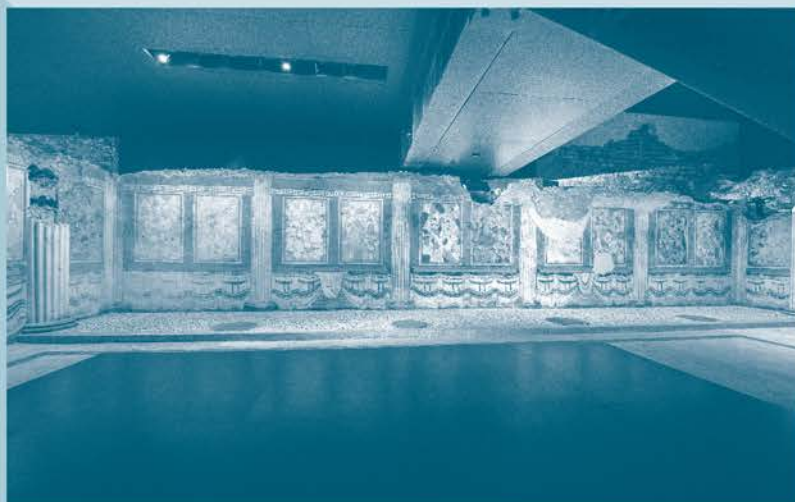


MATERIALI E STRUTTURE

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE



RESTAURO E IMPIANTI

NUOVA SERIE
ANNO VI
NUMERO 11
2017

SAPIENZA • UNIVERSITÀ DI ROMA

DIPARTIMENTO DI STORIA, DISEGNO E RESTAURO DELL'ARCHITETTURA

MATERIALI
E STRUTTURE
PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

RESTAURO E IMPIANTI



NUOVA SERIE

VI

NUMERO 11

2017

MATERIALI E STRUTTURE. PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Rivista semestrale, fondata nel 1990 da Giovanni Urbani
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 265 del 25/09/2012
Nuova serie, anno VI (2017), 11

ISSN 1121-2373

Direttore editoriale: Donatella Fiorani

Consiglio Scientifico: Giovanni Carbonara, Paolo Fancelli, Antonino Gallo Curcio,
Augusto Roca De Amicis, Maria Piera Sette, Fernando Vegas, Dimitris Theodossopoulos

Comitato di Redazione: Maurizio Caperna, Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino,
Rossana Mancini

In copertina: Brescia, la IV cella del Santuario Repubblicano nell'area archeologica del Capitolium
(© su concessione del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo – Soprintendenza Archeologica della Lombardia).

La rivista è di proprietà dell'Università degli Studi di Roma «La Sapienza»

© Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Piazza Borghese, 9 – 00186 – Roma

Roma 2017 – Edizioni Quasar di Severino Tognon s.r.l.
via Ajaccio 41/43 - 00198 Roma
tel. 0685358444 - fax 0685833591

Per ordini e abbonamenti:

www.edizioniquasar.it
qn@edizioniquasar.it

Sommario

- 5 EDITORIALE
- DONATELLA FIORANI
- 9 INTERVENTI SUGLI IMPIANTI STORICI.
UN PATRIMONIO DAL SIGNIFICATO IN EVOLUZIONE
- MARCO PRETELLI, KRISTIAN FABBRI, LEILA SIGNORELLI
- 25 PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA E RESTAURO ARCHITETTONICO
- RICCARDO FIBBI, CAROLINA DE CAMILLIS
- 41 LED E BENI CULTURALI: I PRIMI 15 ANNI
- FABIO ARAMINI
- 53 ASPETTI DIVERSI DEL RISPARMIO ENERGETICO
NEI CONTESTI DI PREGI
- MARIA ELENA CORRADO
- 67 IN EQUILIBRIO TRA 'SOPPESARE' E MISURARE.
ALCUNE RIFLESSIONI SU SOSTENIBILITÀ ED EFFICIENZA
ENERGETICA NELL'EDILIZIA STORICA
- VALERIA PRACCHI
- 83 LA QUARTA CELLA DEL SANTUARIO REPUBBLICANO
NELL'AREA ARCHEOLOGICA DEL CAPITOLIUM DI BRESCIA.
UN PROCESSO VIRTUOSO PER LA REALIZZAZIONE
DELL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE
- GIUSEPPE BONFANTE, CHIARA BONVICINI, CARLO CACACE
- 99 ABSTRACT

Autori

DONATELLA FIORANI
Prof. Ordinario, "Sapienza" Università di Roma,
donatella.fiorani@uniroma1.it

MARCO PRETELLI
Prof. Ordinario,
"Alma Mater" Università di Bologna
marco.pretelli@unibo.it

KRISTIAN FABBRI
Architetto, libero professionista,
kristian.fabbri@unibo.it

LEILA SIGNORELLI
Dottore di Ricerca in Architettura,
"Alma Mater" Università di Bologna
leila.signorelli@unibo.it

RICCARDO FIBBI
Architetto, libero professionista,
decafib.arch@tiscali.it

CAROLINA DE CAMILLIS
Architetto, libero professionista,
decafib.arch@tiscali.it

FABIO ARAMINI
Restauratore Conservatore Direttore,
Istituto Superiore per la Conservazione
ed il Restauro
fabio.aramini@beniculturali.it

MARIA ELENA CORRADO
Architetto, Istituto Superiore
per la Conservazione ed il Restauro
mariaelena.corrado@beniculturali.it

VALERIA PRACCHI
Prof. Associato, Politecnico di Milano,
valeria.pracchi@polimi.it

GIUSEPPE BONFANTE
Ingegnere, libero professionista (Onleco s.r.l.),
bonfante@onleco.com

CHIARA BONVICINI
Dott. in Scienza e Tecnologia per i Beni
Culturali, libero professionista (Onleco s.r.l.)
bonvicini@onleco.com

CARLO CACACE
Restauratore Conservatore Direttore,
Istituto Superiore per la Conservazione
ed il Restauro
carlo.cacace@beniculturali.it

Responsabili Peer Review per il presente numero:

NICOLÒ ASTE, NICOLA BERLUCCHI, FEDERICO BUTERA, PIETRO MARIA DAVOLI,
ROBERTA DAL MAS, FABRIZIO DE CESARIS, MAURIZIO DE VITA, CAROLINA DI BIASE,
GIOVANNA FRANCHI, FRANCO GASPARINI, ALBERTO GRIMOLDI, STEFANO FRANCESCO MUSSO

Editoriale

DONATELLA FIORANI

L'architettura tradizionale è stata per secoli una costruzione 'totale', che ha affidato ai propri fondamenti costitutivi il soddisfacimento di tutte le necessità cui doveva rispondere. *Venustas, Firmitas e Utilitas*, per certi versi interpretabili proprio in riferimento agli aspetti tipologico-figurativo, strutturale-costruttivo e funzionale-impiantistico della fabbrica, rimandavano sempre ai medesimi strumenti materiali e tecnici e alle stesse modalità concettuali e progettuali di fare architettura. Gli apparati costruttivi dovevano quindi rispondere nel contempo alle esigenze di armonia, stabilità ed efficacia funzionale e quest'ultima, in particolare, era direttamente legata al soddisfacimento delle esigenze minime di comfort igienico, termico e visivo necessarie agli esseri umani per vivere, lavorare, proteggersi, incontrarsi e celebrare i propri riti.

La rivoluzione industriale e la parallela costituzione delle scienze dell'ingegneria hanno rivoluzionato completamente questo modo omogeneo e coerente di progettare e costruire gli edifici, consentendo la creazione di materiali, tecnologie, strumenti nuovi e diversi, che da una parte hanno irreversibilmente trasformato l'architettura contemporanea e dall'altra hanno posto inediti problemi di compatibilità con l'architettura 'tradizionale' già esistente.

La difficile coesistenza di modelli progettuali e tecnologie tradizionali e contemporanei è emersa nell'ultimo quarto del Novecento con l'evidenza dell'esito fallimentare di alcune modalità 'innovative' di consolidamento e il riscontro dei limiti delle modellazioni numeriche per simulare il comportamento strutturale degli edifici storici. Questo disagio ha motivato nuovi studi per individuare modalità di approccio alternative, in grado di coniugare le possibilità offerte dall'innovazione con una conoscenza più adeguata della natura costruttiva e strutturale dell'esistente. Da tale nuovo approccio – meno univocamente legato all'astrazione numerica e piuttosto attento ai fattori di analisi qualitativa del costruito – sono nati importanti contributi che hanno portato, ad esempio, all'affermazione del concetto di 'miglioramento' su quello di 'adeguamento' sismico degli edifici storici.

Si tratta, per le problematiche strutturali, di un progresso importante anche se ancora non definitivamente condiviso sul piano operativo, come hanno dimostrato alcune prese di posizione assunte dopo i più recenti sismi italiani, ma la questione rimanda più al problema politico e gestionale relativo alla selezione delle competenze adeguate che al piano specifico della ricerca scientifica.

Nel campo impiantistico la situazione è ancora più complessa: con l'ingresso dell'elettricità negli edifici, a fine Ottocento, l'impiantistica ha incessantemente sviluppato in autonomia materiali e dispositivi tecnologici. Gli originali imbarazzi, avvertiti nel corso del XIX secolo, nel collocare macchinari 'alieni' all'interno delle fabbriche tradizionali sono stati rapidamente superati, e si sono via via ottenuti condizioni microclimatiche stabilmente confortevoli, illuminazione notturna, sistemi di elevazione meccanica e di ventilazione, impianti per la cottura e il riscaldamento sicuri, ampia disponibilità di acqua calda e, più di recente, ambienti confinati con umidità e temperatura strettamente controllati, dispositivi per la sicurezza e l'antintrusione, apparati comandati da remoto ecc.

Le soluzioni per assicurare un'adeguata dotazione impiantistica ad un edificio storico perseguono in genere l'obiettivo di nascondere apparecchi, cavi e tubazioni in intercapedini, dietro controsoffitti o foderature, sotto pavimenti. Negli ultimi decenni, però, una mirata attenzione al design degli elementi tecnologici e un più pronunciato gusto per il confronto fra nuovo e antico hanno talvolta consentito di riscattare gli aspetti impiantistici dal loro ruolo ancillare nell'architettura. Ma troppo spesso ancora oggi la dotazione impiantistica viene concepita e realizzata in sostanziale autonomia rispetto al lavoro investigativo e progettuale che definisce il restauro.

