

Seminario Internazionale
International Seminar

Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli

Esperienze didattiche e di ricerca a confronto

Theory and practice of construction: knowledge, means, models

Didactic and research experiences

Ravenna 27-29 ottobre 2005

Volume 3

DAPT - DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA
E PIANIFICAZIONE TERRITORIALE
Università di Bologna



FONDAZIONE FLAMINIA
RAVENNA



Edizioni  Moderna

Promosso da / Organized by

DAPT - Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale
Facoltà di Ingegneria di Bologna

Con la collaborazione di / with the collaboration of

Fondazione Flaminia Ravenna
Provincia di Ravenna
Associazione Edoardo Benvenuto
SEHC - Sociedad Española Historia de la Construcción
Centro Studi Labteco - DAPT

Con il patrocinio di / Supporting Institutions

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
Comune di Ravenna
AIAR - Associazione Architetti Ingegneri Ravenna
ARTEC - Associazione per la promozione del rapporto tra architettura e tecnica
Istituto Scuola Provinciale Edili - CTP Ravenna
Camera di Commercio Ravenna

Sostenitori / Supporters

ACMAR - Ravenna
COMACO ITALIANA Srl - Forlì
COLACEM Spa - Gubbio
COLABETON Spa - Gubbio

Comitato scientifico / Scientific Committee

A. Becchi, Università di Genova, Max Planck Institute for History of Science - Berlino, AEB
A. Barozzi, Università di Bologna, DAPT - P. Eco
M. Bertagnin, Università di Udine, EAG-CRATerre Grenoble
G. Carrara, Università Roma La Sapienza, ARTEC
M. Corradi, Università di Genova, AEB
G. Cuppini, Università di Bologna, DAPT - UNIADRION
E. Dassori, Università di Genova
A.C. Dell'Acqua, Università di Bologna, DAPT - ARTEC
F. Foce, Università di Genova, AEB
J.L. González Moreno-Navarro, Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona
G. Gresleri, Università di Bologna, DAPT
R. Gulli, Università di Bologna, LabTeco - DAPT
S. Huerta, Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Madrid, SEHC
J. Heyman, Cambridge University, AEB
J. Ochsendorf, MIT Boston
F. Nuti, Università di Firenze - ARTEC
G. Pascale, Università di Bologna, DISTART
S. Poretti, Università di Roma-Tor Vergata, DOCOMOMO Italia
P. Radelet de Grave, Università di Lovanio
L. Ramazzotti, Università di Roma-Tor Vergata
A. Sanna, Università di Cagliari, LABTERRA
J. Sakarovich, Université Paris V, École d'architecture de Paris-Villemin,
L. Zordan, Università dell'Aquila

Recupero e conservazione preventiva delle vetrate storiche: il caso di studio della Chiesa Superiore della Basilica di San Francesco ad Assisi

Angelo Mingozzi

INTRODUZIONE

Nel seguito si descrivono sinteticamente la metodologia adottata ed i risultati di un'esperienza professionale e di ricerca applicata, condotta dall'autore¹ con approccio integrato e multidisciplinare, relativa al rilievo, progetto, realizzazione e monitoraggio di un "sistema controvetrata-vetrata" per la rifunzionalizzazione e conservazione preventiva del "corpus vitrearum" della Chiesa Superiore della Basilica di San Francesco ad Assisi.²

Il sistema è costituito da una nuova controvetrata esterna, che ha la funzione di integrare le carenze prestazionali della vetrata storica contribuendo al contempo alla sua migliore conservazione senza comprometterne la qualità percettiva.

Obiettivo principale è stato la definizione di una procedura operativa validata per la realizzazione di una soluzione tecnologica riproducibile sull'intero "corpus vitrearum" della Basilica.

Nell'impostazione del lavoro si è fatto riferimento ai risultati della ricerca "Procedura di diagnosi dei problemi di convivenza e dei livelli qualitativi dei sistemi vecchio/nuovo" (Boltri, Mingozzi, Selva 1989).³ Particolarmente utile nella ideazione e realizzazione di un sistema composto dalla vetrata storica e dalla nuova controvetrata ma che coinvolge anche il muro massivo della basilica, gli affreschi sottostanti e che comprende come componenti attive l'intercapedine tra le vetrate e l'ambiente microclimatico stabile interno alla basilica è stato in particolare il

"manuale operativo di valutazione convivenza vecchio-nuovo" per la verifica dei tipi di compatibilità e la guida delle operazioni decisionali.⁴

L'ideazione del sistema è iniziata nel 1994, (Mingozzi 1996) la validazione definitiva della procedura di intervento e della soluzione adottata, si è conclusa nel 2004 con il compimento dei monitoraggi e della verifica dell'invecchiamento dei materiali (Mingozzi, Bottiglioni 2005).

LO STATO DI FATTO

Il "corpus vitrearum" della Chiesa Superiore della Basilica di San Francesco ad Assisi, Figura 1, risalente al XIII secolo è fra i più antichi e pregevoli nel mondo, Figura 2

Esso è composto da un complesso mosaico di 13 vetrate policrome, dipinte secondo la tecnica "a grisalles", che illustrano scene bibliche e la vita dei santi.

Nel corso dei secoli le vetrate non avevano evidenziato sostanziali problemi di conservazione; negli ultimi decenni però, l'inquinamento dell'aria ed il crescente numero di visitatori associato alle azioni climatiche esterne, hanno prodotto un peggioramento del microclima, tale da accelerare il processo di degrado.

Per scopi legati principalmente alla protezione delle antiche vetrate dagli agenti atmosferici e dagli atti vandalici, nel 1979 venne installata una controfinestra esterna, composta da un telaio di ferro, lastre



Figura 1
Basilica di San Francesco ad Assisi.

di vetro monostato ed una griglia metallica.

Questa soluzione è stata fin dalla sua realizzazione carente nel controllo dell'impatto "sole aria", compromettendo inoltre la qualità percettiva, sia dall'esterno che dall'interno della basilica, delle vetrate antiche; con il passare degli anni le controvetrate si sono deteriorate e la perdita di funzionalità si è aggravata, sia in termini di percezione visiva della vetrata antica, sia in termini di protezione e conservazione della stessa, Figure 3 e 4.

La perdita della tenuta all'acqua, accentuatasi nel corso degli anni, ha consentito alle infiltrazioni di raggiungere le superfici interne affrescate della Basilica che ospitano l'importante ciclo di affreschi realizzati da Giotto sulla vita di San Francesco, Figura 5.

