

Studio del microclima nel Patriarcato di

Pec-Peje in Kosovo

di Carlo Cacace

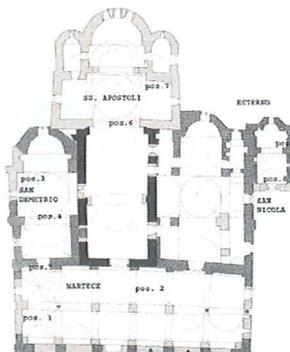
Nel complesso del patriarcato di Pec è stata condotta un'indagine microclimatica supportata dall'analisi termovisiva. La campagna è ancora in corso e ha permesso di definire la risposta dell'ambiente interno al Patriarcato alle sollecitazioni climatiche esterne e di avere conoscenza dei problemi dell'umidità nella muratura. Dopo più di un anno di rilevamenti, l'analisi dei dati ha permesso di escludere i rilevanti fenomeni di risalita capillare che erano stati ipotizzati nella definizione di un progetto di restauro.

L'Istituto Centrale per il Restauro in collaborazione con il ministero per gli affari esteri e con l'organizzazione non governativa Intersos partecipa ad un progetto umanitario nel Kosovo che attraverso attività di restauro promuove la formazione di operatori e tecnici locali per favorire lo sviluppo delle condizioni di convivenza pacifica tra le diverse etnie presenti. All'interno di questa attività nel Patriarcato di Pec/Peje (nella foto in alto) viene condotta, da settembre 2004, una campagna di rilevamento dei parametri microclimatici correlati con le indagini all'infrarosso termico (termovisione) per approfondire la conoscenza dei fenomeni termodinamici in atto nel complesso.

Con tale scopo nel complesso del Patriarcato è stata installata una strumentazione per il rilevamento dei parametri del clima esterno e del microclima interno. Sono stati individuati alcuni ambienti rappresentativi dell'intero complesso in riferimento alla loro esposizione geografica e allo stato di conservazione degli affreschi.

Gli ambienti campioni rappresentativi in cui sono stati installati i sensori di rilevamento sono:

- ◆ Il narcece
- ◆ San Demetrio
- ◆ SS. Apostoli
- ◆ San Nicola



Posizione dei sensori nel Patriarcato	
Zona Narcece	
Pos.1	Sensore di Temp sulla muratura t=1 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura t=2 a 2 m dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura t=3 a 3 m dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t11 -u111 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t12 -u112 a 3 m dal pavimento
Pos.2	Sensore di Temp e U _{rel} t13 -u113 a 5 m dal pavimento
Zona San Demetrio	
Pos.3	Sensore di Temp sulla muratura t=4 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura t=5 a 2 m dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura t=6 a 3 m dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t14 -u114 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t15 -u115 a 3 m dal pavimento
Pos.4	Sensore di Temp e U _{rel} t16 -u116 a 5 m dal pavimento
Pos.5	Sensore di flusso d'aria an2 ingresso di 5 m da San Demetrio
Zona SS. Apostoli	
Pos.6	Sensore di Temp e U _{rel} t18 -u118 a 8 m dal pavimento
Pos.7	Sensore di Temp sulla muratura t=7 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura t=8 a 2 m dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t16 -u116 a 50 cm dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} t17 -u117 a 2 m dal pavimento
Zona San Nicola	
Pos.8	Sensore di Temp sulla muratura interna t=9 a 1,5 m dal pavimento
	Sensore di Temp sulla muratura esterna t=10 a 1,5 m dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} in aria t19 -u119 a 1,5 m dal pavimento
	Sensore di Temp e U _{rel} in aria t20 -u120 a 1,5 m dal pavimento
Esterno	
Pos.9	Sensore di Temp e U _{rel}
	Sensore di irraggiamento solare
	Sensore di direzione del vento



Qui sopra, la disposizione dei sensori di rilevamento del microclima interno ed esterno al Patriarcato. A sinistra, particolare dei sensori di temperatura ed umidità relativa e temperatura a contatto sulla superficie installati nel Patriarcato sulla superficie affrescata (particolare della zona di San Demetrio)