L'esigenza di stabilire un approccio diverso, più consapevole della particolare natura del contesto storico, per definire i nuovi dispositivi è stata avvertita relativamente tardi, ancora una volta in considerazione dell'esito insoddisfacente di alcuni interventi. Le innovazioni hanno favorito la crescita delle dotazioni impiantistiche e dei loro ingombri, sempre più impegnativi per le caratteristiche e i vincoli posti dalla preesistenza, e le soluzioni 'a scomparsa' hanno finito per alterare, con l'uso di controfodere murarie, la dimensione e le proporzioni originarie degli ambienti antichi; le esigenze di contenimento energetico hanno veicolato la perdita di un numero indefinito di infissi storici; malintesi intenti di sostenibilità energetica hanno motivato 'incappottamenti' murari inopportuni, che hanno pesantemente alterato il rapporto originario istituito fra rivestimenti a intonaco ed elementi decorativi lapidei; l'approntamento di nuove fonti energetiche ha determinato l'installazione di pannelli solari e pale eoliche che hanno sensibilmente modificato i caratteri del paesaggio storico.

Nel contempo, l'esperienza prodotta, nel corso del XX secolo, soprattutto in ambito museale ha consentito di verificare nel tempo le condizioni conservative di beni mobili, come dipinti su tavola e tela, tessuti, cuoi e documenti cartacei, ma anche di alcuni contesti architettonici contraddistinti dalla presenza di decorazioni, come stucchi e dipinti di pregio. Tali riscontri avevano ben evidenziato come le esigenze conservative non fossero necessariamente compatibili, anzi in alcuni casi confliggevano, con i parametri di *comfort* prefissati guardando esclusivamente all'attuale fabbisogno di benessere umano.

La sostanziale estraneità della dotazione impiantistica alle logiche della costruzione antica e la distanza considerevole istituita fra i requisiti richiesti in passato e in

epoca contemporanea hanno favorito l'indifferenza per la conformazione specifica dell'esistente da parte dei progettisti degli impianti. Come era accaduto e come rischia di accadere ancora per le strutture, l'ingegneria si è configurata come una dimensione estranea e indipendente della progettazione e dell'intervento architettonico, procedendo da parametri autoimposti e controllabili sul piano numerico grazie anche alla messa a punto di programmi informatici di grande impatto sul committente, portato a rispettare e a considerare 'sicuro' il dato numerico molto di più di quanto non accada nei confronti delle apparentemente più arbitrarie (e talvolta più onerose) valutazioni qualitative.

Queste ultime, però, sono in grado di assecondare meglio la natura specifica della fabbrica, evidenziando l'eventuale presenza di canali di ventilazione, di sistemi di drenaggio precostituiti e occlusi nel tempo, di dispositivi predisposti per favorire il mantenimento di un microclima adeguato alla conservazione dei materiali, come le prese d'aria nei sottotetti per l'aerazione del legno in copertura e così via.

La logica della standardizzazione e della semplificazione che sempre più contrassegna la nostra operatività progettuale ed edilizia non aiuta ad indirizzare gli sforzi progettuali finalizzati alla realizzazione degli impianti verso una maggiore aderenza alle caratteristiche intrinseche dell'esistente, né vale, in questo caso, la preoccupazione per la sicurezza che aiuta alla ricerca delle modalità d'intervento più idonee in campo strutturale. Perché dovremmo abbassare le nostre esigenze e l'interesse per l'innovazione soltanto per favorire una conservazione più efficace? La dialettica fra istanze dell'uso e culturali rischia, specie in questo periodo, di risolversi in una sbilanciata propensione per le esigenze dell'attualità, a meno di non rovesciare nettamente il paradigma che guida le scelte dei portatori d'interesse: proprietari, imprese, progettisti.

In effetti, è pure possibile individuare diversi argomenti a sostegno di questo rovesciamento di punto di vista: il tema della sostenibilità ha suscitato un nuovo interesse nei confronti delle regole del buon costruire tradizionale, specie in riferimento agli aspetti legati all'esposizione e alla ventilazione; la leva della valorizzazione ha evidenziato il ruolo esercitato dall'illuminazione interna per un migliore apprezzamento dello spazio e dei suoi apparati decorativi; la prospettiva della lunga durata aiuta a far cogliere meglio il vantaggio economico (inteso in maniera più ampia rispetto al solo parametro dei costi dell'intervento) che deriva da una presenza impiantistica coerente e compatibile con il carattere dell'edificio storico.

Accettati questi presupposti, si aprono al mondo della ricerca e della sperimentazione molte strade da percorrere, in parte sondate nel presente numero di "Materiali e Strutture": comprendere se e quali impianti possono essere considerati di per sé patrimonio da tutelare, essendo ormai passato circa un secolo dal loro definitivo inserimento negli edifici (oggetto del contributo di Marco Pretelli, Leila Signorelli e Kristian Fabbri); mettere a punto modalità di co-progettazione della luce e degli apparecchi di nuova produzione al fine di ottimizzarne l'impatto sull'esistente (come argomentano Riccardo Fibbi e Carolina De Camillis); verificare la prestazione dei nuovi dispositi-

vi in produzione nel mercato, tenendo assieme gli aspetti prestazionali con gli esiti prodotti in termini di compatibilità materiale e tecnica e di efficacia visiva (come, in relazione agli apparecchi d'illuminazione a led, argomenta Fabio Aramini); orientare le buone pratiche manutentive e gestionali degli impianti, anche in riferimento alla prassi comune e alle normative esistenti (contributi di Maria Elena Corrado e Valeria Pracchi); definire metodiche analitiche dei dati e del progetto strettamente correlate, finalizzate al duplice obiettivo della salvaguardia del benessere umano e della stabilizzazione degli ambienti, garanzia di una migliore conservazione (come per la progettazione di un impianto di condizionamento illustrato da Giuseppe Bonfante, Chiara Bonvicini e Carlo Cacace).

La potenziale contrapposizione istituita fra singolarità della preesistenza e serialità degli impianti può essere risolta soltanto tramite un investimento progettuale espresso da approfondimenti analitici e impegno creativo adeguati. L'approfondimento analitico necessita di un'attenzione ugualmente rivolta agli aspetti quantitativi e qualitativi della conoscenza, mentre lo sforzo creativo dovrebbe superare il livello seduttivo, ma superficiale, della mera cifra innovativa per confrontarsi, più in profondità, con le sfide della compatibilità fra antico e nuovo.

Interventi sugli impianti storici

Un patrimonio dal significato in evoluzione

MARCO PRETELLI, KRISTIAN FABBRI, LEILA SIGNORELLI

La 'Rivoluzione impiantistica'

Fin dalla loro introduzione, gli impianti tecnologici – intesi in senso moderno¹ – hanno rivoluzionato il concetto tradizionale di architettura, fin lì strettamente relazione ai luoghi, ai climi, ai ritmi delle stagioni², arricchendo l'architettura costruita di nuovi significati, di nuove prestazioni e di conseguenti, ampliate, possibilità di uso³. Un'incessante evoluzione dalla metà del XX secolo a oggi ha fatto sì che possiamo abitare edifici in grado di garantirci le stesse temperature e gli stessi livelli di umidità relativa in estate come in inverno, all'equatore come ai poli; nei quali il livello di illuminazione è il medesimo di notte e di giorno; in cui il superamento dei dislivelli non è più affidato alle capacità motorie di coloro che li abitano o li visitano, ma ad ascensori e scale mobili; dove ci sentiamo al sicuro dagli incendi e da altri possibili disastri e, nello stesso momento, nei quali possiamo essere 'connessi' e aggiornati in ogni istante – anche nel privato di uno *smartphone* o di un *tablet* – su quel che accade accanto a noi o nel mondo.

Una rivoluzione, quella degli impianti moderni⁴, iniziata – come detto – oltre due secoli fa⁵ e che è giunta a maturazione con il Movimento Moderno e il Funzionalismo, movimento che pensava alle architetture come a 'macchine', fossero esse progettate e costruite 'per abitare'⁶ oppure per permettere lo svolgimento di qualsiasi altra attività. Una rivoluzione che, da allora, non si è più arrestata, arricchendo costantemente il costruito di nuovi impianti e nuove funzionalità e, contemporaneamente, migliorando l'efficienza di quelle già raggiunte.

¹ Per ciò che concerne gli impianti pre-moderni, si veda FIORANI 2001.

² Una relazione, ad esempio quella con le stagioni, a cui si fa chiaro riferimento nella trattatistica architettonica classica, nella quale si giungeva a raccomandare, per l'ottenimento di determinate prestazioni, l'opportunità di variare le parti abitate della casa a seconda delle condizioni microclimatiche esterne: Francesco Milizia, nei suoi *Principj*, suggerisce di abitare il piano terra della villa durante l'estate e il piano superiore durante l'inverno, in modo da alleviare – non certo di annullare – gli aspetti fastidiosi legati alle stagioni (MILIZIA 1785).

³ Si fa qui riferimento alla definizione d'impianto moderno contenuta in ARTHUR 2009, p. 24. Non a caso, tale introduzione è strettamente connessa alla rivoluzione industriale.

⁴ BANHAM 1995.

⁵ Su questi temi e per un'ampia riflessione sull'argomento, si vedano i materiali prodotti per la 14^a Biennale di Architettura da Rem Koolhaas e Irma Boom (KOOLHAAS *et al.* 2014).

⁶ Tale è la notissima definizione di come sarebbero dovute essere le abitazioni appropriate al suo tempo, data da Le Corbusier.

Per comprendere la rilevanza di quel passaggio e cosa significhi il termine ‘macchina’ applicato all’architettura – passaggio che segna tutta l’architettura del Novecento – basti pensare ad alcune realizzazioni di Le Corbusier: la *Doppelhaus* di Stoccarda e il disegno del suo sistema distributivo, ridotto ad ampiezze minime, ispirate al corridoio di una carrozza ferroviaria; o i suoi servizi igienici, rispondenti alle regole dell’*existenz-minimum*; o alle cucine ad alta tecnologia impiantistica – per il periodo in cui vennero realizzate – tipiche delle numerose residenze da lui progettate, da quelle più economiche alle ville; a *La Tourette*, con le tubazioni termoidrauliche a vista, rosse e blu, che segnano l’interno del convento; all’*Unité d’habitation* a Marsiglia, con i sistemi d’illuminazione, pensati come parte integrante dell’architettura, e con i relativi interruttori sul soffitto, nel rispetto del *Modulor*, come testimoniato da una famosa fotografia dello stesso Le Corbusier nell’atto di manovrare i dispositivi.

In tutti questi casi, dove il progetto degli impianti assume un’importanza pari a quella dell’architettura stessa e il suo disegno è stato pensato in stretta continuità con quello delle componenti edilizie tradizionali, il restauro non può che agire coerentemente sull’intero sistema costruttivo.

Gli impianti, ‘strato’ della contemporaneità

Le esigenze assolute dagli impianti sono legate alla qualità della vita a cui siamo abituati e nella quale vogliamo quante più possibili comodità a ‘portata di mano’: un’espressione questa che va ormai intesa in senso letterale e persino indipendente dalla presenza fisica dell’uomo nella fabbrica dotata di impianti, vista la diffusione di sistemi di comando da remoto e *wireless*. Per offrire un’idea della velocità con cui tali esigenze si sono affermate, basti un esempio relativo agli impianti igienico-sanitari: è impensabile, oggi, almeno in Europa, abitare in alloggi con servizi igienici esterni all’abitazione. Eppure ciò accadeva poco più di cinquanta anni fa, persino in città all’avanguardia come Milano, dove le case di ringhiera, con bagno comune sul ballatoio, ospitavano decine di migliaia di persone.

