Il microclima come contributo alla definizione dei fattori di rischio sul territorio

di GIORGIO ACCARDO, ELISABETTA GIANI,
ROBERTO RINALDI, CARLO SECCARONI

L'esperienza maturata nel corso dell'ultimo ventennio in tema di salvaguardia del patrimonio ha messo in risalto il peso che nel campo del restauro assumono le sollecitazioni ambientali in quanto cause di degrado nei confronti dello stato di conservazione del manufatto.

Le osservazioni sulla durata e sugli effetti di restauri realizzati anche in tempi non lontani, ossia minori di 30-40 anni, hanno portato gli specialisti del settore a sviluppare strategie di tipo territoriale finalizzate alla programmazione degli interventi e soprattutto alla definizione delle modalità di manutenzione ordinaria e della frequenza con cui effettuare tali interventi di manutenzione. Ciò ovviamente nell'intento di sostituire l'intervento a danno avvenuto con l'intervento preventivo.

In questo ambito il microclima pesa nella definizione dell'indice di pericolosità ambientale per un dato manufatto in un dato sito, unitamente agli indici di pericolosità statico-strutturale, antropica e di vulnerabilità del manufatto. Esso contribuirà alla definizione del rischio cui è sottoposto il monumento considerato su scala territoriale nazionale.

Risulta pertanto fondamentale stabilire metodologie standard per l'acquisizione dei dati.

In questo lavoro si parlerà pertanto della strategia per la realizzazione di una campagna microclimatica e delle sue potenzialità in rapporto allo studio del patrimonio artistico sul territorio. In particolare si accennerà ad alcuni casi particolari relativi a campagne di indagini microclimatiche condotte dal Laboratorio di Fisica e Controlli Ambientali dell'I.C.R.; esse sono state condotte presso il Teatro Romano di Aosta, presso il Protiro di S. Ciriaco in Ancona, all'interno ed all'esterno della Cappella di S. Brizio nel Duomo di Orvieto.

Prima di tutto occorre puntualizzare il concetto di microclima e come può essere progettata e condotta una campagna microclimatica.

Mentre per clima si intende l'insieme delle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità relativa, pressione barometrica, velocità del vento) che caratterizzano un'area geografica determinata, per microclima si intende invece l'insieme delle condizioni climatiche esistenti in una determinata area. Tale area può essere delimitata da un ambiente chiuso sulle cui dimensioni non vengono posti limiti (dalla bacheca, al museo, fino all'interno di una chiesa di vaste dimensioni), oppure può essere relativa ad un ambiente aperto, purché siano prese in considerazioni le condizioni climatiche esistenti nelle immediate vicinanze di un manufatto, intendendo con ciò qualche centimetro di distanza dalla sua superficie.

In conseguenza di quanto detto si può usare ancora il termine "microclima" per manufatti esposti all'aperto; localmente i parametri che lo definiscono vengono influenzati dalle situazioni al contorno, come ad esempio: le interazioni con gli edifici circostanti, il traffico locale, l'impiego cui sono adibiti il manufatto e gli edifici circostanti (scuola, museo, centro commerciale, officine, ecc.), utilizzazione legata a particolari orari che influenzano il microclima nel tempo.

Una volta chiarito cosa si intende per microclima è necessario isolare le grandezze idonee a rappresentarlo, infatti l'insieme delle grandezze atmosferiche sopra citate può essere ulteriormente ampliato.

Alla temperatura ed alla umidità relativa si affiancano tutte quelle grandezze da esse derivate mediante opportuni algoritmi come l'umidità specifica (grammi di vapore su chilogrammi di aria secca), temperatura di rugiada (temperatura alla quale inizia a condensare l'acqua presente sotto forma di vapore), utili a valutare i processi di scambio termoigrometrico con il manufatto.

Per la definizione di microclima possono essere prese in considerazione altre grandezze fisiche come: la misura delle precipitazioni atmosferiche, l'intensità dell'irraggiamento solare che investe il manufatto, e grandezze di differente natura (soprattutto chimica) come la qualità dell'aria, ecc... Queste ultime grandezze sono in genere legate al problema dell'inquinamento.

Sembra a questo punto opportuno sottolineare il forte legame esistente fra microclima e gli effetti dei fattori inquinanti sui manufatti. Infatti, in assenza di inquinamento, i danni dei manufatti, soprattutto di quelli esposti all'aperto, risulterebbero legati ai soli agenti termoigrometrici (pioggia, vento, cicli gelo-disgelo, condensa, ecc.). Nelle condizioni attuali l'atmosfera è contaminata da numerosi inquinanti non circoscritti alla sorgente ma diffusi su ampie

zone mediante le perturbazioni atmosferiche e la circolazione d'aria. Scendendo ancora più nel particolare è lo studio della dinamica microclimatica tra manufatto ed ambiente che rende conto di come gli agenti inquinanti sono veicolati sulla superficie ed all'interno dei vari materiali costitutivi e di come questi ne determinino il deterioramento.