Elaborazione dei dati

L'analisi è stata condotta ai fini dell'individuazione delle possibili cause della presenza di umidità da cui la chiesa sembrerebbe affetta. Occorre, a riguardo, usare la dovuta accortezza e l'acquisizione di dati sperimentali è stata utile a verificare se i fenomeni che hanno comportato movimenti di acqua all'interno delle strutture murarie lasciando segni visibili in superficie siano ancora in atto e a stabilirne l'origine. Sono state analizzate le relazioni che intercorrono tra le condizioni termiche e quelle igrometriche all'interno e all'esterno del Patriarcato seguendo l'evolversi nel tempo e prestando particolare attenzione ad una significativa tendenza delle variazioni della temperatura interna a seguire l'avvicendamento delle stagioni. Dall'elaborazione dei dati si è concluso che, dal punto di vista termico, il Patriarcato non può essere considerato un sistema isolato, sebbene dotato di una grande inerzia, che impedisce alle variazioni termiche giornaliere esterne di esercitare un effetto immediato e diretto sulle condizioni interne (figura 4). L'intero complesso, comunque, è influenzato dalle variazioni stagionali che si esercitano in modo più marcato nei periodi tra la primavera e l'inizio dell'autunno e si riduce nel periodo tra l'autunno e l'inverno. Allo stesso modo non possiamo dire che il Patriarcato sia un sistema chiuso, infatti un aumento della temperatura interna dovrebbe corrispondere una tendenza alla diminuzione dell'UR (figura 5), che come si nota non è così determinante. Il tasso di umidità relativa oscilla mediamente tra il 55 - 75% e questo è il segnale di variazioni del contenuto di vapore nell'ambiente interno (figura 6). Si ha un andamento piuttosto simile delle umidità specifiche interne e dell'esterno nel periodo maggio - ottobre che denuncia l'influenza delle condizioni igrometriche esterne sull'interno. Tale influenza si esplica attraverso scambi di vapore. Si è dimostrato come l'influenza termica esterna si eserciti diversamente nei periodi stagionali segnalati, tale fenomenologia si riscontra più chiaramente nella (figura 7), in cui vengono confrontati su scale differenti gli andamenti della umidità relativa interna al Patriarcato con la temperatura esterna.

Dal confronto si ha che nei periodi tra l'autunno e l'inverno l'andamento interno della umidità relativa non viene influenzato dai cicli termici esterni. Si osserva che le zone Nartece, SS. Apostoli, e San Nicola differiscono per l'umidità relativa tra il 7 - 10% circa, ma gli andamenti giornalieri risultano

stabili. Al contrario, nel periodo che va dalla primavera alla fine dell'estate le variazioni igrometriche interne risentono del riscaldamento generale del clima esterno, con comportamenti che risultano meno stabili nelle 24 ore ed inoltre si riducono notevolmente i gradienti della umidità relativa tra le varie zone del Patriarcato.

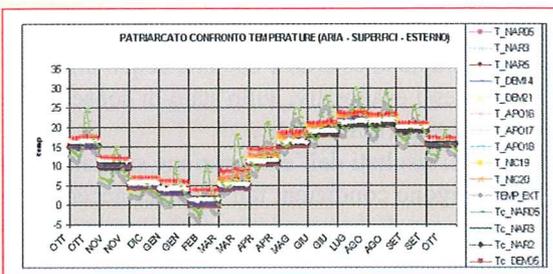


Figura 4 - Confronti degli andamenti del giorno medio tipico dei valori di temperatura dei singoli punti di misura

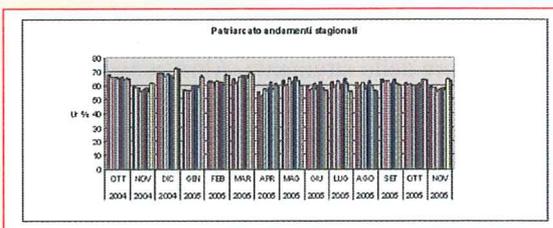


Figura 5 - Istogramma del confronto dei valori mensili delle umidità relative dei singoli punti di misura



