lo stesso Thomson indica che questi valori di deviazione non si basavano sulla pura ricerca, ma che erano ottenibili dagli impianti di condizionamento dell'epoca.

Il valore medio raccomandato di UR=55% era basato sul valore di UR interno medio annuale atteso negli edifici nell'Europa del nord: l'esperienza mostra che fluttuazioni attorno al 55% di UR potrebbero essere maggiori senza causare danno.

Nuove raccomandazioni per il clima interno tornano alla relazione tra T e UR e il possibile danno ad oggetti di valore. In queste considerazioni, non sono importanti solo il valore e la sensibilità degli oggetti, ma anche il possibile danno agli edifici e al loro involucro esterno. Basandosi su queste considerazioni il clima interno ottimale determinato non deve essere sempre il più restrittivo.

Per quanto riguarda la formulazione delle nuove linee guida, i seguenti quattro principi sono stati individuati come i più importanti:

1. Determinazione del valore della collezione e dell'edificio

Le possibili misure per ridurre i rischi climatici per le collezioni devono essere ponderate sul cambiamento di valore dell'edificio o della collezione. Ad esempio, l'introduzione di un impianto di condizionamento o l'uso di teche espositive potrebbe cambiare il valore storico di una stanza.

2. Clima interno e possibilità dell'edificio

Come si può vedere dai casi di studio, c'è un limite alla capacità di tollerare i valori di UR permessi da parte di edifici storici e monumentali. Per mantenere valori di UR restrittivi in questi edifici, devono essere adottate misure drastiche sulla fisica dell'edificio, come l'isolamento interno e la tenuta all'aria.

3. Rischi per la collezione

Per ogni parte della collezione esposta, devono essere determinati i rischi di degrado connessi a molte classi climatiche [3]. Devono essere considerati tre meccanismi di degrado: chimico, fisico e biologico.

4. Controllo del clima interno

Dovrebbe essere effettuata un'analisi delle misure più efficienti per mantenere un determinato clima raccomandato attorno agli oggetti di valore. Modelli come HAMBASE [5] possono essere d'aiuto.

Valutazione ASHRAE per il clima museale

L'ASHRAE [3] fornisce alcuni climi chiaramente distinguibili, esaminando i rischi e i benefici per le collezioni miste. Queste linee guida possono anche essere usate nel verso opposto, per la valutazione delle classi climatiche misurate.

Dalle misurazioni del clima interno, vengono determinate la temperatura e l'umidità relativa media annuale. Questi valori medi sono usati come "media annuale (storica)". Viene determinata anche la media mobile stagionale sia per la temperatura che per l'umidità relativa. Secondo l'ASHRAE il set-point per la temperatura dovrebbe essere tra i 15°C e i 25°C per questioni di comfort. Ai fini della collezione, tuttavia, è consentita una temperatura inferiore a 15°C. La scelta pertanto è di non includere queste restrizioni alla temperatura.

Ciascuna classe climatica è ora considerata separatamente. L'escursione stagionale è confrontata con l'escursione consentita e cambiata di conseguenza. Il valore delle fluttuazioni brevi permesse è usato per traslare la media mobile in alto o in basso; questo determina l'effettiva ampiezza dell'intervallo di valori.

Le classi C e D dichiarano un minimo e un massimo assoluti del 25% e del 75% per l'umidità relativa (la D solo il massimo). Queste restrizioni non sono specificate nelle classi AA, A e B. Se si inizia con un valore annuale storico di circa 50%, questi valori non vengono raggiunti, ma questo potrebbe accadere quando il valore medio annuale si discosta dal 50%. Il consiglio è di controllare se la massima UR consentita va oltre il 75%. Se così è, il massimo viene limitato a questo valore e il minimo viene cambiato simultaneamente. Lo stesso viene fatto per la minima UR consentita.

La figura 2 fornisce un esempio di confronto tra una serie di dati e la classe climatica A dell'ASHRAE con una variazione stagionale di UR consentita. Il grafico in alto (1) mostra la temperatura e l'umidità nel tempo. I grafici (2) mostrano la media annuale calcolata e la media mobile stagionale. I grafici (3) mostrano la media mobile limitata: la crescita stagionale della temperatura è limitata a 5K a luglio, agosto e settembre, in accordo con la classe ASHRAE A. Il grafico in basso (4) mostra le curve dei minimi e dei massimi. Anch'esse sono limitate: il limite superiore di gen-

naio e febbraio è fissato al 75% mentre il valore minimo è abbassato al 65% (uguale al limite del 75% meno il doppio della fluttuazione breve). Il grafico mostra anche in che percentuale ogni parametro rientra nei limiti (l'area in grigio). Al centro è mostrata la percentuale in cui entrambi i parametri sono simultaneamente OK: nel caso specifico al 55%.

Questo metodo di confronto è effettuato per ogni classe nella tabella ASHRAE. Nonostante la T e UR media siano le stesse per tutte le classi climatiche, le differenze nella variazione stagionale consentita e nel range di valori assicurano che per ogni classe climatica si ottenga un diverso risultato. Un esempio di confronto è mostrato in figura 3. In grigio sono evidenziati i dati originali. Le linee nere rappresentano i valori minimi e massimi consentiti per ciascuna classe climatica. Al centro viene fornita una percentuale per ogni classe climatica che rappresenta il quantitativo di tempo durante il quale ciascuna classe viene soddisfatta.

In questo modo viene classificato il clima interno in diverse stanze o posizioni in un museo. In base ai rischi e ai bisogni delle collezioni si può decidere quali sono le migliori posizioni in un particolare museo per parti tipiche della collezione.

Altri risultati da alcuni casi di studio

Un problema comune ai risultati di molti casi di studio era che il clima interno adottato per la conservazione degli oggetti era in conflitto con la conservazione della facciata esterna. Si danno di seguito alcuni esempi.

MUSEO "OUR LORD IN THE ATTIC", AMSTERDAM

Il museo "Our Lord in the Attic" di Amsterdam è un edificio del XVII secolo. Il museo ospita un certo numero di stanze autentiche del XVII secolo ed una chiesa. TU/e, assieme all'ICN e al Getty Conservation Institute (GCI) hanno condotto un'estesa analisi del clima interno [1]. Per la conservazione degli oggetti l'umidità del clima interno è controllata a circa il 60% di UR, attraverso umidificatori e deumidificatori localizzati, che sono usati in tutto l'edificio. La combinazione di questa umidità relativa piuttosto alta e delle basse temperature superficiali invernali dei serramenti porta molto spesso alla formazione di condensa. L'effetto di questi frequenti fenomeni di condensa è visibile sui telai lignei marci dei serramenti. Inoltre le teste di alcune travi lignee erano marce in corrispondenza della muratura. Un certo numero di queste travi è stato già riparato con resine epossidiche.

Sulla superficie delle pareti perimetrali sono appesi dipinti di valore. In inverno queste superfici sono fredde e l'umidità relativa vicino ad esse può essere elevata. In figura 4 si vede uno di questi dipinti. L'immagine centrale mostra una termografia da cui si può vedere come la parete confina con un altro ambiente interno sul lato sinistro e sia invece un parete perimetrale nel punto in cui è appeso il dipinto. Questo è riscaldato dall'aria e si può individuare un rilevante gradiente di temperatura dal dipinto alla parete. La figura sulla destra è una visualizzazione dell'umidità relativa, un cosiddetto igrogramma. L'immagine è stata ricavata dalla termografia, associata all'umidità specifica da altre misure. La tecnica è stata introdotta da Schellen [7].

In futuro l'umidità specifica nel museo verrà abbassata, con una temperatura dell'aria inferiore durante l'inverno.

CASINO DI CACCIA ST HUBERTUS

Il Casino di Caccia St. Hubertus fu progettato dal famoso architetto olandese Berlage e fu costruito nel periodo dal 1916 al

1922. L'edificio e la sua collezione sono una cosiddetta Gesamtkunstwerk. L'edificio è uno dei monumenti di maggior valore, con interni inestimabili. A causa di questi ricchi interni ci si è preoccupati del clima interno per la conservazione. Questo è stato pertanto monitorato sull'arco di un anno e i risultati delle misure effettuate in una delle stanze sono mostrati in un Grafico di Valutazione del Clima proposto da Martens [8] (vedi figura 5). Dal grafico si può osservare che durante il periodo di riscaldamento si sono rilevate umidità relative inferiori al 20-30%. Questi valori sono pericolosamente bassi per la conservazione delle parti lignee degli interni, come i mobili. Considerato il carattere di unicità degli interni, soluzioni visibili per migliorare il clima interno, come teche espositive, umidificatori o impianti di condizionamento, non potevano essere alternative utilizzabili. È stato deciso di fare un test mediante un sistema di riscaldamento a fini conservativi. I risultati di questi test sono stati incoraggianti [6].