La necessità di sostituire le vecchie controvetrate ha rappresentato una valida occasione per avviare una attività di ricerca applicata che, a partire dalla definizione delle prestazioni richieste al nuovo sistema di protezione, permettesse anche di definire una metodologia generale di intervento per il recupero e

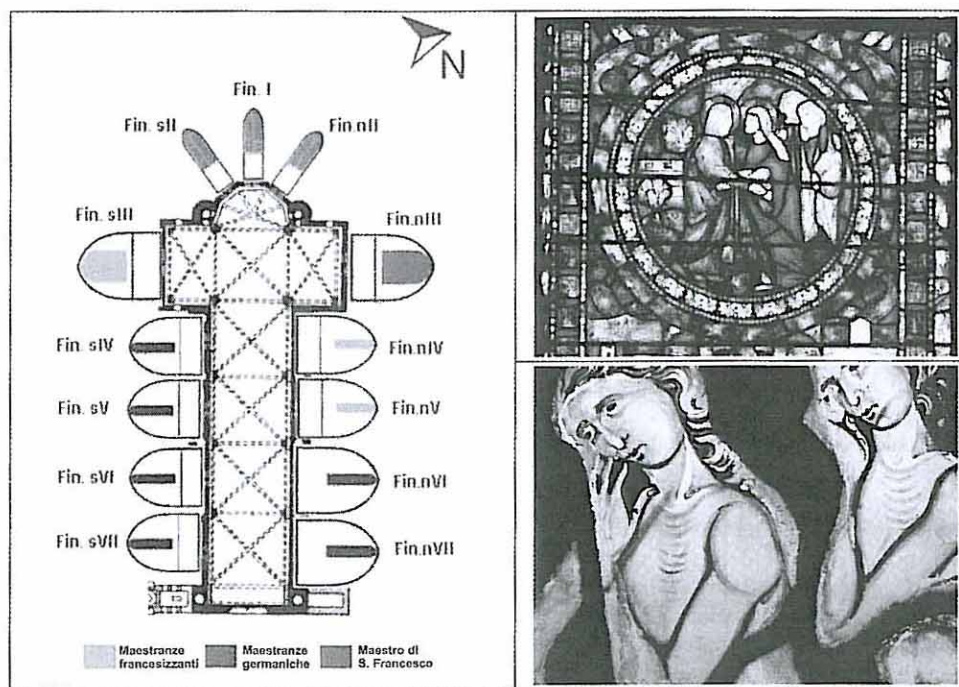


Figura 2
Il "corpus vitrearum" della Chiesa Superiore della Basilica di San Francesco ad Assisi: numerazione delle vetrate e particolari, con evidenza della tecnica di pittura "a grisalles".



Figura 3
Particolari del processo di ossidazione che ha interessato il telaio in ferro delle controvetrate che ha contribuito alla perdita di funzionalità delle stesse.

conservazione preventiva delle vetrate storiche anche attraverso la realizzazione di un prototipo di sistema.

Il nuovo sistema innovativo di protezione passiva, avrebbe dovuto al contempo assicurare una

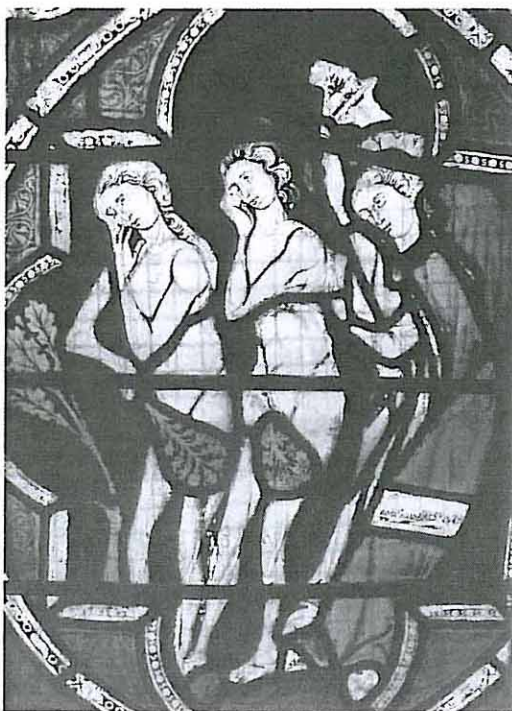


Figura 4
La percezione visiva della vetrata antica dall'interno della Basilica viene alterata dalla presenza della griglia metallica posta sul telaio in ferro della controvetrata esterna. In particolare è compromesso l'effetto di trasparenza ed il contrasto di luminanza fra i vetri dei diversi colori e l'interno della Basilica.

migliore protezione della vetrata, soddisfare i requisiti ambientali per la conservazione preventiva della vetrata storica e consentire una corretta fruizione visiva dell'opera d'arte integrata nel contesto edilizio della Basilica.

L'APPROCCIO METODOLOGICO

Il progetto delle nuove controvetrate si pone principalmente tre obiettivi: ricostituire un "sistema finestra" per garantire una efficace protezione dagli agenti esterni, garantire la conservazione preventiva della vetrata in opera e ricondurre la percezione estetica della vetrata storica al suo stato originale.



Figura 5
Ciclo di affreschi eseguiti da Giotto sulla vita di san Francesco, raggiunti dalle infiltrazioni d'acqua.⁵

Per trovare risposte concrete alle diverse esigenze è stata definita una specifica metodologia di intervento che ha consentito di organizzare il lavoro per fasi, suddividendo le varie azioni una logica consequenziale. In primo luogo il sistema da installare avrebbe dovuto svolgere efficacemente le funzioni proprie di una finestra, come sorgente di luce e come elemento protettivo dalle intemperie; in secondo luogo esso avrebbe avuto il compito di mitigare l'escursione termica ed altri fattori atmosferici avversi alla conservazione delle vetrate, compresi gli inquinanti aerodispersi; infine, si desiderava realizzare un sistema esteticamente e visivamente soddisfacente, che non interferisse con l'atmosfera mistica che si crea all'interno della Basilica, dovuta al contrasto luce-ombra.

Il progetto è stato condotto da un gruppo di lavoro multidisciplinare, comprendente: ingegneri, architetti, storici dell'arte ed esperti di restauro, sotto la supervisione della Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici, Artistici e Storici dell'Umbria.⁴ La metodologia di intervento ha permesso quindi di esaltare le diverse competenze specifiche dei vari esperti, definendo un "linguaggio comune" per il perseguimento "unitario" degli obiettivi. Sono stati pertanto definiti i requisiti necessari al recupero funzionale, tecnico ed estetico, individuate le tecniche più opportune per intervenire e le procedure per monitorare le prestazioni in opera del sistema una volta installato.