La richiesta d’incremento delle prestazioni e del numero degli impianti ha portato a inserire sempre più dispositivi tecnologici nelle architetture, veri e propri moderni ‘strati’ sovrapposti nel corso di almeno due secoli alla costruzione. Questi elementi sono stati (e sono) soggetti a modifiche e sostituzioni in tempi molto più brevi rispetto a quelli di vita delle architetture in cui sono inseriti, moderne o antiche che siano; proprio per questa loro intrinseca caducità, sono stati in genere messi in opera o rimossi, almeno fino a oggi, senza particolare riguardo per il loro valore testimoniale, ove presente. Il problema, in questo caso, è tutto nella capacità di riconoscere tale specifica eccezionalità: in generale, la cultura impiantistica del personale tecnico che si occupa di restauro, anche ai più alti livelli, è piuttosto ridotta, quando non del tutto assente, così come lo è la cultura storica tra gli impiantisti: una combinazione che non favorisce di certo la tutela di questo particolare tipo di manufatti.

Un tale atteggiamento indifferente risulta ormai difficilmente giustificabile e da rifiutare, soprattutto quando rivolto a elementi dotati di una loro specificità storico-documentaria. Gli impianti tecnici possono infatti veicolare informazioni significative sulla storia di un edificio, al pari di qualsiasi altro suo elemento costitutivo, rappresentando essi l'espressione della cultura tecnica che li ha prodotti e di un modello di svolgimento di attività diverse da parte dell'uomo.

Si può ritenere che l'esigenza di sostituire gli impianti o, almeno, di adeguarli, senza attribuire un peso al loro valore documentario, derivi in gran parte dalla specifica velocità di innovazione tecnologica, connessa alla vivacità della ricerca scientifica applicata, dalla quale risultano strettamente dipendenti. Va considerato un altro elemento determinante: questo dinamismo ha strettamente a che fare con le nuove esigenze che l'abitare contemporaneo crea e spesso addirittura impone: esse possono essere espressione di bisogni inventati dalla contemporaneità (quale, ad esempio, i sistemi di diffusione dati), o possono derivare dalla crescente complessità dell'architettura. Per esempio si pensi alle norme sempre più stringenti per la sicurezza, come i sistemi di monitoraggio e sicurezza antincendio negli edifici alti, nei quali raggiungere l'esterno diventa sempre più complicato e richiede tempi molto più lunghi di quelli di un'architettura storica: tenere il passo con le dotazioni richieste dalla contemporaneità è diventata una esigenza ineludibile che, quando non riesce ad essere ottemperata, comporta il rischio di una riduzione di funzionalità delle fabbriche, quasi sempre preludio ad un loro progressivo abbandono.

I rischi dell'impiantistica

La tendenza a dotare le architetture esistenti d'impianti sempre più performanti è difficilmente contrastabile, anche se tale processo non è privo di rischi. La quantità di tali impianti e lo spazio da essi occupato, per esempio, costituiscono un problema, forse poco evidente alla vista, ma comunque di un certo rilievo, dato il mutamento nel tempo del rapporto dimensionale tra spazio riservato agli impianti e spazio 'per la vita' nell'architettura. Gli impianti, nel passato aggiunte minimali e trascurabili ad architetture poco vincolate ad esse, condizionano oggi profondamente forma e dimensione stessa dell'architettura; spesso aldilà della volontà dello stesso architetto progettista, non sempre in grado di governare il fenomeno. Questo problema è stato efficacemente rappresentato nel corso della Biennale di Architettura del 2014, curata da Rem Koolhaas: nel foyer di ingresso del Padiglione Centrale dei Giardini sono state allestite in scala 1:1 una sezione di un edificio contemporaneo, con la dotazione impiantistica richiesta per soddisfare le esigenze contemporanee di *comfort*, e una sezione di una fabbrica ottocentesca⁷. Il confronto illustrava la sperequazione d'ingombro fra spazi

⁷ Cfr. KOOLHAAS *et al.* 2014. Il tema indagava i momenti decisivi del processo di modernizzazione dell'architettura e la perdita del controllo della stessa da parte dell'architetto. L'allestimento nel

Padiglione Centrale rientrava nella sezione *Elements of Architecture*, mostrando i risultati della ricerca condotta per due anni da Koolhaas con la Harvard Graduate School e lo studio AMO.



Fig. 1. Salk Institute a La Jolla, California. Vista di uno dei due corpi dei laboratori.

tecnologici e ‘umani’: a fronte dello spazio ridotto occupato da tubazioni e cavi nell’edificio ottocentesco, oltre la metà della sezione dell’edificio contemporaneo era dedicato agli impianti. Di quell’oltre 50%, l’architetto talvolta non conosce e non decide nulla perché sono esclusivamente gli ingegneri impiantisti a sceglierne le dimensioni, la posizione e il tipo di gestione.

Viceversa, casi virtuosi come il Salk Institute di Louis Kahn (*Figg. 1-2*) segnalano il giusto atteggiamento che il progetto deve assumere nei confronti degli impianti, accogliendoli a tutti gli effetti come tema di lavoro⁸. Approccio da condividere allo stesso modo anche nel restauro degli edifici storici.

Ricordiamo, infine, il peso esercitato dalle norme tecniche sul progetto degli impianti, norme, naturalmente, da rispettare, ma anche da sottoporre a interpretazione, per evitare automatismi nefasti, non trascurando la possibilità, al limite, di cambiare la funzionalità degli impianti preesistenti. Valga per tutti l’esempio delle linee elettriche realizzate sottotraccia, con filamenti di rame di ridotte dimensioni collocati in cavidot-

⁸ Qui Louis Kahn riuscì infatti ad integrare il fattore-impianti non solo nel momento in cui lo progettava e costruiva, ma per un lungo, successivo periodo. Egli inserì un interpiano tecnico – controllato dall’architetto nella forma e nelle

proporzioni complessive e dunque perfettamente integrato nell’opera – in grado di assorbire le esigenze impiantistiche future del complesso senza snaturare in alcun modo l’edificio.

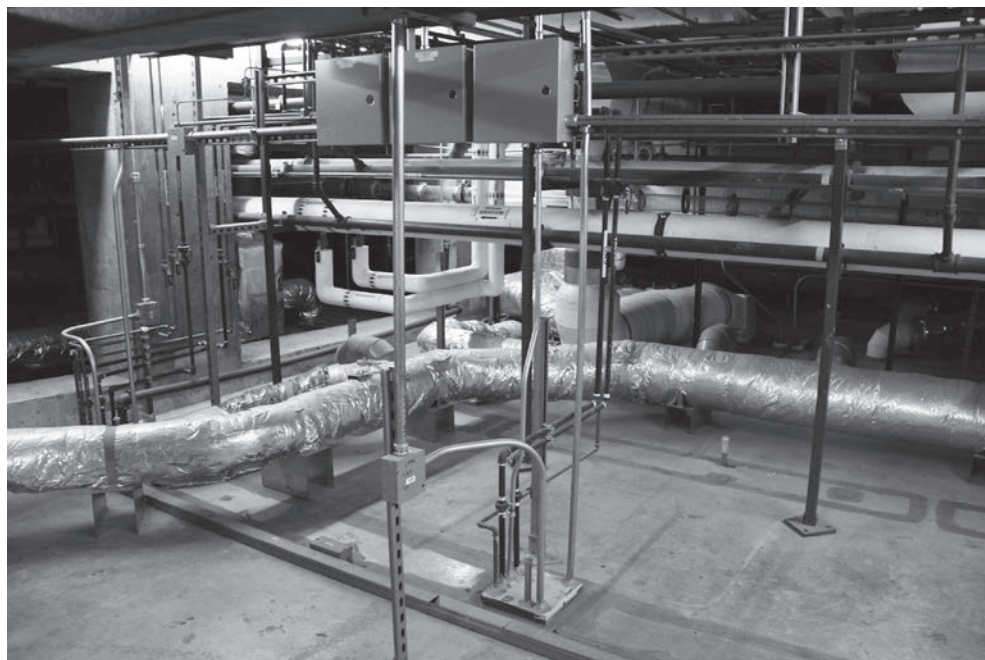


Fig. 2. Salk Institute a La Jolla, California. Vista interna di uno dei piani di servizio per gli impianti: Kahn nella sua celeberrima opera aveva progettato questo interpiano tecnico, utile ad assorbire le esigenze impiantistiche future, prevedendo e ponendo sotto controllo le trasformazioni a lungo termine.

ti e isolati mediante l'impiego di bitume: una tecnica molto diffusa nel nostro Paese negli anni compresi tra le due guerre. Si tratta di un tipo di linea che non può essere sottoposto ai carichi di energia contemporanei indotti dall'uso come linee-forza: gli elettrodomestici, anche i più piccoli, hanno infatti sensibilmente incrementato il loro assorbimento energetico, come per esempio verificabile per i *phön*, il cui consumo è passato dai 350W degli scorsi anni Settanta agli oltre 2 kW di oggi. In queste condizioni, le linee elettriche di mezzo secolo fa sono facilmente sottoposte a cortocircuiti dovuti allo scioglimento del bitume isolante, con il conseguente possibile sviluppo di incendi. È dunque del tutto fuori discussione che queste linee non possano più essere utilizzate per lo scopo per cui furono realizzate, ma al tempo stesso è possibile utilizzare le tracce e anche gli stessi filamenti nel rispetto delle norme vigenti, ad esempio impiegando la cavetteria per condurre segnali elettrici in bassa tensione, utili per comandare apparecchiature a controllo digitale di tipo 'bus'⁹. In questo modo si può riuscire a conservare gli impianti esistenti, valorizzandoli e sfruttandone le potenzialità tecnologiche residue.

⁹ PRETELLI 2003.

Alcuni esempi

I casi studio proposti sono stati scelti per illustrare approcci e livelli conservativi diversi in interventi che hanno coinvolto impianti considerati di alto valore testimoniale. I primi esempi riguardano due capolavori – al tempo stesso architettonici e impiantistici – del secolo scorso: la Casa Horta a Bruxelles di Victor Horta e la Villa Tugendhat a Brno, in Repubblica Ceca, di Ludwig Mies Van der Rohe. Pur essendo due opere molto diverse per epoca di costruzione e cultura architettonica, è possibile rintracciare alcune similitudini nel modo in cui i due Maestri si sono impegnati direttamente nel disegno e nella definizione anche impiantistica di quegli edifici.