Conclusioni

Un sano clima interno per un museo in un edificio storico monumentale è un clima che presenta i rischi minori per gli oggetti di valore e per l'edificio stesso. È abbastanza rischioso raccomandare un singolo valore molto restrittivo per un intero edificio. Inoltre, i costi energetici per raccomandazioni di questo genere potrebbero essere intollerabilmente alti. Potrebbe essere più saggio rivolgersi a un vasto numero di alternative disponibili per conservare oggetti di valore o vulnerabili, ad esempio introducendo un clima locale.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Bart Ankersmit e gli altri membri della rete per il clima interno dei musei per la loro assidua collaborazione.

Riferimenti

1. MAEKAWA S., ANKERSMIT B., NEUHAUS E., SCHELLEN H., BELTRAN V., BOERSMA F., *Investigation into impacts of large number of visitors on the collection environment at Our Lord in the Attic*, Museum Micro Climate Conference, Copenhagen, November 2007, pp. 99-105
2. RUISINGER U., *Hygrothermal analysis of external walls of the Rijksmuseum Amsterdam*, Dresden University of Technology, Faculty of Architecture, Institute for Building Climatology 2004.
3. ASHRAE Museums, Libraries and archives, in *2007 ASHRAE Handbook: Heating, ventilating, and air-conditioning applications*, SI edition, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. 2007, Capitolo 21, pp. 21.1-21.23
4. THOMSON G., *The Museum Environment*, 1st edition, Butterworths, London 1978, p. 114.
5. DE WIT M.H., *HAMBase, Heat, Air and Moisture Model for Building and Systems Evaluation*, Technische Universiteit Eindhoven, Unit BPS 2006.
6. NEUHAUS E., SCHELLEN H.L., *Conservation Heating for a Museum Environment in a Monumental Building*, *Proceedings of the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X*, 2-7 dicembre 2007, Clearwater Beach, Florida
7. SCHELLEN H.L., *Heating Monumental Churches, Indoor Climate and Preservation of Cultural Heritage*, tesi di dottorato, Eindhoven University of Technology 2002.
8. MARTENS M.H.J., SCHIJNDEL A.W.M. VAN, SCHELLEN H.L., *Evaluation of indoor climates using the 'Climate Evaluation Chart'*, AIVC Conference, Lyon 2007.

COLOUR PLATES
TAVOLE A COLORI



Fig. 3 - Galleria d'Arte Moderna, Room V (2010). Photographic and thermographic survey



Fig. 4 - Galleria d'Arte Moderna, Room V (2006). Andrea Appiani, *Ritratto di Madame Pétiet con i figli* (Portrait of Madame Pétiet with her sons) 1800. Oil on canvas



Fig. 5 - Detail of the detachments on the painting by Andrea Appiani. The painting was restored in the past probably with a transfer of the painted layer. The damage is now extended to the whole surface, included the paint reintegrations

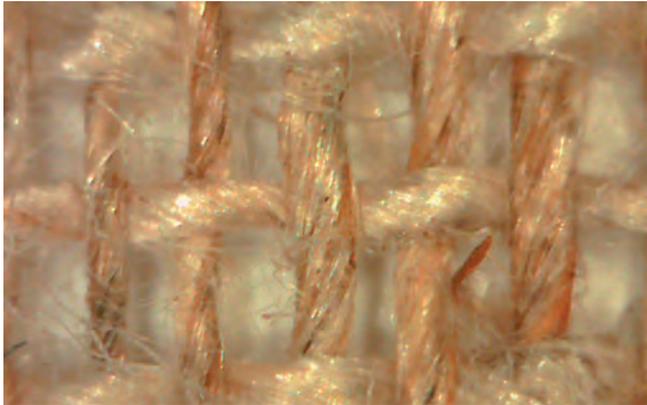


Fig. 16 - Sample of linen canvas

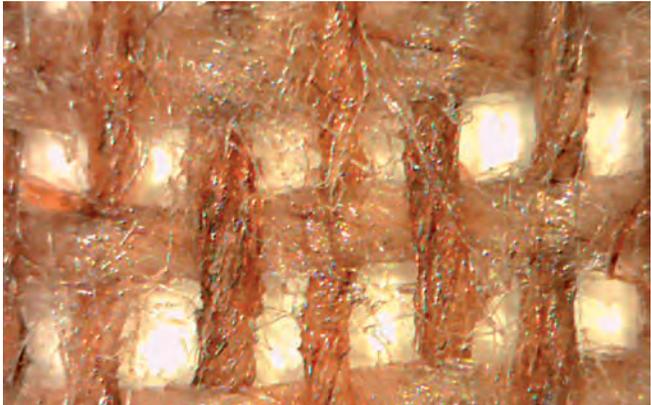


Fig. 17 - Sample of linen canvas soaked with BEVA 371



Fig. 18 - Sample of linen canvas soaked with glue-paste

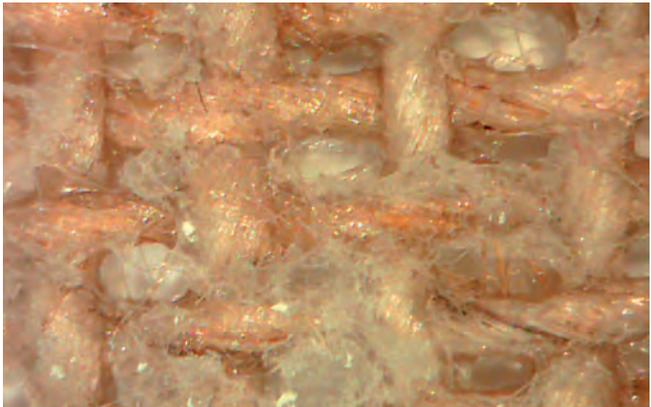


Fig. 19 - Sample of linen canvas soaked with PLEXTOL thickened with hydroxypropyl cellulose

Fig. 20 – Galleria d'Arte Moderna, room XII. Francesco Hayez, *Ritratto delle contessa Antonietta Negroni Prati Morosini*, (Portrait of Cauntess Antonietta Negroni Prati Morosini), 1879. Oil on canvas. Stiff strain of the support of a lined painting

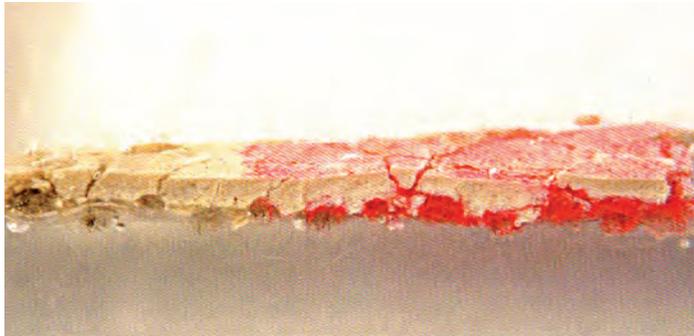


Fig. 15 – Stratigraphic section of a painted canvas showing how a pigmented adhesive (PARALOID B72) has penetrated

