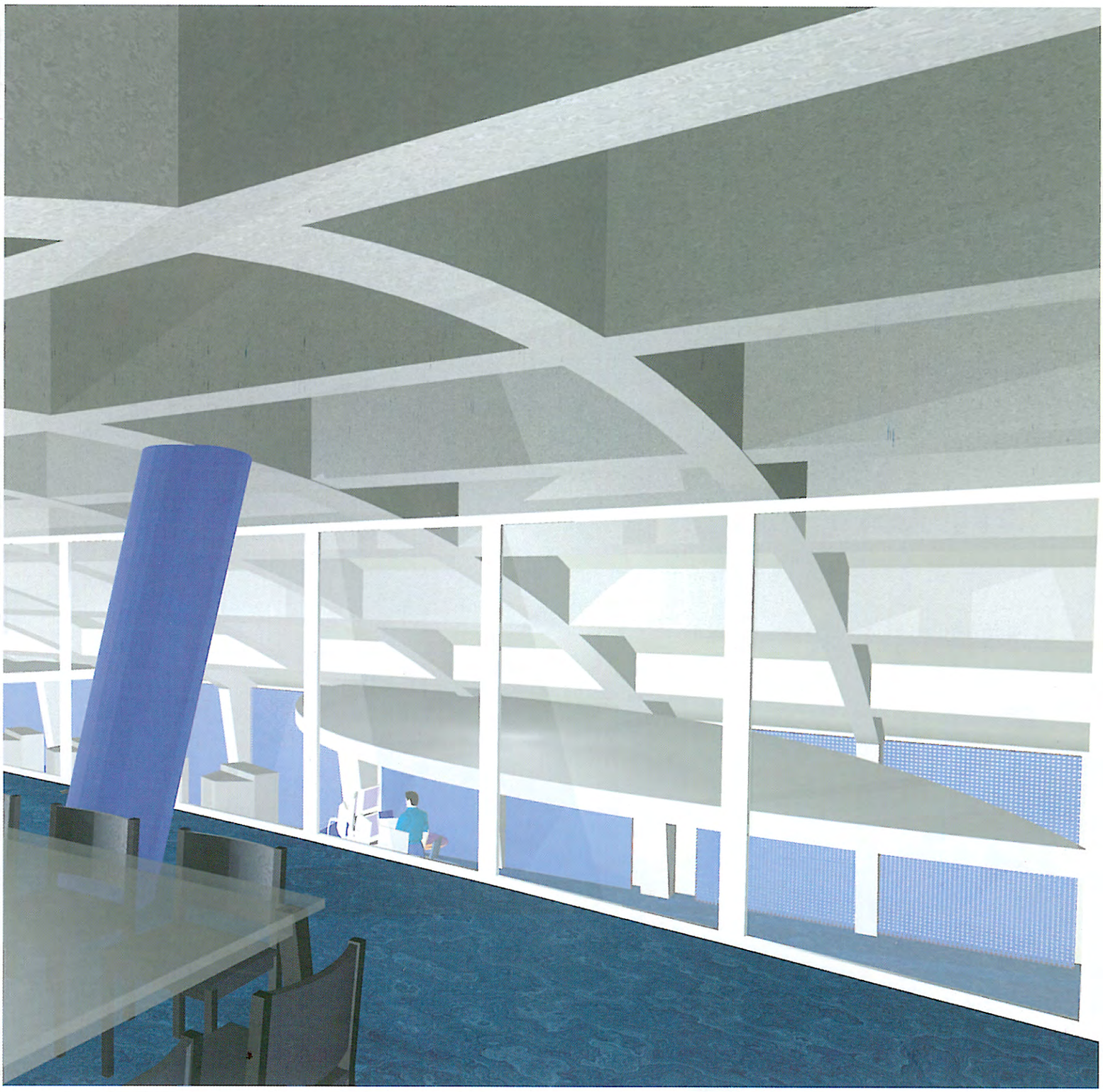
FLARE

Architectural Lighting Magazine

www.edithabitat.com



dossier LighTech

MODULATIONS OF LIGHT AND COLOUR

The antique stained glass windows in the Upper Basilica of San Francesco in Assisi have recently been fitted with a passive system for their preservation.

Angelo Mingozzi
Sergio Bottiglioni

INTRODUCTION

The Basilica of San Francesco in Assisi was erected to house the Saint's mortal remains, but is divided into two parts built at different times. The oldest part is the so-called Lower Basilica, a small, partially underground building dating back to the late 13th century. The Upper Basilica is much larger and was built the following century. It has a splendid Corpus Vitrearum, consisting of 13 stained glass windows plus the rose

PREMESSA

Costruita per ospitare le spoglie mortali del Santo, la Basilica di San Francesco ad Assisi si compone di due corpi costruiti in epoche differenti.

La parte più antica è la cosiddetta Basilica Inferiore, un piccolo edificio parzialmente sotterraneo risalente alla fine del XIII secolo.