La metodologia, Tabella 1, si articola attraverso le macrofasi di seguito elencate:

- ricerca approfondita riguardante lo stato dell'arte, circa gli interventi simili già effettuati, i metodi di conservazione preventiva, i parametri otti-

mali di conservazione, ecc.

- analisi e monitoraggio delle prestazioni residue fornite dalle vecchie controvetrate allo stato di fatto, comprensiva di una analisi chimica delle antiche vetrate per determinare il loro stato di conservazione e le cause del deterioramento;
- restauro delle antiche vetrate e delle "grisailles";
- definizione dei requisiti da soddisfare, Tabella 2, e delle metodologie di intervento, organizzandoli per temi: conservazione preventiva, aspetti funzionali, proprietà visive ed estetiche;
- prima ipotesi di progetto e simulazioni delle prestazioni ambientali attese mediante modelli matematici;
- progettazione esecutiva e messa in opera di un prototipo;
- monitoraggio, valutazione dei risultati e definizione di linee guida per futuri interventi nella medesima Basilica o in altri casi analoghi.

FUNZIONAMENTO DEL NUOVO SISTEMA

Progettando le nuove controvetrate, ci si è posti l'obiettivo di soddisfare allo stesso tempo le necessità di conservazione preventiva e i requisiti estetici. Le nuove controvetrate, integrate con la vetrata antica ed il paramento murario circostante, si sono poste l'obiettivo di rifunzionalizzare il "sistema finestra" e proteggere le vetrate storiche dagli agenti climatici esterni, attraverso la realizzazione di un sistema (nuova controvetrata-intercapedine d'aria e vetrata storica) che consente la ventilazione naturale dall'interno della Basilica, imponendo invece una efficace barriera agli agenti esterni, Figura 6.

Fase	Attività	Descrizione	Note
1	Ricerca bibliografica	- Sistema finestra: esperienze e studi eseguiti in ambito europeo - Individuazione dei valori ottimali per la conservazione del vetro antico - Materiali e tecnologie disponibili	La ricerca bibliografica consente un'analisi dello stato dell'arte e della tecnica
	Documentazione dello stato di fatto	- Documentazione fotografica - Rilievo in scala 1:1 delle vetrate medievali - Rilievo geometrico dimensionale della finestra (interno-esterno)	La documentazione dello stato di fatto permette di individuare in modo preciso le problematiche conservative che devono essere affrontate dall'intervento
	Rilievi microclimatici	- Progetto dei rilievi fisico ambientali - Rilievo dei tre microclimi: interno, intercapedine ed esterno - Termografia della vetrata e dell'apparato murario circostante	I rilievi microclimatici forniscono le "condizioni al contorno" per la progettazione dell'intervento. Problematiche: delicatezza delle operazioni di rilievo
	Analisi chimico-fisiche	- Analisi chimico-fisica dei vetri e delle gresilles - Analisi chimico-fisica dei depositi superficiali	Le analisi chimico-fisiche documentano problematiche conservative e patologie delle vetrate antiche
2	Progettazione di 1° livello della controvetrata	- Elaborazione di una prima ipotesi progettuale da sottoporre a verifiche sperimentali	A questo livello vengono individuate le soluzioni progettuali che meglio corrispondono alle esigenze di conservazione delle vetrate
	Studi e simulazioni su modelli matematici	- Modellazione matematica del sistema, studio del suo comportamento termico nel caso di diverse condizioni climatiche ed elaborazione dei risultati	Le simulazioni matematiche permettono di modellare qualsiasi condizione climatica. Questo permette di accelerare i tempi di messa a punto della soluzione definitiva. <u>Problematiche:</u> difficoltà nella simulazione dei molti convettivi
	Realizzazione di un modello in scala 1:1 e prove sperimentali della soluzione proposta	- Progettazione del modello di assistenza alla realizzazione - Realizzazione del modello - Esecuzione delle misure sul modello ed elaborazione dei risultati sperimentali	La realizzazione di prove su un modello è necessaria perché fornisce risultati sicuri. <u>Problematiche:</u> difficoltà di gestione del modello (cause dimensionali).
3	Progettazione esecutiva della controvetrata (2° livello)	- Elaborazione di un progetto definitivo, redatto sulla base dei risultati sperimentali e delle simulazioni matematiche	Le prove sperimentali e le simulazioni matematiche consentono la messa a punto della soluzione progettuale definitiva
	Realizzazione caso di studio	- Realizzazione di un prototipo e sua installazione - Assistenza alla direzione lavori e alla messa in opera della vetrata	Il collaudo finale viene fatto ponendo in opera un prototipo
	Rilievo microclimatico e collaudo	- Rilievo delle condizioni fisico-ambientali all'interno dell'intercapedine e sulla superficie della vetrata antica	Le misure sul prototipo vengono fatte in periodo invernale, quando si presentano i maggiori problemi
	Definizione di una metodologia di intervento generale	- Elaborazione di strumenti metodologici ed operativi per la progettazione di controvetrate per la protezione e la conservazione di vetrate storiche	I risultati del lavoro vengono elaborati in modo da fornire una base per interventi successivi

Tabella 1
Metodologia di intervento.

Conservazione della vetrata antica

- controllo della temperatura dell'aria
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo della temperatura superficiale
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo della variazione di temperatura giornaliera
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo della variazione di temperatura stagionale
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo dell'umidità relativa
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo della variazione di umidità relativa giornaliera
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo della variazione di umidità relativa stagionale
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo del E.M.C. (Equilibrium Moisture Content)
(sulle due facce della vetrata antica)
- controllo dei movimenti dell'aria
- controllo del livello di illuminamento
- controllo dell'esposizione massima annua di illuminamento
- controllo della radiazione U.V.
- controllo della concentrazione di inquinanti solidi
- controllo della concentrazione di inquinanti gassosi

Requisiti funzionali

- controllo della tenuta all'acqua
- controllo della tenuta all'aria
- controllo della tenuta alle polveri
- controllo dell'isolamento termico
- controllo della condensazione
- controllo della stabilità termica
- controllo della stabilità igrometrica
- controllo della stabilità meccanica
- resistenza agli agenti meccanici
- resistenza agli urti
- controllo della sicurezza statica (ai pesi propri, alle azioni del vento, al sisma, ecc....)
- manutenibilità (pulibilità, riparabilità e sostituibilità)
- comportamento nel tempo
(resistenza agli agenti chimici e atmosferici)