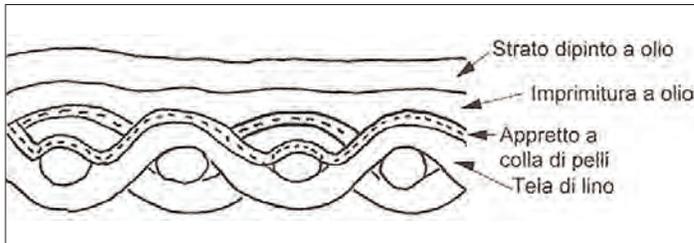


Fig. 14 - From Mecklenburg, p. 39

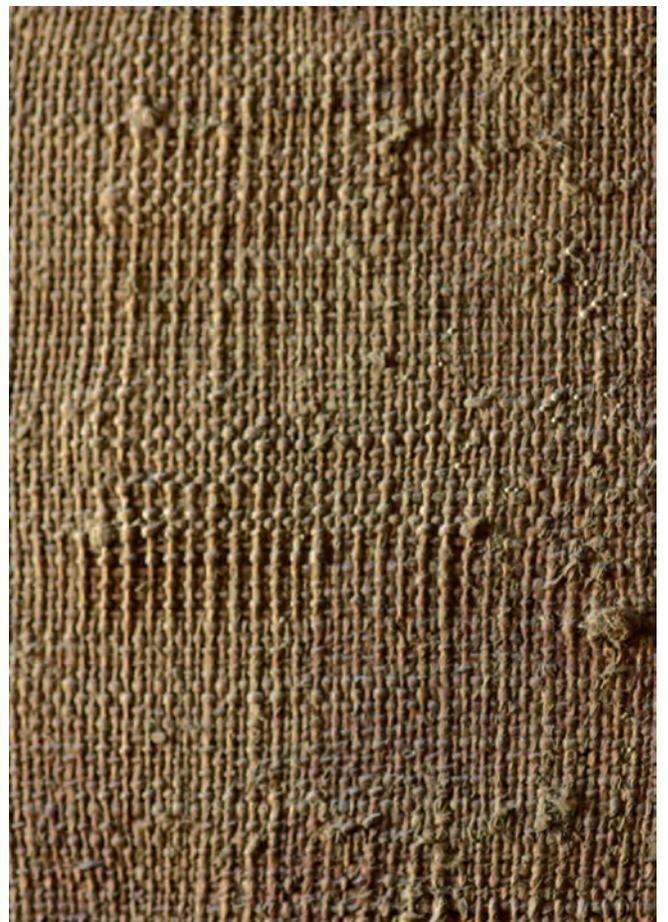
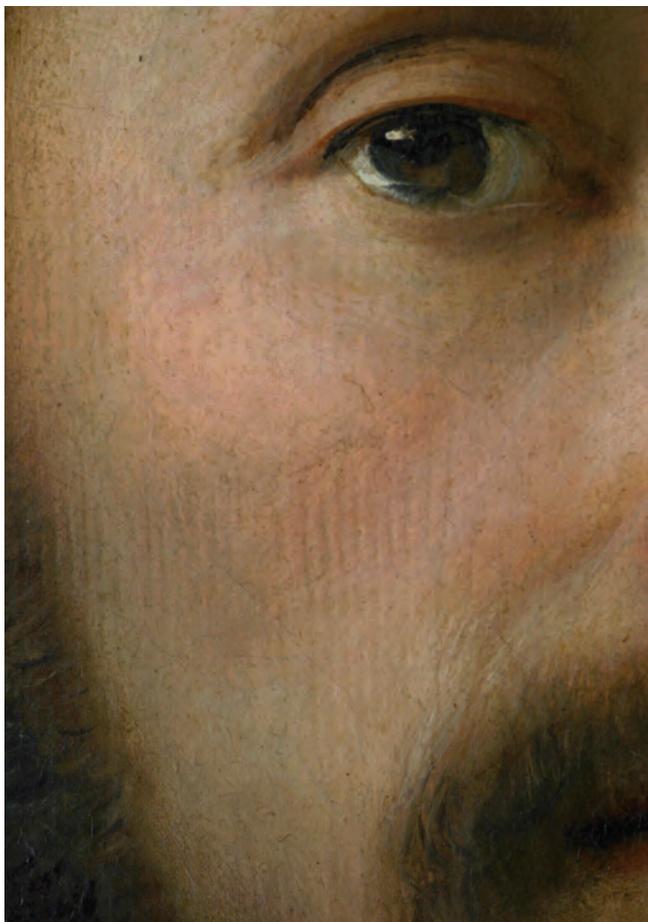


Fig. 21 - Giovanni Carnovali detto il Piccio. *Ritratto del sig. Filippo Guenzati* (Portrait of Sir Filippo Guenzati), 1841. The same detail seen on the front and on the back. The painting was not treated by lining. (from M. FRATELLI, *I materiali dell'opera e della conservazione. Osservazioni attorno ai dipinti del Piccio nelle collezioni della Galleria d'Arte Moderna di Milano*, pp. 245-257, in (a cura di) F. MAZZOTTA, *Piccio l'ultimo romantico*, Cinisello Balsamo, Silvana Editoriale, 2007)

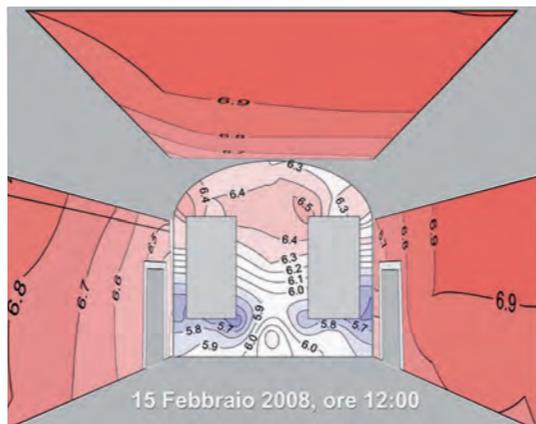


Fig. 4 - Perspective view of the thermal map on the Apollo Room in winter. At the early morning the coldest part is generally located under the window sills. Water infiltration from window sills makes even more evident the localization of the coldest parts. During the day instead the environment becomes warmer



Fig. 5 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in spring. During the day solar radiation heats the windows sills and left jambs. Solar radiation absorbed by jambs and glasses heats external wall and the upper part of the vault too

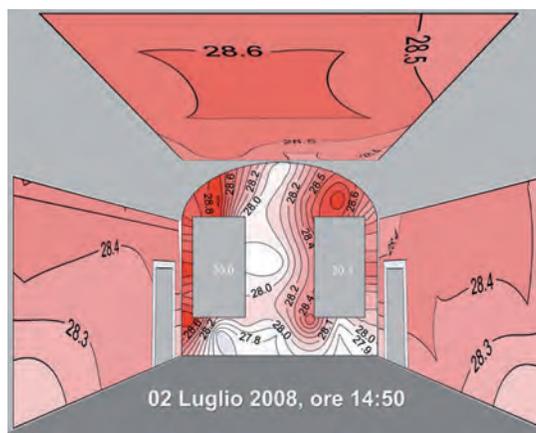


Fig. 6 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in summer. In the morning the part under window sills it's much colder, while from midday window jambs, glasses and the part above the windows show an higher warming that partially involves the ceiling

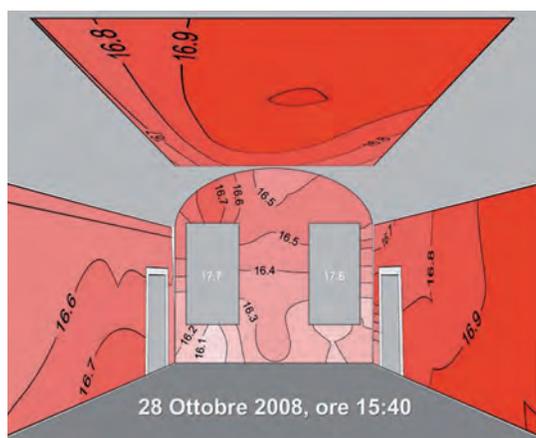
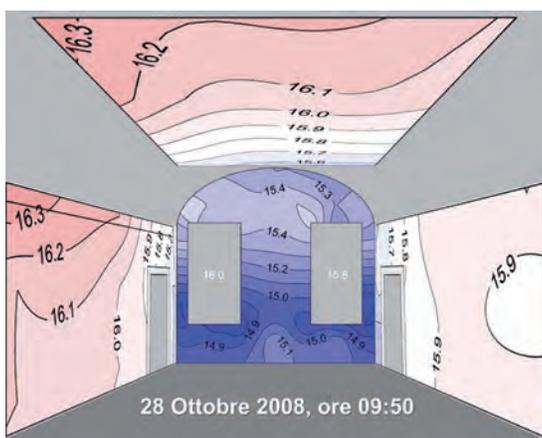


Fig. 7 - Perspective view of thermal map on the Apollo Room in autumn. Even in this season appears the same daily cycle as described in Fig. 6, although with different intensity



Fig. 1 - Central part of the barrel vault close to the outer wall. Arrows indicate zones with heavier damage where the painting is almost completely vanished. This picture was taken before restoration

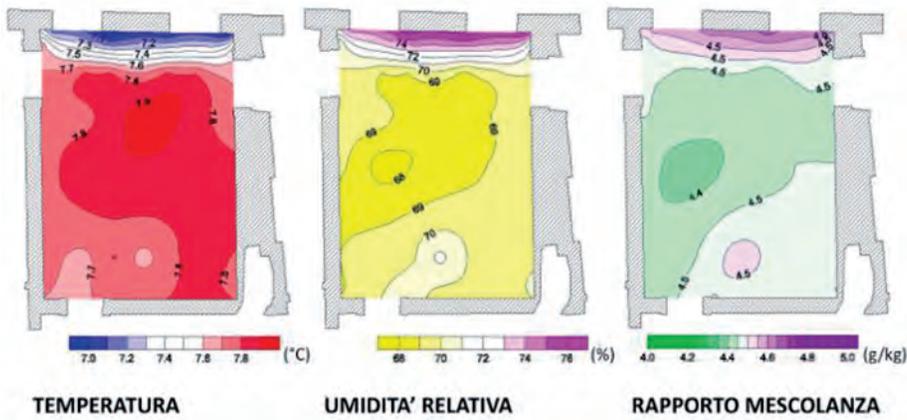


Fig. 2 - Temperature, Relative Humidity and Mixing Ratio maps. Measures were performed on an horizontal section, 1.5 m off the ground, (February 14, 2008 at 10.30 a.m.). The Mixing Ratio Maximum close to the wall faced the canal (top of the picture) shows evaporation in progress