Figura 6 - Confronto degli andamenti del giorno medio tipico degli andamenti del vapore dei singoli punti di misura

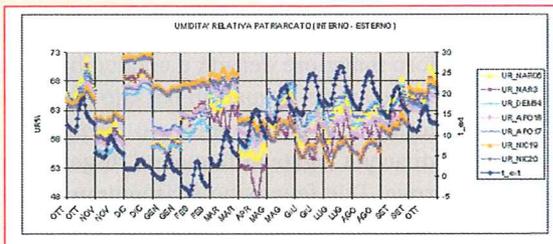


Figura 7 - Confronto su scale diverse dell'andamento del giorno medio tipico della temperatura esterna e delle umidità relative dell'interno, dei singoli punti di misura

Il comportamento dell'aria interna del Patriarcato è caratterizzato dalle sollecitazioni dovute all'aumentare della temperatura esterna, con l'approssimarsi delle stagioni più calde, che come conseguenza determinano variazioni del vapore. La presenza di umidità nelle zone basse fa supporre la presenza di risalita capillare, come sembrerebbe aspettarsi. Occorre capire se da tale fenomenologia derivano problemi attivi di evaporazione dalle superfici, nell'ipotesi che vi sia presenza di acqua all'interno della parete esposta a nord, a contatto con il terrapieno esterno e che tale acqua influisca con processi evaporativi sullo stato di conservazione delle superfici murarie.

Dai risultati dell'elaborazione sui dati rilevati non emergono condizioni tali da poter accertare la presenza di fenomeni rilevanti di evaporazione in riferimento alla umidità relativa registrata nelle zone sia in prossimità della parete che a distanza da essa, assumendo mediamente lo stesso valore con differenze positive e negative che raramente raggiungono il 3-4% e che rappresentano anche l'errore dello strumento. Altre considerazioni possono essere fatte sulla base dell'osservazione diretta dei danni causati dall'umidità all'interno della chiesa. La presenza di macchie e aloni di colore diverso, di sollevamenti della pellicola pittorica, fenomeni evidenti sulle superfici interne: l'evidenza di tali danni risulta presente non solo in corrispondenza della porzione nella parte di essa a contatto con il terrapieno ma anche in zone più alte; questo è sintomo del fatto che la muratura ha in qualche modo assorbito e ceduto acqua nel tempo. Occorre determinare se si tratta di fenomeni ancora in atto oppure se si sia creato un equilibrio termodinamico al variare delle condizioni al contorno (creazioni di intercapedini, impermeabilizzazioni, rifacimento dei pluviali, del tetto). Da una preliminare indagine visiva si segnala la presenza sulle superfici affrescate di macchie più scure e più chiare che sembrano ricalcare la forma degli strati sottostanti, evidentemente più fredde per la loro maggiore densità e conducibilità ed in corrispondenza delle quali in passato si è avuta, forse, formazione di condensa e/o formazioni di gocce di acqua legate ai fenomeni di gelività più che altrove. Tale fenomeno è riscontrato in modo prevalente nelle zone del Nartece di San Demetrio e dei SS. Apostoli; i dati registrati, infatti, (figura 8) mostrano che le superfici hanno raggiunto diverse volte valori sotto lo zero: ovviamente questo fenomeno è rischioso perché l'aumento di volume

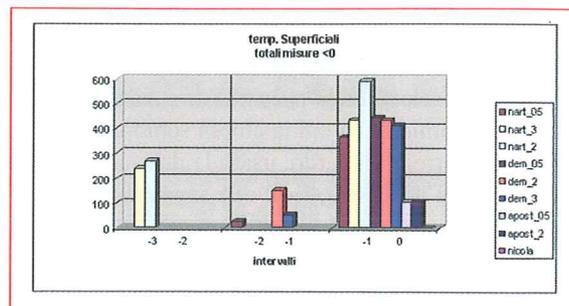


Figura 8 - Frequenza dei fenomeni di gelività interna al Patriarcato

dell'eventuale acqua presente negli strati superficiali può provocare stress fisici.