Il terzo caso, meno rilevante dal punto di vista architettonico, riguarda la conservazione di un impianto destinato alla cogenerazione termico-elettrica ancora conservato presso l'Istituto Tecnico Industriale 'Guglielmo Marconi' di Forlì.

I vari interventi interpretano diversamente il valore documentario della componente tecnologica, utilizzando, di volta in volta approcci: parzialmente distruttivi, talvolta anche estesi a impianti considerati storicamente significativi; orientati al ripristino di condizioni originarie, ritenute importanti per la comprensione dell'architettura; prioritariamente finalizzati alla conservazione. La maggior parte degli interventi condivide comunque l'attenzione al dato storico, anche quando esso ha condotto alla sostituzione delle parti ammalorate o perse con componenti analoghe, spesso rintracciate sul mercato antiquario. Le soluzioni conservative, in alcuni casi, paiono agli autori di grande raffinatezza. In ogni modo crediamo che, pur con le disomogeneità di cui sopra, tali esempi costituiscano casi utili a favorire un avanzamento della ricerca e della progettazione in materia.

Casa Horta, Bruxelles

L'edificio, realizzato tra 1898 e il 1901, è stato progettato da Victor Horta, che ne è stato proprietario e abitante; attualmente appartiene al Comune di Saint-Gille¹⁰. La campagna di restauri, rivolta alle strutture come alle decorazioni e all'impiantistica storica, si è condotta fra il 1989 e il 2000¹¹. In circa un decennio sono state condotte indagini storiche e materiche sull'architettura e sugli impianti che hanno aiutato alla definizione del progetto di restauro e si sono tradotte in un apprezzabile intervento conservativo. Il motivo che ha sollecitato una tale attenzione è facilmente riscontrabile nel fatto che Horta stesso si è occupato di progettare tutti i dettagli tecnici, incluse le parti 'a vista' degli impianti. Tra gli elementi più caratteristici dell'impiantistica vi sono i terminali del sistema di riscaldamento, in particolare, i radiatori a forma di colonna alettata posti in prossimità dell'ingresso; come anche tutti i radiatori in ghisa, inclusi

¹⁰ La casa personale dell'architetto, insieme ad altri suoi quattro edifici realizzati a Bruxelles, sono iscritti dal 2000 nell'elenco del Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO.

¹¹ VAN DER WEE 1993; MARINO 2000; AUBRY 2011.



Fig. 3. Casa Horta, Bruxelles. Dettaglio del radiatore a colonna nell'ingresso, musealizzato.



Fig. 4. Casa Horta, Bruxelles. Radiatore in ghisa, restaurato e rifunzionalizzato.

i dettagli delle manopole di regolazione (*Figg. 3-4*). Dato l'evidente valore culturale e artistico, gli elementi visibili dell'impianto termico di Casa Horta sono stati restaurati e riutilizzati per il riscaldamento dell'ambiente, ad eccezione del radiatore a colonna, restaurato ma non riattivato. Il restauro si è esteso anche ai servizi igienici al primo piano, partendo dallo studio del disegno originario e ricercando sul mercato antiquario e in edifici coevi gli elementi d'arredo da sostituire a quelli andati perduti; lo stesso è stato fatto per i rivestimenti, il wc con la vasca sospesa (di produzione inglese) e la stessa vasca da bagno, completa del riscaldatore, una stufa alimentata a carbone per riscaldare l'acqua. Le scelte effettuate nell'intervento di restauro del bagno hanno coinvolto competenze diverse e diverse aziende, con l'obiettivo di ottenere un restauro di questo locale, di modeste dimensioni, analogo per qualità a quello dell'impianto termico: il vano era stato fortemente modificato per rispondere alle esigenze funzionali dell'Ordine degli Architetti, ospitato nei locali prima che l'intero edificio fosse destinato a museo. Con lo stesso tipo di modalità sono stati restaurati la cucina e la lavanderia, scegliendo mobili e arredi d'epoca – o prodotti secondo lo stile dell'epoca – con l'obiettivo di restituire al visitatore l'atmosfera originaria di un allestimento il più fedele possibile a quello progettato e realizzato da Victor Horta.

Gli ultimi restauri in ordine cronologico riguardano l'adeguamento della casa-museo ai requisiti funzionali e alle norme tecniche vigenti. Nel 2001 sono stati aggiunti dei servizi igienici per i visitatori nell'ex-deposito del carbone della casa. L'attenzione e lo scrupolo profusi negli studi dell'impianto termico ed elettrico non sono stati replicati per il recupero degli impianti per la risalita meccanica: l'ascensore esistente è stato demolito nel 2010, mentre le scale di servizio sono state completamente ricostruite, contraddicendo sostanzialmente le linee operative generali del restauro.

L'operazione si è largamente servita dei documenti storici per intraprendere una via che non è finalizzata alla semplice musealizzazione degli impianti, bensì alla conservazione e al riuso il più ampio possibile delle linee di distribuzione e dei terminali. Le scelte degli impiantisti si sono comunque prevalentemente orientate al ripristino della situazione esistente al momento dell'inaugurazione della villa, procedendo alla sostituzione degli elementi 'originari' della casa andati perduti con altri pezzi 'originali', provenienti dal mercato antiquario o con 'copie' degli elementi documentati.

Villa Tugendhat, Brno

"The Tugendhat Villa is a superlative example of the new concept of villa-type housing for the way in which it limits the traditional stately nature and formal surroundings in favour of heightening the standard of living both physically (*comfort provided by technical equipment*) and spiritual (using space as the highest aesthetic category of living). In the comparative analysis, we have attempted to explain its unique position in modern residential housing architecture"¹².

La Villa Tugendhat è stata iscritta nelle *World Heritage List* nel 2001, non solo per l'influenza esercitata sul Movimento Moderno, ma anche per il carattere straordinario della dotazione impiantistica¹³. Per la prima volta, furono introdotti nell'edilizia residenziale privata sistemi costruttivi e impiantistici sviluppati in ambiti costruttivi diversi, specie nell'edilizia industriale e per gli spettacoli: si tratta infatti di uno dei primi casi in Europa di climatizzazione dell'edilizia privata¹⁴. Se l'impianto di condizionamento della Villa interna presenta un sistema di filtraggio e di raffreddamento dell'aria appositamente studiato, il sistema di riscaldamento è stato configurato per contenere gli effetti di condensa invernale sulle grandi pareti vetrate e per assicurare la migliore climatizzazione interna¹⁵. Nel soggiorno, al piano intermedio (*Fig 5*), le grandi finestre erano state dotate di un impianto meccanico per il sollevamento e l'abbassamento fino alla scomparsa a pavimento, così da favorire la continuità spaziale fra gli spazi domestici e quelli esterni del giardino. Le tende delle medesime vetrate erano estendibili in orizzontale, così da migliorare il controllo dell'irradiazione solare interno durante i mesi estivi. I servizi igienici e la cucina potevano infine contare su una dotazione molto ampia e articolata di sanitari, dotati di acqua calda e fredda. La Villa era inoltre dotata di un collegamento verticale meccanizzato fra i piani costituito da un montacarichi.

Nonostante numerosi e incongrui interventi ne avessero compromesso la conservazione, l'architettura all'epoca del restauro (2010-2012) manteneva ancora consi-

¹² Dalla relazione di inclusione della villa nella *World Heritage List*; il corsivo è degli autori.

¹³ KHAN 1998; STILLER 1999; DENTI, MAURI 2003.

¹⁴ COLOMBO 1939; CELONA 1942; STRADELLI 1955; BANHAM 2004; BANHAM 2005.

¹⁵ A questo scopo, le linee di riscaldamento erano posizionate sotto le grandi lastre vetrate per creare flussi ascendenti di aria calda in grado di ridurre il fenomeno della condensa sulle vetrate e abbassare il discomfort derivante dalla presenza di questi grandi elementi radianti freddi durante l'inverno.



Fig. 5. Villa Tugendhat, Brno. Il soggiorno al piano intermedio, completo degli elementi di arredo recuperati e/o riprodotti.

stenti tracce delle dotazioni impiantistiche originarie sopra descritte¹⁶. L'intervento¹⁷ ha assunto come modello lo stato dell'edificio così come si presentava alla sua inaugurazione, nel 1930, in riferimento sia alla configurazione dell'allestimento interno, sia alla dotazione impiantistica¹⁸. I responsabili del progetto hanno perciò manifestato un'attenzione del tutto particolare per gli elementi tecnologici ancora presenti nell'architettura e per l'indagine storica, fosse essa condotta sulla documentazione fotografica, contabile o di altra natura, utile a definire e identificare (e poi a rintracciare o, dove non fosse possibile, a riprodurre) gli elementi scomparsi. La dotazione impiantistica, dunque, costituisce uno dei punti nodali del programma dei restauri, finalizzato al recupero della piena funzionalità delle strutture, dei componenti e dei meccanismi nel

¹⁶ ČERNA, ČERNOUŠKOVÁ, 2013

¹⁷ CHIORINO 2012; HAMMER-TUGENDHAT *et al.* 2014; DI RESTA 2015.

¹⁸ "The management plan is based on the following aims: ... in the spirit of establishing a "monument of modern architecture" to complete the exhibition by replacing the original equipment in the Villa using original planning and photographic documentation ..." (WHC 2001). Il *management plan* della Villa

denuncia la volontà di riportare l'edificio allo stato originario anche al prezzo del sacrificio dell'originalità dei materiali ivi esistenti - Tale strategia è stata ritenuta condivisibile dalla Commissione dell'UNESCO: "The aims of the final rehabilitation of the Tugendhat Villa is in accordance with the basic principles of the Charter of Venice (1964) and the criteria of the UNESCO operational Guidelines, pursuant to Art. 24, item b)".



Fig. 6. Villa Tugendhat, Brno. In alto a sinistra: il flauto in acciaio cromato che funge da radiatore antiappannamento per le grandi vetrate. In basso a sinistra: dettaglio del sistema di riscaldamento posto al di sotto dell'elemento in travertino, sul quale poggiano i vasi delle piante. A destra: elemento per l'ottenimento della ventilazione forzata interna alla villa.

tempo in cui la famiglia Tugendhat abitava la Villa¹⁹. Le strategie messe in atto hanno cercato, da un lato, di conservare il più meticolosamente possibile gli elementi originali persistenti, dall'altro di riprodurre fedelmente quelli mancanti (*Fig. 6*), con l'obiettivo di riportare a piena funzionalità tutti gli elementi²⁰. Le parti originali considerate vulnerabili, come i sostegni delle tende mobili, realizzati con profili troppo sottili, sono stati sostituite con elementi dimensionalmente adeguati a sopportare le sollecitazioni indotte del vento.

Per descrivere il restauro di Villa Tugendhat non sarebbe possibile, dunque, separare l'approccio seguito per l'intervento sulla parte edilizia da quello adottato per gli impianti, entrambi fondati su ampie ricerche documentarie e con obiettivi chiari.

