

## CLIMATOLOGIA NELLA CONSERVAZIONE DI SCAVI ARCHEOLOGICI COPERTI

di  
Stefano PULGA



sono c  
conser  
Vorrei  
l'ambie  
è la pa  
per i re

### 1. La

Vi prop  
fine, co  
città, o  
moto la  
patrimo  
un oper  
sono gi  
chiama  
innescat  
momen  
grande  
Si poss  
l'archeo  
che dobb  
al nostr

Parole Chiave:

- Climatologia
- Conservazione preventiva



Nei due giorni precedenti abbiamo ricevuto una massa di informazioni ben articolata che riassume perfettamente il concetto espresso dal direttore dell'Opificio delle Pietre Dure: il restauro è un sistema. In effetti sentire parlare di insetti e infestazioni, in un colloquio che ha come titolo la climatologia, può sembrare leggermente fuori tema. In realtà tutti gli argomenti, dalla corrosione dei metalli alla presenza di insetti, sono correlabili con l'ambiente in cui qualsiasi reperto, archeologico e non, viene conservato.

Vorrei soprattutto mettere l'accento sulle componenti che vanno a determinare l'ambiente che circonda un reperto archeologico e sugli interventi umani - e questa è la parte più tragica - che determinano a volte situazioni estremamente dannose per i reperti, quando l'assunto di partenza era esattamente opposto.

## 1. La 'parabola' dello scavo archeologico

Vi propongo una 'parabola' semi-seria della vicenda archeologica: dagli inizi alla fine, come una favola. Un bel giorno si verifica un'emergenza archeologica in una città, o in campagna, non importa dove; succede qualcosa di imprevisto che mette in moto la macchina burocratica che è preposta alla salvaguardia di questo tipo di patrimonio. Il più delle volte la storia inizia con una pala meccanica che urta qualcosa, un operaio che trova strani sassolini quadrati, e dopo che la metà di questi sassolini sono già finiti nella benna, ci si rende conto che era un mosaico. A questo punto si chiama l'archeologo, parte un programma di ricerca, di scavo sistematico. Quando si innescano fenomeni che hanno a che fare con l'archeologia, si assiste di solito ad un momento di grande enfasi: titoli sui giornali, notizie nei telegiornali; si intravvede una grande occasione per recuperare parte del patrimonio culturale di una certa regione. Si possono ascoltare dichiarazioni di persone che non hanno niente a che fare con l'archeologia; corrono frasi abusate come '*giacimento culturale*'. Questo è un concetto che dobbiamo ad un brillante uomo politico italiano del recente passato, che ha pensato al nostro patrimonio artistico e archeologico come ad un giacimento, un qualcosa su

cui piazzare un pozzo di estrazione e pompare. Questo concetto è di per sé antitetico con il principio della conservazione. Negli anni '80 abbiamo assistito all'applicazione pratica e sistematica del concetto di giacimento, quasi si trattasse di estrarre barili di archeologia ogni giorno, come fosse petrolio.

Torniamo al momento di enfasi in cui si tende a coinvolgere l'opinione pubblica, dicendo: questa scoperta è fondamentale per capire le nostre origini, faremo circuiti di visita, attireremo turisti. Ma, dopo il momento di grande eccitazione, comincia il lavoro degli archeologi, che non è spettacolare, è una routine faticosa, lunga, spesso nel fango. L'ora dell'archeologo non può essere eclatante perché egli deve osservare ogni cosa, registrarla, documentarla, capirla. Tutto questo chiede tempo e nega d'ufficio la spettacolarità continua dell'evento, e così l'attenzione per la 'scoperta' archeologica scema lentamente. Poi, viene fatalmente il momento in cui le autorità pongono un limite temporale allo scavo, che deve essere terminato entro una certa data. Ci si avvicina ad una conclusione, più o meno logica, ma imposta. Le problematiche archeologiche sono talmente complesse che non ci si può imporre di capire tutto entro un termine rigido: ma la logica burocratica non ammette deroghe. A scavo terminato, il più delle volte c'è una qualche incertezza progettuale: cosa fare di questo scavo? La gente l'ha visto, è stato detto dai media che è importantissimo, ci sono state interruzioni del traffico, tramezze e ponteggi, e tanto tempo passato. Ci si sente quindi in dovere di mantenere lo scavo a vista, visitabile, 'fruibile'. Questo è il primo passo falso per la conservazione di una struttura archeologica. Sarebbe fondamentale avere le idee chiare su quelli che sono i fattori in campo, a che cosa si va incontro, quali saranno gli oneri professionali ed economici necessari per conservare uno scavo archeologico. Se tutto questo non viene valutato preventivamente, molto spesso si perde l'occasione di constatare che uno scavo è interessante da un punto di vista archeologico, accademico e documentario, ma non ha nessun potenziale di sfruttamento, nessun messaggio, se non la propria fisica presenza, da comunicare ad un pubblico. In questi casi sarebbe logico reinterrare le vestigia. Questo si fa rarissimamente e abbiamo visto, le immagini mostrate sulle conseguenze di questo tipo di mancanza progettuale: erbacce, scavi che diventano discariche... Oltre che spettacolo esteticamente brutto, in queste condizioni la distruzione della struttura archeologica non protetta è rapida, definitiva, irreversibile. La struttura archeologica che ha tanto emozionato in un recente passato, può risultarne distrutta nel giro di poco tempo. Ripeto che a mio avviso sarebbe un'ipotesi operativa

di grandissimo valore etico prendere in considerazione più spesso il reinterro degli scavi, quando non è possibile concepire un progetto conservativo serio. Ci addentreremo poi su cosa si può intendere per serietà in un progetto conservativo: un progetto che tenga conto di tutti gli elementi - ed abbiamo visto nei giorni precedenti che sono molti - che concorrono al degrado di qualsiasi materiale.

Nella nostra storia a mezza strada fra il serio ed il faceto siamo arrivati al momento in cui si decide di coprire lo scavo. Questo è il momento in cui bisogna comunque rianimare l'opinione pubblica, perché ci vorranno altri soldi, e bisognerà giustificare, dopo anni di scavo, quest'ulteriore impegno per costruire una struttura di copertura che consenta *'la fruizione'*. Si assiste ad un nuovo rilancio dell'argomento da parte di stampa, media, ecc... per fare passare questo ulteriore disagio.

Il momento in cui viene decisa la copertura di uno scavo è, da un punto di vista archeologico e da un punto di vista conservativo, un altro momento chiave. Oserei dire anche un momento tragico, perché gli archeologi si trovano spesso tagliati fuori. Il più delle volte possono indicare all'ingegnere o all'architetto di non mettere un palo o un supporto su questa o quella struttura archeologicamente importante, ma la loro interfaccia coi progettisti è nel migliore dei casi limitata, a volte nulla. I progettisti sono generalmente architetti o ingegneri che non hanno una preparazione specifica in campo archeologico e tantomeno in campo conservativo, e spesso, per un architetto, questa è la grande occasione per lasciare la sua impronta con un progetto 'originale'. Quindi l'architetto tenderà a concepire un progetto **in sé**, e non un progetto correlato alla realtà, cioè all'emergenza archeologica. In questo modo l'area archeologica finisce per diventare la tela di fondo per il progetto di copertura. Si assiste quindi ad una inversione totale di quello che sarebbe la relazione logica fra copertura e oggetto da coprire.

Abbiamo visto che gli archeologi sono già stati messi fuori gioco; non parliamo dei restauratori o conservatori, perché questo profilo professionale non viene riconosciuto. Non si pensa che in fase progettuale un restauratore abbia qualcosa da dire, visto che viene considerato un braccio abile, armato di pennellini e pazienza, ma senza nient'altro dietro. Passano gli anni, si prepara di nuovo l'opinione pubblica al climax: l'inaugurazione, i tagli di nastri, le dichiarazioni.

Qui comincia la vera storia della conservazione. Perché dopo l'inaugurazione, lo scavo, finalmente coperto, viene aperto alle visite del pubblico. Nel giro di pochi mesi cominciano i problemi: le muffe, le alghe attorno alle lampade, le cartacce e le lattine

che scendono giù dalle prese d'aria, gli impianti elettrici che fulminano lampade con una rapidità spaventosa, gli intonaci che cominciano a disgregarsi. E, quello che è peggio, la struttura moderna, così amorevolmente concepita da architetti ed ingegneri, comincia ad invecchiare ancora più rapidamente delle cose archeologiche, l'armatura del cemento arrugginisce e scoppia. Panico. **Bisogna fare qualcosa.** Altro momento tragico. *'Bisogna fare qualcosa'* è una frase che troppo spesso sintetizza spietatamente la mancata valutazione preventiva dei fattori microclimatici di uno scavo coperto. Generalmente molti di questi guai derivano, almeno alle nostre latitudini, da un eccesso di umidità. In questo caso siamo all'opposto della problematica chiave della conservazione museale, dove di solito l'aria è troppo secca. L'umidità è troppa, quindi, incalzati da questa angosciante necessità di **fare qualcosa**, si dà aria, si aprono le finestre, soprattutto quando fuori fa caldo, per asciugare l'atmosfera. Abbiamo già visto che più l'aria è calda, più contiene umidità. Introducendo aria estiva o primaverile, tiepida o calda, quindi con un grosso contenuto di vapore acqueo, questa entra a contatto con le strutture archeologiche che sono molto verosimilmente più fredde, e l'aria calda, raffreddandosi, si libera dell'eccesso del suo contenuto di acqua, provocando condensazione. Quindi, operando in questo classico modo, invece che migliorare le cose, le si aggravano. Paradossalmente, gli scavi archeologici andrebbero scaldati a inizio primavera ed in estate. Per finire con questa storia un po' estremizzata, arriviamo al punto in cui il degrado è talmente evidente che si deve chiudere lo scavo, provvisoriamente, cercando di fare qualcos'altro. Cosa si fa? Si chiama un restauratore. Si chiede un preventivo. Ma per che cosa? Il più delle volte un preventivo è mirato, anche se non viene mai detto, ad evitare che la struttura di copertura continui a degradarsi. Il resto è *vecchio*, quindi anche se è un po' rovinato non salta all'occhio. Per i restauratori è un bivio fondamentale, perché ci si può mettere a prendere misure (50 m<sup>2</sup> di mosaico, 120 di *opus signinum* eccetera, si fa un conticino e si presenta il preventivo), oppure si può cercare di capire perché tutto questo è successo. E così entriamo nel vivo del discorso.

## 2. L'umidità. Quale? Da dove viene?

Torniamo all'umidità. È fondamentale capire che l'umidità è coinvolta in qualsiasi processo di degrado. Qualsiasi processo chimico-fisico si basa su una

combinaz  
prendiam  
elementi:  
sopprimi  
combusti  
il fuoco, S  
Abbiamo  
in un ana  
una form  
cambiame  
essere viv  
che l'acq  
sopprimia  
solamente  
umidità la  
attribuisce  
soprattutt  
inizialmen

2.1 Effetti  
La figura



combinazione di elementi, che i fisici amano definire un triangolo. A titolo d'esempio, prendiamo un fenomeno chimico-fisico come il fuoco: questo presuppone tre elementi: un combustibile, un comburente (l'ossigeno) e la temperatura. Se sopprimiamo uno di questi tre elementi, il fenomeno cessa. Se togliamo combustibile si spegne il fuoco, se togliamo l'ossigeno (il comburente) si spegne il fuoco, se abbassiamo la temperatura si spegne il fuoco.

Abbiamo visto che molti dei fenomeni legati al degrado vedono coinvolta l'acqua in un analogo triangolo: la cristallizzazione dei sali è possibile se il sale passa da una forma soluta ad una forma cristallina, ed il veicolo indispensabile a questo cambiamento di stato è l'acqua nella fase liquida. Nell'attacco microbiologico ogni essere vivente ha bisogno di ossigeno, di acqua e di cibo, quindi anche qui vediamo che l'acqua è una componente fondamentale in un altro fattore del degrado: se la sopprimiamo la vita è impossibile. La corrosione dei metalli può essere attiva solamente se c'è un certo grado di umidità, se noi controlliamo questo grado di umidità la corrosione rimane un evento potenziale, ma non attivo. Ecco perché attribuisco tanta importanza al controllo dell'acqua, dell'umidità, del clima, ma soprattutto alla ricerca dell'origine dell'umidità. Perché che uno scavo sia inizialmente umido è normale, che lo rimanga no.