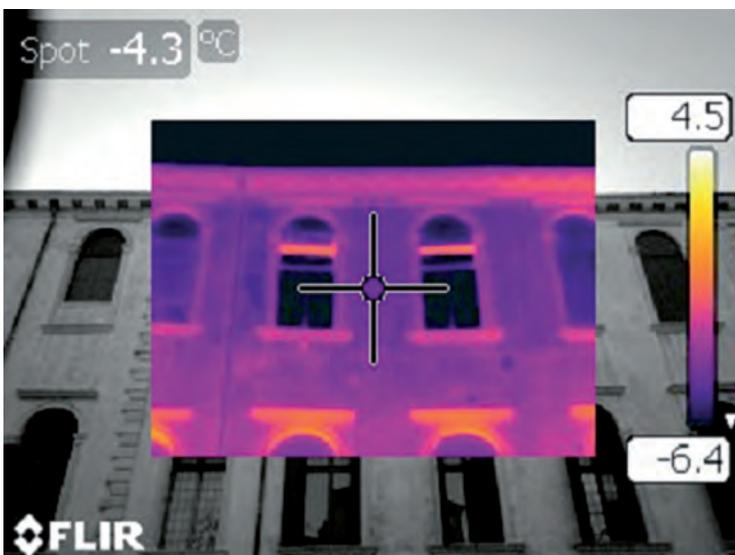


Fig. 3 - Thermal image of the outer wall of Palazzo Grimani performed on visible and infrared spectrum in December 18 2009 at 17.00. External plaster temperature in the point focused by target is -4.3°C

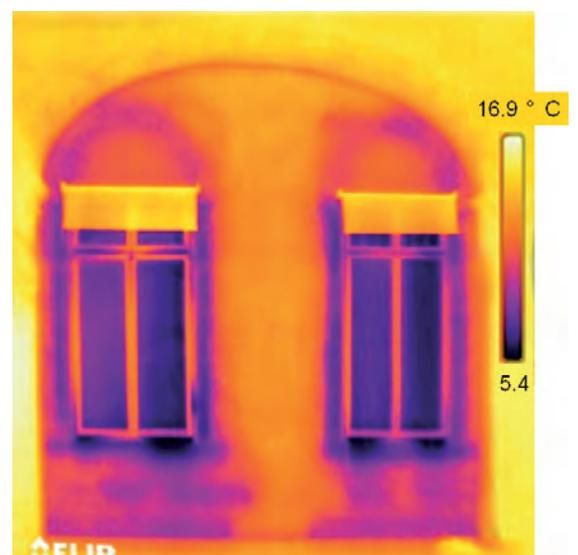


Fig. 8 - Thermographic image (IR thermographic camera) of the external wall of the Apollo Room taken indoors, December 18 2009 at 15.00



Fig. 2 - Room 7. The Room of Paintings and minor arts from 13th to the 15th century (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.3 - Room 7. The "Madonna and Child" by Giovanni di Ser Giovanni (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.4 - Room 8. The "Nativity" by Larciani (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.5 - Room 10. The Room of silver works (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.6 - Room 15. The Arturo Checchi collection (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)

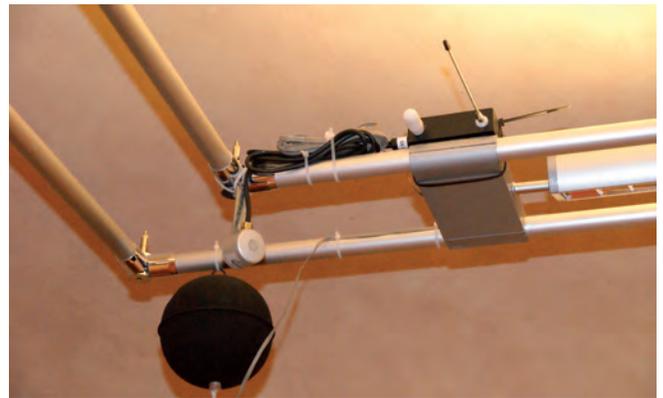


Fig. 7 - Room 15. The black globe thermometer location



Fig.8 - The First Room of Vestments. The sensors were positioned on the showcases (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig.9 - Room 7. The sensor that was hung on the wooden beam (courtesy of Opificio delle Pietre Dure of Firenze)



Fig. 1 - The air handling unit is placed on the roof

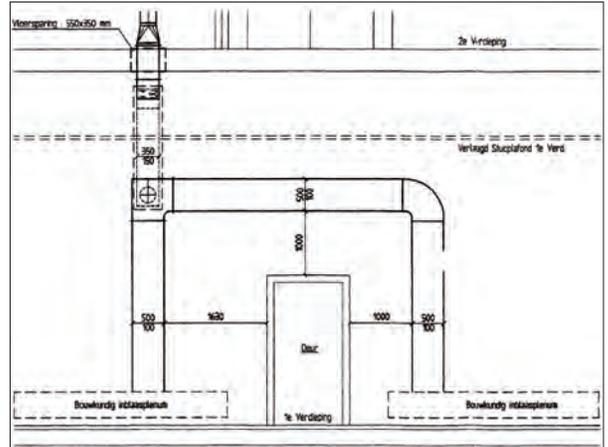


Fig. 3 - The supply air ducts in the galleries are connected to a wall inlet

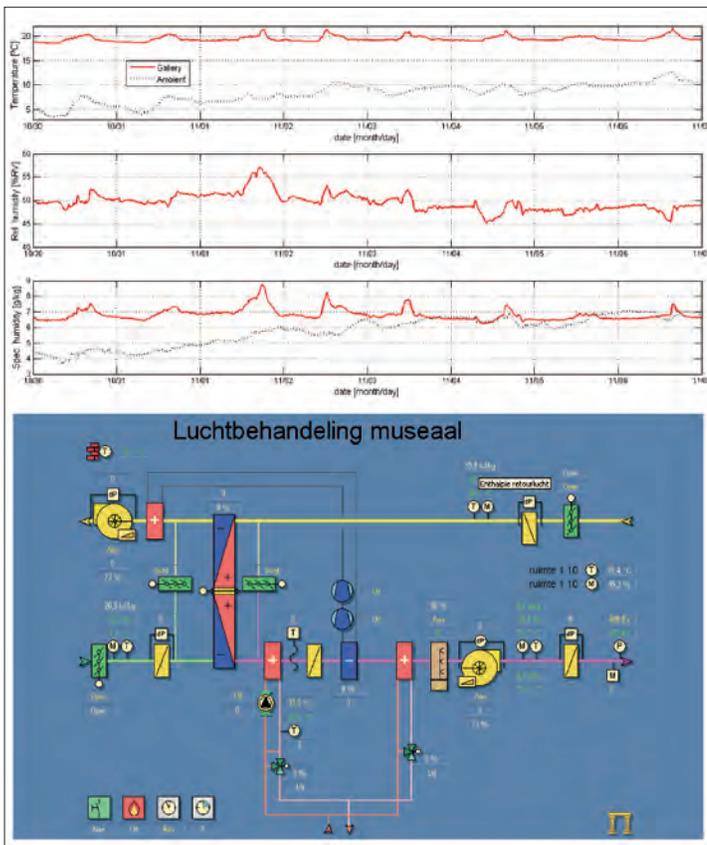


Fig. 2 - Screenshot from the BMS. A schematic representation of the main components and control of the AHU is shown

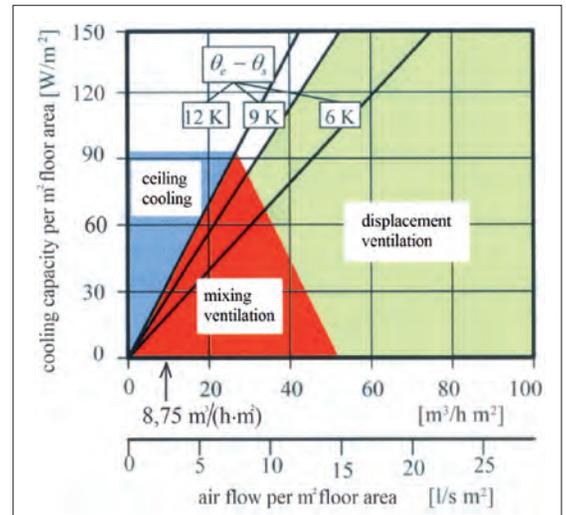


Fig. 5 - Cooling load as a function of air flow

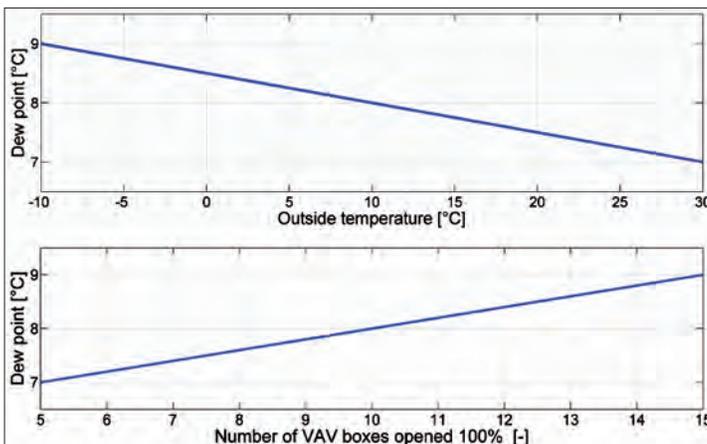


Fig. 6 - Test set up for measuring temperature and Rh stratification at room level