¹⁹ "All restoration work was carried out with primary concern for the full functionality of the relevant structures, components and mechanisms, so that the level of user-convenience was the same as the time when the Tugendhat family lived in the house" (ZÁČEK 2013, p. 234).

²⁰ "Three historical boilers with fitting including the original tools; a 600-litre horizontally mount-

ed water heater; slide valves for the hot water supply in a range of DN50 to DN125; a tubular heat exchanger alongside the frosted glass wall in the entrance hall on level three; eight nickel-plated horizontal heat exchanger located on the floor alongside the glass wall in the main living area on level two; and other relatively small devices such as the radiator intake and bleed valves", Ivi, p. 246.

In questo caso, il restauro degli impianti ha ricevuto le stesse attenzioni dedicate al recupero degli arredi originari, delle superfici e degli elementi artistici o anche solo litici che erano stati pensati da Mies Van der Rohe per la Villa, raggiungendo un eccellente livello qualitativo²¹. Anche in questo caso, l'attenzione dei progettisti si è spesso concretizzata in una riproduzione fedele della situazione al momento dell'inaugurazione della villa; laddove era possibile, si sono ricercati elementi analoghi a quelli presenti (come per i motori elettrici Skoda che movimentano le vetrate del soggiorno: gli originali erano andati dispersi durante la guerra); in altri casi, come per buona parte dell'impianto di climatizzazione, è stato necessario riprodurre gli elementi preesistenti, prodotti espressamente per Villa Tugendhat. Tutte queste operazioni sono state comunque attuate dopo aver assicurato la conservazione delle componenti ancora in loco, integrandone la fisicità (quando essi non erano più efficienti); in alcuni casi, gli elementi rimossi dalla casa sono stati ivi riportati.

Istituto Tecnico Industriale Guglielmo Marconi, Forlì

Chiude il panorama che si è provato a delineare in queste pagine – di certo parziale – il caso italiano dell'Istituto Tecnico Industriale 'Guglielmo Marconi' a Forlì (d'ora in avanti ITIS), realizzato su disegno di Arnaldo Fuzzi tra il 1934 e il 1941. L'edificio fa oggi parte della rotta culturale europea ATRIUM (*Architecture of Totalitarian Regimes in Urban Managements*), un progetto di promozione culturale dedicato alle architetture dei regimi totalitari del XX secolo²².

L'architettura dell'edificio non ha subito modifiche sostanziali nel tempo, mantenendo inalterati funzione e configurazione di aule e laboratori didattici. Viceversa, i sistemi impiantistici sono stati soggetti a numerose trasformazioni e adeguamenti; in particolare, sono stati completamente rinnovati l'impianto elettrico e quello di riscaldamento, in osservanza delle numerose normative tecniche che si sono succedute dall'inaugurazione del complesso ad oggi. Fra le altre cose, tale rinnovamento ha richiesto la realizzazione di una nuova centrale termica in sostituzione della precedente centrale termo-elettrica.

Prima di richiamare nel dettaglio gli eventi che riguardano l'ITIS, è opportuno tornare a sottolineare la sostanziale assenza, nel nostro Paese, di una sensibilità e di una conseguente linea di ricerca strutturata in riferimento al valore documentale dell'impiantistica storica²³. Nella letteratura specialistica, riferita alla storia dell'architettura

²¹ La discussione sulle scelte a confronto tra i casi avviene nella parte conclusiva del testo.

²² Il progetto transnazionale ATRIUM, del quale fa parte anche la città di Forlì, è stato riconosciuto come Rotta Culturale Europea nel dicembre 2014 e ha come obiettivi la valorizzazione del patrimonio architettonico, archivistico e immateriale dei regimi totalitari del Novecento.

²³ Si osserva qui che anche le *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani* (2013) non affrontano il tema della conservazione degli impianti tecnici quali elementi di valore storico-documentale.



Fig. 7. Istituto Tecnico Industriale G. Marconi, Forlì. Il ‘fossile’ della centrale termica. Da destra: la turbina e l’alternatore; la caldaia; un dettaglio di produzione della caldaia con l’iscrizione “Breda Elettromeccanica e Locomotive S.p.a”.

o della tecnologia, tale indifferenza risulta palese e l’assenza d’interesse conoscitivo si riverbera di conseguenza sulle scelte conservative²⁴. Di fronte al ‘lascito’ tecnologico dell’edificio, l’istanza conservativa pare indebolirsi anche in presenza di valori culturali conclamati, lasciando il campo ad azioni sostitutive e di riprogettazione.

L’eccezionalità, sia essa dell’autore o dell’elemento impiantistico²⁵, pare essere il fattore dirimente per garantire la presenza di una vera attenzione per gli impianti nelle architetture novecentesche. In assenza di questa, gli impianti divengono oggetto di rimozione e distruzione, a meno di casi fortuiti, come quello occorso alla centrale di cogenerazione dell’ITIS ‘Guglielmo Marconi’ di Forlì, dove uno slittamento di significato dell’elemento tecnologico, da ‘macchina puramente funzionante’ a ‘oggetto didattico’ ha favorito la conservazione dell’interessante reperto impiantistico. Il valore di ‘fossile tecnologico’ riconosciuto ormai al macchinario (Fig. 7) e la derivante utilità didattica in quello specifico ambito scolastico hanno garantito un’attenzione che ha condotto alla conservazione dell’impianto. L’elemento a cui ci si riferisce è una centrale termoelettrica di tipo ‘Rankine’, con *boiler* orizzontale Babcock-&-Wilcox, prodotta in Italia su licenza inglese dalle Officine Breda Elettromeccanica e Locomotive S.p.a. Esso serviva a riscaldare l’edificio scolastico e a fornire elettricità all’intero quartiere urbano in cui sorge la scuola, composto da decine di edifici pubblici e privati. Negli scorsi anni Sessanta, con la nazionalizzazione dell’energia elettrica, la centrale è stata dismessa ma, fortunatamente, non è stata rimossa, non essendovi la necessità di recuperare gli spazi in cui era stata collocata per disporre i nuovi impianti²⁶. Ciò ha dato luogo a una sorta di musealizzazione involontaria di una testimonianza ormai preziosa, circostanza

²⁴ Evidentemente, il riferimento, ai “beni e gli strumenti di interesse per la storia della scienza e della tecnica aventi più di cinquanta anni” contenuto nel D.Lgs n. 42/2004 *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio* all’articolo 11, alla lettera h) non viene esteso alla dotazione impiantistica degli edifici storici.

²⁵ Tale eccezionalità riguarda in genere l’autore dell’architettura e dell’impianto; più raramente il tipo o la rarità dell’impianto stesso.

²⁶ In questo caso, dunque, gli impianti descrivono un passaggio della storia stessa del Paese, con la transizione da un sistema di produzione dell’elettri-

questa che dovrebbe sollecitare una riflessione più generale sulla casualità con cui si giunga ad assicurare la conservazione di un patrimonio che, come nel caso in oggetto, ha un suo rilevante valore tecnico-testimoniale²⁷.

Per una storia della tecnica (e della tecnologia) degli impianti negli edifici

L'intervento sugli impianti storici appare in Italia ancora oggi come tema 'di nicchia', mancando serie competenze operative malgrado gli studi condotti da parte di diversi studiosi²⁸. Un contributo fattivo in tal senso potrebbe partire dalla sistematizzazione della conoscenza scientifica e tecnologica relativa agli impianti, attraverso la quale promuovere una maggiore sensibilizzazione tra gli 'addetti ai lavori', architetti e ingegneri, responsabili della sorte di questo patrimonio ancora non riconosciuto. Il restauro, inteso come "l'intervento diretto sul bene attraverso un complesso di operazioni finalizzate all'integrità materiale e al recupero del bene medesimo, alla protezione e alla trasmissione dei suoi valori culturali"²⁹ dovrà sempre più includere nella propria strategia di tutela anche gli apparati tecnologici ai quali viene riconosciuto un valore per la storia dell'impiantistica, che sono da considerare ormai parte stessa dell'architettura. Gli sforzi dovranno mirare sempre più a contenere quei 'rischi' per l'impiantistica di cui si è trattato all'inizio, aumentando il livello di conoscenza preliminare, migliorando il progetto d'intervento e potendo contare su un'effettiva capacità di controllo da parte degli uffici responsabili della tutela.

I casi studio considerati, in modo diverso, costituiscono esempi di approccio integrato su edifici e impianti. Nella Casa Horta, l'attento studio preliminare finalizzato al ripristino e al riuso d'impianti e terminali ha consentito un intervento nel rispetto della normativa tecnica in materia di *comfort* e ha scongiurato il rischio di una stratificazione incontrollata di apparati tecnologici vecchi e nuovi. L'intervento eseguito a Villa Tugendhat, dove vi erano resti delle componenti originarie, è partito dallo studio dalla dotazione impiantistica d'avanguardia dell'edificio, riconoscendone l'importanza e mirando ad una sua riattivazione.

In entrambi gli esempi illustrati la documentazione prodotta sugli specifici interventi ha consentito di chiarire l'importanza di quelle testimonianze. Il risultato di

cità parcellizzato, affidato a società perlopiù private, ad un unico grande operatore nazionale, l'ENEL.

²⁷ Proprio il nostro studio ha permesso di giungere ad una tutela effettiva di questo elemento: la Soprintendenza competente ha infatti accettato con interesse di segnalare la centrale termoelettrica all'interno del provvedimento generale di vincolo dell'edificio.

²⁸ L'interesse verso questo specifico campo vede impegnati alcuni gruppi di ricerca nazionali. Oltre al nucleo di studiosi del Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, autore di questo

contributo, che focalizza la sua attenzione sull'impiantistica storica e sull'analisi microclimatica legata all'*Historic Indoor Microclimate* e *Outdoor Thermal Comfort* (fenomeni connessi da legami profondi e articolati), sono attivi, tra gli altri, gruppi di ricerca presso il Politecnico di Milano, con tesi di laurea specialistica e dottorali dedicati all'argomento e altri studi pubblicati, così come presso l'Università 'La Sapienza' di Roma.

²⁹ Definizione contenuta nell'art. 29 del D.Lgs n. 42/2004 *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*.

questi lavori viene messo a disposizione di chi, in futuro, dovrà occuparsi di altre operazioni di restauro/manutenzione, fornendo una base preziosa per la ‘vigilanza’ sull’opera. In un recente contributo si è voluto proprio evidenziare come nel restauro di edifici pubblici vincolati, dove i tempi tra progetto e realizzazione sono molto compressi, l’assenza di analisi conoscitive e diagnostiche preventive abbia portato alla distruzione di testimonianze tecnologiche storiche, che avrebbero potuto invece essere ri-coinvolte e ri-utilizzate in un più meditato progetto di restauro³⁰. La centrale termica dell’ITIS ‘Guglielmo Marconi’ ha ormai acquisito un riconoscimento di valore condiviso anche dal Direttore dell’Istituto, il quale è un fermo sostenitore dell’utilità didattica di tale scelta. Laddove, per motivi di obsolescenza totale, non sia possibile riutilizzare/rifunzionalizzare gli impianti storici – nemmeno sfruttando quelle che abbiamo definito ‘potenzialità residue’ –, la musealizzazione dovrebbe essere sempre presa in esame, e di certo essa appare preferibile rispetto ad una definitiva perdita del dato materiale.