## 2.1 Effetti dell'umidità sulla pietra

La figura 1 è relativa ad un monumento romano in Aosta, la cui pietra è stata messa

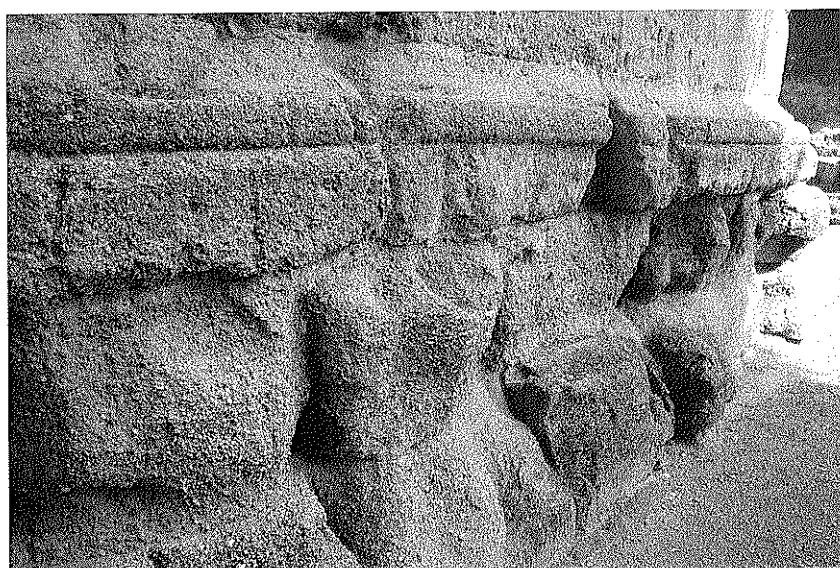


Fig. 1 Porta Praetoria in Aosta. Erosione del materiale litico del basamento.

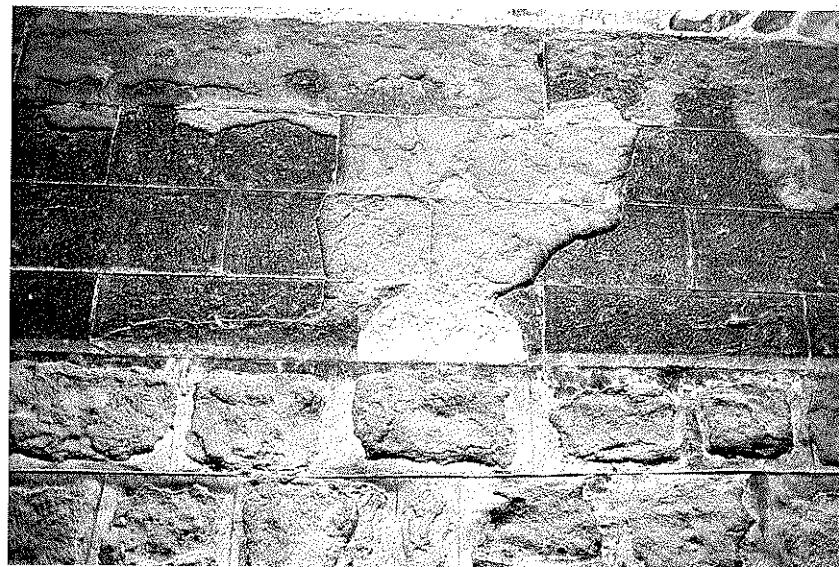


Fig. 2 Giunti in cemento di inizio secolo. L'erosione è quantificabile in alcuni centimetri.

in opera circa 2000 anni fa; esso ha subito ogni sorta di corrosione, accentuatisi negli ultimi anni per una ragione molto semplice: il piano stradale creato negli anni '60 è più alto di quello di occupazione romano, quindi l'arco di Augusto, come altri monumenti romani in Aosta, si ritrova al centro di una conca con un prato, che viene regolarmente annaffiato. Su questa conca viene depositata la neve spalata in inverno per poter consentire alle automobili di circolare lì attorno. Nel 1910 l'architetto Alfredo D'Andrade ha fatto un grosso intervento sull'edificio, riprendendo anche i giunti fra i conci; quindi, supponendo che D'Andrade abbia fatto questi giunti a livello, abbiamo il livello di riferimento della pietra del 1910. La figura 2 mostra il livello dei giunti cementizi di D'Andrade, oggi. Si può notare che in alcuni punti la perdita di materiale litico, rispetto al livello del 1910 è stata dell'ordine dei 25 cm in 88 anni. Ora, è facile immaginare che fra l'anno 3 della nostra era (quando l'arco è stato costruito) e il 1910, questo monumento non ha potuto perdere 25 cm al secolo, altrimenti avrebbe perso 5 metri di spessore. Ne dobbiamo dedurre che esiste un'accelerazione enorme del degrado, mediata proprio dal fatto che questo monumento adesso si trova in un punto di raccolta di acque, con le fondamenta costantemente a contatto con acqua liquida.

Un altro caso: la pietra che vediamo nella figura 3 è stata messa in opera circa 150 anni fa. La ripresa dei giunti, con cemento, risale al 1968: in 30 anni sono stati persi circa 3 cm di pietra. Anche questa pietra, come nel caso precedente, è un agglomerato calcareo poroso, che assorbe facilmente l'umidità e le soluzioni saline.

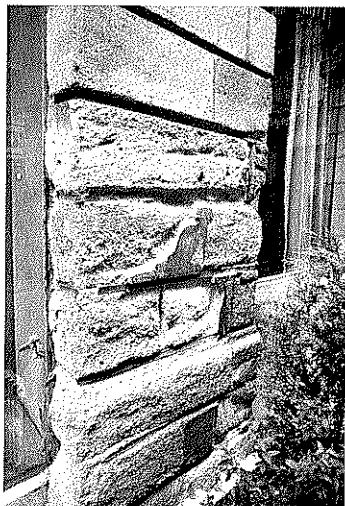


Fig. 3 Giunto in cemento su calcare tenero relizzato nel 1968. Foto del 1987.

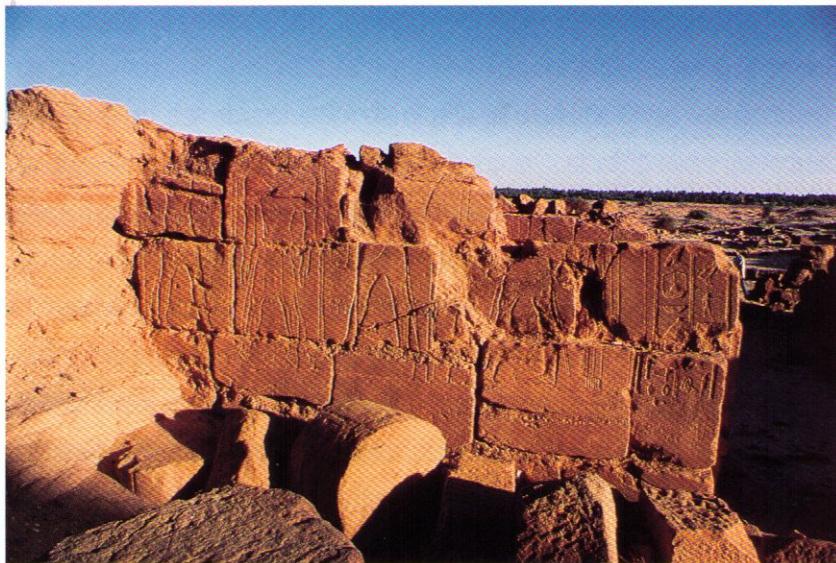


Fig. 4 Calcare tenero decorato. Karima (Sudan), circa 2500 a.C.

95



Fig. 5 Calcare tenero decorato. D'jebel Barkal (Sudan), circa 2500 a.C. Il giunto in cemento risale al 1905.



Fig. 6 Il contesto ambientale delle foto 4 e 5: deserto della Nubia.

I risultati dell'assorbimento sono quelli che si possono vedere nell'immagine.

Nella figura 4, la pietra è stata messa in opera e scolpita 4000 anni fa, ed è in uno stato perfetto. Nella figura 5 vediamo un'altra pietra scolpita, che risale al 2500 a.C., i giunti in cemento sono stati fatti nel 1904 da un archeologo italiano. Si può notare che non c'è nessun tipo di degrado. Il giunto è brutto, d'accordo, il materiale è discutibile, ma non abbiamo nessun tipo di degrado. Per spiegare il perché di evoluzioni così diverse, vediamo un attimo i contesti in cui sono state fatte queste fotografie.

Le pietre scolpite delle ultime due figure si trovano (fig. 6) nel deserto della Nubia. Per avere un'idea delle condizioni termoigometriche, si può presentare una misurazione effettuata in gennaio, che è il mese più freddo, anche nel deserto di Nubia. Tipicamente siamo a temperature intorno ai -4°C con un 15-20% di umidità relativa verso le 5 del mattino. 6 ore dopo, verso mezzogiorno, ci sono 40-42°C con un'umidità relativa che è ai limiti inferiori della sensibilità strumentale. Non la si riesce a misurare. Parlo di temperature massime all'ombra, ma di ombra qui non ce n'è molta, quindi la temperatura dell'aria, se all'ombra misuriamo 45°C, al sole arriva a 65°C. Le temperature di cui parlo sono riferite a gennaio-febbraio, non ho osato fare dei rilievi in estate. Nonostante uno shock termico quotidiano estremamente violento, parliamo di un'escursione di 45°C in 6 ore, il degrado della pietra è limitato. Si vede molto bene dall'immagine che non abbiamo nessuno dei fenomeni visti prima (cristallizzazione di sali, erosione), perché non esiste acqua

in quantità sufficiente per mediare i processi che invece hanno distrutto le pietre viste nelle precedenti foto.

I processi degenerativi non sono legati solo alla migrazione dei sali, ma nel caso di climi come quello di Aosta, o di grande parte dell'arco alpino, anche alla gelività. Immaginatevi monumenti come la *Porta Praetoria* o l'arco di Augusto di Aosta, letteralmente coi piedi a bagno, perché al centro di un bacino di raccolta, che subiscono per almeno 4 mesi l'anno dei cicli quotidiani di gelo e disgelo. La cristallizzazione dell'acqua, cioè il passaggio dalla fase liquida a quella solida, avviene all'interno della porosità e distrugge la pietra. Nel deserto invece non c'è acqua: se la temperatura scende sotto zero non succede niente. In clima desertico, il materiale litico della scultura mostra dettagli perfettamente leggibili, anche se consunto da 4500 anni di 'microsabbiatura naturale' (l'azione della sabbia portata dal vento), mentre nei casi precedenti la superficie di finitura della pietra è completamente persa.

Nella figura 7, un contesto aostano, si vede neve accumulata contro i monumenti romani, cioè dove non disturba le automobili. È questo tipo di accumulo che ha prodotto perdite di 25 cm di pietra in meno di un secolo. Per quel che riguarda l'immagine della pietra che abbiamo visto prima, con il giunto di cemento ed una perdita di 3 cm in 30 anni, il contesto è industriale (fig. 8). La zona di campagna dove si trova il monumento si è rapidamente industrializzata, c'è stato un grosso disboscamento per fare posto alle fabbriche; da qui la presenza di inquinanti nell'aria che entrano, una volta di più con la mediazione dell'acqua, nel processo di degrado. L'anidride solforosa non corrode la pietra. Quando l'anidride solforosa reagisce con l'acqua piovana crea acido solforico, cioè una pioggia acida che intacca la pietra. Dalle differenze di contesto vediamo come sia fondamentale la presenza di acqua nelle sue diverse fasi per innescare i processi di deterioramento, o per esserne mediatrice.

Cerchiamo ora di capire dove finiscono l'acqua piovana (o la soluzione di acidi che piove dal cielo), o le acque che derivano dalla fusione della neve (o piuttosto le soluzioni di cloruri di sodio e di magnesio che vengono sparsi perché le automobili non si trovino in imbarazzo). Concediamoci un altro momento semi-serio per andare a vedere dove queste acque vengano accumulate. La figura 9 mostra la *Porta Praetoria* di Aosta, vediamo la neve accumulata con diligenza alla sua base. È da notare che il livello attuale di calpestio è di circa 3 m più alto rispetto a quello



Fig. 7 Il contesto ambientale delle foto 1 e 2: Aosta.