Percezione visiva della vetrata

- aspetto (regolarità geometrica, regolarità delle finiture (compatibilità estetica con la basilica))
- controllo delle ombre portate
(coordinamento dimensionale con il telaio della vetrata antica)
- controllo del flusso luminoso (trasparenza)
- controllo del rapporto di luminanza
(contrasto tra superficie vetrata e muratura)
- controllo della resa cromatica

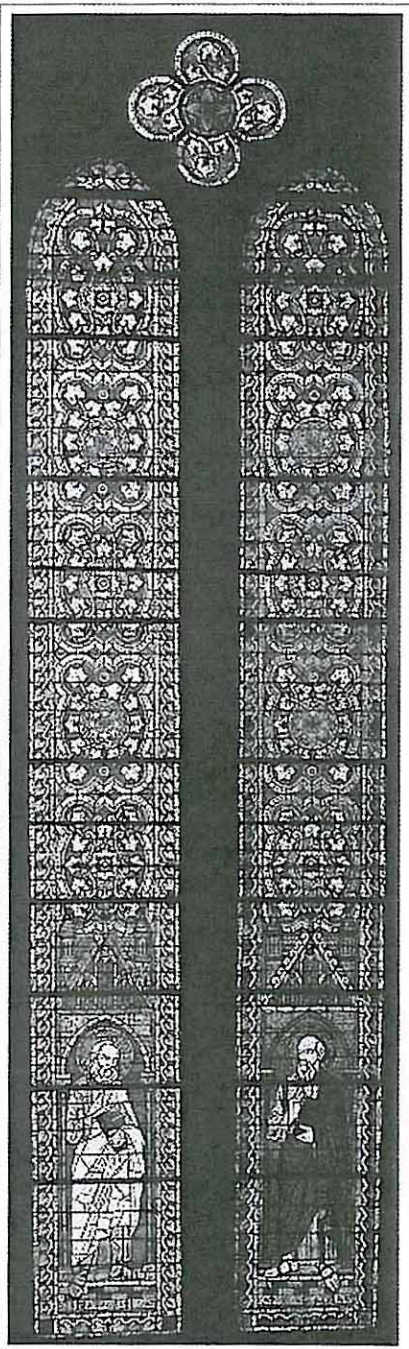


Tabella 2
Classi di requisiti del sistema.

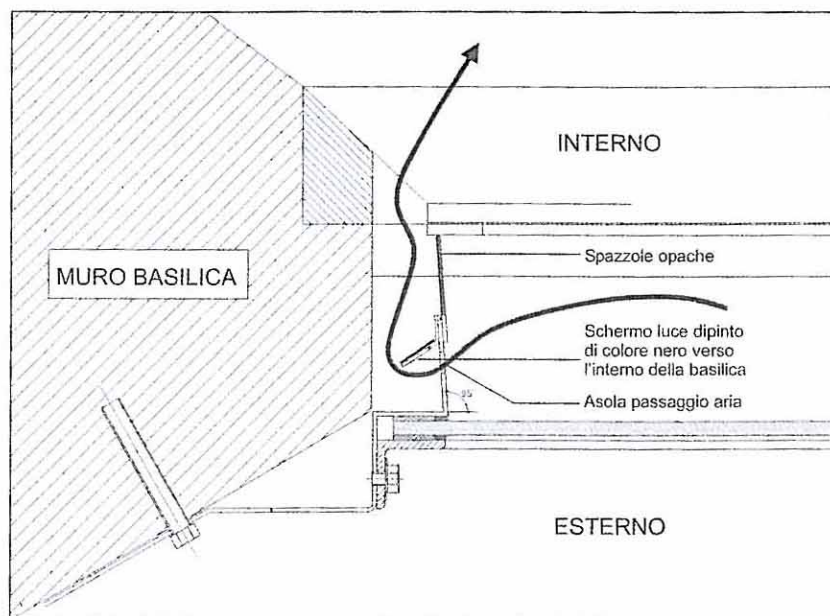
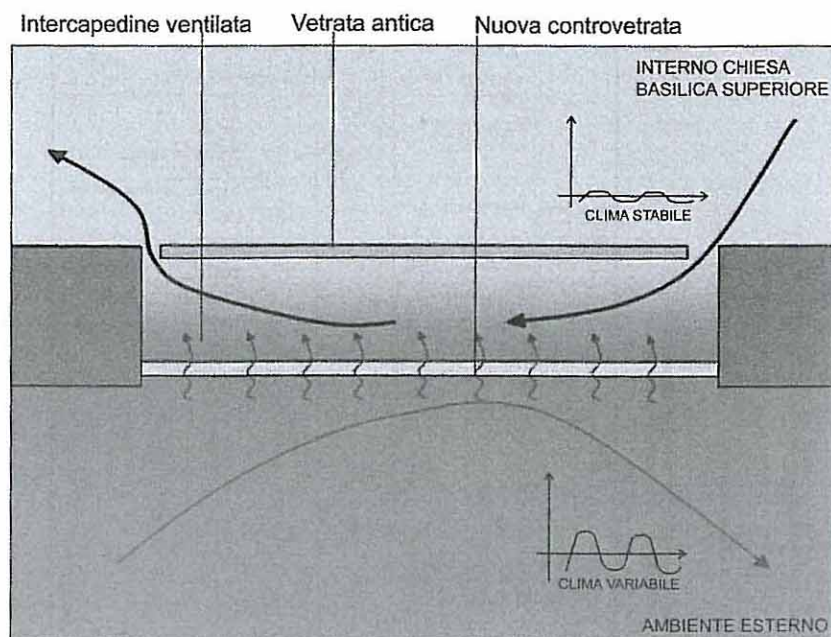


Figura 6
Rappresentazione del nuovo sistema vetrata-controvetrata: principi di funzionamento.