Dai casi indagati, in conclusione, sembra possibile circoscrivere alcuni possibili atteggiamenti per il trattamento degli impianti di interesse storico che escludono l’opzione ‘zero’, intesa come la totale cancellazione della stratificazione tecnologica: la prima è il riuso totale e nelle modalità originarie di impianti e terminali; la seconda, un riuso parziale e adattivo della dotazione tecnologica; l’*ultima ratio*, essendo costituita dalla sua musealizzazione, utile a tramandare la memoria di tecnologie e della storia di chi le ha prodotte. Al di fuori di queste vie, che richiedono fatica poiché, come è chiaro, devono basarsi su ricerche rigorose e su capacità di inclusione progettuale, vi è solo la certezza della perdita degli impianti e di qualsiasi loro possibile, futura interpretazione³¹.

³⁰ FAVARETTO, PRETELLI, SIGNORELLI 2016.

³¹ FIORANI 2015.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ARTHUR 2009: W.B. Arthur, *The Nature of Technology*, Penguin Books, New York 2009
- AUBRY 2011: F. Aubry, *Vingt ans de travaux de restauration au Musée Horta, Saint Gilles*, Ed. du Musée Horta, Bruxelles 2011
- BANHAM 1995: R. Banham, *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Roma 1995
- BANHAM 2004: R. Banham, *Architettura della seconda età della macchina. Scritti 1955 1988*, Mondadori Electa Editore, Milano 2004
- BANHAM 2005: R. Banham, *Architettura della prima età della macchina*, Christiano Marinotti Editore, Milano 2005
- CELONA 1942: A. Celona, *Considerazioni sul condizionamento dell'aria*, Soc. Coop. Tip, Padova 1942
- ČERNÁ, ČERNOUŠKOVÁ 2013: I. Černá, D. Černoušková, *Wartime and post-wartime fate of the house and its owners*, in I. Černá, D. Černoušková (a cura di), *Mies in Brno. The Tugendhat House*, Muzeum města Brna, Brno 2013, pp. 130-151
- CHIORINO 2012: C. Chiorino, *Restaurata la casa capolavoro di Mies van der Rohe*, in «Il giornale dell'architettura», 2012, 105, p. 10
- COLOMBO 1939: G. Colombo, *Manuale dell'ingegnere*, Hoepli, Milano 1939
- DEL CURTO, FRATELLI 2010: D. Del Curto, M. Fratelli, *Edifici storici e destinazione museale. Conservazione degli edifici e delle opere d'arte. Progetti per il restauro e l'integrazione di impianti esistenti*, Il Prato, Padova 2010
- DENTI, MAURI 2003: G. Denti, A. Mauri, *Mies van der Rohe. Villa Tugendhat*, Alinea, Firenze 2003
- DI RESTA 2015: S. Di Resta, «Less is (still) more». *Il restauro dell'architettura razionalista: un quadro d'insieme*, in F. Delizia, C. Di Francesco, S. Di Resta, M. Pretelli (a cura di), *La Casa del Fascio di Predappio nel panorama del restauro dell'architettura contemporanea. Contributi per aiutare a scegliere*, Bononia University Press, Bologna 2015, pp. 78-89
- FAVARETTO, PRETELLI, SIGNORELLI 2016: G. Favaretto, M. Pretelli, L. Signorelli, «Eresia" o assenza di "credo"? Il restauro delle architetture del totalitarismo: l'intervento alla Casa del Balilla di Forlì, in G. Biscontin, G. Driussi, *Eresia ed Ortodossia nel Restauro. Progetti e realizzazioni*, Edizioni Arcadia Ricerche, Venezia 2016, pp. 267-278
- FIORANI 2001: D. Fiorani, *Quadro storico degli impianti antichi in Carbonara G.*, *Restauro architettonico e impianti*, vol. V, UTET, Torino 2001
- FIORANI 2015: D. Fiorani, *Alte Anlagen der historischen Architektur: unbenutzbare Gegenstände oder Reichtum? Impianti antichi nell'architettura storica: inutile presenza o risorsa?* in A. Battisti, E. Endres, D. Santucci, F. Tucci (a cura di), *Occasione o minacce per il paesaggio urbano europeo? ENERGIA Bedrohung oder Chance für die europäische Stadtlandschaft*, TUM, München 2015, pp. 154-175
- GRIMOLDI, FRATERNALI, MANFREDI 2010: A. Grimoldi, D. Fraternali, C. Manfredi, *Il museo del paesaggio nel Palazzo Viani Dugnani a Pallanza. Controllo microclimatico per la conservazione delle collezioni e dell'edificio*, in G. Biscontin, G. Driussi (a cura di), *Pensare la prevenzione. Manufatti, usi, ambienti*, atti del XXVI convegno internazionale Scienza e Beni Culturali (Bressanone 13-16 luglio 2010), Edizioni Arcadia Ricerche, Venezia 2010, pp. 695-704
- HAMMER-TUGENDHAT et al. 2014: D. Hammer-Tugendhat, I. Hammer, W. Tegethoff, *Haus Tugendhat. Ludwig Mies van der Rohe: Neuausgabe*, Birkhäuser, Basel 2014
- KAHN 1998: H.U. Kahn, *International style: modernist architecture from 1925 to 1965*, Taschen, Köln 1998

- KOOLHAAS *et al.* 2014: R. Koolhaas, AMO Harvard Graduate School of Design, I. Boom, T. Avermaete, *Elements of Architecture*, Marsilio-La Biennale di Venezia, Venezia 2014
- MANFREDI 2006: C. Manfredi, *Monumenti temperati. Il sistema Temperierung. Esperienze di climatizzazione negli edifici storici*, in «Il rapporto restauro 2006», supplemento a «Il giornale dell'architettura», 2006, 3, p. 12
- MARINO 2000: B.G. Marino, *Victor Horta: conservazione e restauro in Belgio*, Edizioni scientifiche italiane, Napoli 2000
- MILIZIA 1785: F. Milizia, *Principj di Architettura Civile, Roma 1785 (ristampa anastatica, Sapere 2000, Roma 1991)*
- PRETELLI, 2003: M. Pretelli, *Villa Barbaro. Il rinnovo dell'impiantistica elettrica in un edificio palladiano*, «Recupero e Conservazione», 2003, 49, pp. 44-51
- PRETELLI, UGOLINI, FABBRI 2013: M. Pretelli, A. Ugolini, K. Fabbri, "Historic plants as monuments" preserving, rethinking and re-using historic plants, in «Journal of Cultural Heritage», 2013, 14, Issue 3, Supplement, pp. S38-S43
- PRETELLI, FABBRI 2016: M. Pretelli, K. Fabbri, *New Concept of Historical Indoor Microclimate - Learning from the Past for a More Sustainable Future*, in M. Drusa, I. Yilmaz, M. Marschalko, E. Coïsson, A. Segalini (a cura di), *Proceeding of Conference World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium* (Prague, 13-17 June 2016), Elsevier, Prague 2016, pp. 2173-2178
- STILLER 1999: A. Stiller (a cura di), *Das Haus Tugendhat. Ludwig Mies van der Rohe. Brünn 1930*, Anton Pustet, Salzburg 1999
- STRADELLI 1955: A. Stradelli, *Il condizionamento dell'aria*, Hoepli, Milano 1955
- WHC 2001: WHC Nomination Documentation, File Name: 1052.pdf UNESCO Region: Europe and the North America, <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1052.pdf> [11 febbraio 2017]
- VAN DER WEE 1993: B. Van der Wee, *De recente restauraties in het Hortamuseum (1990-1993)*, in «Monumenten en Landschappen», 5, 1993, pp. 33-49
- ZÁČEK 2013, M. Záček, *Metals and glass*, in I. Černa, D. Černoušková (a cura di), *Mies in Brno. The Tugendhat House*, Muzeum města Brna, Brno 2013, pp. 234-245

Progettazione impiantistica e restauro architettonico

RICCARDO FIBBI, CAROLINA DE CAMILLIS

Il progetto degli impianti nel restauro

Negli ultimi anni sono aumentate le riflessioni critiche sul tema della relazione, a volte conflittuale, tra progettazione impiantistica e restauro, già ampiamente discusso ma mai completamente approfondito, a differenza dell'analogo rapporto istituito fra restauro e consolidamento strutturale¹.

La parallela evoluzione delle tecnologie dei sistemi impiantistici da una parte mette a disposizione materiali e strumenti utili a ridurre l'impatto degli impianti sulle preesistenze architettoniche, ma dall'altra fa innalzare le attese prestazionali sia per i nuovi edifici che per il patrimonio storico-architettonico esistente.

Il panorama legislativo e normativo ha d'altronde contribuito a contrastare le sperimentazioni e i tentativi di uscire dal ristretto ambito dell'approccio tecnico-progettuale di stampo tradizionale, dove la progettazione impiantistica è sempre un'operazione autonoma e separata dai criteri propri del restauro. L'attuale atteggiamento, anche normativo, sia a livello nazionale che europeo punta a privilegiare le caratteristiche legate al risparmio energetico rispetto a tutte le altre problematiche coinvolte, con grave pregiudizio delle componenti culturali e dell'esigenza di operare con consapevolezza storica, distinguendo passato e presente.

L'aggiornamento del D. Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, in Attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia, definito dalla legge 90/2013, ha reso di fatto 'condizionata' la deroga in riferimento alla sua applicazione ai beni culturali².

L'esclusione dall'applicazione della norma suddetta per il patrimonio edilizio vincolato è opportunamente prevista solo nel caso in cui si accerti che: "[...] il rispetto delle prescrizioni implichi un'alterazione sostanziale del loro carattere o aspetto, con particolare riferimento ai profili storici, artistici e paesaggistici."

¹ La letteratura sugli impianti nel restauro è ancora carente, soprattutto perché perlopiù si è sviluppata attorno all'analisi di problematiche specialistiche (contenimento energetico negli edifici storici, rapporto fra conservazione materiale e microclima ecc.). Viceversa, i casi di approccio integrale

all'argomento sono piuttosto ridotti. Negli ultimi tempi si sono tuttavia compiuti dei passi in avanti, con la pubblicazione delle LINEE DI INDIRIZZO MiBACT 2015, che riassumono alcuni contributi al dibattito in corso.