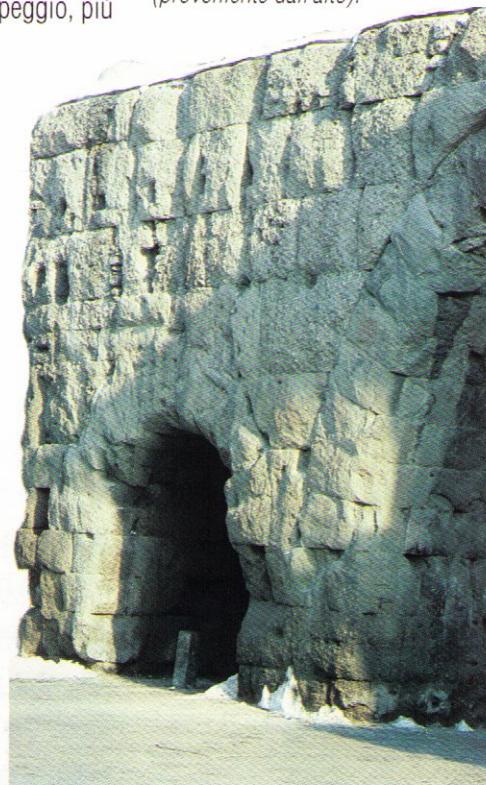


Fig. 8 Il contesto ambientale della foto 3: Baviera meridionale. Zona industrializzata a partire dagli anni '70.

romano. I romani, che stupidi non erano, avevano fatto i basamenti di queste strutture con pietre resistenti al gelo ed all'acqua, ed avevano in più interposto fogli di piombo fra le basi ed il suolo per evitare la risalita capillare. Però, nei secoli, il livello stradale si è alzato, e adesso la neve viene accumulata a metà altezza del fornice e viene a contatto con una pietra tenera e sensibile al gelo, che i romani avevano utilizzato per comodità di lavorazione, ma che non avrebbe mai dovuto entrare in contatto con l'acqua e l'atmosfera. Immaginate che tutta la struttura oggi a vista era ricoperta di marmi pregiati e trattati con cere idrorepellenti, con cui i romani avevano costituito uno strato impermeabilizzante per proteggere il nucleo della struttura. Nel medioevo è stato rimosso il rivestimento marmoreo e messa a nudo la tenera pietra costituente il nucleo della muratura contro cui noi, oggi, accumuliamo la neve salata. I danni non vengono solo dalla risalita capillare, ma anche dall'erosione che deriva dall'acqua che cola dall'alto, e scava veri e propri canyon. E l'acqua cola perché la copertura non è adeguata, o non è mantenuta in buone condizioni. La stessa acqua gela, causando esfoliazioni ed erosioni che sono profonde 20-30 cm. Tutte le acque che piombano sulla terra, da qualche parte vanno a finire. Soprattutto se le nostre strutture, come spesso è il caso in archeologia, sono profonde o comunque più basse degli attuali livelli di uso delle città e, quel che è peggio, più basse dell'attuale sistema di rete fognaria. Quindi tutto quello che finisce nelle fogne, e le fogne non sono a tenuta stagna, finisce fatalmente sul vostro scavo.

È interessante fare un giro di ricognizione attorno ad un monumento qualsiasi. Guardandolo con l'occhio attento ai problemi di umidità si riscontrano sistematicamente ingenuità ed anomalie. A questo proposito appare utile mostrare alcune immagini realizzate attorno alla Cattedrale di Aosta, il cui sottosuolo è stato interamente scavato e contiene interessanti vestigia paleocristiane che rivedremo più avanti in dettaglio. Lo scavo era molto umido a causa della concezione del sistema di raccolta delle acque piovane della zona e/o della loro mancata manutenzione. Durante questa ricognizione abbiamo incontrato pozzetti intasati, gronde spaccate, pendenze errate, che portavano le acque piovane ad impregnare il basamento dell'edificio. Una volta realizzato lo scavo, e dopo averlo coperto, tutta questa umidità è evaporata verso il nuovo volume creato con la copertura,

Fig. 9 Porta Praetoria in Aosta. Erosione di materiali litici dovuta alla risalita (in basso) ed alla percolazione (proveniente dall'alto).



saturandolo rapidamente. In situazioni di questo tipo mettere in opera deumidificatori o riscaldamento non avrebbe senso finché non si è soppressa la fonte di umidità. Anche se installassimo un deumidificatore potentissimo, in grado di asciugare l'aria, noi non faremmo altro che richiamare nuova umidità. L'umidità va sempre verso il secco, quindi se noi asciughiamo l'atmosfera di una zona come questa, senza sopprimere l'alimentazione in acqua, non faremo altro che richiamare più rapidamente altra acqua, che si porterà dietro altri sali, che evaporerà ancora più rapidamente. Quindi è fondamentale sopprimere le fonti d'acqua disperse all'esterno prima di intervenire all'interno dei monumenti. Riuscirci è a volte molto difficile. Un altro fattore di degrado, vero flagello delle zone umide, è l'attacco microbiologico. Nell'intervento di Child si è appena sfiorato il discorso sulle fumigazioni ed i trattamenti antibiotici. Ci sono ovviamente gli interventisti e i puristi. È estremamente complesso riuscire a fare un'identificazione scientifica di tutte le specie di microrganismi presenti su una superficie archeologica, è difficile, costoso e lungo, perché presuppone delle colture di batteri. La tendenza è quindi quella di usare degli antibiotici a largo spettro. E come è successo in ogni campo l'antibiotico a largo spettro uccide quasi tutti gli individui batterici o fungini presenti. Però, facendone un uso sistematico ed indiscriminato, si riesce solo a selezionare i ceppi resistenti a quegli antibiotici, che nel volgere di qualche generazione diventeranno gli unici individui viventi di quella specie di batteri, quindi il nostro antibiotico si rivelerà inefficace. Se sugli scavi cominciamo ad utilizzare indiscriminatamente antibiotici a largo spettro perché ci sono muffe, non faremo altro che selezionare come unico abitante la muffa, o la famiglia di muffe o di alghe, che resiste a quell'antibiotico, quindi dovremo cambiare antibiotico dopo poco tempo. Per questo mi annovero fra quelli che preferiscono agire sul clima piuttosto che cospargere i siti archeologici con prodotti che hanno comunque una certa tossicità. Anche se la tossicità degli odierni biocidi è infinitamente più bassa di quelli usati venti o trenta anni fa (come il D.D.T), bisogna tener conto che la loro decomposizione è molto lenta, quindi si può provocare un accumulo di biocidi in concentrazioni pericolose anche in breve tempo. Alcuni di questi prodotti, come i derivati del mercurio, impiegano anni a degradarsi, e possono inquinare le falde acquifere. Quindi piuttosto che agire indiscriminatamente con prodotti chimici, secondo me, è preferibile controllare la temperatura e l'umidità di un sito archeologico.

Prima di decidere un intervento all'interno di un monumento, dobbiamo renderci

conto d  
Sembra  
sculture  
parte fo  
sine q  
immedi  
irrevers  
trova.

### 3. Il p

Nel caso preventi meglio nella pu pulite e tutto que che fare fra vari livelli su Se non s parziale, rapidam succedo Questi s burocrat fondame un lingu archeolo program raggiung rapidame Un altro

conto di quello che è lo stato generale dell'edificio e delle strutture che lo circondano. Sembrerà forse meno nobile occuparsi di fogne che non di pitture murali o di sculture ma direi che occuparsi delle fogne, delle grondaie e dei pluviali è una parte fondamentale dello studio preliminare di un monumento ed è la condizione *sine qua non* per intraprendere un'azione preventiva che **non** investa immediatamente il monumento e la zona archeologica con interventi pesanti, spesso irreversibili, ma che si occupi del contesto in generale in cui un monumento si trova.

### 3. Il problema del coordinamento

Nel caso specifico la difficoltà principale è quella di convincere chi ha richiesto un preventivo per ‘fare qualcosa’ che, invece di spendere soldi con il restauratore, è meglio investire qualche decina di milioni nella manutenzione della rete fognaria, nella pulizia delle gronde, nella verifica della tenuta di tutti i collettori di acque pulite e sporche che stanno attorno ai monumenti. La posta in gioco è altissima e tutto questo deve essere fatto eseguire da persone e istituzioni che nulla hanno a che fare con l’archeologia o i monumenti, ed è fondamentale creare una sinergia fra vari servizi. Se un problema di conservazione preventiva viene affrontato ai livelli summenzionati, si allarga il numero di persone che devono essere coinvolte. Se non si riesce a fare un’operazione articolata e ben coordinata, la soluzione sarà parziale, di breve durata, ed i costi di gestione e manutenzione aumenteranno rapidamente, fino a divenire insostenibili. Bisogna essere realisti: queste cose succedono tutti i giorni, in tutto il mondo, per incomunicabilità fra uffici pubblici. Questi sono i fattori di degrado di cui parlava Boddi, i **fattori di degrado burocratico**. Perché le operazioni di conservazione preventiva siano redditizie, è fondamentale che vengano riconosciute certe competenze. È fondamentale trovare un linguaggio comune fra conservatori e archeologi ed è fondamentale che gli archeologi preposti alla salvaguardia del patrimonio riescano a coinvolgere in un programma di manutenzione mirata altre strutture politiche e amministrative. Senza raggiungere questo obiettivo si spende male il denaro e, peggio, si distruggono rapidamente i monumenti.

Un altro degli elementi fondamentali nella tragedia che si verifica con le coperture

è che spesso non vengono tenuti in dovuto conto i materiali da utilizzare. Molte delle coperture che sono state realizzate in campo archeologico sono un tale groviglio di piloni, nervature, controventature in cemento armato, da costituire veri e propri dissipatori di calore, causando frequenti fenomeni di condensazione all'interno. Quindi, senza pretendere di interferire col calcolo strutturale, può essere utile proporre di coibentare il cemento nelle zone dove la condensazione è più probabile, come i muri settentrionali o le zone esposte ai venti dominanti. Si può cioè modificare il materiale in funzione della reale esigenza. Un discorso analogo deve essere fatto per l'illuminazione. Abbiamo visto l'importanza che riveste la luce solare nel degrado, dato l'altissimo contenuto di ultravioletti. Ho visto coperture di scavi archeologici con una serie di finestre a sud, perché si volevano lasciar vedere, come sfondo, le montagne. Purtroppo in certi periodi dell'anno da queste finestre entra il sole, abbagliando i visitatori e battendo direttamente su alcuni mosaici che subiscono quindi non solo dosi massicce di ultravioletti, ma anche un riscaldamento localizzato che causa contrazioni e crepe. Una volta di più, l'imperativo estetico del progettista ha preso il sopravvento sulla necessità di conservare. Non si sono considerate le cose da mostrare, ma si è voluto far vedere allo stesso tempo il mosaico e la montagna, in base ad un gusto personale, introducendo un elemento di degrado violento ed estremamente difficile da correggere. Diventa infatti complicato chiudere o modificare le finestre all'interno di una soletta di cemento armato, su di una struttura costosa, appena completata. Una pianificazione secondo schietti criteri conservativi, e la consultazione di un esperto in conservazione avrebbero potuto evitare questi problemi fin dalla concezione del progetto.

#### 4. Il rilievo termoigrometrico sullo scavo coperto

Una volta che abbiamo identificato attorno al monumento tutti i fattori che contribuiscono all'alimentazione di umidità del monumento e della zona archeologica, e abbiamo convinto assessori, sovrintendenti, servizi amministrativi a ripulire i pozzetti fognari, noi non sappiamo assolutamente cosa succede nella zona coperta, perché abbiamo creato un microclima completamente nuovo. Abbiamo già creato un volume nuovo scavando e poi coprendo, un volume di cui è facile quantificare i metri cubi, ma di cui non sappiamo niente sul clima tendenziale.

Cosa si intende per clima tendenziale? Una zona archeologica coperta tenderà a trovare un equilibrio fra l'umidità contenuta nelle sue strutture e il volume di gas (di 'aria') che la circonda. L'umidità contenuta nelle strutture evaporerà nell'aria fino a raggiungere un punto di equilibrio, che non può essere conosciuto 'a priori'. Sarà quindi fondamentale registrare i dati climatici all'interno della zona da conservare in maniera sistematica e continua. Personalmente ritengo che un anno di rilievo sia il minimo indispensabile per avere un'idea di quelle che sono le fluttuazioni durante le stagioni. Si verifica sempre un ritardo, sia nel riscaldamento, sia nel raffreddamento della zona coperta rispetto al tempo meteorologico esterno. Questo ritardo ci dà un'idea dell'inerzia termica dell'insieme costituito dalle strutture archeologiche e dal sistema di copertura. Non è raro che in coperture ben realizzate questo ritardo sia dell'ordine di tre, quattro mesi, cioè il momento più freddo dell'anno può essere, sullo scavo, verso aprile, ed il momento più caldo verso fine ottobre. Proprio perché l'inerzia termica è tale, la massa muraria e tutte le strutture che lentissimamente hanno accumulato energia, lentissimamente la cederanno. Il ritardo del momento più freddo della zona coperta rispetto al momento più freddo meteorologico ci dà anche un'importantissima indicazione su quella che è l'efficienza della copertura, cioè sulla dissipazione termica del sistema, inteso come un insieme globale. Più corto è il ritardo, più c'è dispersione. Quindi, più piccola è l'inerzia termica, più bisogna stare attenti a problemi di gelo.

Conoscere sul lungo termine il comportamento del clima di uno scavo è fondamentale. Personalmente quando mi avvicino allo studio del clima di un monumento, lavoro con tre-quattro termoigroografi, piazzandone uno nella zona centrale, il più lontano possibile dalle pareti perimetrali. Quello diventa il termoigrografo di riferimento. Gli altri li dissemino lungo il perimetro. Se dopo una settimana ho dei grafici sovrapponibili tra il termoigrografo di riferimento ed un altro, vuole dire che non c'è differenza di clima fra i due punti, quindi sposto il secondo strumento in altro luogo. I diagrammi sovrapponibili significano che non ci sono differenze di microclimi o nanoclimi fra le due zone di rilevamento. Viceversa, se un tracciato termoigrometrico si discosta dal tracciato di riferimento, avrò identificato il più delle volte quello che chiamiamo un punto umido.