Fig. 4 - The specific humidity of the supply air is determined by these graphs

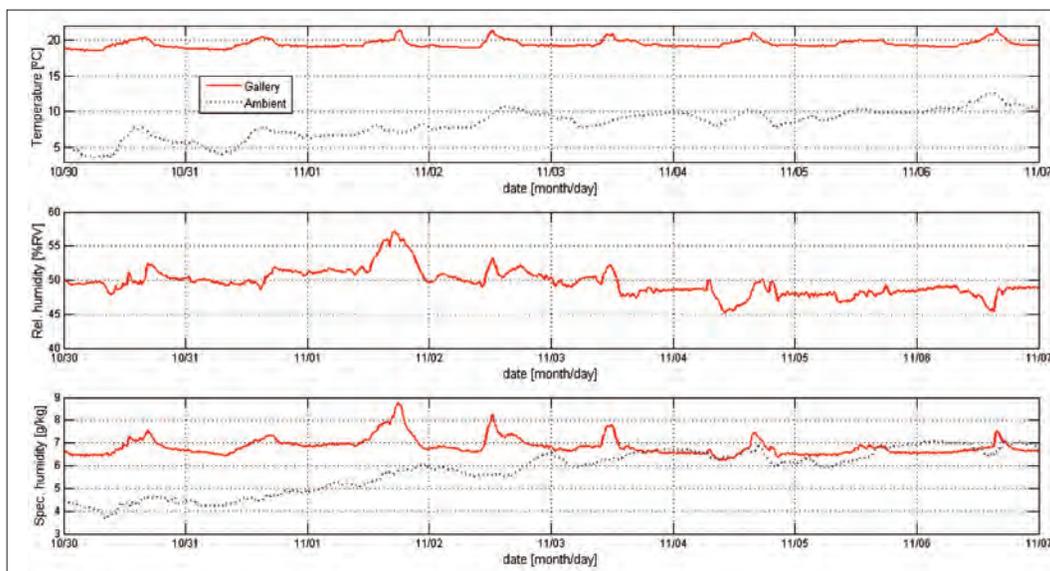


Fig. 7 - Measured air conditions in a representative gallery from October 30th to November 7th 2008

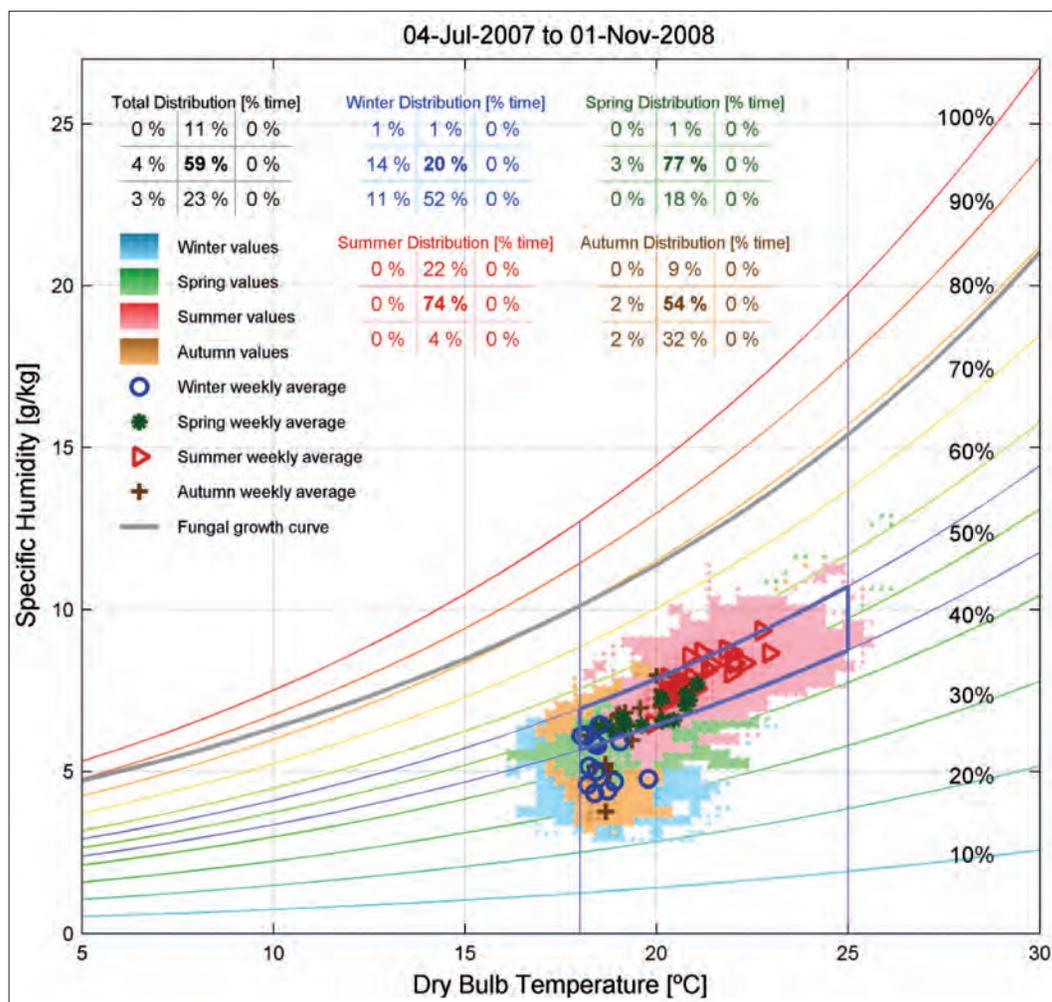


Fig. 8 - Measured air temperature and Rh in a representative gallery analyzed in the CEC



Fig. 10 - View into the "Chiesa San Colombano"



Fig. 13 - View to the "altar of Verdun"

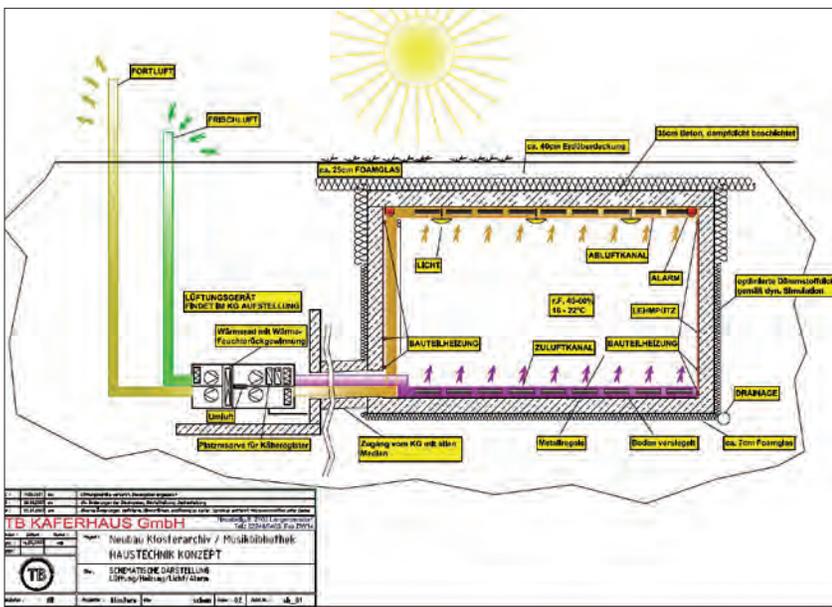


Fig. 16 - Principle of the book depot in Einsiedeln



Fig. 14 - View to the wooden wings of the "altar of Verdun"



Fig. 23 - Wall heating on the cold outer wall



Fig. 18 - View to the Museum of Fine Arts, Vienna



Fig. 22 - Wrong convective heating system



Fig. 19 - View to the cold outer walls to the court yard



Fig. 1 - Before renovation, room on second upper floor



Fig. 2 - Casement type double window made of wood



Fig. 3 - After renovation and installing of objects, same room on second upper floor, opposite viewing direction (see Fig. 1)