² LINEE DI INDIRIZZO MiBACT 2015, paragrafo 1.1.

Sarebbe opportuno, nella riflessione sul tema del rapporto tra restauro e impianti, approfondire i limiti della definizione di 'alterazione sostanziale'. Nel dibattito sviluppato in diversi articoli, conferenze e contributi di varia natura, se da un lato si esprime una difesa unitaria delle prerogative del restauro 'moderno', emerge però una differenziazione circa la percezione del livello d'inserimento sostenibile dei sistemi impiantistici. Non si spiegherebbe altrimenti la tolleranza, da parte di alcuni autori, nell'accettare inserimenti di sistemi tecnologicamente più o meno avanzati sul versante dell'efficienza e del risparmio energetico, i quali, pur mostrando un impatto visivo contenuto, risultano comunque percepibili (come i pannelli fotovoltaici integrati nella struttura delle falde di tetti o i pannelli solari con serbatoio di accumulo remoto ecc.). D'altro canto si osserva anche la propensione da parte di altri progettisti ad alleggerire l'entità dell'intervento tecnologico, che viene considerato pregiudizievole per l'integrità dell'edificio, anche a costo di limitare il livello di *comfort* ambientale.

È peraltro decisamente limitativo, proprio nell'ottica di una valutazione costi-benefici, compromettere i caratteri storico-architettonici, figurativi e paesaggistici, a fronte di una riduzione dei consumi energetici in genere poco significativa e comunque non risolutiva, soprattutto su scala nazionale³.

Nel dibattito s'inserisce anche il tema degli impianti obsoleti ma ormai storicizzati, per i quali si delinea, in alcuni casi, la possibilità di conservare, operando un recupero funzionale a volte difficile, ma attuabile; il progettista degli impianti dovrà affiancare in tal caso le proprie competenze con quelle dell'esperto in beni culturali. L'analisi degli impianti storici al fine di valutarne le possibilità di tutela, valorizzazione e fruizione è quindi un processo integrato nel quale il progettista svolge un ruolo di particolare importanza⁴.

Rimane però l'inadeguatezza delle norme, create per gli edifici di nuova costruzione, nei confronti del patrimonio storico-architettonico, per il quale si lavora normalmente in regime di 'deroga'. Sarebbe piuttosto auspicabile la definizione di una normativa appositamente dedicata agli edifici di valore storico-artistico, nella quale il processo di valutazione delle prestazioni energetiche, come pure i requisiti d'installazione dei sistemi tecnologici (idrico-sanitari, riscaldamento, climatizzazione, elettrici e speciali) siano ripensati in funzione dei limiti di intervento propri del restauro, fatte salve le esigenze di sicurezza, principalmente per gli edifici recuperati alla fruizione pubblica, come i musei.

In tale direzione sono stati fatti recentemente dei passi avanti, almeno nel dibattito culturale, verso il superamento del concetto di 'adeguamento' impiantistico, rivolto al completo soddisfacimento delle norme e prescrizioni di legge, sia nazionali che europee, contrapposto al concetto, mutuato dall'ambito del consolidamento strutturale, di 'miglioramento'. Tale approccio consente un atteggiamento progettuale più flessibile nei confronti degli edifici storici, contemperando le esigenze irrinunciabili

³ Ivi, paragrafo 4.4.7

⁴ Ivi, paragrafo 2.4.4

della tutela del bene con quelle legate alla sua fruibilità e lavorando sull'avvicinamento agli *standard* funzionali e di *comfort* ambientale più opportuni.

Pertanto, per un edificio storico si potrebbe pensare di 'migliorare' anche, ad esempio, la prestazione energetica o la rispondenza normativa in tema di sicurezza, in termini di 'prestazione equivalente' o di 'sicurezza equivalente'. Tale concetto, peraltro, era già presente nella norma CEI 64-8 per gli impianti elettrici, nelle edizioni precedenti la specifica norma CEI 64-15 per gli impianti elettrici negli edifici pregevoli per rilevanza storica e/o artistica. Tale norma prevede l'elaborazione di 'varianti a sicurezza equivalente', da adottare quando non è possibile, a causa di vincoli artistici, applicare integralmente la normativa vigente (ma contiene anche prescrizioni 'integrative' più severe, data l'importanza degli edifici considerati).

Per risolvere il problema impiantistico nel restauro sarà necessario far tesoro delle sperimentazioni nel settore realizzate in passato e, allo stesso tempo, stimolare nuove applicazioni.

Infatti, al di là del riferimento al consueto iter metodologico del restauro e dei suoi ben noti criteri fondamentali di minimo intervento, reversibilità e compatibilità, vogliamo qui riportare una *case history* riferita ad alcuni esempi realizzati o progettati negli ultimi due decenni; la sperimentazione progettuale ha riguardato, tra l'altro, i temi dell'integrazione impiantistica, della riduzione dell'impatto e della facilità di manutenzione come obiettivi complementari e, in qualche caso, prioritari, dei progetti d'illuminazione, elettrici, di climatizzazione e riscaldamento⁵.

In alcune realizzazioni la fase progettuale è stata preliminarmente integrata da prove, test di officina, ricerche di materiali alternativi in quanto riferibili ad altre categorie produttive, con un processo che si potrebbe definire 'artigianale', che talora ha registrato la necessità di operare mirate variazioni progettuali in corso di esecuzione, in antitesi con la prassi legislativa e burocratica che prescinde dalle differenze palesi esistenti fra cantieri di restauro e di nuova costruzione.

Non va infine trascurato il problema, particolarmente avvertito nella progettazione impiantistica, della resistenza da parte di installatori, elettricisti o termotecnici, a discostarsi dal dettato normativo, atteggiamento che genera ulteriori difficoltà al progettista e al direttore dei lavori.

Gli esempi che seguono sono esposti seguendo una traccia che lega i vari aspetti progettuali per gli impianti di illuminazione, elettrici, di riscaldamento ecc. alle istanze tipiche del restauro. Non ci dilungheremo, pertanto, nelle descrizioni dei progetti della luce, che richiedono una trattazione separata, stante la complessità della materia, né saranno approfonditi gli aspetti impiantistici specifici, ma cercheremo di raccontare una serie di esperienze progettuali coagulate intorno a soluzioni spesso trasversali all'interno dello stesso ambito impiantistico.

⁵ FIBBI, 2015, pp. 275-280.

Dal dissuasore al totem: l'integrazione degli apparecchi d'illuminazione

Nel chiostro cosmatesco dei Ss. Quattro Coronati in Roma coesisteva la necessità di salvaguardare l'immagine dello spazio architettonico del chiostro e, nel contempo, di assolvere alla funzione dell'evidenziazione dei reperti lapidei posizionati alle pareti dall'intervento di Antonio Muñoz. La problematica della visibilità degli apparecchi d'illuminazione e dei relativi sistemi di alimentazione elettrica è stata affrontata senza coinvolgere le murature storiche e riducendo l'impatto visivo con l'ideazione di strutture mobili di delimitazione, costituite da un dissuasore che ingloba un sistema di illuminazione⁶. Lo studio dell'illuminazione nasce nel 2000, a supporto del progetto generale di restauro del chiostro, tenendo presenti alcuni esempi precedenti caratterizzati dalla stessa filosofia di approccio progettuale, come la cripta affrescata del Duomo di Anagni, la basilica inferiore di S. Clemente e la cripta di S. Pietro in Montorio⁷.

L'obiettivo era quello di controllare l'invasione e la riconoscibilità degli apparecchi d'illuminazione, scegliendo di localizzare i componenti all'interno di elementi metallici appositamente progettati con la duplice funzione di costituire un sistema mobile di protezione e distanziamento del pubblico e di mascherare l'impianto; tale combinazione di elementi permetteva la riduzione dell'impatto visivo degli apparecchi, completamente invisibili all'osservatore soprattutto durante le visite diurne (Fig. 1).

Tali strutture erano caratterizzate dalla totale reversibilità d'installazione e di posizionamento, anche in funzione di particolari esigenze d'affluenza, e potevano essere smontate e rimosse senza pregiudizio. Dato il tempo trascorso, il progetto oggi soffre di una relativa obsolescenza tecnologica, ferma restando l'attualità del *concept* e del metodo progettuale⁸.

Più ambiziosa (e forse con maggiori compromessi sul piano dell'impatto visivo tra la dimensione dell'oggetto progettato e lo spazio che lo accoglie) appare la soluzione realizzata per il secondo piano del palazzo Chigi-Zondadari a S. Quirico d'Orcia, sede del Comune (Fig. 2). L'esigenza, a cantiere di restauro già iniziato, era di conciliare gli obiettivi parzialmente conflittuali del Comune di S. Quirico e della Soprintendenza di Siena. Quest'ultima voleva infatti eliminare, per quanto possibile, ogni componente impiantistico da pareti e soffitti affrescati, incluse le prese di corrente e gli interruttori. Il Comune richiedeva invece la massima flessibilità d'uso, non potendo all'epoca prevedere quale sarebbe stata la destinazione finale degli ambienti, contemplando la possibilità di una funzione museale/espositiva senza escludere la destinazione ad aule didattiche o a uffici. Tale variabilità di usi possibili richiedeva una notevole quantità di predisposizioni e apparecchiature, in contrasto con gli intenti della Soprintendenza. In particolare, mancava un progetto d'illuminazione che potesse valorizzare gli ambienti, stanze principalmente caratterizzate dalla presenza di affreschi del Seicento, molto lacunosi e, prima del restauro, in cattivo stato di conservazione (Fig. 3).

⁶ DE CAMILLIS 2012.

⁷ MAZZONE 1999, pp. 18-25.

⁸ Alcuni criteri di aggiornamento del progetto sono riportati in DE CAMILLIS 2012, pp. 97-106.