La cognizione che abbiamo precedentemente fatto all'esterno dell'edificio, ci indirizzerà a capire se questo punto umido è (ed il più delle volte lo è) in corrispondenza di un pluviale che perde, di una rete fognaria, ecc... Quindi una

volta identificato un punto umido, il termoigrografo rimane lì per verificare se le azioni di risanamento intraprese all'esterno sono state efficaci e sufficienti. Se sono state sufficienti, nel giro di qualche mese il punto umido sarà sempre meno umido e il tracciato sarà sempre più simile a quello del termoigrografo di riferimento. Se questo non succede vuole dire che le operazioni di risanamento fatte all'esterno non sono sufficienti, e bisogna verificare di nuovo, perché siamo probabilmente in presenza di un altro punto di alimentazione di acqua. Nel caso felice in cui i due tracciati siano divenuti sovrapponibili, si può sopprimere il termoigrografo, perché il punto umido è stato soppresso. Il più delle volte con un rilevamento sistematico di questo tipo, nel giro di 6-7 mesi si riescono ad identificare tutti i punti umidi, prendere le misure di manutenzione necessarie e indispensabili all'esterno, e verificarne l'efficacia. Questa fase di identificazione dei punti umidi e della loro neutralizzazione può richiedere parecchio tempo, però è un investimento fondamentale per evitare di prendere decisioni sbagliate, o installare apparecchiature inadeguate ed introdurre ulteriori fattori di alterazione senza conoscere il clima a fondo.

Child ci ha parlato di vari tipi di termoigroografi, e anch'io vorrei dire la mia: personalmente preferisco quelli classici a tamburo, anche perché in uno scavo archeologico l'istanza estetica è meno forte che in un museo, quindi disturbano meno che accanto ad un quadro, sono una presenza tecnica indispensabile che non mi sembra grave imporre ad eventuali visitatori. Il termoigrografo a tamburo ha un aspetto meno elegante e tecnologico che non i *data-loggers*, piccoli e compatti, però danno il vantaggio di vedere in tempo reale l'evoluzione di un tracciato da un giorno all'altro. Coi *data-loggers* se voi potete stare davanti al vostro monitor tutto il giorno a vedere come evolve il tracciato va tutto bene. Visto però che lo scarico dei dati è periodico, una repentina variazione di tracciato (che indica che qualcosa è successo), o un'infiltrazione nuova o una corrente d'aria che ha asciugato troppo l'atmosfera viene rilevata parecchie settimane se non mesi dopo. Di conseguenza preferisco il termoigrografo a tamburo anche perché di utilizzo e consultazione immediata, non è esposto alle 'variabili' dell'informatica. Abbiamo sentito di fulmini che hanno interrotto la presa di dati sui *data-loggers*, che hanno addirittura bruciato i dischi rigidi dei computers: fenomeni che chiunque abbia a che fare con il computer sa che sono lontani dall'essere improbabili. Quindi direi che se non si hanno esigenze di un controllo di un gran numero di punti di rilevamento, come può

essere preferita volta a eventu

5. II

A que attorne che c' Cosa i l'afflus di cor confro a che grado indisc di umi si verif al'aria con la d'acqua mondo fedita cioè u si vari sto c se si cro d'acqua

essere il caso in ambito museale, i termoigroografi a tamburo sono nettamente preferibili perché in fondo si tratta solo di cambiare il foglio dell'apparecchio una volta al mese, cosa che permette anche il controllo visivo di tutto il tracciato e delle eventuali anomalie.

## 5. Il controllo dell'umidità

A questo punto abbiamo soppresso, o grandemente ridotto, l'afflusso di acque attorno allo scavo, e possiamo cominciare a pensare come controllare l'umidità che c'è ancora, e che il più delle volte è troppa.

Cosa intendiamo per controllare il clima? La cosa fondamentale è quella di evitare l'afflusso di aria non controllata, cioè la tipica apertura delle finestre, o la creazione di correnti d'aria. Se l'essere umano ha una sensibilità abbastanza precisa nei confronti della temperatura, siamo per contro incapaci di dire, senza uno strumento, a che grado di umidità ci troviamo. Non avendo questa sensibilità non siamo in grado di valutare il tenore di saturazione dell'aria. Quindi, se apriamo porte e finestre indiscriminatamente, entra aria di cui non possiamo minimamente valutare il grado di umidità, e che può produrre danni estremi, anche a medio termine. Il caso tipico si verifica alla fine della primavera o a inizio estate: lo scavo è freddo, relativamente all'aria esterna, che per contro è abbastanza umida; se questa aria entra in contatto con la struttura fredda, si libererà per condensazione di una notevole quantità d'acqua. Viceversa, possiamo avere uno scavo relativamente tiepido e relativamente umido anche nei primi mesi di inverno; se facciamo entrare aria esterna invernale fredda ed estremamente secca, questo può provocare un'essiccazione troppo rapida, cioè una diminuzione troppo rapida dell'umidità relativa dello scavo con problemi di variazione dimensionale dei materiali, cristallizzazione dei sali solubili e quant'altro.

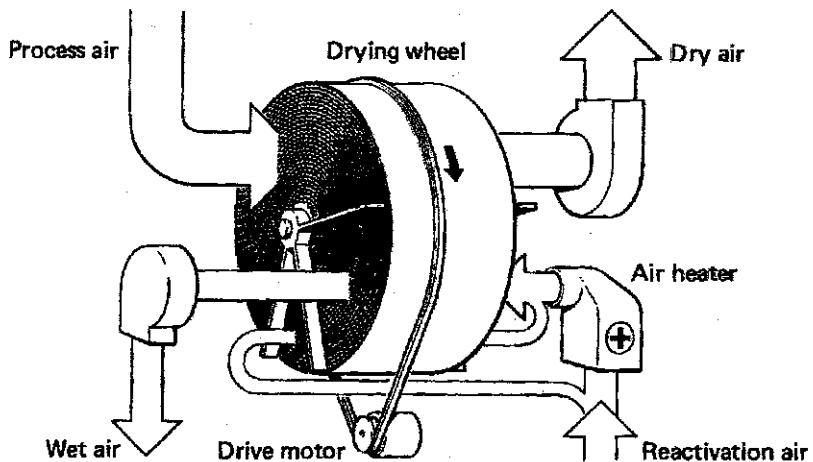
Visto che nel campo di scavi si ha a che fare con superfici di una certa importanza, quindi con dei volumi di una certa importanza, e con temperature tendenzialmente basse, preferisco lavorare sull'umidità che non sulla temperatura, anche per questioni di costi energetici e gestionali che approfondiremo più avanti.

Per controllare l'umidità relativa di un volume dato, si deve ovviamente fare ricorso ad apparecchi specifici. Qualunque sia il tipo di apparecchiatura che viene installata,

si deve assolutamente evitare che i flussi di aria, anche climatizzata, vengano a contatto **diretto** con le strutture archeologiche. Un altro aspetto fondamentale è la limitazione delle polveri e dei pollini, cioè un sistema di filtraggio. Quando si devono trattare migliaia di metri cubi d'aria non si potrà pretendere di conseguire la stessa ermeticità richiesta per una vetrina museale di qualche decimetro cubo. Però è fondamentale che le polveri esterne, estremamente aggressive e cariche di ogni sorta di inquinanti, naturali o meno, vengano tenute fuori. Una delle frasi che più mi ha colpito nell'esposto di Bob Child è “teniamo fuori il *fuori*”. In atmosfere urbane le polveri presenti sono di un'aggressività estrema perché contengono fra l'altro carbonio e zolfo che derivano dalla combustione dei carburanti, il pulviscolo che deriva dall'usura dei pneumatici dei veicoli, delle guarnizioni di attrito dei freni, amianto o altri metalli che a loro volta possono innescare processi di ossidazione sui materiali all'interno, contengono poi fibre, residui organici di ogni genere, piume, spore, pollini, batteri. È ovvio che non si deve pensare di rendere uno scavo archeologico sterile come una camera operatoria, ma limitare al massimo l'apporto di sostanze dall'esterno è un altro degli imperativi del trattamento dell'atmosfera archeologica.

Visto che in generale è raro che uno scavo coperto, alle nostre latitudini, soffra di eccessiva aridità, avremo piuttosto un problema di eccessiva umidità, aggravata dalla presenza umana nel caso di apertura al pubblico. Avete sentito da Boddi e da Child la quantità notevole di vapore acqueo che produce l'essere umano, anche semplicemente stando seduto, ancora di più parlando e ancora di più muovendosi. Se c'è afflusso di pubblico in una zona archeologica coperta, l'apporto di umidità sarà notevole, ed anche in questo caso, piuttosto che di un umidificatore,abbiamo bisogno di un deumidificatore. Ieri vi è stata mostrata una serie di fotografie di deumidificatori usati dai musei del Galles, effettivamente fino a poco tempo fa l'unico produttore di deumidificatori adattati all'uso conservativo era la svedese Munters, che ha una gamma di apparecchi estremamente vasta, apparecchi per ogni esigenza. Penso sia utile ritornare sul tipo di apparecchio, sul principio di funzionamento, e cosa molto importante, sul tipo di installazione che richiede. Nella figura 10 vediamo lo schema del principio di funzionamento di un apparecchio deumidificatore. Un tamburo metallico a nido d'ape, ricoperto di sali igroscopici, viene fatto girare da un motore, ed un primo ventilatore crea una depressione che aspira l'aria da trattare attraverso la struttura a nido d'ape e di sali igroscopici che assorbono l'umidità.





Principle of operation

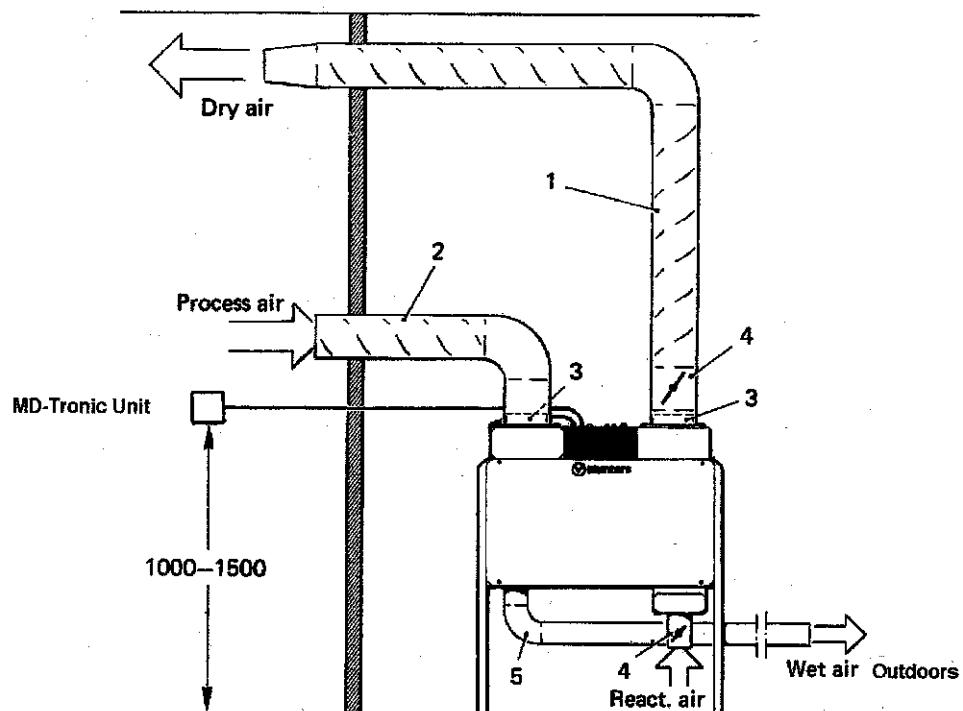


Fig. 10 Schema di funzionamento e di installazione di un deumidificatore (Fonte: Munters).

Una volta che ha attraversato il tamburo, l'aria risulta essiccata e viene immessa di nuovo nel luogo da climatizzare. Il tamburo, girando, espone continuamente nuovi sali secchi al flusso di aria da trattare. Per estrarre l'umidità dai sali igroscopici, c'è un piccolo settore (chiamato 'settore di rigenerazione') dove un altro ventilatore e un'unità di riscaldamento pompano aria calda attraverso i sali igroscopici umidi. L'aria calda estrae il vapore acqueo dai sali solubili e viene espulsa all'esterno (fuori dal volume da climatizzare). Macchine del tipo Munters hanno un costo iniziale abbastanza elevato, parliamo di una cifra intorno ai 50 milioni di lire ogni 1000 metri cubi di ambiente da trattare. Questa spesa iniziale, relativamente alta, viene ripagata rapidamente da una stabilizzazione dell'umidità estremamente soddisfacente e, una volta che l'apparecchio ha raggiunto e stabilizzato l'umidità relativa ai valori scelti, quindi è arrivato a regime, il grosso del lavoro è fatto, ed il consumo per mantenere questo tasso di umidità è irrisonio, a patto che l'afflusso di acque attorno all'edificio sia stato soppresso. Diversamente, se l'afflusso d'acqua verso lo scavo persiste, la macchina continuerà a mettersi in funzione per espellere umidità con un aggravio notevole dei costi. La diagnostica e la risoluzione dei problemi all'esterno dell'edificio non ha solo una motivazione etica e tecnica, ma anche una funzione pratica, perché contribuirà al contenimento dei costi di gestione in maniera sostanziale.