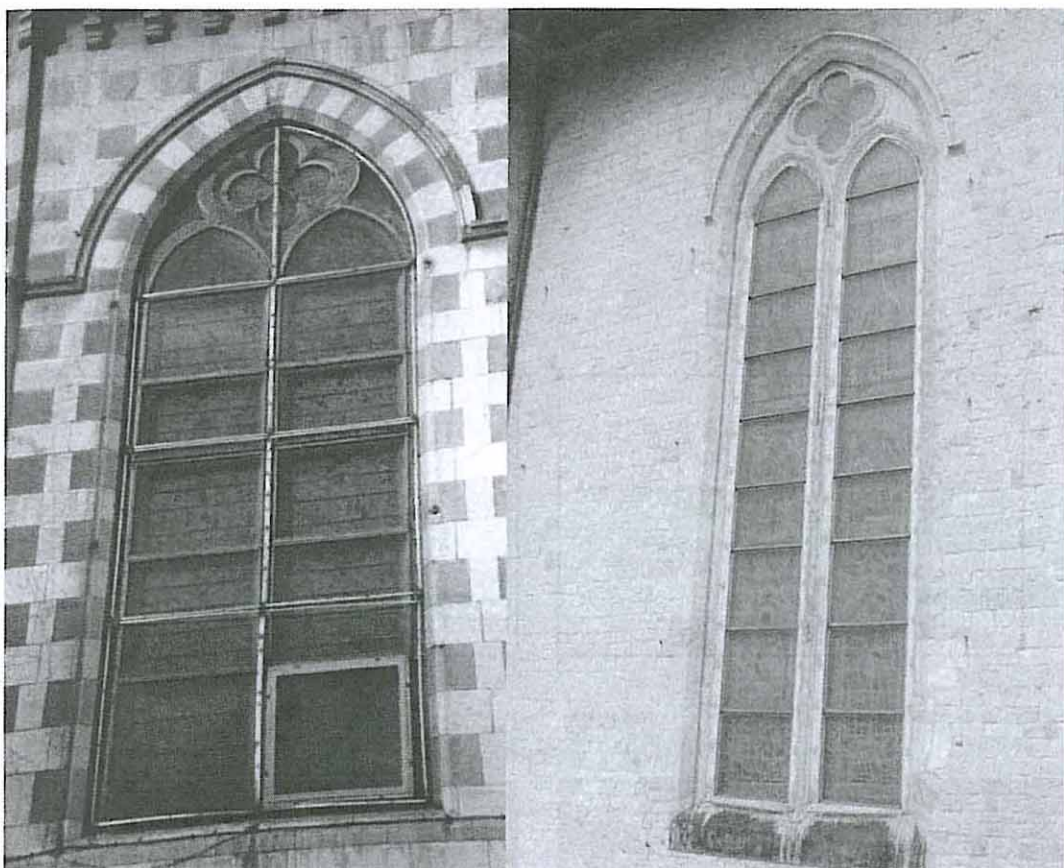


Figura 8
Confronto tra la vecchia controvetrata in ferro ed il nuovo sistema con infisso in acciaio e lastra in policarbonato.

L'obiettivo è stato quindi quello di cercare di realizzare un sistema integrato capace di regolare i carichi termici, così da creare condizioni simili su entrambi i lati dell'antica vetrata, evitando condizioni estreme di temperatura ed umidità nell'intercapedine, ed evitando che si formasse condensa. In questo modo le due facce del vetro antico si ritrovano soggette alle "medesime" azioni termoigrometriche e vengono quindi ridotti gli stress prodotti dall'asimmetria di tali azioni, come invece avveniva con le precedenti controvetrate.

Al fine di ridurre il surriscaldamento estivo, si è quindi realizzato un sistema di ventilazione naturale dell'intercapedine prendendo aria dall'interno della Basilica attraverso un numero distribuito di piccole

asole che corre lungo i bordi delle antiche vetrate. Nell'intercapedine è collocato un apposito dispositivo in grado di raccogliere ed espellere l'acqua di condensa che occasionalmente potrebbe formarsi in situazioni climatiche estreme, Figura 7.

La nuova controvetrata, così come tutto il sistema, è stato progettato e messo in opera garantendo la completa reversibilità dell'intervento. In particolare la nuova controvetrata è costituita da un infisso in acciaio inossidabile verniciato, che sorregge una lastra in policarbonato, Figura 8.

Questo materiale è stato scelto in quanto non produce alcun riflesso, non assorbe luce naturale, protegge dalla radiazione UV ed inoltre è leggero, resistente e di facile sostituzione. Il telaio è comunque

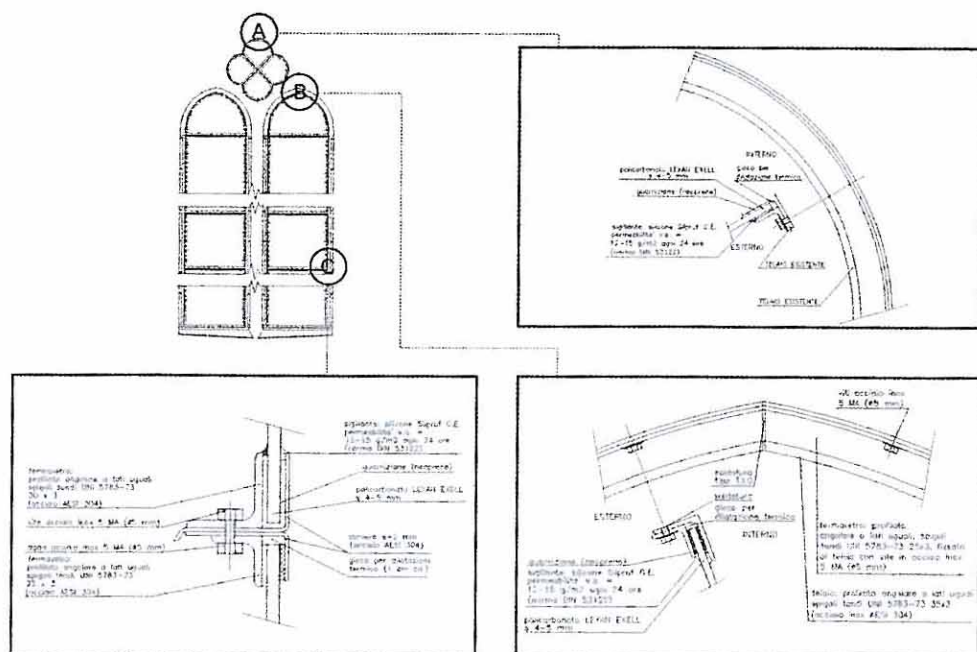


Figura 9
Particolari di progetto del telaio della nuova controvetrata.

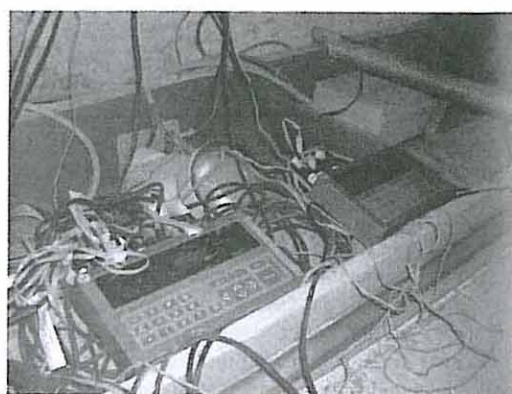


Figura 10
Monitoraggi: strumentazione utilizzata e posizionamento dei sensori.