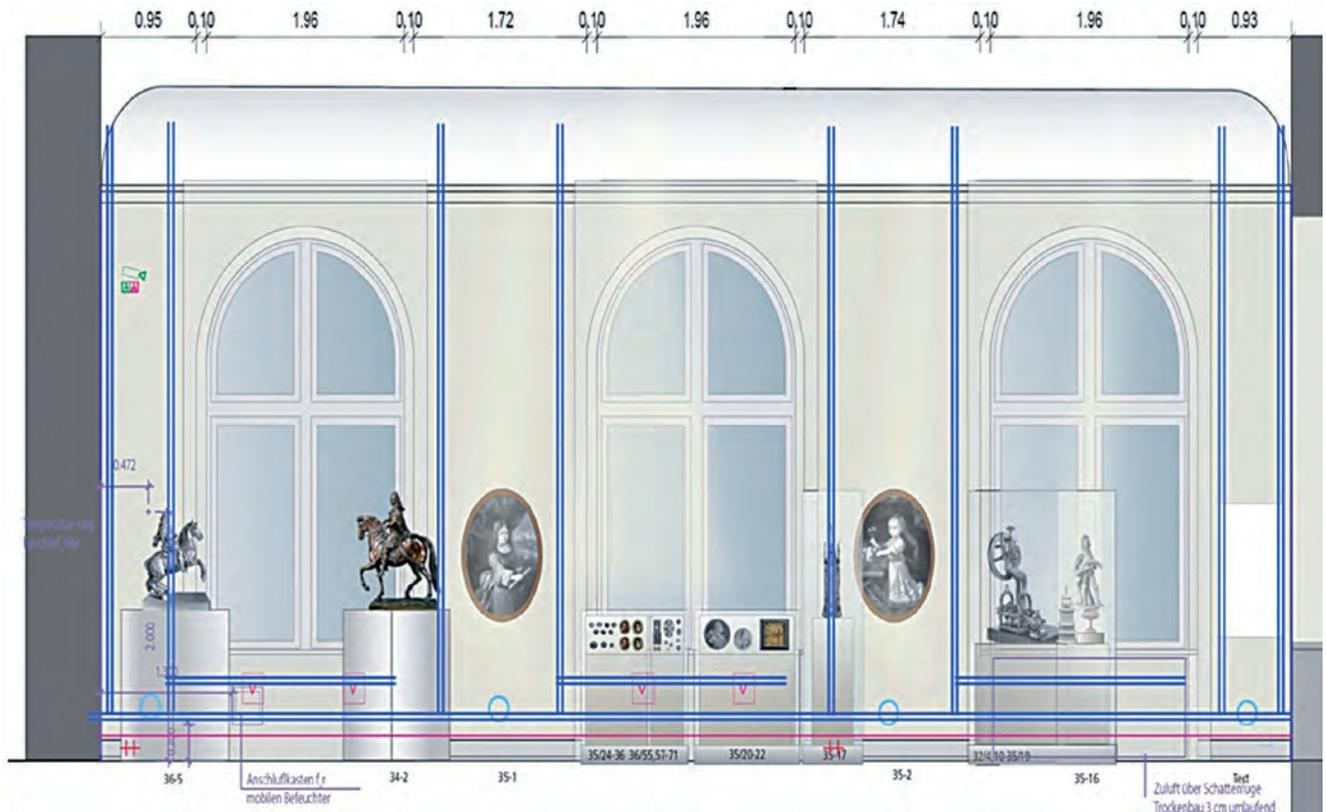


Fig.4 - Position of pipes within the exterior walls



Fig. 5 - Casement type double window made from metal with fixed screen

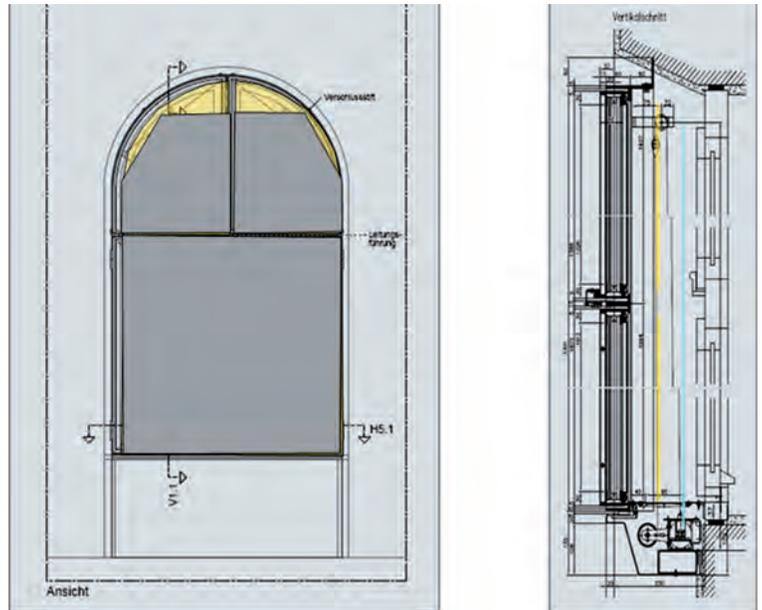


Fig. 6 - Shading system between the windows



Fig 1 - In the closet on the right: the rising air duct



Fig 2 - On the right, the six-position control panel for the air flow

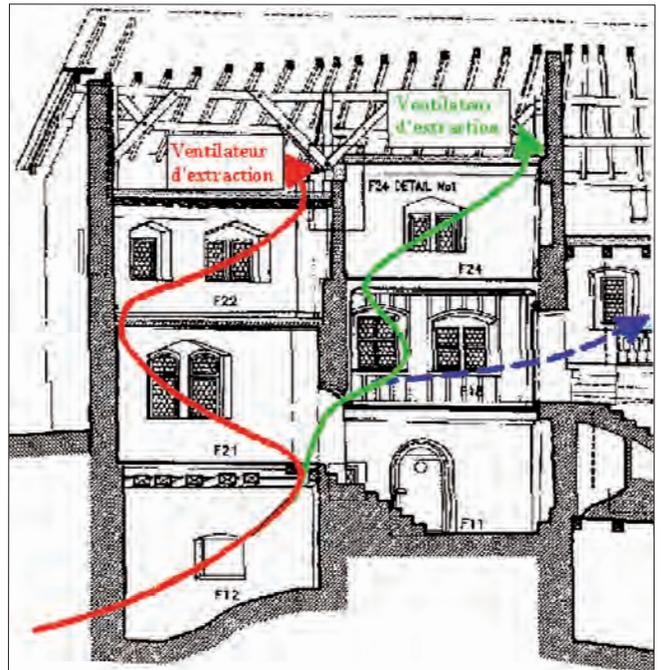


Fig 3 - Air flows throughout the rooms of the Valère Casle in Sion

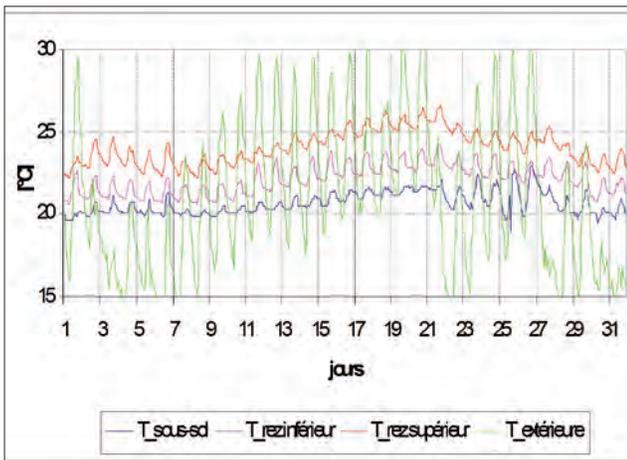


Fig 4 - Valère: Temperature trend in August

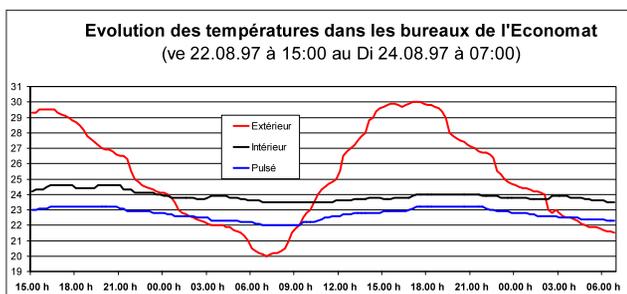


Fig 5 - Outdoor, indoor and forced temperature trend (Treasure Office Building)