## 6. Casi studiati

Cominciamo ad entrare un po' di più in materia, con lo studio di alcuni casi. Alcuni positivi, altri negativi. Come ho detto privatamente ad alcuni colleghi, trovo utile parlare, più che dei successi, degli insuccessi. Per sentire parlare di successi basta andare ai convegni di restauro dove si fa vedere quant'era sporco l'affresco prima, quanto siamo stati bravi. Non intendo fare questo. Trovo che il problema non risolto o risolto male ha comunque un contenuto di insegnamento, se si ha l'umiltà di volerlo recepire, molto superiore a quello di un successo più o meno facile.

### 6.1 Aosta. Cattedrale

La chiesa, nella sua struttura attuale, risale alla seconda metà del dodicesimo secolo. Nel 1985 sono cominciati gli scavi che hanno messo in evidenza, sotto il

pavimento attuale, strutture estremamente complesse che sono state interamente liberate (Fig. 11). Il pavimento della chiesa attuale copre uno scavo archeologico di circa 1.200 m<sup>2</sup>, situato ad altezze variabili fra i 3 metri e un metro rispetto al piano di calpestio attuale. Il supporto al pavimento della chiesa (che diviene il soffitto dello scavo archeologico), è stato realizzato con una lamiera grecata autoportante, riempita di cemento armato. La scelta è stata fatta per coprire luci importanti e per evitare che il getto della soletta causasse delle colature di cemento direttamente sulla struttura archeologica. Questo è un dato non marginale, perché il cemento contiene delle quantità notevoli di sali solubili, soprattutto di solfato di calcio (gesso). Se fosse stata realizzata una soletta di tipo tradizionale, una notevole quantità di acqua sarebbe colata dalla cassaforma, ma anche una quantità enorme di sali solubili avrebbe impregnato le strutture. Già in questa fase c'è stata un'attenzione alla modalità di realizzazione. Il cemento armato era ineludibile ma è stato usato tenendo conto delle esigenze conservative per non andare a inquinare il materiale archeologico.

Un cenno all'illuminazione, realizzata praticamente su misura per sposare le grecature della lamiera: non è sporgente, ha una fonte luminosa fredda, fredda non come temperatura del colore, ma come emissione infrarossa, quindi produce poco calore, e ha un vetro schermato anti-ultravioletti e quindi anche qui, a livello

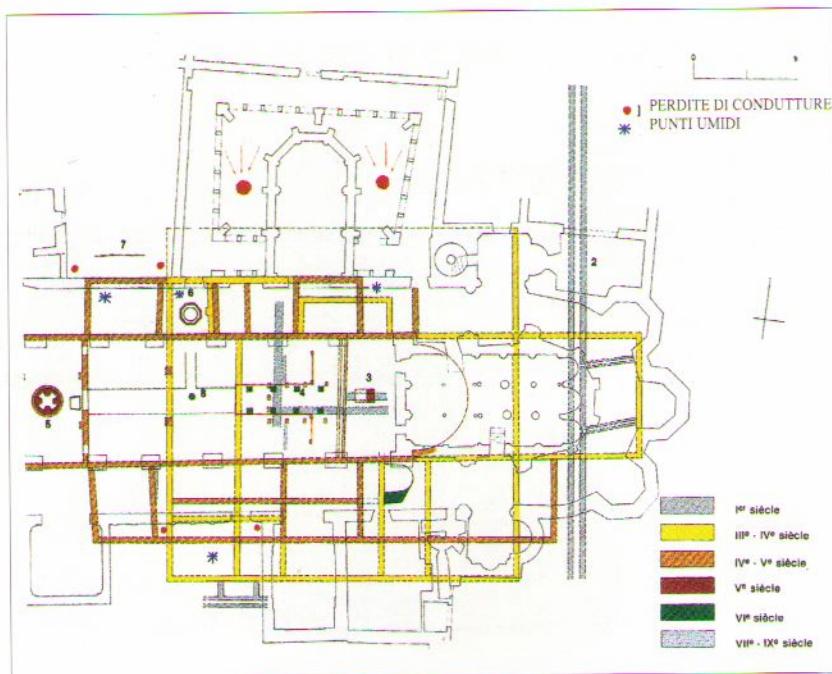


Fig. 11 Pianta delle strutture archeologiche sottostanti la Cattedrale di Aosta (Documentazione della Direzione tutela patrimonio culturale, Regione Autonoma valle d'Aosta). Sono indicati i punti di infiltrazione di acque piovane (in rosso) ed i punti umidi dello scavo (asterischi blu).

progettuale, c'è stata interazione con i progettisti per non ricorrere a fonti luminose dannose.

L'osservazione della figura 11 ci introduce ai problemi dell'umidità nello scavo. Sul muro perimetrale abbiamo identificato due punti umidi estremamente gravi. Facendo il giro di riconoscimento attorno all'edificio, abbiamo visto che nel chiostro c'erano due pozzi, pozzi perdenti, che ricevevano le acque piovane per disperderle nella terra. Ovviamente nel 1400, al momento della costruzione dei pozzi, non avevano nessuna idea che al di là del loro chiostro ci fosse una struttura che sarebbe diventata uno scavo archeologico cinquecento anni dopo. Questi pozzi non solo ricevevano l'acqua piovana di tutta la metà nord della chiesa, ma anche l'acqua proveniente dal quartiere a Nord della chiesa. In una fase iniziale del cantiere le grondaie sono state incanalate in tubature provvisorie per allontanare l'acqua dai pozzi. È stato poi necessario intercettare le acque provenienti da nord, per questo è stata creata una trincea di intercettazione ed una nuova fogna. Le acque provenienti dai pluviali della chiesa sono state incanalate in un nuovo pozetto collegato anche alla nuova fogna. I pozzi perdenti sono stati neutralizzati dotandoli di un fondo impermeabile e sopprimendo ogni apporto d'acqua. Gli altri punti umidi sono stati soppressi con la manutenzione di gronde, pozetti e fognature disseminate lungo il perimetro della chiesa. Per dare un'idea delle quantità di acqua piovana in gioco, è utile citare alcuni dati. In caso di una pioggia leggera, la tipica piovaggine primaverile, si è misurato il flusso proveniente dai tetti della metà Nord della chiesa

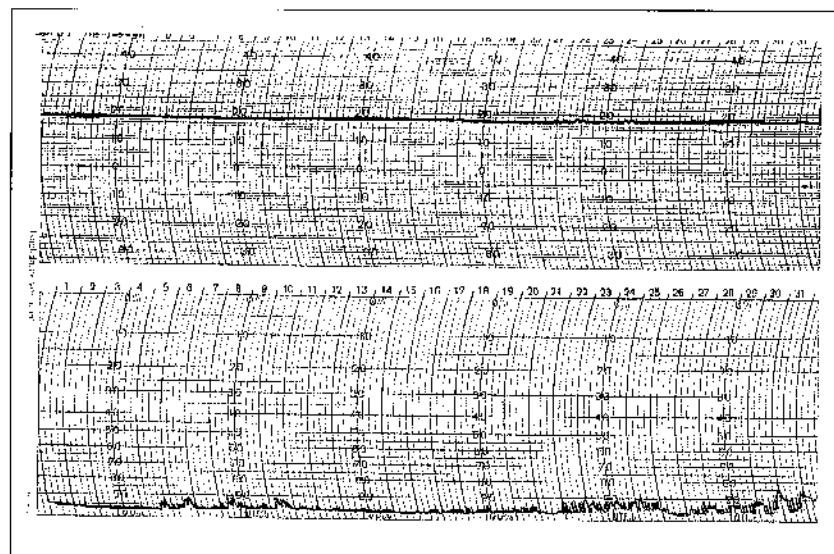


Fig. 12 Rilievo termoigrometrico sullo scavo della Cattedrale di Aosta, dopo la copertura.

in 60 litri al minuto, corrispondenti a 1 litro al secondo. Questo dato, moltiplicato per due (l'altra metà del tetto) dà un'idea della quantità di acqua che può impregnare il perimetro (quindi l'area archeologica), di un qualsiasi edificio. In caso di pioggia intensa, si possono facilmente raggiungere i 10-12 litri al secondo (più di 40.000 litri/ora). Facciamo ora un'analisi dei diagrammi termoigrometrici relativi a questo scavo. Nella figura 12 abbiamo la situazione a copertura dello scavo avvenuta. Vediamo da un lato una temperatura praticamente costante, un dato in sé positivo, ed un'umidità praticamente costante con valori attorno al 98%, che corrisponde a saturazione. I picchi corrispondono all'effetto dell'apertura degli accessi per cercare di fare circolare l'aria: l'andamento è brusco e limitato, perché al massimo l'umidità diminuisce di 5-6%, per risalire rapidamente a valori di saturazione appena cessa l'afflusso di aria esterna. È un tipo di situazione inaccettabile tipica dopo la neutralizzazione degli apporti d'acqua. L'acqua contenuta nelle murature e nelle stratigrafie è evaporata fino a trovare l'equilibrio con l'aria ambiente: in questo caso l'equilibrio coincide con la saturazione, perché il volume d'aria dello scavo è relativamente piccolo. Cerchiamo di capire perché la situazione è inaccettabile. Si è parlato delle grotte di Lascaux, dove le pitture si sono conservate perfettamente per quarantamila anni, in una situazione del tutto analoga a questa. Però nelle grotte di Lascaux non c'era afflusso di aria esterna, non c'erano spore, non c'erano microrganismi, non c'erano impianti elettrici, non c'era niente che potesse arrugginire. Una situazione di saturazione costante non è, di per sé, incompatibile

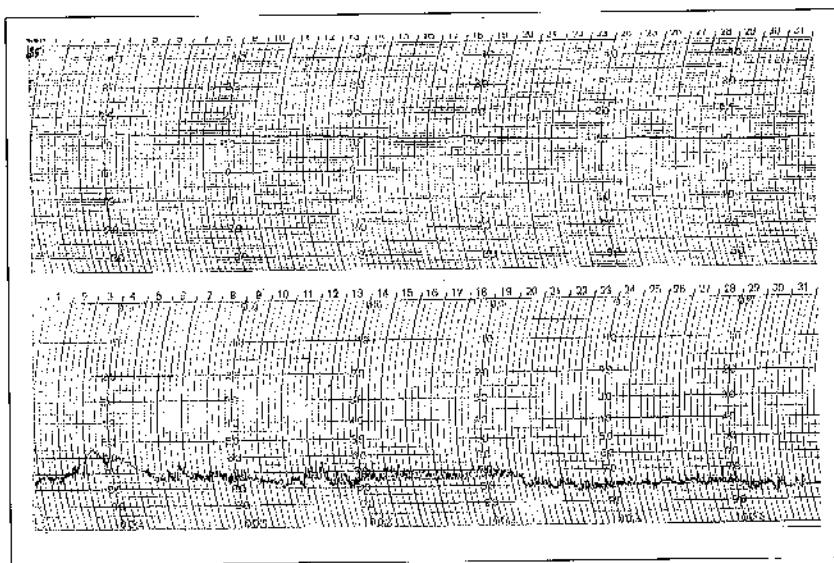


Fig. 13. Rilievo termoigrometrico sullo scavo della Cattedrale di Aosta, dopo l'installazione sperimentale di due ventilatori. Rispetto alla Fig. 12 si nota la diminuzione dell'umidità relativa, ma le escursioni sono troppo rapide e troppo estese.

**state messe in opera.**

Il primo tentativo di fare qualcosa è stato quello di installare una **ventilazione**, inizialmente realizzata con due ventilatori a pulsione, cioè alle estremità opposte dello scavo. Questo sistema ha prodotto almeno un grande vantaggio, quello di spingere fuori una certa quantità di umidità, vediamo che dal 97% siamo scesi ad una media attorno all'80% (Fig. 13). Quello che non è ancora accettabile è l'andamento a picchi, le variazioni di U.R.. Anche se di ampiezza limitata (dell'ordine del 15% in alcuni casi), sono inaccettabili perché costringono continuamente i materiali a seguire queste variazioni, cedendo o assumendo umidità dall'aria. Questa è già una situazione migliore della precedente, ma assolutamente non ottimale.