Molto più imponente invece la Basilica Superiore, costruita nel secolo successivo, dotata di uno splendido Corpus Vitrearum composto da ben 13 vetrate policrome, più il rosone sulla facciata, sovrastanti le pareti sulle quali Giotto dipinse il famoso ciclo di affreschi sulla vita del Poverello di Assisi.

Nonostante le guerre, le vetrate si erano conservate abbastanza bene nel corso dei secoli, anche se negli ultimi decenni l'inquinamento atmosferico e la crescente massa di visitatori hanno causato un cambiamento nel microclima esterno ed interno alla Basilica, con conseguente accelerazione del processo di degrado, a cui recentemente si è aggiunto il terremoto.

Per scopi legati principalmente alla protezione della vetrata antica venne così installata, nel 1979, una controfinestra con telaio in ferro, lastre in vetro monostrato e una griglia metallica per proteggere la vetrata antica da danni intenzionali ed accidentali.

Questa soluzione però presentava diversi inconvenienti, aggravatisi con il passare degli anni, sia di natura estetica, in merito alla percezione della vetrata antica, sia, soprattutto, di natura funzionale.

In particolare, la mancanza

1

MODULAZIONI DI LUCE E COLORE

Le antiche vetrate policrome della Basilica Superiore di San Francesco ad Assisi sono state recentemente dotate di un sistema passivo per la loro conservazione preventiva.

2

di tenuta all'acqua e all'aria era causa di infiltrazione di acqua e conseguente dilavamento sulle superfici affrescate interne della navata della Basilica, creando fenomeni di condensazione sul vetro antico e assoluta mancanza di controllo del microclima creatosi nello spazio di intercapedine.

Nel 1994/95, vista l'insostenibilità della situazione, si è proceduto alla progettazione e successiva installazione di un nuovo sistema, che consentisse di recuperare le valenze funzionali, tecniche ed estetiche delle vetrate. Nello stabilire le metodologie progettuali le vetrate sono state considerate come un "sistema unitario", costituito dalla vetrata antica, dall'intercapedine e dalla nuova controvetrata.

Quest'ultima è stata progettata in modo da ottenere le migliori condizioni per la protezione, conservazione e miglioramento della percezione estetica senza l'utilizzo di nessun sistema "attivo" o automatismi.

Il sistema messo a punto si caratterizza attraverso la completa sigillatura rispetto al microclima esterno, ottenuta con la nuova controvetrata e l'apertura al microclima interno della

window on the façade, above the walls containing Giotto's famous fresco cycle on the life of the Poor Man of Assisi. In spite of the wars, the windows had survived quite well over the centuries, but the increased atmospheric pollution and a growing mass of visitors during last few decades have caused changes in the microclimate inside and outside the Basilica. This has served to accelerate the deterioration process, which was not improved by the recent earthquake.

In 1979, mainly in order to protect the ancient glass, it was decided to install external glazing consisting of an iron frame, single-layer glass panes and a metal grid to protect the original windows from intentional and accidental damage. This solution raised a number of problems, that have worsened over the years, affecting both aesthetic aspects, namely the ability to see the antique glass, and above all, functional ones. In particular, the fact that the external glazing is not watertight and airtight has created leaks and consequently, the washing-out of the frescoed areas inside the nave of the Basilica, creating condensation on the antique glass and absolutely no control of the microclimate created in the air gap. The situation became unsustainable and in 1994/95 steps were taken to design and subsequently install a new system that would allow the functional, technical and aesthetic qualities of the windows to be restored.

When defining the design methods to be used, the windows were regarded as a "single system", comprising the antique glass, the air gap and the new external glazing. The latter was designed in order to achieve the best conditions for protecting, conserving and improving the aesthetic perception without requiring any "active" system or automatic device. The resulting system stands out for the completely sealed finish produced by the new external glazing, as well as the fact that it communicates with the internal microclimate of

3

1 - Veduta diurna esterna della Basilica di S. Francesco ad Assisi.
2. - Vetrata antica: visione di insieme.
3 - Veduta d'insieme esterna delle vetrate recuperate

1. Daytime outdoor view of the Basilica of San Francesco, Assisi (Italy).
2 - The ancient window: overall view.
3 - Overall outdoor view of the restored windows.

4 - Pianta della Basilica Superiore.

4 - Ground plan of the Upper Basilica.

the Basilica, using natural ventilation, thus achieving identical conditions in terms of microclimatic stress on both sides of the original glass.

THE METHODOLOGICAL APPROACH

The rehabilitation of the window functions meant satisfying three main categories of requirements:

- functionality
- conservation
- aesthetic and visual perception

First and foremost, this system had to fulfil its prime function as a "window", a source of light and a protection against wind and water, taking account of the fact that Giotto's frescoes line the nave below these windows. Turning to the preventive conservation of the work, the aim was to conserve the original stained glass, protecting it from external climatic and natural agents, like temperature, humidity, UV rays, but also from the effects of airborne pollutants and particles.