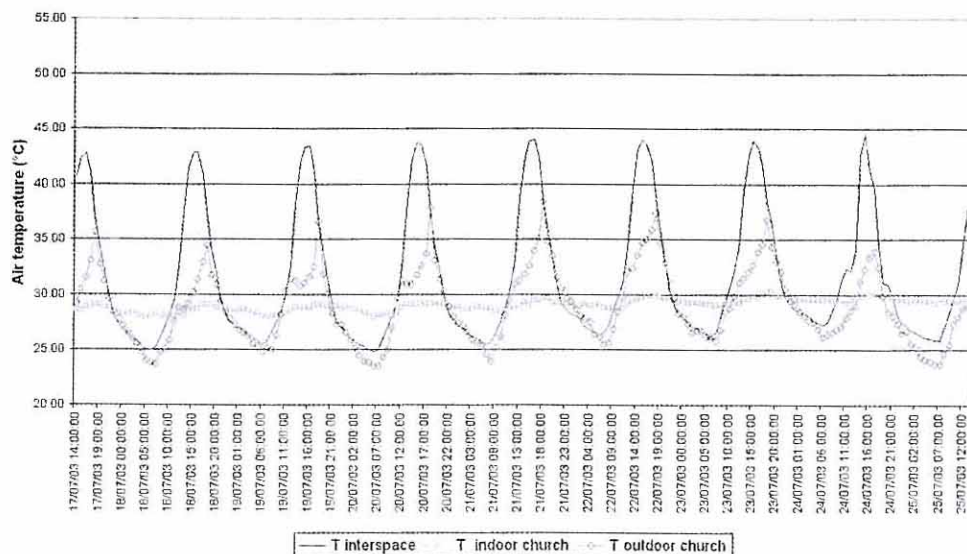


Figura 11

Temperatura esterna, interna e dell'intercapedine relativi alla vetrata n. IX provvista del vecchio sistema di protezione (il grafico riporta un dettaglio al 21 luglio 2003, rilievo effettuato per valutare le prestazioni residue della vecchia controvetrata su cui è in previsione l'installazione del nuovo sistema).

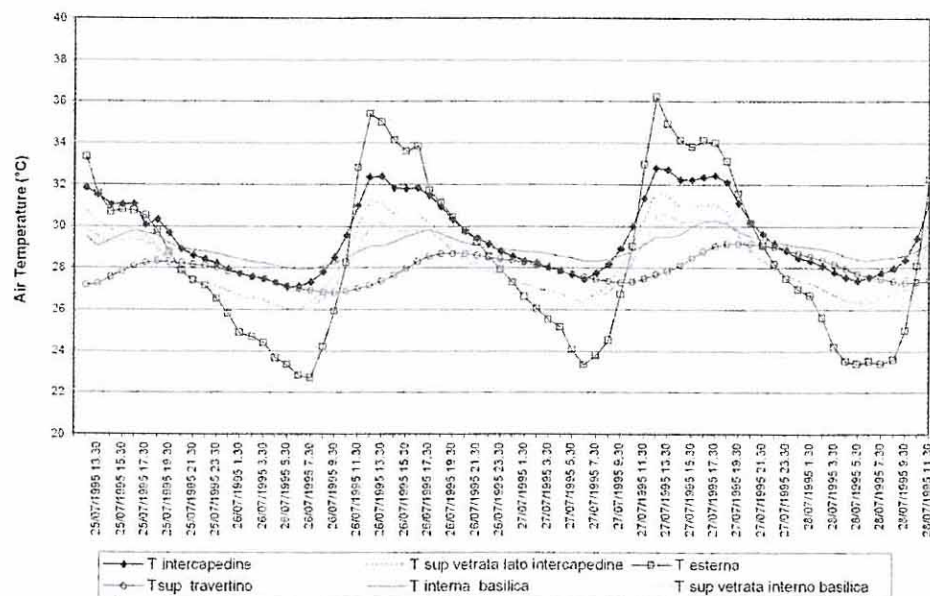


Figura 12

Temperatura esterna, interna, dell'intercapedine e temperature superficiali relativi alla vetrata n. XI in cui è installato il nuovo di protezione (il grafico riporta un dettaglio al 27 luglio 1995 del rilievo effettuato successivamente all'installazione del primo prototipo).

dimensionato per sostenere anche lastre in materiale diverso.

La tenuta all'aria rispetto all'esterno è assicurata da un'accurata sigillatura delle varie parti, Figura 9.

VERIFICA DELLE PRESTAZIONI IN OPERA

Il primo prototipo è stato installato nel 1995, seguito da altri negli anni successivi.

Al fine di verificare i risultati sul campo, due campagne di monitoraggio sono state condotte, nel 1995 (finestra XI) e nel 1999 (finestra XII), in differenti stagioni.

Nel corso del 2002-2003 una terza campagna è stata condotta sulla finestra IX, per valutare la prestazione residua delle vecchie controvetrate. Nel corso di tali osservazioni, un'ampia quantità di parametri ambientali è stata presa in considerazione.

I sensori, Figura 10, hanno rilevato nello stesso istante le condizioni climatiche in tre microzone climatiche: all'esterno e all'interno della Basilica e nella nuova intercapedine. Per tenere conto della stratificazione dell'aria nell'intercapedine (essa ha generalmente una sezione variabile da 4 a 7 cm, mentre le finestre sono alte 8 metri) i dati sono stati rilevati a due altezze differenti. Le temperature superficiali sono state misurate in vari punti, sia sulla faccia rivolta verso l'interno della chiesa, sia quella rivolta verso l'intercapedine, tenendo anche conto delle diverse colorazioni del vetro.

Le misurazioni sono state condotte con i seguenti obiettivi:

- raccogliere dati riguardanti l'impatto delle condizioni ambientali e il livello di stress subito dalle antiche vetrate;
- valutare come le condizioni climatiche all'interno dell'intercapedine siano influenzate da quelle interne alla Basilica piuttosto che da quelle esterne;
- confrontare lo stress a diverse altezze della finestra;
- determinare i benefici derivanti dal nuovo sistema protettivo, confrontandoli con i risultati ottenuti dalle vecchie controvetrate;
- mettere a punto linee guida per orientare interventi futuri nella medesima Basilica o in altri casi analoghi, anche in relazione al diverso orientamento solare delle finestre.