A questo punto siamo arrivati all'installazione degli apparecchi Munters che ci hanno portato a questa situazione (Fig. 14): variazioni massime dell'ordine del 3-4% e, soprattutto, soppressione dell'andamento a picchi che tecnicamente viene chiamato **pompaggio**. Questa è la situazione definitiva della climatizzazione ottenuta con la soppressione degli apporti di acqua all'esterno, e l'utilizzo di tre **deumidificatori**. Sono stati impiegati tre apparati per distribuire uniformemente il flusso di aria climatizzata senza ricorrere a tubature di distribuzione dell'aria troppo

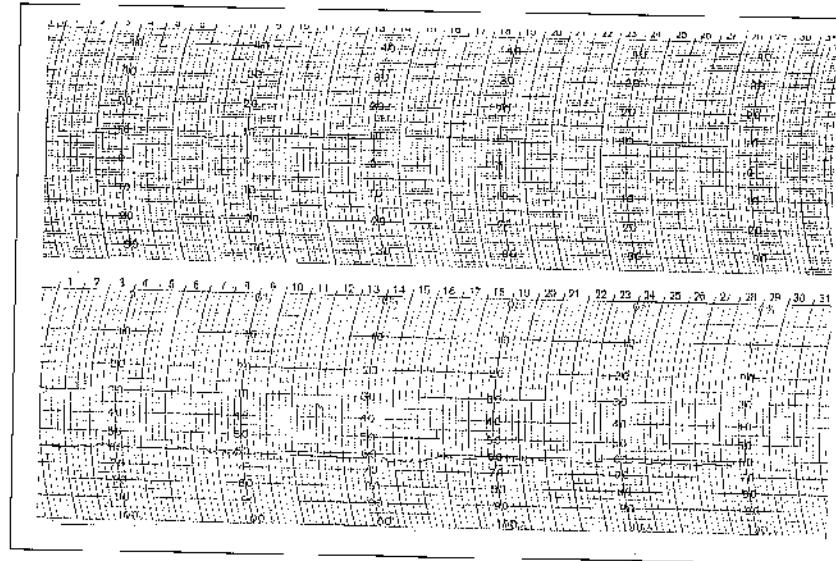


Fig. 14 Rilievo termoigrometrico sullo scavo della Cattedrale di Aosta, dopo l'installazione di tre apparecchi deumidificatori e la stabilizzazione dell'umidità relativa.

lunghe, perché questo avrebbe causato perdite di carico della colonna gassosa. E fondamentale è diminuire l'umidità progressivamente. È infatti molto più dannosa una diminuzione piccola ma rapida che una diminuzione grande ma lenta. La diminuzione dall'80% al 60% finale in questo caso è stata ottenuta in sei mesi, per permettere ai materiali di non avere una cessione violenta di umidità all'ambiente, ma di perderla man mano e abituarsi lentamente alle nuove condizioni. Questa lenchezza è fondamentale per la conservazione dei materiali. E proprio il fraintendimento delle modalità di deumidificazione diveniva il soggetto del seguente sito archeologico.

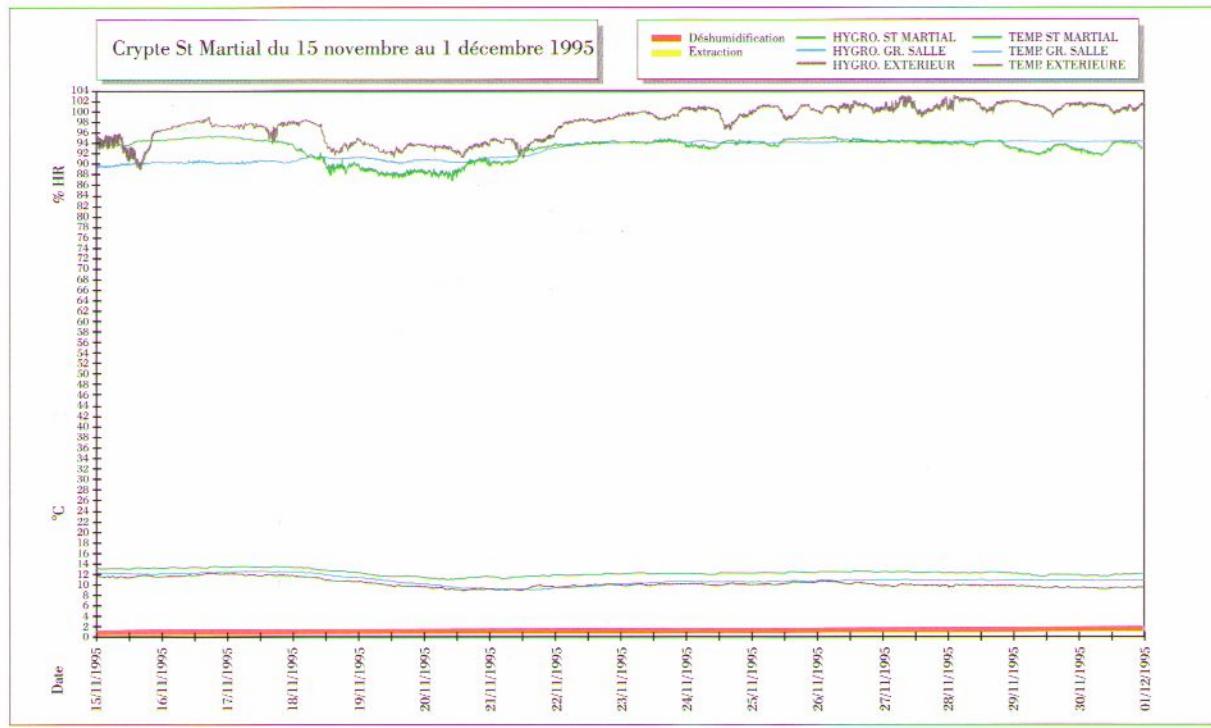
### 6.2 Limoges. Cripta di Saint-Martial

Una vecchia stampa ci mostra una città fortificata con una grande chiesa al centro. Questa chiesa è esistita abbastanza a lungo perché ce ne siano giunte alcune fotografie. Addirittura una fotografia ne mostra la demolizione nel 1923, per costruire al suo posto inizialmente un monumento commemorativo ai morti della prima guerra mondiale, sostituito nel 1960 da un'immensa piazza con parcheggio sotterraneo. La chiesa è stata rasa al suolo, nel 1923, senza nessuna preoccupazione di tipo documentario, e solo negli anni '60 sono stati ritrovati i pochi resti lasciati dalle distruzioni degli anni '20. Si tratta di uno scavo estremamente interessante con vestigia dell'epoca merovingia, con il mausoleo di S.Marziale a cui era dedicata la chiesa e una serie di sepolture, alcune con sarcotagi di piombo. Lo scavo è stato coperto nel 1968. La struttura archeologica è coperta da una soletta in cemento armato; l'entrata mette la zona archeologica in diretto contatto con l'aria esterna, così come varie aperture alle estremità dello scavo consentono scambi di aria con l'esterno. La copertura è stata concepita senza considerare minimamente i problemi di climatologia e di energia radiale che veniva dispersa da questa soletta; è una soletta leggera, molto ben realizzata da un punto di vista strutturale, di cui gli ingegneri francesi sono giustamente fieri. Dal punto di vista conservativo, il problema è che ha una grande superficie, nessuna forma di coibentazione e quindi una dispersione termica enorme. Logicamente, fin dall'inizio, questo scavo ha avuto problemi di condensazione massicci. Da qui è derivato un invecchiamento precoce del cemento armato e di tutte le strutture, e la presenza invasiva di microrganismi. Un altro fattore di degrado è stato costituito da un conflitto di competenza fra tre organismi di controllo: due statali e uno municipale. La situazione ha causato una

Fig. 15 Rilievo termoigrometrico sullo scavo di Saint-Martial a Limoges. Situazione tendenziale senza trattamento dell'aria. (Fonte: Services industriels de la Ville de Limoges).

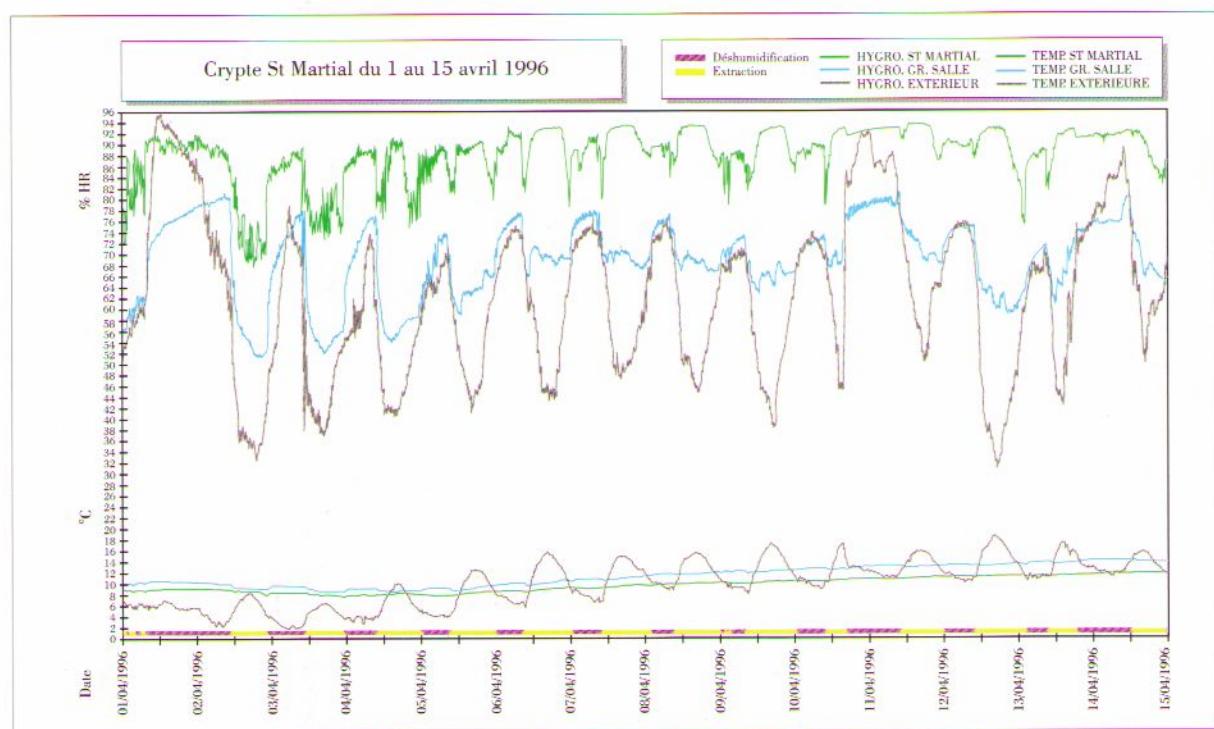
grande inerzia decisionale, perdite di tempo molto lunghe, polemiche, durante le quali lo scavo ha continuato a danneggiarsi rapidamente. Quando ho cominciato ad occuparmi di questo sito archeologico ignoravo la situazione amministrativa, ma ho subito constatato la gravità della situazione termoigrometrica. Su questo diagramma (Fig. 15) c'è il rilevamento dell'umidità relativa e della temperatura delle due sale archeologiche in parallelo all'umidità e alla temperatura esterna. Il diagramma è interessante perché vediamo che l'umidità delle due sale è leggermente diversa, i valori sono estremamente alti, e seguono fedelmente sia le variazioni di umidità che di temperatura dell'esterno. Come già detto, lo scavo non è chiuso proprio per evitare condensazioni, e questo fa sì che il clima esterno influenzi pesantemente il clima interno.