Last but not least, the aesthetic enjoyment of the win-

Basilica, mediante ventilazione naturale, al fine di ottenere condizioni analoghe di sollecitazioni microclimatiche sulle due facce della vetrata antica.

L'APPROCCIO METODOLOGICO

Fondamentalmente, la riqualificazione delle funzioni delle vetrate implicava il soddisfacimento di tre classi di requisiti principali:

- *funzionalità*
- *conservazione*
- *percezione estetica e visivi*

Innanzitutto, questo sistema doveva soddisfare la sua funzione precipua di "finestra" quale sorgente di luce e protezione contro l'aria e l'acqua, tenendo presente che proprio nella navata sotto queste finestre si trovano gli affreschi di Giotto.

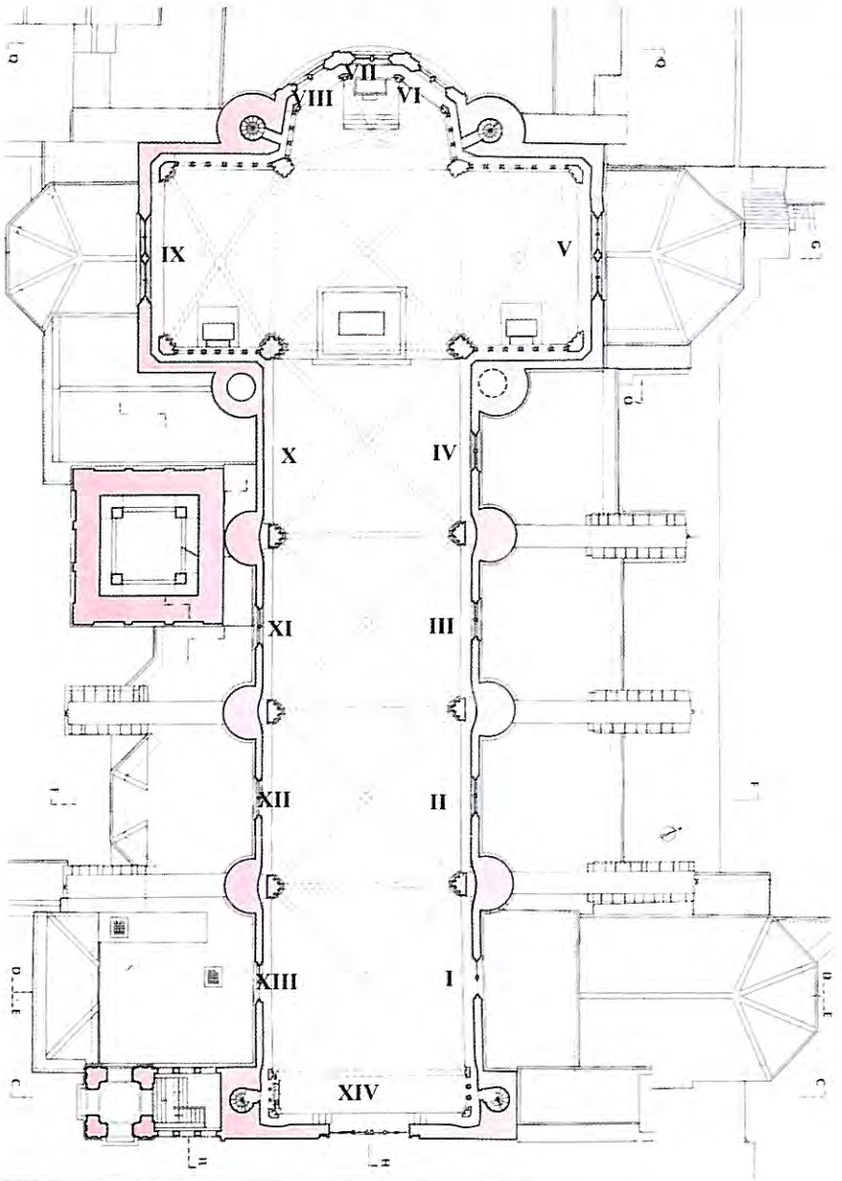
Per quanto riguarda invece l'aspetto di conservazione preventiva in opera, lo scopo è quello di conservare il vetro colorato antico, proteggendolo dagli agenti di natura climatica esterna come temperatura, umidità, raggi UV, ma anche dall'azione degli agenti inquinanti aerodispersi e del particolato.

Infine, elemento non certo secondario, la fruizione estetica delle vetrate nel loro aspetto originale. L'atmosfera mistica che si crea nella Basilica è in gran parte determinata dal gioco di luci e ombre creato dai raggi del sole che penetrano attraverso le vetrate colorate. Dal momento che il contrasto di luminanza fra le pareti scure e le vetrate colorate è molto elevato, qualsiasi meccanismo prescelto non doveva alterare questo effetto ed essere il meno invasivo possibile.