Le campagne di monitoraggio hanno confermato che le vecchie controvetrate non garantivano più alcuna protezione verso gli agenti climatici: la tempe-

ratura dell'intercapedine è completamente dipendente dalle condizioni esterne, e la mancanza di ventilazione provoca un pericoloso surriscaldamento in estate, Figura 11. Durante l'inverno l'elevata umidità e le basse temperature rendono probabile il rischio che si formi condensa sulla faccia del vetro antico.

Le indagini effettuate successivamente all'installazione dei nuovi sistemi passivi hanno riscontrato condizioni decisamente migliori, Figura 12. Le aperture che mettono l'intercapedine in comunicazione con l'interno della Basilica generano condizioni climatiche molto più stabili e assai meno dipendenti da quelle esterne: questo significa temperature più moderate nelle stagioni estreme, e in inverno ridotta umidità; le condizioni riscontrate sulle due facce delle antiche vetrate sono simili.

La seguente tabella 3 riassume i risultati del monitoraggio, confrontando le prestazioni ambientali della vecchia controvetrata con quelle del nuovo sistema.

Le campagne di misura hanno prodotto una grande quantità di dati; per investigarne il significato si è fatto ricorso a criteri statistici. Questi si dimostrano specialmente utili quando si riscontra che non sempre i parametri ottimali per la conservazione preventiva coincidono con i valori effettivamente misurati: è questo il caso in cui si deve comprendere fino a che punto lo scostamento costituisce un pericolo per gli oggetti da preservare, in base appunto alla sua frequenza ed intensità. Allo scopo, sono stati calcolati degli "indicatori di scostamento" per parametri come temperatura, umidità, ecc. Mediante tali indicatori si è stimato percentualmente il lasso temporale in cui le condizioni reali si collocano al di fuori da valori accettabili precedentemente definiti per la conservazione preventiva delle vetrate. Il diagramma della "frequenza cumulativa percentuale" (su base oraria) dà un'immediata idea della situazione; mediante essa si valuta facilmente se gli scostamenti dai parametri ottimali possono essere ritenuti accettabili (in quanto si realizzano per brevi periodi) o meno.

CONCLUSIONI

La procedura operativa definita per risolvere il problema specifico della compatibilità fra il bene storico e culturale complesso (Basilica) con un sistema moderno per la rifunzionalizzazione e protezione della vetrata (sistema), può ritenersi definitivamente conclusa con l'installazione del sistema sulle finestre XI e XII e

Valori rilevati	Protective glazing system	
	Vecchia controvetrata	Nuovo sistema
Media delle differenze di temperature superficiali fra la facciata interna del vetro e quella rivolta verso l'intercapedine		
Vetro blu		
Inverno	$\leq 17^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,75^{\circ}\text{C}$
Estate	$\leq 3^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,95^{\circ}\text{C}$
Vetro bianco		
Inverno	$\leq 11^{\circ}\text{C}$	$\leq 1,0^{\circ}\text{C}$
Estate	$\leq 4,5^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,4^{\circ}\text{C}$
Umidità relativa media dentro l'intercapedine		
Inverno	$\leq 85\%$	$\leq 75\%$
Estate	$\leq 80\%$	$\leq 65\%$
Rischio di condensazione superficiale nel periodo monitorato		
Inverno	alto	nessuno
Estate	nessuno	nessuno
Velocità dell'aria all'interno dell'intercapedine		
Inverno	$\leq 0,31\text{ m/s}$	$\leq 1\text{ m/s}$
Estate	$\leq 0,2\text{ m/s}$	$\leq 0,4\text{ m/s}$
	in entrambe le stagioni l'aria è in movimento nelle sole ore più calde della giornata	in entrambe le stagioni l'aria è in movimento costante durante tutta la giornata

Tabella 3

Confronto fra le prestazioni della vetrata IX (è ancora installata la vecchia controvetrata – monitoraggio effettuato nel 2003) e vetrata XII (nuovo sistema di protezione – monitoraggio effettuato nel 1999).

L'esecuzione degli ultimi monitoraggi che hanno permesso la validazione definitiva del metodo grazie al controllo della tenuta delle prestazioni nel tempo.

I risultati hanno mostrato come la soluzione tecnologica definita possa essere riproducibile sull'intero "corpus vitrearum" della Basilica e come a partire da questa esperienza si possano utilizzare i risultati in altri casi analoghi.

I monitoraggi effettuati, prima e dopo gli interventi di recupero, hanno dimostrato un significativo miglioramento delle condizioni di conservazione preventiva e dell'aspetto delle vetrate. Questa esperienza dimostra che in taluni casi le finalità di conservazione preventiva possono essere raggiunte anche attraverso l'impiego di accorgimenti "passivi". Tutto ciò è stato reso possibile grazie alla metodologia di intervento definita, introdotta attraverso un approccio al problema multidisciplinare che ha permesso di affrontare e risolvere contemporaneamente esigenze differenti.

NOTE

1. Il sistema è stato progettato e monitorato da Ricerca & Progetto - Galassi, Mingozzi e associati (Bologna), con il coordinamento di Angelo Mingozzi (monitoraggi: Giorgio Focchi e Sergio Bottiglioni); il restauro delle

vetrate è stato realizzato da Gianni Mecozzi di A.R.C.A. Bologna, sotto la supervisione ed indirizzo della Soprintendenza per i Beni Ambientali, Architettonici, Artistici e Storici dell'Umbria (Dott.ssa Francesca Cristoferi).

2. Una serie di informazioni dettagliate sulla ubicazione, dimensioni, cronologia, autore, stato delle vetrate, significati iconografici, oltre che ad una vasta documentazione iconografica da cui sono tratte parte delle immagini qui riportate (fig. 2 - immagine in alto a destra e figura inserita in tabella 2) sono disponibili in rete al sito:
<http://server.icvbc.cnr.it/bivi/regioni/umbria/assisi.htm>.
 Il sito rappresenta la "Banca Ipermediale delle Vetrate Italiane (BIVI)", realizzata a cura del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Conservazione e la Valorizzazione dei Beni Culturali. Le informazioni sono in via di completamento.
3. Elementi utili dalla definizione della metodologia di intervento sono stati desunti dall'esperienza condotta dall'autore nell'ambito della ricerca "Procedura di diagnosi dei problemi di convivenza e dei livelli qualitativi dei sistemi vecchio/nuovo" (1988, 1989), Gruppo di ricerca: Giuseppe Turchini (resp. scient.), Sergio Croce, Fabio Selva, Pierangelo Boltri, Pietro Andreotti, Maria Rosaria Motolese, Angelo Mingozzi. Contratto di ricerca fra l'I.M.I., su richiesta del Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica, e il "Consorzio di Ricerca per il recupero edilizio"; tema generale di ricerca: "sistemi diagnostici, procedurali e

tecnologie costruttive con carattere di innovazione, facenti ricorso anche alla piccola scala della componentistica e a montaggi rapidi, per il ripristino e il rinnovo edilizio anche con adeguamento antisismico".