La mia prima richiesta è stata di installare un sistema di deumidificazione e di chiudere comunque gli accessi esterni per l'aria. A questo punto si è innescato un grave problema di interfaccia fra il conservatore/restauratore e gli ingegneri progettisti. È utile chiarire che la progettazione della climatizzazione è stata affidata a due ingegneri dei *Services Industriels*, un organismo municipale che si occupa dei servizi industriali (illuminazione pubblica, distribuzione di acqua e gas, eccetera). Ora, nonostante fossero state fornite indicazioni ben precise su cosa si doveva



ottenere con la climatizzazione (progressività nell'azione, parametri di controllo di un certo tipo, fluttuazioni massime nell'unità di tempo limitate al 3-4% e non di più) il progetto è andato in tutta un'altra direzione. In questo diagramma (Fig. 16), realizzato dopo l'installazione della climatizzazione, nella linea orizzontale in basso viene indicato lo stato di funzionamento dell'apparecchio. In viola è la deumidificazione, e in giallo è l'espulsione. Le conseguenze sull'umidità dello scavo sono queste: in deumidificazione l'umidità relativa rimane sempre al 92-94% quindi la deumidificazione è poco efficace; quando c'è estrazione abbiamo dei picchi repentini e violenti in cui l'umidità cade dal 94 al 50% in poco più di un'ora. Ho immediatamente scongiurato gli ingegneri di modificare i parametri di funzionamento della climatizzazione, ricevendo la risposta che la macchina era stata concepita per funzionare così, e così avrebbe funzionato. L'interfaccia a cui ho accennato non funzionava più: gli ingegneri non riconoscevano alcuna competenza al restauratore ed avevano deciso che la macchina doveva 'fornire la massima deumidificazione nel minor tempo'. Se vogliamo essere chiari, questa non è una climatizzazione, è una camera climatica per l'invecchiamento artificiale. Il principio di funzionamento delle camere di invecchiamento artificiale è esattamente lo stesso, cioè produrre ciclicamente, in tempi ravvicinati, cambiamenti di temperatura e di

Fig. 16 Rilievo termoigrometrico sullo scavo di Saint-Martial a Limoges dopo l'installazione di un apparato di trattamento dell'aria (vedi testo). (Fonte: Services industriels de la Ville de Limoges).



umidità violentissimi. Le conseguenze: l'apparecchio è stato installato a fine del '95, a fine del '97 i danni sulle strutture murarie erano importanti e gravi. A seguito di questo disastro una commissione è stata istituita per verificare se è possibile modificare la logica di funzionamento del macchinario. Mi è stato chiesto cosa bisognava fare. Io ho proposto: buttate via la macchina, perché non è compatibile con la conservazione del sito archeologico. Qui è nato di nuovo un problema, perché sono stati spesi più di 200 milioni per installare questa macchina, e non si poteva, due anni dopo, buttarla via. Quindi la macchina andrà modificata sostanzialmente, con costi enormi. Questa vicenda ci insegna che se mancano gli *input* giusti nel momento progettuale, si crea una situazione catastrofica a tantissimi livelli. La cosa più grave è che reperti archeologici preziosi e rari sono stati distrutti in quattro anni e si è creata una situazione politica e amministrativa imbarazzante per tutti: per chi ha promosso certe operazioni, per chi ha concepito la macchina e ci ha rimesso il posto, per chi adesso deve di nuovo giustificare, a pochi anni di distanza, un esborso di denaro pubblico per riparare una situazione che è partita comunque male, perché questa climatizzazione non funzionerà mai in maniera soddisfacente. Sarebbe stato fondamentale fin dall'inizio riuscire ad interagire, conservatori con archeologi, archeologi con architetti, architetti e archeologi assieme con chi poi delibera un certo tipo di spese, per evitare risultati di questo tipo. E se al limite per l'amministrazione pubblica tutto si è risolto con un po' d'imbarazzo e con la perdita di un paio di centinaia di milioni, dal punto di vista archeologico, la perdita è stata grave, irrimediabile e definitiva.

### 6.3 Barcellona

Parliamo ora di un altro scavo, molto vasto, nella città vecchia di Barcellona. La storia di questo scavo è estremamente lunga, perché è stato iniziato negli anni '40, poi molto lentamente ha continuato ad essere allargato, senza grandi programmazioni di tipo archeologico, fino alla fine degli anni '70. Poi agli inizi degli anni '80 questo scavo è stato dapprima esteso e poi musealizzato; è stata realizzata una struttura estremamente ben concepita, con un impianto di climatizzazione più che adeguato, considerati i 15.000 metri quadrati di superficie con un volume dell'ordine dei 50.000 metri cubi.

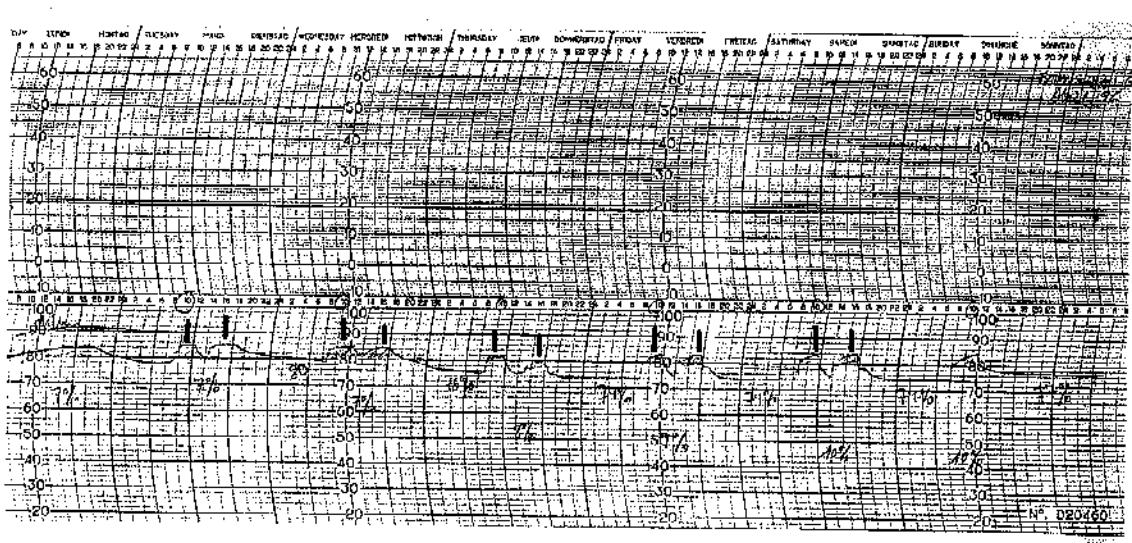
Qui l'impianto è stato fin dall'inizio concepito con la collaborazione di specialisti di risanamento di edifici umidi e le macchine sono state costruite su specifiche

dettagliate. Il risultato è notevole, per uno scavo di questa dimensione. L'impianto di climatizzazione è stato diviso in varie unità per permettere una distribuzione corretta senza ricorrere a tubature troppo ingombranti e per differenziare la climatizzazione, visto che c'erano aree più umide, altre più secche.

L'area più delicata è quella del battistero, vicina ad una entrata, e, nonostante una climatizzazione globalmente efficace, si riscontravano alcune anomalie nei tracciati, oltre che presenza di muffe. L'umidità sul battistero è abbastanza elevata, e la presenza di batteri era dovuta alla presenza di un trattamento degli anni '60 a base di proteine, probabilmente colla animale. Una volta di più ritroviamo uniti due fattori molto interessanti per i batteri: umidità e cibo - abbiamo sentito ieri da Child che la colla animale è uno degli alimenti preferiti di certi batteri e di certi organismi - quindi è bastato rimuovere questa colla animale con impacchi di acqua calda, e uccidere con del trionazolo le spore ancora presenti. Il fenomeno non si è più presentato.

Quello che in questo contesto inquietava di più erano una serie di anomalie riscontrate sui tracciati. Tracciati del resto estremamente buoni, globalmente piatti, sufficientemente piatti, ma in alcuni casi avevamo questa situazione (Fig. 17): picchi in cui l'umidità si innalzava a intervalli regolari, con una ricaduta intermedia inspiegabile. Il fenomeno si verificava regolarmente alle stesse ore: fra le 8 e le 12 e fra le 14 e le 16 e soprattutto all'inizio della primavera. Questa è una storia buffa. Alla fine dei conti erano semplicemente i custodi che, trovandosi nello scavo freddo

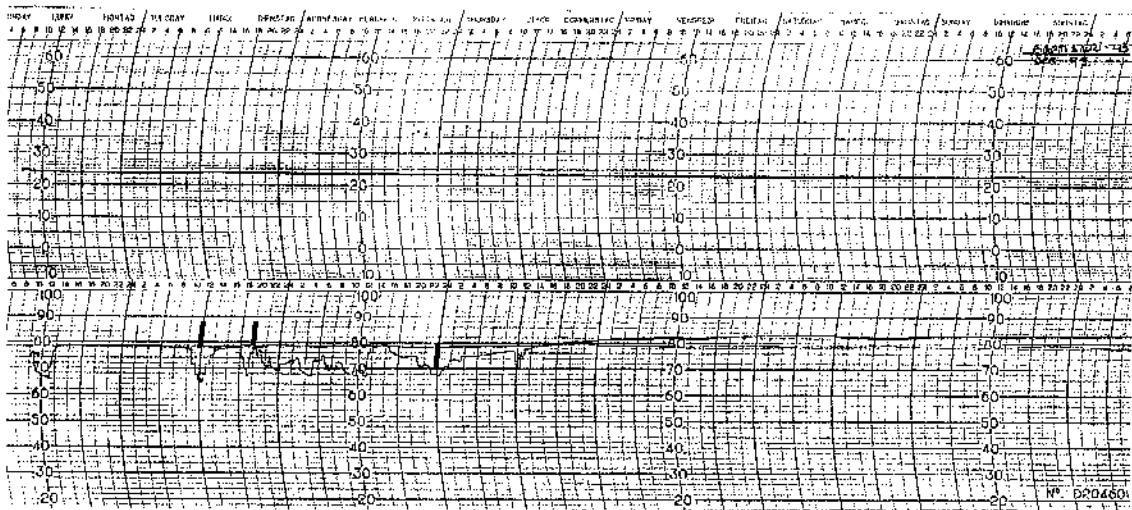
Fig. 17 Rilievo termoigrometrico sullo scavo archeologico di Plaça del Rei a Barcellona. Le anomalie indicate vengono discusse nel testo. (Fonte: Museu de Historia de la Ciutat. Barcellona).



con la bella aria primaverile al di là della porta, l'aprivano per mitigare le sensazioni di freddo che avevano. Ora, come diceva giustamente Child, bisogna capire la psicologia delle persone. È primavera a Barcellona, nello scavo ci sono 19 gradi, per noi è forse una temperatura gradevole, ma per uno spagnolo è freddo. Quindi aprivano le porte, per godere l'aria primaverile. Solo che l'aria primaverile, sulla costa del Mediterraneo, oltre che tiepida è anche umida, e scende nello scavo causando un innalzamento abbastanza rapido dell'umidità relativa. Bastava poi che all'ora di pranzo la porta venisse richiusa per ritornare ai valori precedenti. È una storia buffa, come ho detto, ma mi sembra utile per dimostrare come è fondamentale, anche una volta che i macro problemi sono stati risolti, continuare a monitorare il clima, perché anche situazioni di questo tipo possono essere rilevate, interpretate. La soluzione, quella di creare una porta fra lo scavo e la stanza dei custodi, è stata semplice, poco costosa, ed ha soppresso questo tipo di problema.

Un altro problema, di più difficile soluzione, si presentava in un'altra zona dello scavo: sui tracciati si notavano repentina abbassamenti dell'umidità relativa seguiti da repentina innalzamenti. Quello che colpiva era la forma del tracciato, scalettata. C'era un'estrema regolarità in questi scalini, sia nella durata sia negli scatti, che vanno progressivamente a scendere e poi progressivamente a salire, e sempre lo stesso numero di volte, 13 (Fig. 18). Un fenomeno che si ripete così regolarmente non può essere di cause naturali, quindi queste regolarità hanno fatto pensare ad un'anomalia meccanica, perché regolarità e ripetitività di questo tipo non possono

Fig. 18 Rilievo termoigrometrico sullo scavo archeologico di Plaça del Rei a Barcellona. Le anomalie riscontrate durante i cicli di autodiagnosi vengono discusse nel testo. (Fonte: Museu de l'Historia de la Ciutat. Barcellona).



che essere legate alle macchine. La verifica fatta con l'ingegnere responsabile della climatizzazione non ha messo in evidenza anomalie nel funzionamento di base. Però la cosa continuava a verificarsi e per finire si è scoperto che la macchina è programmata per fare, a intervalli di tempo prestabiliti, un'autodiagnosi che comprende la verifica di tutti i sensori sparsi in giro. Uno di questi sensori è dietro una paratia, in una zona di intenso passaggio di pubblico, per essere riparato dagli urti e nasconderlo alla vista. La paratia ha un filtro in tessuto che era intasato. Quando la macchina 'dialogava' con quel sensore, riceveva dati falsati, e la macchina procedeva a questa serie progressiva di aggiustamenti per la durata del ciclo di autodiagnosi, che prevede dodici 'lettture' del sensore a intervalli di dieci minuti. È bastato pulire la griglia ed il filtro per sopprimere questo fenomeno. Di nuovo la vicenda è interessante, perché dimostra che da un'analisi attenta dei tracciati termoigrometrici si possono desumere parecchie cose, e, abituandosi a farne la lettura, si possono scoprire e risolvere piccole magagne come queste. È lo stesso discorso che si è fatto sulla taratura del termoigrometro. Se lo strumento va fuori taratura del 3% al mese, questo non è grave, il primo mese. Se la taratura non viene fatta per 10 mesi, alla fine l'errore può essere del 30%. Qui è la stessa cosa, abbiamo una macchina che fa dei cicli di autodiagnosi che possono falsare il funzionamento di tutto il sistema. Se trascuriamo queste piccole anomalie, a poco a poco la macchina comincia ad impazzire, e quando impazzisce un sistema che tratta 45.000 metri cubi d'aria ogni ora, i guai possono arrivare molto, molto rapidamente.