Pertanto era necessario eliminare la rete metallica esistente, in modo da non ridurre qualità e quantità della luce solare e da non modificare i colori della luce e generare ombre portate in nessuna parte delle vetrate.

Il percorso progettuale si è svolto secondo le seguenti fasi:

- *stato dell'arte: analisi di altri casi analoghi per problematica conservativa e sollecitazioni climatiche che presentassero valori ottimali dal punto di vista di conservazione, materiali e tecniche;*
- *stato di fatto: valutazione fisica delle controfinestre e-*



5

6

5 - Controvetrate pre-esistenti.
6 -.Degrado delle controvetrate pre-esistenti.
7- Vista della Basilica.

5 - Previous superimposed structure.
6 - Deterioration of the superimposed structure.
7 - Drawing of the Basilica.

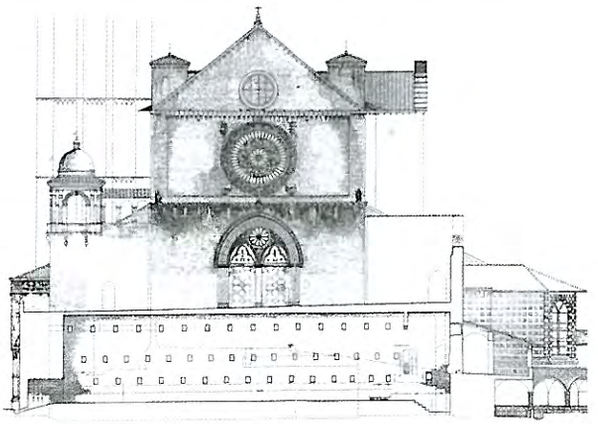
dows in their original context. The mystical atmosphere inside the Basilica is largely created by the play of light and shadows created by the rays of sunlight that shine through the stained glass. Given that there is a strong contrast in luminance between the dark walls and the stained glass , the chosen mechanism would be expected not to alter this effect and be as non-invasive as possible. It was therefore important to abolish the existing metal mesh in order to safeguard the quality and quantity of sunlight and to preserve the same colours of light, while also not throwing any part of the windows into shade. The project can be broken down into the following stages:

- state-of-the-art: analysis of other similar cases involving the same problems of conservation and climate which presented optimal results in terms of conservation, materials and techniques;
- actual condition: physical evaluation of the existing external glazing, microclimatic analysis, chemical analysis of the ancient glass and "grisailles";
- restoration of the ancient glass and "grisailles";
- analysis of requirements and functions to be met and definition of methodology to be used during intervention;
- first design hypothesis simulated using mathematical models;
- final design and installation of first prototype;
- results controlled by monitoring environmental performance and behaviour at different times of year.

FUNCTION AND TESTING

The purpose of the new external glazing, which forms a single system with the old windows and the surrounding masonry facing, is to protect the ancient stained glass from external climatic factors, guaranteeing an airtight and watertight finish, as well as being able to control of the microclimate in the air gap between the window and the external glazing in order to avoid overheating in summer and condensation on the original windows in winter. In order to reduce

7



sistenti, analisi microclimatica, analisi chimica sul vetro antico e sulle "grisailles";
• restauro del vetro antico e delle "grisailles";
• analisi delle esigenze e delle prestazioni da soddisfare e definizione delle metodologie di intervento;
• prima ipotesi di progetto simulata attraverso modelli matematici;
• progetto esecutivo e messa in opera di un primo prototipo;
• verifica dei risultati tramite monitoraggio in opera delle prestazioni ambientali, condotto nelle diverse stagioni.

FUNZIONAMENTO E COLLAUDO

Le nuove controvetrate, intese a sistema con la ve-

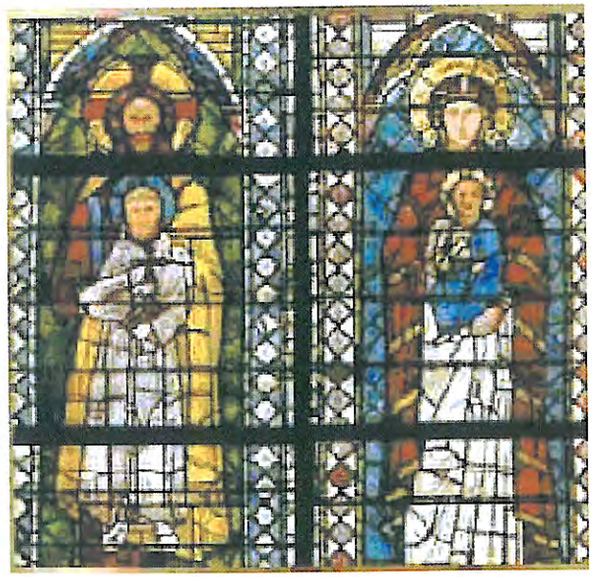
summer overheating, an innovative system has been developed for the natural ventilation of the air gap by creating a thin aperture all along the edge of the window to encourage the constant exchange of air inside the gap with the cooler air inside the Basilica. The air gap is fitted with a system to collect and drain condensation that might accidentally build up during exceptionally bad weather conditions. The framework is made from painted stainless steel, whereas the transparent parts are in polycarbonate.