Lo studio e la registrazione delle grandezze inerenti il microclima e la qualità dell'aria possono generare un sistema ridondante di informazioni, poiché, come si è detto, alcune di queste sono interdipendenti o comunque definiscono parametri non sempre direttamente legati al fenomeno di degrado ed ai relativi problemi di conservazione ed intervento sul manufatto. È pertanto necessario ottimizzare la scelta, la distribuzione ed il numero dei parametri da misurare in relazione alle problematiche specifiche del caso considerato.

Dallo studio delle grandezze microclimatiche è possibile identificare e valutare l'entità di tutti gli scambi tra ambiente e manufatto.

Per tale motivo il microclima può essere un opportuno indice della qualità di conservazione e della "vita" del manufatto. Tramite le informazioni ricavabili dal suo studio è possibile costruire modelli che simulino il comportamento del manufatto nel tempo secondo diverse scelte operative. Tali informazioni sono utilizzabili per prevedere quella che sarà la "dinamica conservativa" da intraprendere: possibilità di intervenire o meno, differenti soluzioni proposte, simulazione di eventi traumatici particolari, ecc... È importante sottolineare che questo tipo di informazione consentirà di realizzare tutta una serie di interventi a scopo preventivo.

Lo studio delle grandezze microclimatiche deve essere condotto da un punto di vista dinamico poiché più che la fuoriuscita da intervalli prefissati di queste grandezze, oltrepassando valori critici di soglia, sono spesso le variazioni di queste grandezze le cause innescanti i fenomeni di degrado, o per lo meno, sono loro che accelerano il naturale invecchiamento dei materiali.

Tali variazioni possono presentarsi sotto forma di trauma quando ad esempio la grandezza varia in maniera ampia e repentina. Eventi traumatici possono comunque avvenire anche nel caso in cui la variazione rimane contenuta all'interno di un intervallo definito come ottimale per la corretta conservazione del manufatto.

Quando variazioni anche di piccola entità, insignificanti prese singolarmente, si ripetono con una certa frequenza o addirittura in modo ciclico, si generano degli stati di tensione dannosi alla vita del manufatto.

Oltre allo studio dinamico ha particolare importanza lo studio delle distribuzioni spaziali. Con tale studio vengono individuati ad esempio tutti i punti

con comportamento anomalo e pertanto sicuramente legati all'origine di una conservazione non corretta o, addirittura, di degrado.

Non esiste in assoluto un criterio per la scelta del numero delle variabili da studiare e del posizionamento dei punti di rilevamento. Tale scelta va operata in funzione delle caratteristiche del manufatto (geometria, dimensioni, esposizione, stato di conservazione, interferenza con ambienti o strutture esterne o adiacenti, ecc.), degli obiettivi prefissati (studio delle cause di degrado, acquisizione di dati preliminari ad un intervento, monitoraggio e controllo).

In generale le campagne di misura hanno una durata compresa tra dodici e trenta mesi in modo da garantire l'acquisizione dei dati e consentire una statistica relativa almeno ad un intero ciclo annuale. Un primo esempio di campagna microclimatica è costituito da quella eseguita presso il Teatro Romano di Aosta. Tale manufatto presenta seri problemi di degrado dovuti soprattutto all'azione degli agenti inquinanti sul materiale con cui è costruito, la puddinga, conglomerato la cui matrice è particolarmente soggetta a fenomeni di erosione per cui, una volta innescati i processi di degrado,si altera molto velocemente. Il corpo di fabbrica principale, tra quelli rimasti, è costituito dal muro perimetrale dietro la scena. Questa parete, esposta ormai su entrambi i lati agli agenti atmosferici, è stata idealmente suddivisa con un grigliato 3 x 3 al fine di ottenere una mappatura spaziale; sono state così ottenute nove zone per ogni faccia della parete. Al centro di ciascuna zona sono state posizionate delle sonde per la registrazione dei valori di umidità relativa e di temperatura in aria. Inoltre, sullo stesso grigliato, sono state scelte otto zone, quattro zone sulla facciata anteriore e quattro corrispondenti sulla facciata posteriore, per la registrazione delle temperature superficiali della parete, ponendo le sonde direttamente a contatto con la pietra. In tal modo si è avuta la possibilità di controllare l'andamento delle temperature lungo direttrici così schematizzate:

parete

aria faccia anteriore — faccia posteriore aria

Il quadro della situazione microclimatica è stato completato allestendo ad una certa distanza dal teatro una centralina meteorologica che ha acquisito dati di temperatura, di umidità relativa, per il confronto con quelli registrati dalle altre sonde che registravano i valori di temperatura dell'aria e di umidità relativa poste a qualche centimetro di distanza dalla superficie della parete. A queste sono state aggiunte delle sonde per la registrazione dei valori di pres-

sione barometrica, di velocità e direzione del vento.

Un secondo esempio è costituito dalla campagna microclimatica eseguita presso il protiro della Cattedrale di S. Ciriaco in Ancona. Le caratteristiche di degrado erano abbastanza simili alle precedenti (croste nere, erosione, decoesione della pietra), pure se più articolate a causa dell'ambiente marino, della zona portuale sottostante e dell'accoppiamento di materiali costituenti di differente natura.