#### 6.4 Vallon

L'ultimo caso tratta della Svizzera. Cerchiamo di collocare la zona in questione, vicina al lago di Neuchâtel, nella Svizzera francese. Una zona nota soprattutto per le rovine della città romana di Aventicum (oggi Avenches), rovine imponenti, con un anfiteatro ben conservato; è forse uno dei luoghi archeologici più importanti della Svizzera, assieme all'antica Augusta Raurica (oggi August) in Svizzera tedesca. Qualche anno fa qui in riva al lago, nel paesino di Vallon, durante una modifica ad un sistema fognario, sono state ritrovate delle strutture archeologiche romane che sono state scavate in maniera estensiva dal servizio archeologico del Cantone di Friburgo ed hanno messo in luce i resti di una villa romana. La zona è situata in una pianura alluvionale con una falda freatica

conseguire, il tipo di clima da ricercare nello spazio da creare, ecc.. Per quel che riguarda il controllo del clima dell'atmosfera a contatto coi mosaici, si è dibattuto molto su come fare le cose. C'erano due partiti principali: quelli che volevano lasciare i mosaici nella stessa atmosfera del pubblico e quelli che volevano separare i mosaici dal pubblico. Io ero del secondo avviso. Certo, separando il mosaico dal pubblico si crea una barriera tra il fruttore e l'oggetto da fruire, ma i vantaggi mi sono sembrati talmente grandi che ho sostenuto a spada tratta l'ipotesi di tenere separate le due zone. I vantaggi sono sintetizzabili così: attorno al mosaico si può creare un volume di aria piccolo, controllato in maniera autonoma rispetto alla zona per il pubblico. Si può quindi evitare di imporre al pubblico lo stesso clima di cui ha bisogno il mosaico, che è un clima piuttosto umido, vista la presenza di sali che abbiamo deciso di mantenere allo stato soluto, cioè ad un'umidità sufficientemente alta perché il sale sia in soluzione.

In caso di mosaici e pubblico nello stesso volume d'aria, avremmo dovuto imporre al pubblico una situazione molto umida, con tutto quello che implica: microrganismi, ecc... in più la presenza del pubblico avrebbe comportato, soprattutto in un paese attento alla pulizia come la Svizzera, una manutenzione quotidiana del mosaico, incompatibile con le esigenze conservative. Quindi abbiamo deciso di prendere la seconda opzione, quella in cui il mosaico è totalmente separato dall'area di visita. Il mosaico si troverà in un volume chiuso ermeticamente da pannelli di vetro, illuminati dall'alto, coi corpi illuminanti contenuti in un'intercapedine che evita la diffusione di calore ed i problemi di riflessione dei corpi illuminanti sulle pareti in vetro. I corpi illuminanti hanno degli specchi dicroici, cioè specchi che scaricano l'infrarosso verso il retro e fanno passare solo lo spettro visibile verso l'avanti, per cui l'apporto di temperatura alla superficie del mosaico è irrisorio: la maggior parte dell'infrarosso esce dall'intercapedine fuori dal volume musealizzato. Il volume attorno al mosaico ha un suo impianto di umidificazione e deumidificazione totalmente autonomo, rispetto al volume dove è presente il pubblico. L'impianto di climatizzazione della zona di circolazione del pubblico è autonomo e molto meno sofisticato.

Il problema che può sorgere con questo sistema è la condensazione di umidità sul vetro quando nella zona del pubblico c'è molta umidità e l'aria è molto più calda della zona del mosaico e quindi presumibilmente del vetro che li separa. La soluzione è stata trovata usando vetri a cariera d'aria, che comporta un'intercapedine in cui il

estremamente alta, al punto che a volte la falda freatica **esce**, e lo scavo viene sommerso periodicamente. Un'altra cosa interessante, di cui capiremo dopo l'importanza, è la vicinanza di un'importante base dell'aviazione militare svizzera, con aerei estremamente potenti.

All'interno di questa villa sono stati trovati mosaici in uno stato di conservazione praticamente perfetto. Il principale è stato chiamato il mosaico della *venatio*, perché rappresenta scene di caccia; è un mosaico di grandissima qualità, gli unici danni sono dovuti a pali usati probabilmente fra il XII e XIV secolo per fare recinti per il bestiame. La villa, crollata in seguito ad un incendio, era a quell'epoca ricoperta da depositi alluvionali di un torrente che passa lì accanto, quindi i poveri contadini che piantavano recinti per le mucche non hanno nessuna colpa, non sapevano che stavano infilzando uno dei più bei mosaici romani, il più bello della Svizzera probabilmente, e comunque un mosaico di valore assoluto notevole.

118

Un ritrovamento archeologico di questo tipo, in un paese come la Svizzera, sicuramente non ricchissima di questo tipo di opere, ha implicato fin dall'inizio la sua musealizzazione. Gli svizzeri sono un popolo meno impulsivo di noi, che ama le cose regolari, ben pianificate ed in questo caso sono doti preziose, perché non si sono fatti prendere dalla dinamica emotiva. Non ci sono state grandi dichiarazioni o promesse, hanno semplicemente cominciato a pensare come avrebbero potuto fare le cose al meglio spendendo il meno possibile. Un'altra dote degli svizzeri è che gestiscono tutto facendo una valutazione accurata del rapporto costi-benefici. In questo caso direi che sono atteggiamenti che hanno portato fin dall'inizio ad identificare i criteri di base che la copertura avrebbe dovuto avere. Aspettando la stesura del progetto, il mosaico e tutta la zona archeologica sono stati ricoperti con 3 metri di sabbia: conservazione preventiva.

Primo elemento positivo: tutta la responsabilità del progetto di musealizzazione è stata coordinata dall'archeologo cantonale. Un archeologo che dirige il progetto di musealizzazione di materiale archeologico! È molto logico, ma sembra fantastico, dopo i casi già esaminati. Il primo problema era quello di limitare le periodiche tracimazioni della falda, che, come detto, è piuttosto alta, mediamente un metro e 60 sotto il livello dei mosaici. In caso di forti piogge, viene rapidamente alimentata dai torrenti circostanti fino al punto di tracimare, per poi lentamente defluire verso il fiume Broye. Il problema principale è di evitare che la falda tracimi, quindi la prima cosa fatta è stata lo studio geologico di tutta la zona. Lo studio ha evidenziato

un altro problema: la falda è in leggera pressione perché racchiusa fra due lame di argilla impermeabile. Il secondo problema risultava legato agli aeroplani. Gli aerei da caccia al momento del decollo provocano delle vibrazioni intensissime di frequenze estremamente basse, dell'ordine dei 2-3 hertz, sono frequenze di tipo sismico, che possono essere devastanti sui materiali archeologici e sulla malta di allettamento del mosaico. Visto che l'acqua è incomprimibile, e l'acqua della falda è oltretutto sotto pressione, queste onde hertziane vengono trasmesse attraverso la falda freatica dalla base aerea fino al mosaico, per più di quattro chilometri. È interessante notare che si è potuto parlare con i militari di questo problema, cosa che da noi è impensabile, e fare delle prove d'accordo col comando della base, per registrare l'intensità di queste vibrazioni al momento del decollo. Chiaramente non si può chiedere ai militari di sloggiare la loro base principale della Svizzera francese per non rovinare un mosaico, quindi gli aeroplani e le vibrazioni non sono state sopprese. Per intercettare le vibrazioni degli aerei è stata scavata verso la pianura una grossa trincea, che è stata riempita di polistirolo, qualcosa come 150 metri cubi, e questo è stato sufficiente per fermare le onde che provengono dagli aerei in decollo. Il problema non era semplice, la soluzione lo è stata, bastava pensarci ed interpellare le persone giuste. Sembrava un problema insormontabile, ma abbiamo fatto delle prove con i geologi, messo dei blocchi di polistirolo nella trincea, chiesto ai militari di fare partire una coppia di caccia alla massima potenza e le onde di bassa frequenza sono state fermate, a costo basso. Non sottolineerò mai abbastanza come una sinergia di intenti sia stata alla base di questo successo. Al di là delle competenze specifiche, tutti hanno collaborato alla soluzione di un problema. Per tenere la falda sotto controllo, i geologi hanno poi scavato una serie di micro pozzi installando pompe autoadescanti che possono alleggerire la pressione della falda e mantenerne il livello ad una quota prestabilita che non inneschi risalite capillari fino al mosaico.

C'era poi il problema, più spinoso, della progettazione dell'edificio e lì di nuovo si ricade per forza di cose su di un architetto. È stato scelto un giovane architetto che non aveva mai avuto a che fare con il patrimonio culturale, che era inizialmente un po' imbarazzato a ricevere consegne così precise. Ma un'altra dote degli svizzeri è un senso della gerarchia estremamente sviluppato, ed il giovane architetto ha accettato di progettare secondo le rigide consegne ricevute. Consegne che comportavano il rispetto delle strutture archeologiche, l'inerzia termica da

vetro può avere temperature diverse sulle due facce. Questo è il primo passo della soluzione. Il secondo ha comportato il mantenimento dell'umidità della zona visitatori su valori costantemente più bassi del punto di condensazione possibile sul vetro. Subordinando l'impianto di climatizzazione della zona di visita ai valori che ci sono nella zona mosaico, evitiamo virtualmente ogni possibilità di condensazione all'esterno delle vetrate di separazione. Visto che l'uomo può sopportare molto bene le variazioni di umidità relativa, non ci ha preoccupato infliggere variazioni abbastanza ampie ai visitatori, privilegiando di eliminare virtualmente la possibilità di condensazione sulla vetrina.

Ringrazio particolarmente l'Architetto Domenico Prola, Sovrintendente ai Beni culturali della Regione Autonoma Valle d'Aosta fino al suo decesso avvenuto nel 1991, e l'Architetto Renato Perinelli, suo successore e attuale Sovrintendente e Coordinatore della Direzione Tutela Patrimonio Culturale della Regione Autonoma Valle d'Aosta per la disponibilità e la lungimiranza mostrate nell'intraprendere nuove strade nella conservazione dei Beni Archeologici. Un grazie a Charles Bonnet, archeologo Cantonale del cantone di Ginevra, per l'incessante stimolo che ha rappresentato per più di vent'anni, e per l'occasione che mi ha dato di lavorare con lui in Sudan. Tengo poi a ringraziare Antoni Nicolau i Martí e Lidia Font, del Museu Nacional de la Ciutad di Barcellona per lo straordinario calore umano e la non meno straordinaria competenza nel lavoro. Infine François Guex, archeologo Cantonale del cantone di Friburgo per l'azione che ha saputo condurre per più di un decennio per assicurare ai mosaici di Vallon un progetto adeguato.

## Discussione

**Domanda:** Per quanto riguarda il materiale di copertura proprio in specifico, di che cosa possiamo tener conto? E quali sono i materiali che si possono utilizzare per coprire uno scavo, in posti così freddi?

**Stefano Pulga:** Per quello che riguarda le coperture definitive chiaramente non si può scindere il materiale dalla funzione: se la copertura deve avere una funzione portante non è che si può inventare molto, ci vogliono strutture che resistono alla frequentazione e soddisfino tutta una serie di normative ormai molto rigide per i luoghi a frequentazione pubblica. Dicevo prima, è difficile scappare dal cemento armato, o da strutture di quel tipo, che però possono essere comunque trattate e

- DAMMER W.F., 1974, *The capillary motion of moisture in building materials*. Documento 2.1.2. negli atti di CIB/RILEM, Second International Symposium on Moisture Problems in Building, Rotterdam.
- DELELAND H.F., 1932, *The crime of archaeology - a study in weathering*. Scientific Monthly, 35.
- DE WITTE F., MASSCHELEIN KLEINER L., 1987, *Intérieur du bâtiment (Interior of the building)*. Bulletin IRPA, 21, Bruxelles.
- DENAU P. DE., 1987, *Extérieur du bâtiment (Exterior of the building)*. Bulletin IRPA, 21, Bruxelles.
- MINISSI F., 1978, *Conservazione dei beni storico artistici e ambientali. Restauro e musealizzazione*. Roma.
- MINISSI F., 1986, *Perchè e come proteggere i siti archeologici*. In "Restauro", 16, n° 90, 1987.
- SCHMIDT H., 1988, *Schulzbauten. Denkmalpflege an archäologischen Stätten* 1, Stuttgart.
- STUBBS J., 1995, *Protection and presentation of excavated structures. Conservation on archaeological excavation*, 2a edizione ICCROM, Roma.
- THOMSON G., 1986, *The Museum Environment*, 2a edizione Butterworths, Londra.
- UNESCO, 1982, *Musées de site archéologique*. A cura del Consiglio Internazionale dei musei. Doc. CLT-82/WS/7, Parigi.
- UKIC, Archaeologic Section. *Conservation guidelines*.
- UKIC, 1984, N. 3 *Environmental standards for the permanent storage of excavated material from archaeological sites*.
- UKIC, 1982, *Guidelines on ethics*.
- VOS B.H., 1976, *Water absorption and drying of materials*. In "The conservation of stone 1", atti del primo simposio Internazionale. Edito da R. Rossi-Manaresi, Bologna.

Stefano PULGA  
Co.re S.n.c. Conservazione e Restauro  
Via Gran Tournalin n. 9, I-11100 AOSTA