The lead sealing round the frame and the silicon filling around the polycarbonate panes ensure that the finished product is both air- and watertight. Polycarbonate is also non-reflecting, does not distort daylight, protects against UV rays, as well as being shatterproof and easy and light to assemble. Owing to the limited space available, about 4/7 cm, for the space between the external glazing and the original windows, largely owing to the unevenness of the old glass and its considerable height (approximately 8 metres), slit-like openings have been made at the top (each measuring 5 cm) to allow air to circulate. This system triggers natural ventilation mechanisms that help to maintain similar climatic conditions both inside and outside the old windows, thus preventing some forms of hygrothermal stress on the glass. The first prototype, which was installed in 1995 and those that followed it were closely monitored by two studies carried out between 1995 (window XI) and 1999 (window XII) at different times of year. Environmental monitoring aimed to check the microclimatic conditions created inside the air gap and on both sides of the original windows, in relation to the environmental conditions inside and outside the Basilica at different times of years.The results obtained form an indispensable basis for checking compliance with the environmental re-

8 - Nuova controvetrata per la finestra XI.
9 - Vetrata antica: particolare.

8 - New superimposed structure to the window n. XI.
9 - Ancient stained glass window: detail.

9



8

trata antica ed il paramento murario circostante, si sono poste l'obiettivo di proteggere le vetrate antiche dagli agenti climatici esterni, garantendo la tenuta all'aria e all'acqua e il controllo del microclima nell'intercapedine tra vetrata e controvetrata, al fine di evitare problemi di surriscaldamento nel periodo estivo e condensazione sulla superficie del vetro antico nel periodo invernale.

In particolare, per cercare di mitigare il fenomeno del surriscaldamento estivo, è stato studiato un sistema innovativo di ventilazione naturale dell'intercapedine, attraverso la creazione di una sottile apertura che corre lungo tutto il bordo della vetrata, per favorire il ricambio continuo dell'aria nell'intercapedine con quella più fresca presente all'interno della Basilica.

Tale intercapedine è provvista di un sistema di raccolta ed evacuazione della condensazione che accidentalmente potrebbe crearsi in eccezionali situazioni ambientali sfavorevoli.

Il telaio della struttura è in acciaio inossidabile verniciato, mentre la parte trasparente è in policarbonato.

La piombatura della cornice e la siliconatura della lastra di policarbonato assicurano la tenuta all'aria e all'acqua. Inoltre il policarbonato è esente da riflessi, non altera la luce naturale, protegge dai raggi UV e, in aggiunta, è infrangibile, leggero e facile da montare.

A causa del poco spazio disponibile, 4/7 cm circa,

dell'intercapedine creatasi fra la controfinestra e la vetrata antica, dovuto in larga misura all'irregolarità della vetrata antica, nonché all'elevata altezza della stessa (circa 8 metri), per consentire all'aria di circolare sono state ricavate in altezza delle aperture, a forma di asola, una ogni 5 cm. Tale sistema permette di innescare meccanismi di ventilazione naturale che concorre all'ottenimento di condizioni climatiche analoghe sulla faccia interna ed esterna del vetro antico ed elimina alcune tipologie di stress igrotermico sul vetro.

Il primo prototipo, messo in opera nel 1995 e quelli installati successivamente, sono stati oggetto di due monitoraggi approfonditi, condotti fra il 1995 (vetrata XI) e il 1999 (vetrata XII), nelle diverse stagioni dell'anno.

Il monitoraggio ambientale si è posto l'obiettivo di verificare le condizioni microclimatiche che si realizzano all'interno dell'intercapedine e sulle facce della vetrata antica, in relazione alle condizioni ambientali esterne ed interne alla Basilica, nelle diverse stagioni.

I risultati ottenuti rappresentano base indispensabile per il controllo del soddisfacimento dei requisiti ambientali per la conservazione preventiva della vetrata artistica.

CONSERVARE SALVAGUARDANDO LA PERCEZIONE VISIVA

Le vetrate policrome originali della Basilica sono costituite da un insieme di telaietti mobili contenenti il mosaico di vetri legati a piombo, posti in opera su un telaio fisso.