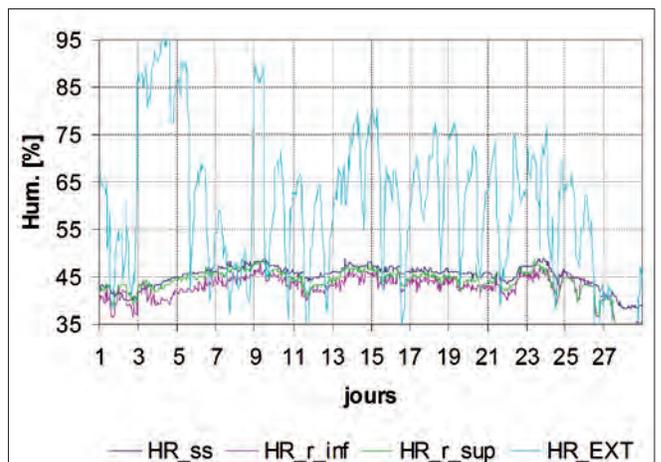


Fig 6 - Valère: Relative humidity in February

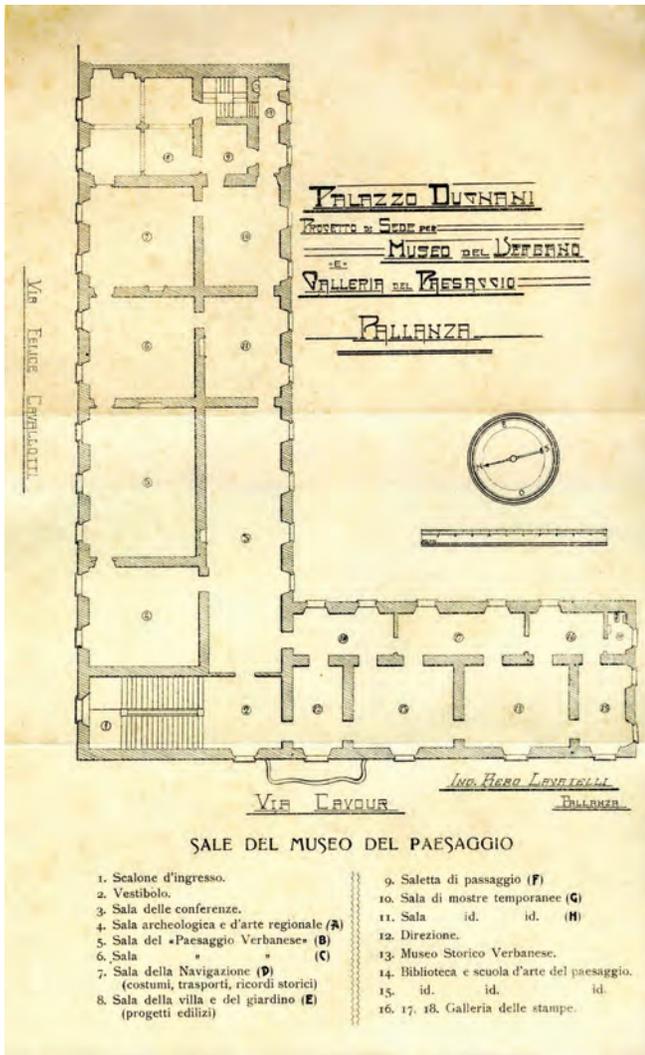


Fig. 1 - Plan of the museum, from the opening invitation postcard (1914)



Fig. 2 - The court yard



Fig. 4 - The work completed with the larch wood skirting board



Fig. 3 - The installation of the wall tempering system

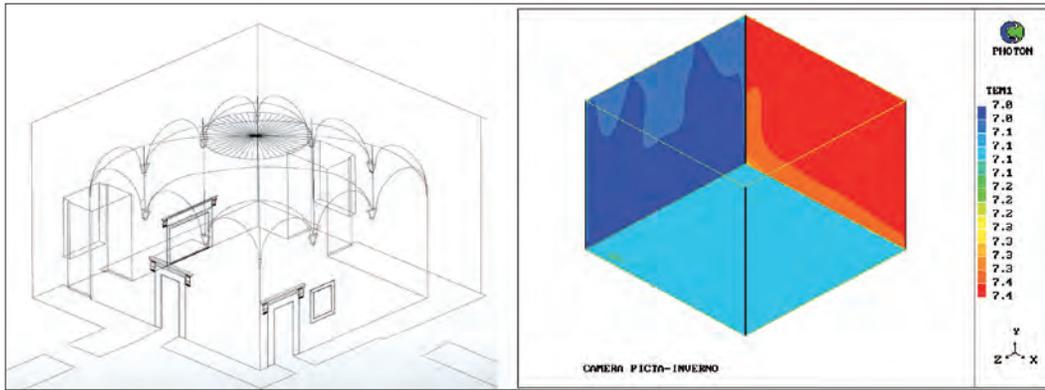


Fig. 1 - View of the Camera Picta and model for simulations (right side)

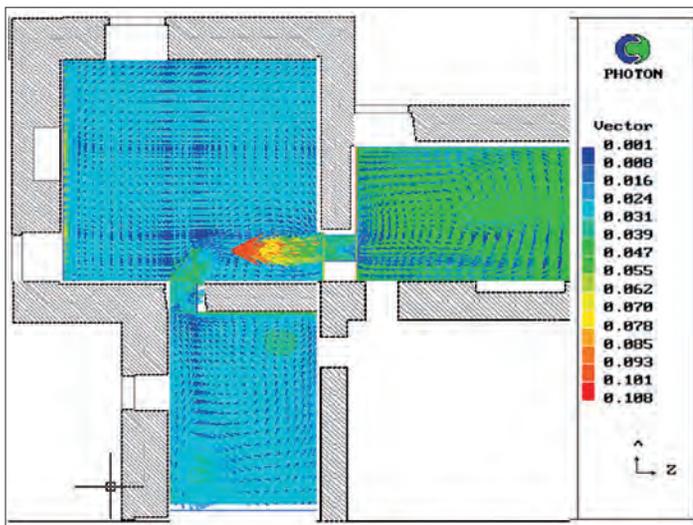


Fig. 2 - Camera Picta simulation (free convection): air velocity field (wintertime)

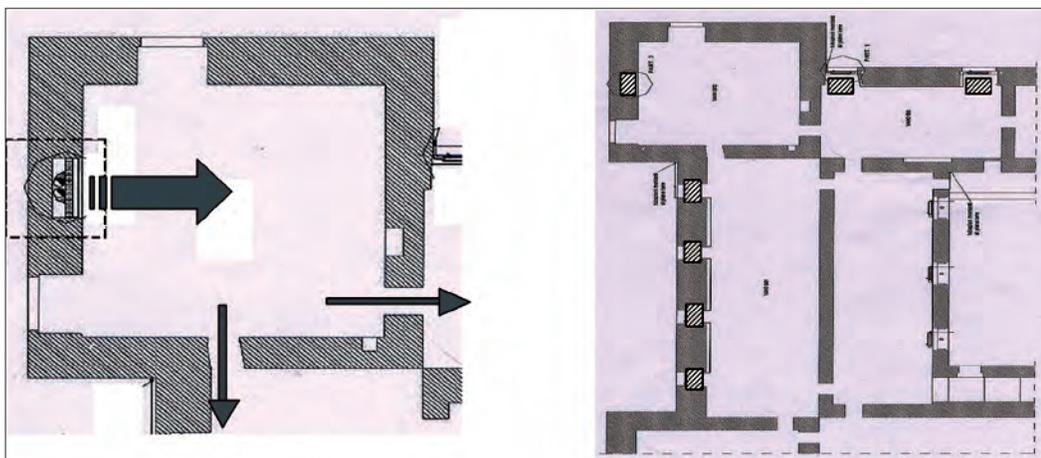


Fig. 3 - Positions of air suppliers and air paths

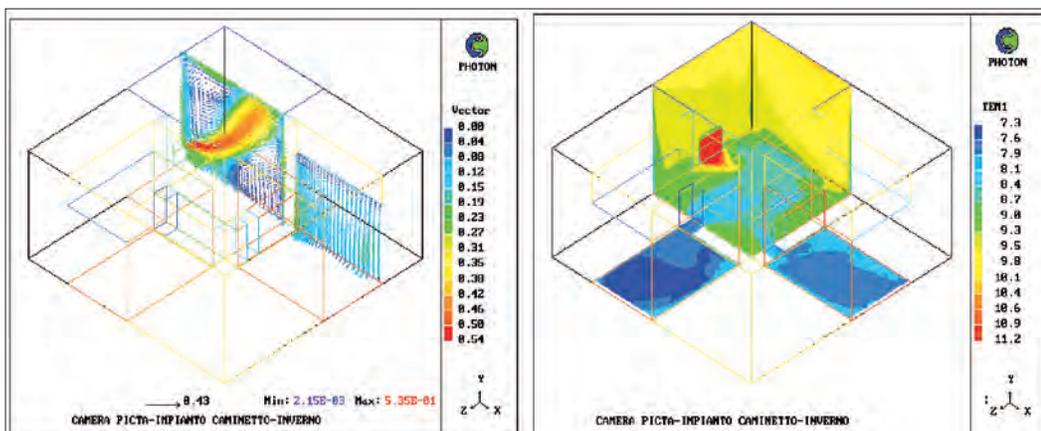


Fig. 4 - Air temperatures and air velocities in Camera Picta with the proposed air system (wintertime)