In conclusione nella parete vi è presenza di acqua assorbita per infiltrazione orizzontale dal terrapieno che però non ha modo di raggiungere gli strati rivolti verso l'interno per via delle caratteristiche della muratura. Tale situazione faciliterebbe l'avanzamento dell'acqua in direzione verticale. A questo punto potrebbe succedere che l'acqua dopo essere arrivata in fondazione abbia modo di risalire per capillarità interessando questa volta l'intero spessore della muratura ma l'ipotesi è tuttavia da scartare in quanto se vi fosse presenza di acqua in tutta la sezione muraria rileveremmo chiari segnali di un fenomeno di evaporazione. Tale fenomeno viste le misurazioni effettuate dovrebbe avvenire nel periodo che va da marzo a settembre. Ma le analisi condotte sui dati registrati e presentati precedentemente hanno escluso tale fenomenologia.

A sostegno dell'indagine microclimatica si sono eseguite indagini per il rilevamento termico delle superfici attraverso strumenti di registrazione dell'infrarosso termico (termovisione), che permettono lo studio delle disomogeneità termiche superficiali che possono essere attribuite a differenti spessori della muratura a presenza di vuoti e di pieni e soprattutto alla presenza di acqua nella muratura. L'acquisizione termovisiva, a differenza di quella microclimatica, è continua nello spazio e discreta nel tempo ed è supportata dal rilevamento puntuale dei sensori del rilevamento ambientale per un confronto qualitativo e quantitativo della distribuzione termica sulle superfici.

Conferma di quanto detto nell'elaborazione dei dati, si è avuta dal confronto delle riprese effettuate a settembre 2004 e maggio 2005 proprio con il supporto della termovisione, osserviamo come siano diminuite le zone (blu) in cui si riscontra presenza di umidità (figura 9,10).

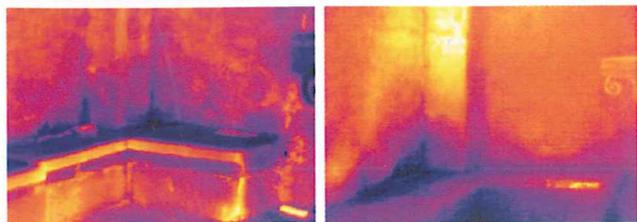


Figura 9 (a sinistra) - Ripresa termovisiva della parete destra del narteca a settembre 2004

Figura 10 (a destra) - Ripresa termovisiva della parete destra del narteca a maggio 2005

L'umidità presente in fondazione potrebbe non avere modo di risalire perché intercettata e/o smaltita in profondità da un equilibrio termodinamico ormai raggiunto dall'ambiente. In tal caso il fronte di umidità si attesterebbe in posizione centrale lungo la sezione della muratura, cioè laddove la muratura è più incoerente trovando così l'acqua una via preferenziale di avanzamento verso il basso. Eventuali fenomeni di evaporazione che interessano questi strati più interni sarebbero di scarsa entità e molto lenti nel tempo per via della distanza che separa il fronte umido dalla superficie interna di evaporazione. Inoltre, avendo riscontrato come la stabilità igrometrica all'interno (periodo autunno - inverno) viene modificata dalle variazioni stagionali termiche esterne al sopraggiungere del caldo (periodo primavera - fine estate) comporta che i movimenti di vapore tra le pareti e l'aria in prossimità delle murature sono minimi. Invece il Patriarcato risente delle condizioni esterne, le variazioni termodinamiche che comportano un maggior scambio nelle zone alte dell'aria.

Analisi dei dati

I maggiori rischi presenti nel Patriarcato sono dovuti alla possibilità che sulla superficie della muratura si raggiungano valori di temperatura sotto lo zero con conseguente rischio per la pellicola pittorica. Essi sono dovuti al diverso comportamento fisico dei vari strati di preparazione presenti. L'acqua contenuta nella muratura, non trovando possibilità di grossi fenomeni di evaporazione, può produrre danni attraverso i fenomeni della condensazione o della gelività: la gocciolina aumentando di volume può provocare cadute o sollevamenti della pellicola pittorica.