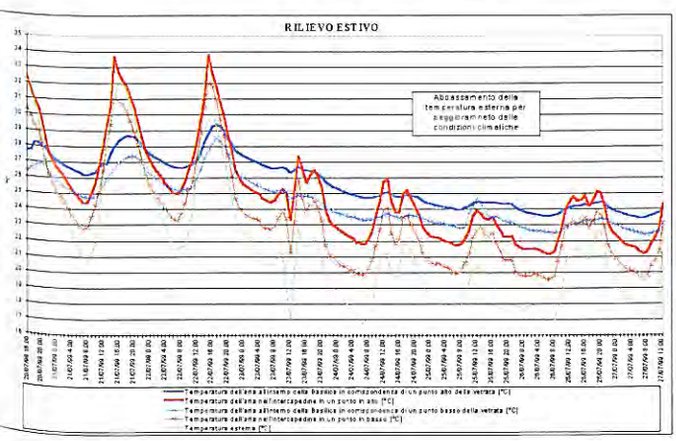
I vetri presentano diverse gradazioni cromatiche ottenute dall'aggiunta di sali e ossidi nella pasta vitrea secondo tecniche dei maestri vetrai del XIII secolo.

Questi sono ulteriormente impreziositi dalle grisilles, consistenti in pittura di vetro sul vetro stesso.

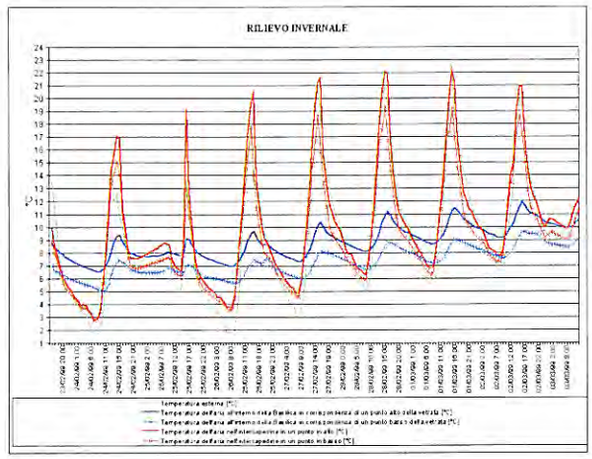
Il ruolo delle grisilles è davvero importante nella veduta generale della vetrata, in quanto assorbono la luce in diversa misura e presentano un notevole effetto decorativo, derivante dalle trasparenze e, pertanto, la loro conservazione è stato oggetto di uno studio approfondito.

L'effetto complessivo della composizione è definibile come una vera e propria "pittura contro luce" ad elevata luminanza che, in contrasto alla luminanza della superficie interna della Basilica, crea nei pellegrini un effetto di meraviglia e ha forti valenze simboliche in

11



10



10 - Monitoraggio: andamento delle temperature dell'aria nel periodo invernale.
11 - Monitoraggio: andamento delle temperature dell'aria nel periodo estivo.

10 - .Monitoring: trend of air temperatures during wintertime.
11 - .Monitoring: trend of air temperatures during summertime.

quisites for the preventive conservation of the stained glass windows.

PRESERVE AND SAFEGUARD VISUAL PERCEPTION

The original stained glass windows of the Basilica are made up from a series of small mobile frames containing the mosaic of glass bound together by lead, which are then inserted into a fixed frame. The different colours of the stained glass were achieved by adding salts and oxides to the glass paste, using techniques developed by the master glaziers in the 13th century. These have been further embellished using "grisailles", or glass painting on the glass itself. The role played by the grisailles is extremely important for the overall effect of the window because they absorb light differently and create a special decorative effect, based on their transparency. Their conservation has been the subject of a detailed study. The overall effect of the composition can be defined as a very brightly "backlit painting" which, in contrast to the luminance of the Basilica interior, generated a feeling of wonder in pilgrims, as well as playing a strongly symbolic role in terms of the relationship between light and darkness. One of the main aims of the project to rehabilitate the interior was to maintain the same general appearance, including the chromatic effect and the ability to control the quantity of light flux. The fact that the frame is fully co-ordinated with the dimensions of the original windows, repeating the same intervals in the external glazing, allows any shadows thrown onto the ancient glass to be controlled. The ventilation slits, which connect the interior of the Basilica with the air gap, are suitably screened to prevent the filtration of unwanted daylight that would cause glare and jeopardise the interpretation of the works of art. The screens consist of a black painted metal plate and a rubber seal that moulds perfectly to the uneven surface of the original glass.

A number of solutions have been adopted to facilitate maintenance and simplify the cleaning or replacement of the polycarbonate panes when necessary. Over time, and in particular after 10 years the latter may lose