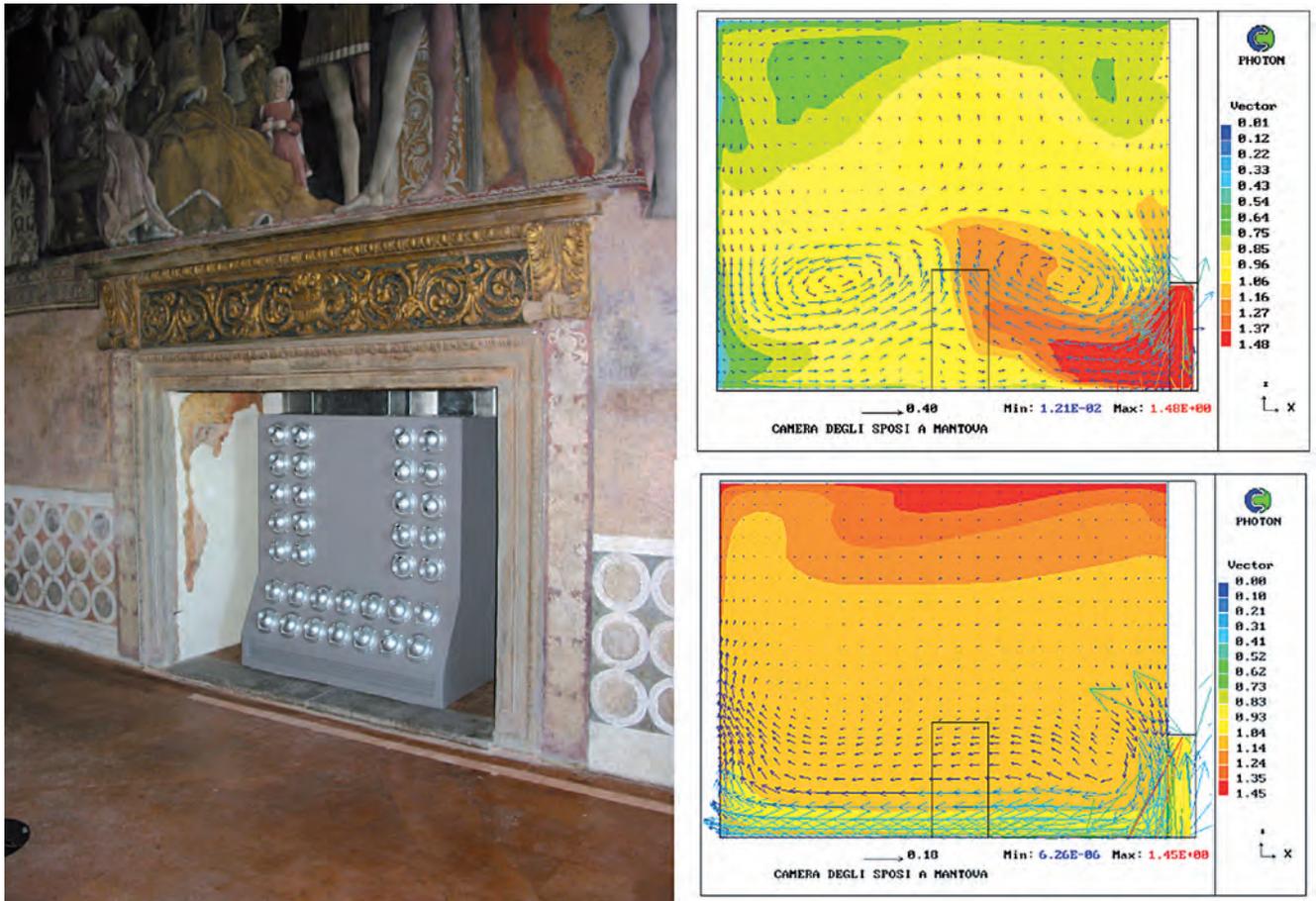


Fig. 5 - Picture of the air diffusers and air pattern in wintertime and summertime obtained by means of CFD simulation in mean vertical section of Camera Picta



Fig. 6 - View of the Northern tower with the main components of the HVAC system

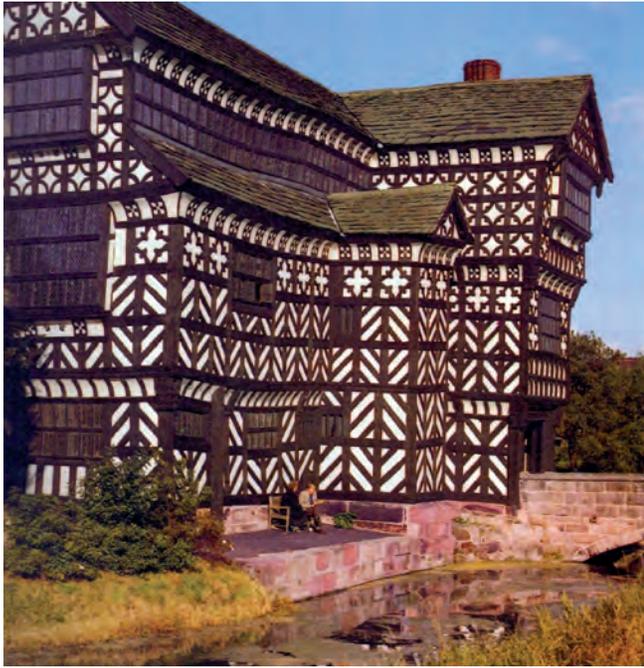


Fig. 1 - Moreton Hall, Cheshire, is a typical UK historical building now used as a museum

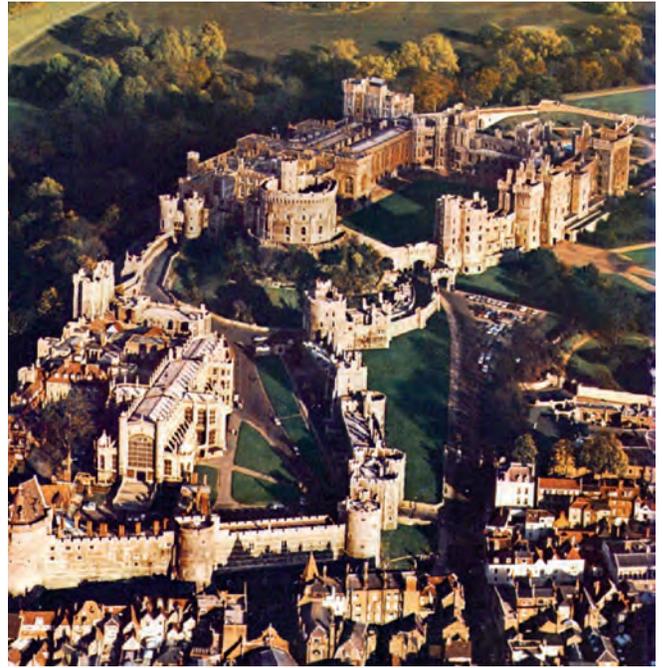


Fig. 2 - Windsor castle – still used as the family home of the Windsors and also a public place for collections of artwork and historical artifacts



Fig. 3 - Castle Howard in Yorkshire.



Fig. 4 - Hampton Court, Large tourist attraction



Fig. 5 - Hampton Court include military collections which are an important record of UK history



Fig. 6 - Film and digital materials stored in a "Faraday cage" archive store lined with copper to protect against radiation and air conditioned to achieve control of temperature, 11degC humidity, 50% RH and clean, filtered air



Fig. 7 - British Library Archives Storage, Yorkshire

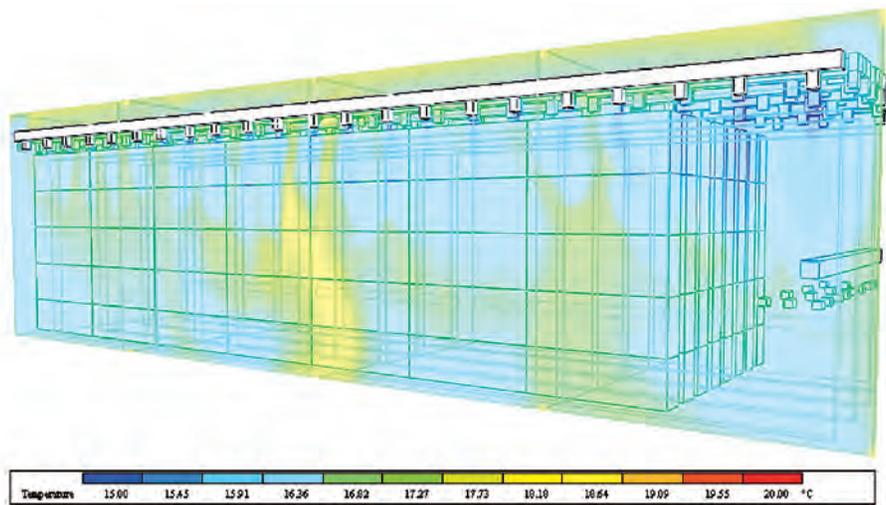


Fig. 9 - CFD modeling was carried out to confirm that the conditions would be met throughout facility



Fig. 8 - BLAST has a computerized robotic book collection system



Fig. 10 - Close control cabinet for manuscripts at the Middle Temple, London