La risalita capillare, come già dimostrato, non produce evidenti momenti di evaporazione ma la presenza di minimi gradienti tra i valori di umidità

relativa registrati nei singoli ambienti, permettono di affermare che ci sono fenomeni di assorbimento ed evaporazione per igroscopicità dall'aria.

Tali fenomeni sono evidenti nei periodi stagionali in cui alle variazioni igrometriche corrispondono variazioni dell'umidità specifica; questo significa che localmente esiste una distribuzione del vapore libero nell'ambiente lungo la verticale muratura - aria. Questi fenomeni sono molto più lenti dell'evaporazione dovuta a risalita capillare e quindi non permettono raffreddamenti degni da nota sulla superficie muraria. E' per questo che i sensori posti sulla superficie non rilevano variazioni significative della temperatura. Dal punto di vista termodinamico, però, è possibile comprendere in quali circostanze fisiche avviene il fenomeno dell'evaporazione o dell'assorbimento del vapore libero in aria. L'umidità relativa rappresenta il grado di saturazione dell'aria umida ed esso dipende tanto dalla quantità di vapore presente che dalla temperatura, quindi l'umidità relativa può essere considerata un parametro che esprime la capacità dell'aria di accettare evaporazioni. Tale parametro però non è invariabile per una data massa di aria, e perciò non è da sola capace di individuare se questa stia o no scambiando vapore acqueo con l'esterno o le pareti. La grandezza invariante in questo senso è l'umidità specifica che, trattandosi di un rapporto ponderale, non dipende dalla temperatura e può quindi descrivere il comportamento di una determinata massa di aria, almeno finché non avvengono aggiunte o sottrazioni di vapore dall'esterno. Se si vuole comprendere se ci si trova dinnanzi ad una cessione o un assorbimento di vapore sulle pareti occorre fissare l'attenzione sui gradienti igrometrici; considerando che ogni assorbimento di vapore da parte della parete causa un depauperamento della quantità di vapore presente nell'aria circostante al punto esaminato, ad un apparente essiccamento dell'aria e ad una successiva migrazione di vapore dalle parti più ricche verso quelle depauperate. Ne segue quindi che una diminuzione locale di umidità relativa accompagnata da un aumento di vapore, è correlabile con una evaporazione; mentre un aumento locale di umidità relativa e una diminuzione di vapore è correlabile con un assorbimento. Il comportamento dell'aria nella zona bassa quota 0,50 cm rispetto alle zone in quota a 3 metri e a quella di riferimento 5 m al centro dell'ambiente Narteca cambia allo scorrere delle stagioni.

In particolare, sempre nei mesi aprile, maggio e

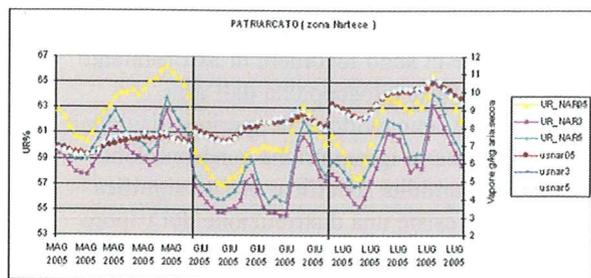


Figura 11 - Confronto degli andamenti del giorno medio tipico della zona del Nartece in cui si evidenzia un fenomeno di evaporazione nelle zone in alto della muratura

giugno, è osservabile in figura 11 come su scale diverse siano rappresentate le curve dell'umidità relativa e del vapore e che a maggio l'umidità relativa in corrispondenza della muratura nella parte bassa a 50 cm tende ad avere un andamento crescente di un 4-5%, mentre le due zone sia quella a 3 metri in prossimità della parete che quella di riferimento in aria nel Nartece presentano una diminuzione del 6-8% oraria. Esaminando il solo mese di maggio osserviamo come il vapore abbia un incremento, mentre come abbiamo visto nella zona alta vicino alla parete (quota 3m) e nel centro dell'ambiente (quota 5m) abbiamo un decremento della umidità relativa. Riprendendo quanto detto precedentemente ne segue che una diminuzione locale di umidità relativa accompagnata da un aumento di vapore, è correlabile con fenomeni di evaporazione.