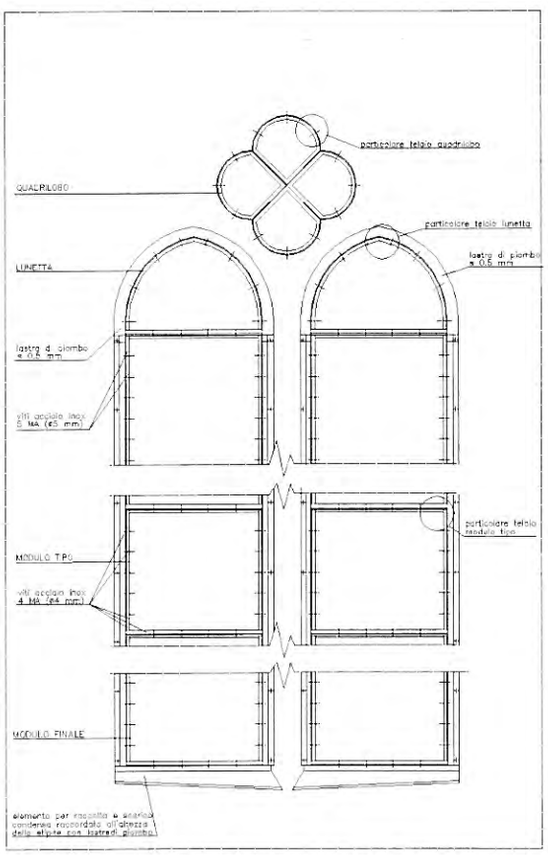
MODULATIONS OF LIGHT AND COLOUR
MODULAZIONI DI LUCE E COLORE

transparency and offer less UV protection. Based on this method and the positive results achieved, a systematic study by the Department for the Environmental, Architectural and Historical Heritage in Umbria is now underway to extend the stained glass window-external glazing system to other windows in the Basilica. In each case, the design is adapted to the changing requirements of visual perception and climatic stress, since these differ depending on the window's orientation to the sun.

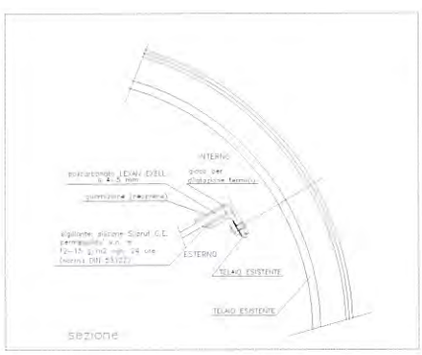
12 - Telaio della controvetrata e particolare del telaio del quadrilobo.
13 - Vetrata XI.
14 - Vetrata antica: particolare.

12- Frame of the superimposed window and detail of the quadrilobe frame.
13 - The window n. XI.
14 - Detail of ancient stained glass window.

12



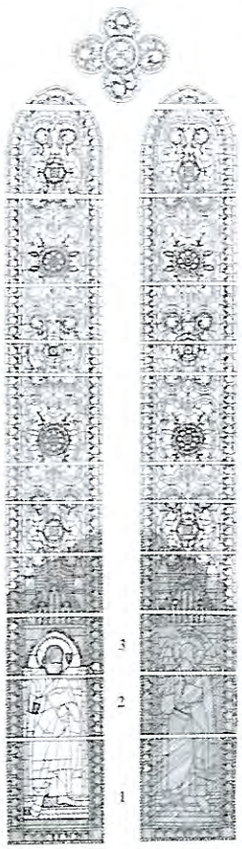
Telaio della controvetrata



particolare del telaio del quadrilobo

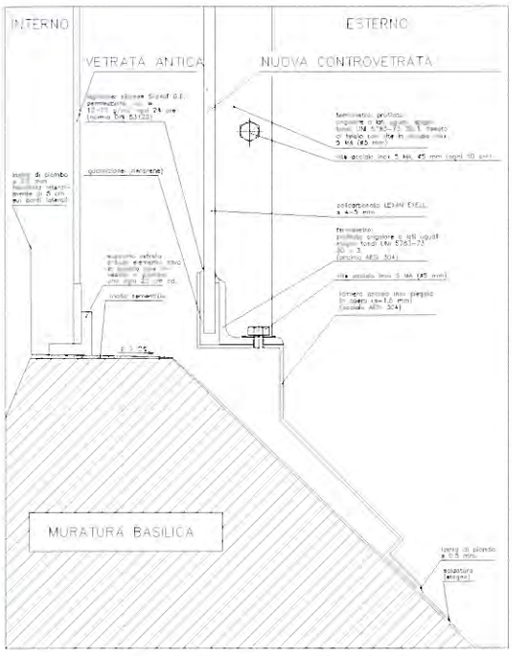
relazione al rapporto luce e tenebre.
Uno degli obiettivi principali dell'intervento di riqualificazione ambientale è stato, pertanto, quello di mantenere inalterato l'aspetto generale e quindi l'effetto cromatico e il controllo della quantità del flusso luminoso.
Il coordinamento dimensionale con il telaio della vetrata antica, ottenuto riproponendo gli stessi passi del telaio nella controvetrata esterna, permette il controllo delle ombre portate sul vetro antico.
Le asole di ventilazione, che mettono in comunicazione l'interno della Basilica e l'intercapedine d'aria, sono opportunamente schermate per evitare filtrazioni indesiderate della luce naturale che creerebbero fenomeni di abbagliamento e comprometterebbero la lettura dell'opera. La schermatura è costituita da una lamiera verniciata di nero e da una spazzola in gomma che si adatta alle imperfezioni della vetrata antica. Per facilitare le operazioni di manutenzione sono state adottate soluzioni che rendono semplificata la pulizia ed un'eventuale sostituzione delle vetrate in policarbonato che potrebbero subire, nel tempo e comunque oltre 10 anni, una perdita di prestazione in relazione alla trasparenza e alla protezione ai raggi UV. Attualmente, sulla base della metodologia messa a punto e ai positivi risultati conseguiti, è in corso uno studio sistematico condotto con la Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici e Storici dell'Umbria, per estendere il sistema vetrata-controvetrata ad altre finestre della Basilica, adattandolo, caso per caso, alle esigenze legate alla percezione visiva e alle sollecitazioni climatiche che differiscono in base ai diversi orientamenti solari.