Poiché la campagna di indagini microclimatiche è stata focalizzata al solo protiro, le dimensioni della zona di cui si dovevano studiare le distribuzioni spaziali risultavano limitate. Per questo motivo sono stati individuati solo 8 punti per il rilevamento dei valori della temperatura superficiale, della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa. Quattro di questi punti erano interni al protiro, in corrispondenza dello strombo del portale, due nella fascia superiore e due in quella inferiore. I due punti posti nella fascia superiore, uno a destra ed uno a sinistra, erano muniti di anemometri per misurare l'entità della circolazione d'aria. Gli altri quattro punti di misura sono stati posizionati, due a destra e due a sinistra del protiro in corrispondenza dei quattro punti interni al protiro.

Anche in questo cantiere il quadro della situazione microclimatica è stato completato allestendo in corrispondenza della lunetta, ad una certa distanza dalla parete, una centralina meteorologica che ha acquisito dati di temperatura, di umidità relativa, per il confronto con quelli registrati dalle altre sonde, e, in aggiunta, di pressione barometrica, di velocità e direzione del vento.

Il cantiere allestito presso la Cappella di San Brizio nel Duomo di Orvieto è stato in assoluto quello più vasto ed impegnativo, poiché si trattava di campionare rigorosamente gli scambi di umidità tra ambiente e pareti, le quali dovranno essere bonificate dalle infiltrazioni facilmente riconoscibili mediante l'affioramento di sali solubili sulla superficie degli affreschi.

A tale fine le pareti sono state suddivise regolarmente, all'interno sono state posizionate sonde per la registrazione delle temperature superficiali, delle temperature in aria poste a pochi centimetri delle pareti, dell'umidità relativa ad anemometri per misurare l'entità della circolazione d'aria.

Con lo stesso criterio sono state posizionate delle sonde anche in un ambiente sottostante la cappella, nel sottotetto ed all'esterno. Una centralina meteorologica posta sulla sommità del tetto era provvista pure di anemogoniometro (direzione del vento), anemometro (velocità del vento), pluviometro, solarimetro e barometro. Il numero di sonde utilizzate in questo caso è di 140, gestite da una workstation costituita da un'interfaccia collegata ad un computer.

Conclusioni

I dati acquisiti nel corso di queste estese campagne di misura hanno costituito un valido aiuto per la comprensione dei meccanismi di risposta dei manufatti ai mutamenti del microclima, per la conduzione dei cantieri di restauro e per eventuali monitoraggi di situazioni a rischio o di verifica dell'effettiva efficacia delle operazioni conservative eseguite.

Tutti i dati finora acquisiti saranno inoltre utilizzati per la formazione di una banca dati. La conoscenza di tali dati consentirà di valutare la distribuzione sul territorio di diverse situazioni microclimatiche ed aiuterà a valutare quando i valori dei "parametri aggressivi" possono dare origine a situazioni di rischio.

Il problema che quasi sempre si pone è quello di sapere se esistono dei valori di soglia o dei gradienti superati i quali il manufatto si trova in una condizione di rischio.

Al momento attuale è difficile rispondere a questo quesito per due motivi fondamentali. Il primo motivo è rappresentato dal fatto che non sempre i materiali costitutivi del manufatto sono caratterizzati sperimentalmente. Poiché ci si trova di fronte a materiali prodotti in modo non industriale ed il cui impiego risulta nella quasi totalità dei casi caduto in disuso, il loro comportamento alle diverse sollecitazioni non appare sufficientemente conosciuto in bibliografia e prevedibile con modelli di diverso tipo. Il secondo motivo è legato a fatto statistico, ovvero la pericolosità di una sollecitazione, in rapporto al degrado che produce, può essere ormai giudicata solo dopo aver studiato la frequenza e la distribuzione su scala territoriale delle diverse casistiche.

In questa ottica è risultata di fondamentale importanza la messa a punto di uno standard di misura per l'acquisizione, l'elaborazione, il confronto e l'archiviazione dei dati. Riveste altrettanta importanza l'ottimizzazione del numero di misure in relazione all'estensione delle singole campagne microclimatiche su tutte le aree significative del territorio e rappresentative delle differenti tipologie.

Riferimenti Bibliografici

G. ACCARDO, D. CAMUFFO, G. FERRARI: *Indagini micrometeorologiche all'interno della Cappella degli Scrovegni,* in *Apporto della meteorologia nel controllo e nell'abbattimento dell'inquinamento atmosferico.* Roma, Atti seminario C.N.R. (1979), parte II, pp. 913-930.

G. ACCARDO, C. CACACE, R. RINALDI: *Methodology for the use of microclimatic measurements: applications* in *an underground chamber,* in *Scientific Methodology applied to works of art.* Firenze, Atti del convegno a cura di P. Parrini (1984), pp. 88-94.

G. ACCARDO: *Processo di deterioramento: sistema ambiente manufatto in pittura ad affresco, tecniche esecutive, cause di degrado, restauro.* Firenze, Mostra didattica a cura di G. Basile (1989), ed. Le Monnier.