Conclusione

La metodologia microclimatica ed il supporto dell'indagine termovisiva hanno permesso di caratterizzare i periodi di rischio in cui l'ambiente esercita la sua aggressione sulle superfici affrescate conservate, attraverso il rilevamento e la memorizzazione in continua dei parametri microclimatici e le escursioni termoigrometriche rischiose per l'opera. Il comportamento termoigrometrico del sistema Patriarcato (dove per sistema si intende l'ambiente con le opere in esso contenute) è risultato governato in prima istanza dalle condizioni meteorologiche locali dovute ai cicli stagionali e ha permesso di definire:

- ◆ flussi di energia termica tra ambiente e struttura
- ◆ movimenti di acqua nei suoi stati di aggregazione
- ◆ le possibili interferenze con le opere in esso conservate

Inoltre, l'acquisizione dei dati, rappresenta una notevole base dati che permetterà di seguire l'evoluzione dell'ambiente, attraverso campagne mirate esclusivamente nei periodi in cui è emersa essere più evidente la relazione con le dinamiche termoigrometriche esterne e controllare i risultati nell'ambiente di eventuali interventi di restauro che verranno eseguiti nel tempo.

Bibliografia

Accardo G., Cacace C., Rinaldi "Methodology for the use of microclimatic measurements: Applications in underground chamber" in *Scientific Methodologies Applied to Works of Art*, Proceedings of the symposium Firenze 2-5 maggio 1984, pag. 88-94,

Accardo G., Cacace C., Rinaldi R. "La tomba dei Rilievi in Cerveteri: applicazione della metodologia climatica" in *Etruria Meridionale: Conoscenza, Conservazione, Fruizione*, Atti del Convegno Viterbo 29-30 novembre 1985, pp. 131-136,

Accardo G., Cacace C. "Il Restauro della Cripta di Anagni" - "Indagini Microclimatica: Diagnosi e monitoraggio" Istituto Centrale per il Restauro, Artemide Editori, 2003, pp.203-220

Nugari M.P., Roccardi A., Cacace C. "Il Restauro della Cripta di Anagni" - "Analisi Biologiche: Biotederioeamento Aereologia e Microclima" Istituto Centrale per il Restauro, Artemide Editori, 2003, pp.221-228

Accardo G., Cacace C., D'Ercoli G., Rinaldi R. "Monitoraggio ambientale: analisi e tecniche di intervento strumentale sul territorio", in Atti della 3° conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'arte, Viterbo 4-8 ottobre 1992, pag 863- 880,

Bennici A., Cacace C., Gerardi G. "Tecniche informatiche per l'elaborazione di dati microclimatici acquisiti con centralina automatica. Esempio di applicazione nel caso del Duomo di Todi", in Atti della 3° conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'arte, Viterbo 4-8 ottobre 1992, pagg 897-912,

Cacace C., Gonzales M.J. "Monitoraggio ambientale della Capilla Real di Granada. Attuazione di un intervento programmato nei beni culturali spagnoli", in Atti della 3° conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'arte, Viterbo 4-8 ottobre 1992, pagg. 917-934,

M. Bonelli, C.Cacace, G.Capponi, F.Fumelli, B.Provinciali, A.M.Marinelli, P.Santopadre "La Cappella Serra nella chiesa di N.S.del Sacro Cuoregà San Giacomo degli Spagnuoli a Roma: problemi di interazione tra pittura murale - supporto - ambiente. In atti del XXI CONVEGNO INTERNAZIONALE SCIENZA E BENI CULTURALI - Università di Padova, università CA' Foscari di venezia università di Genova, università mediterranea di Reggio Calabria e Politecnico di Milano - Bressanone 12-15 luglio 2005

Autore

CARLO CACACE

Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Istituto Centrale per il Restauro - Laboratorio di fisica e controlli ambientali