13



14

16



particolare 2: collegamento modulo finale-davanzale

BIBLIOGRAFIA:

G. Marchini, "Corpus Vitrearum Medii Aevi", Italia, - Umbria , de Luca editore, Roma, 1973.

A. Mingozzi, "A passive system for rehabilitation and preservation of ancient stained glass windows: the case of the superior church of Assisi St. Francis Basilica", Proceedings of the 4th European Conference on Architecture supported by the European Commission, Berlin, Germany, March 1996: "Solar energy in architecture and urban planning" - Ed. H.S. Stephens, Bedford, 1996.

G. Brancato, "La soluzione di un caso complesso, il progetto della finestra XI della Basilica Superiore di Assisi"; Materiali Edili, n. 11, 1996.

M. Marabelli, P. Santopadre, M Verità, "Influence of the external protective glazing upon conservation of the medieval stained glass window in Orvieto cathedral", rivista della Stazione Sperimentale del Vetro n. 3, 1993.

Norma UNI 10829 del luglio 1999 "Beni di interesse storico ed artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi".

BIBLIOGRAPHY:

G. Marchini, "Corpus Vitrearum Medii Aevi", Italia, - Umbria , de Luca editore, Roma, 1973.

A. Mingozzi, "A passive system for rehabilitation and preservation of ancient stained glass windows: the case of the superior church of Assisi St. Francis Basilica", Proceedings of the 4th European Conference on Architecture supported by the European Commission, Berlin, Germany, March 1996: "Solar energy in architecture and urban planning" - Ed. H.S. Stephens, Bedford, 1996.

G. Brancato, "La soluzione di un caso complesso, il progetto della finestra XI della Basilica Superiore di Assisi"; Materiali Edili, n. 11, 1996.

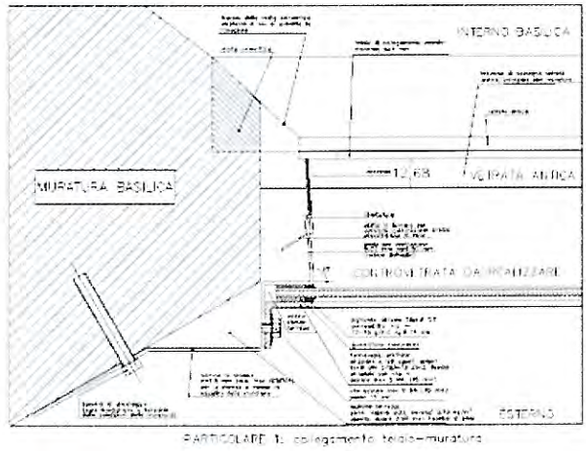
M. Marabelli, P. Santopadre, M Verità, "Influence of the external protective glazing upon conservation of the medieval stained glass window in Orvieto cathedral", rivista della Stazione Sperimentale del Vetro n. 3, 1993.

Norma UNI 10829, July 1999 "Beni di interesse storico ed artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi".

15 - Particolare del collegamento modulo finale-davanzale.
16 - Particolare del collegamento telaio-muratura

15 - Detailof the final module-sill fastening.
16 - Detail of the wall-frame fastening.

15



PARTICOLARE 1: collegamento telaio-muratura

CREDITS

Progetto del sistema ing. Angelo Mingozzi
Committenza e direzione lavori:
Soprintendenza Per i Beni Ambientali, Architettonici e Storici dell'Umbria
Restauro della vetrata: *Gianni Mecozzi, A.R.C.A. Studio, Bologna*
Monitoraggi: *ing. Giorgio Fiocchi e Sergio Bottiglioni (Ricerca & Progetto, Galassi, Mingozzi e associati, Bologna)*

System design: Ing. Angelo Mingozzi
Commissioned and supervised by: Soprintendenza Per i Beni Ambientali, Architettonici e Storici dell'Umbria
Stained glass restoration: Gianni Mecozzi, A.R.C.A. Studio, Bologna
Monitoring: Ing. Giorgio Fiocchi and Ing. Sergio Bottiglioni (Ricerca & Progetto, Galassi, Mingozzi e associati, Bologna)