4. Il principale risultato della ricerca "Procedura di diagnosi dei problemi di convivenza e dei livelli qualitativi dei sistemi vecchio/nuovo" (cfr. nota 3) è costituito da un manuale operativo da utilizzarsi nelle fasi decisionali degli interventi di recupero.

Esso è da intendersi come "guida" cioè come una serie di istruzioni sistematiche predisposte per gli operatori del processo di recupero edilizio al fine di renderne più agevole e più sicuro il compito e al fine di aumentare la probabilità di ottenere risultati accettabili e durevoli, economicamente e qualitativamente.

Particolarmente importante ai fini del presente lavoro sono risultati:

- la definizione e classificazione delle compatibilità;
- la definizione e classificazione dei requisiti;
- la definizione dei tipi di adeguamento e di intervento.

"Per valutare la qualità di relazione espressa come attitudine del prodotto di integrarsi dimensionalmente e funzionalmente nel preesistente sistema secondo un definito programma prestazionale, si è ritenuto necessario sostituire tale termine con quello più pertinente, per la valutazione della convivenza vecchio-nuovo, di *compatibilità*, in quanto questo ultimo attributo esprime sia il precedente concetto di relazione, sia un giudizio di valore. Infatti, affermare che un elemento è compatibile significa sia dare un giudizio sull'elemento stesso (qualità propria), sia sul rapporto di relazione con gli altri elementi (qualità di relazione).

Consequentemente con il termine di compatibilità si considerano differenti livelli di valutazione connessi alla qualità propria dell'elemento e alla qualità di relazione (tra l'elemento, le tecniche di intervento e l'oggetto preesistente), in rapporto al sistema degli obiettivi dell'operazione di recupero.

La compatibilità esprime anche un valore relativo, in quanto può esistere un elemento più o meno compatibile ed è il concetto che meglio traduce in termini operativi il tema di ricerca definito come *convivenza*.

Nel manuale è stata operata una vera e propria descrizione e classificazione dei vari tipi di compatibilità intesa non solo ad una acquisizione metodologica, ma direttamente finalizzata a fornire strumenti di guida per le operazioni progettuali e decisionali svolte dagli operatori del processo di recupero edilizio.

I vari tipi di compatibilità individuati all'interno del manuale sono i seguenti:

- *Compatibilità operativa:*

definisce i requisiti di operabilità del sistema V/N nella fase realizzativa; misura la qualità operativa dei sistemi V/N nella fase realizzativa.

- *Compatibilità Intrinseca:*

definisce i requisiti di resistenza e/o di comportamento

agli agenti interni e/o esterni nella fase realizzativa; misura la qualità intrinseca dei sistemi V/N.

- *Compatibilità di comportamento:*

definisce le variazioni di comportamento del sistema V/N rispetto al vecchio in relazione alle esigenze dell'utenza finale, al "tempo zero"; misura la qualità funzionale dei sistemi V/N e rappresenta quindi a ben vedere l'obiettivo primo e fondamentale degli interventi di recupero.

- *Compatibilità di durata:*

definisce l'attitudine del sistema V/N a durare nel tempo in assenza di manutenzione e in presenza di definite condizioni d'uso; misura la qualità di durata, sulla quale è opportuno ricordare che influiranno anche i gradi di compatibilità operativa, intrinseca e di comportamento, precedentemente definite, per il loro comportamento nel tempo.

- *Compatibilità di gestione:*

definisce i requisiti di manutenzione in presenza di definite condizioni per garantire il mantenimento di prestabiliti livelli prestazionali; misura la qualità di gestione dei sistemi V/N

- *Compatibilità di salvaguardia dell'ambiente:*

definisce le condizioni di impatto del sistema V/N con il contesto ambientale.

5. Le immagini sono tratte da: http://www.thais.it/speciali/assisi/Giotto/mappa_giotto.html. Il sito riporta la collocazione e le riproduzioni fotografiche del ciclo di affreschi di Giotto nella Basilica.

BIBLIOGRAFIA

- A.A. V.V. 2004. *Guidelines for the Conservation and Restoration of Stained Glass. The Corpus Vitrearum Medii Aevi*. <http://www.cvma.ac.uk/content/conserv/>.
- P. Boltri, A. Mingozzi, F. Selva. 1989. Procedure e strumenti per il controllo di qualità nel recupero. In *Innovazione*. n. 19-20, 13-24. Roma: ICIE.
- P. Boltri, S. Croce, G. Turchini, P. Andreotti, F. Selva, A. Mingozzi. 1992. Operation and Maintenance of Buildings. In *Poster Book Tome 1 - CIB '92*, 210-211. Montreal: World Buildings Congress.
- G. Brancato. 1996. La soluzione di un caso complesso, il progetto della finestra XI della Basilica Superiore di Assisi. In *Materiali Edili*. n. 11.
- G. Caterina. 1995. Il recupero degli infissi, capitolo 2. Torino: UTET.
- G. Marchini. 1973. *Corpus Vitrearum Medii Aevi, Italia, I - Umbria*. Roma: De Luca editore.
- A. Mingozzi, S. Bottiglion. 2005. An innovative passive system for preventing conservation of the ancient stained glass windows in the Assisi St. Francis Basilica superior church. In *Book of proceedings of the 1st International Conference Passive and low energy cooling for the built environment*, PALENC 2005, edited by

- M. Santamouris, 1:191-196. ISBN 960-88153-4-7; 960-88153-3-9.
- A. Mingozzi, S. Bottiglioni. 2001. Modulazione di luce e colore. In *Flare - Architectural Lighting Magazine*. n. 25, 96-103.
- A. Mingozzi. 1996. A Passive System for Rehabilitation and Preservation of Ancient Stained Glass Windows: the Case of the Superior Church of Assisi St. Francis Basilica. In *Proceedings, Conference on Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, 541-544. Berlin.
- F. Offenstein. 1988. *Compabibles, incompatibles - ou comment associer les matériaux de construction*. Paris: Editions du Moniteur.
- UNI 10829 – 1999. *Beni di interesse storico ed artistico - Condizioni ambientali di conservazione - Misurazione ed analisi*.
- VIDRIO Project. 2002, 2004. *Determination of conditions to prevent weathering due to condensation, particle deposition and micro-organism growth on ancient stained glass windows with protective glazing*. Contract n° EVK4-CT-2001-00045