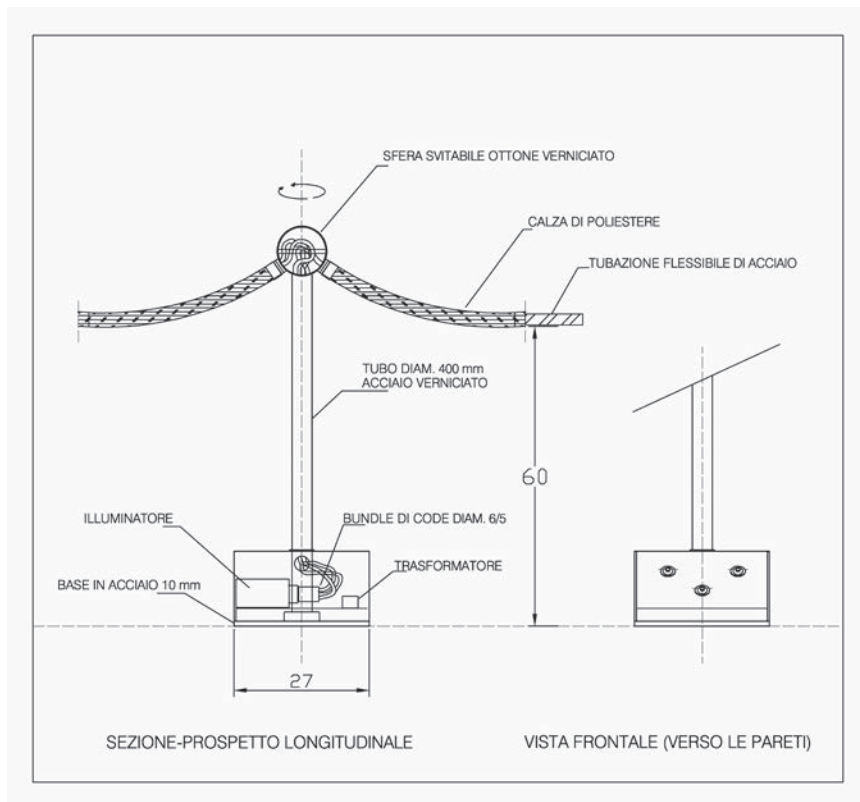


Fig. 1. Ss. Quattro Coronati a Roma (1999-2007). Il progetto del dissuasore integrato utilizzava sistemi d'illuminazione all'epoca tecnologicamente avanzati che riuscivano a rimanere invisibili all'osservatore.



Fig. 2. Palazzo Chigi-Zondadari a S. Quirico d'Orcia (Siena), 2004-05. Vista di alcuni ambienti a lavori terminati, con gli affreschi restaurati e i nuovi *totem* multifunzionali montati.



Fig. 3. Palazzo Chigi-Zondadari a S. Quirico d'Orcia (Siena), 2004-05. Vista del cantiere al momento del primo sopralluogo con alcune opere edili e impiantistiche già realizzate.



Fig. 4. Palazzo Chigi-Zondadari a S. Quirico d'Orcia (Siena), 2004-2005. Il *totem* tecnologico condensa le necessità impiantistiche nell'oggetto di *design*.

Si è scelto di soddisfare tutte le esigenze in un unico oggetto, un *totem* multifunzionale, da collocare su scatole a pavimento già previste nel progetto dell'impianto elettrico; questo è stato realizzato con un sistema 'bus'⁹, anche per limitare il numero delle linee elettriche necessarie, tutte dislocate a pavimento. Il *totem* (Fig. 4) è costituito da due fianchi in cristallo temperato da mm 8+8, in parte trasparente e in parte acidato, e da una struttura di scatolari in acciaio inox satinato, disegnati intorno agli apparecchi d'illuminazione, ciascuno prodotto da aziende costruttrici diverse. Gli apparecchi sono stati selezionati, oltre che per la specifica funzione e per le caratteristiche fotometriche, anche in base alle loro dimensioni, ai materiali e alle finiture, per rendere omogeneo il *design* dell'intero oggetto. All'interno del telaio sono stati inseriti un apparecchio per l'illuminazione

indiretta generale, un apparecchio multilampada per l'illuminazione espositiva d'accento e per la valorizzazione delle più rilevanti porzioni d'affresco, un apparecchio per l'illuminazione diretta diffusa e di servizio, in grado di svolgere anche le funzioni d'illuminazione di sicurezza.

Nella parte bassa della struttura, sopra la base di acciaio inox che nasconde gli allacci a pavimento, s'inserisce una colonnina bifacciale per le utenze elettriche, con interruttori di comando e magnetotermici differenziali, prese FM, prese RJ11 e RJ45 e altre utenze in predisposizione, con possibilità d'inserimento sulla faccia anteriore o posteriore, a seconda della specifica collocazione. Questa la configurazione di base (non ci dilunghiamo qui sui dettagli del progetto della luce), ma le possibili attrezzature potevano prevedere anche sistemi di sicurezza e videocontrollo, antintrusione, riproduzione sonora ecc.

La soluzione finale soddisfa le esigenze normative, in quanto ogni apparecchiatura è un prodotto di serie ed è certificato; la tipologia degli apparecchi risponde alle esigenze di massima flessibilità e di ridotto impatto, lasciando libere pareti e soffitti, e la sua struttura, pur di dimensioni non minime, è comunque relativamente 'leggera',

⁹ Vedi descrizione del sistema 'bus' per l'impianto di Ss. Luca e Martina nelle pagg. seguenti.

data la costruzione in telai sottili con superfici trasparenti e diafane. L'intervento è inoltre completamente reversibile.

Gli impianti a bassa tensione dall'alogeno al LED

La normativa corrente in materia di impianti elettrici individua un impianto a bassissima tensione come soluzione idonea a prevenire il rischio di folgoramento nelle situazioni nelle quali non è possibile utilizzare in sicurezza una distribuzione a tensione di rete. Un impianto con utilizzatori in Classe III, consente soluzioni distributive particolari, come nel caso degli apparecchi di illuminazione per fontane e piscine o degli apparecchi alimentati da cavi metallici non isolati. Nell'illuminazione tale configurazione veniva tradizionalmente utilizzata insieme a lampade alogene con tensione 12/24V, ma le possibilità d'uso venivano limitate dalla massima lunghezza attuabile per la linea a causa delle cadute di tensione¹⁰.

La tecnologia dei LED, sempre più pervasiva a partire dalla metà dello scorso decennio, ha subito un'accelerazione nell'uso soprattutto dovuta a pressioni di tipo commerciale, a volte dando origine a installazioni premature e oggi già obsolete. Oggi le sorgenti LED hanno raggiunto un livello tecnologico elevato, con innegabili vantaggi di carattere energetico e manutentivo, a differenza dei prodotti dello scorso decennio. Tuttavia si riscontra ancora qualche carenza prestazionale nella pulizia del fascio luminoso negli apparecchi a LED con ottiche concentranti. Nei sistemi a LED l'alimentazione a bassa tensione è comunque diventata sempre più diffusa. Esistono due tipologie di alimentazione per i LED, una a tensione costante, generalmente 24V, per la quale rimangono le caratteristiche e le limitazioni già proprie dell'alogeno, e una a corrente costante, dove l'alimentatore (*driver*) mantiene costante la corrente nel circuito. In questo caso, la problematica della lunghezza della linea è meno limitante, come vediamo nei due esempi, aventi caratteristiche molto diverse, che seguono.

Nel progetto d'illuminazione per la Casa di Augusto al Palatino, che si accompagna alla realizzazione della nuova copertura dell'area archeologica (2013-15)¹¹, si è voluto limitare l'impatto dei sistemi impiantistici inserendo le apparecchiature e tutta la distribuzione elettrica nel pacchetto della copertura, garantendo sia la massima versatilità d'uso e di manutenzione, sia la completa reversibilità dell'intervento.

I sistemi d'illuminazione, tutti con sorgenti LED, sono posizionati tra l'intradosso della copertura e il controsoffitto di telo termoteso in PVC (Fig. 5). Alcune asole rettangolari accolgono i gruppi di proiettori in esecuzione speciale, con vari fasci ottici e diverse temperature di colore.

¹⁰ L'alimentazione in bassa tensione può rappresentare a volte l'unica soluzione per il restauro di apparecchi di illuminazione antichi o comunque obsoleti, ma che si vogliono recuperare per la memoria storica dell'edificio che li ospitava, tuttavia

l'operazione richiede sia conoscenze tecniche specifiche del progettista, che mano d'opera particolare e specializzata.

¹¹ DE CAMILLIS, FIBBI 2015, pp. 24-28.



Fig. 5. Casa di Augusto al Palatino (Roma), 2012-14. Il controsoffitto della copertura in telo termoteso in PVC con le asole che alloggiavano i sistemi di illuminazione e altri impianti speciali.



Fig. 6. Casa di Augusto al Palatino (Roma), 2012-14. La stanza chiusa al pubblico con i quadri elettrici, la centralina di controllo e i driver DMX; ogni driver ha tre canali; da ogni driver partono tre cavi bipolari per l'alimentazione e il controllo di ogni singolo apparecchio di illuminazione.

Gli apparecchi sono muniti di adattatore per binario elettrificato con *driver* remoti DMX, regolati tramite software con un pannello di controllo.

L'impianto elettrico 'tradizionale' è limitato alla stanza che ospita il quadro elettrico generale (Fig. 6), interdetta al pubblico. Sulla medesima parete (di ricostruzione) sono posizionati tutti i *driver* DMX, oltre alla centralina di programmazione. Da ognuno dei canali dei *driver* partono singoli cavi bipolari per l'alimentazione e il controllo di ogni apparecchio d'illuminazione, distribuiti su canali metallici sospesi tra la copertura e il controsoffitto in telo termoteso. Tutta la distribuzione a valle dei *driver* è pertanto realizzata in basso voltaggio (classe III), superando ogni possibile conflitto con le normative, caso frequente quando si progetta l'inserimento d'impianti in zone archeologiche.

Gli apparecchi d'illuminazione sono pertanto apparecchi di serie modificati per binario convertito a basso voltaggio, privi dell'alimentatore interno.

Ai fini della sicurezza, nelle asole del telo termoteso entro le quali si alloggiavano i proiettori, sono stati inseriti, con le opportune spaziatore, alcuni apparecchi per illuminazione di sicurezza con ottiche antipanico e per le vie di esodo, in accordo con le EN1838, EN60598-2-22, e CEI 64-15 per gli edifici di cui al D.Lgs 22/1/2004 n. 42. Con le stesse modalità, nei vani delle asole sono inseriti i sensori e le telecamere dell'impianto di videosorveglianza.

Il sistema di passerelle metalliche sospese nel volume tecnico disposto fra l'intradosso del tetto e la controsoffittatura in PVC termoteso assicura la possibilità di espansione per ulteriori sistemi impiantistici che potrebbero eventualmente essere inseriti nel futuro, senza rendere necessari altri interventi sul monumento.

Oltre alle motivazioni direttamente legate al progetto della luce, è stato affrontato il problema della manutenzione, sulla base dell'esperienza maturata, con riferimento alle criticità dei sistemi a LED rilevate in varie situazioni nel corso degli ultimi dieci anni. Le apparecchiature a tutt'oggi meno affidabili sono i *driver* che, indipendentemente dai costruttori, sono risultati spesso sensibili a sbalzi di tensione e *spike*¹² di rete. La scelta di alloggiare tutti i *driver* in un apposito locale, consentendo l'immediata verifica del funzionamento (dal display del *driver*) e, di conseguenza, una grande facilità di sostituzione, permette di ridurre ulteriormente i costi di manutenzione. In un'area archeologica risulta evidente l'inderogabile esigenza di limitare il più possibile la necessità d'intervenire sugli impianti, in genere disposti su zone accidentate e talvolta coperte da pavimentazioni originali, in questo caso musive. L'intervento è necessario solo per la sostituzione del LED, la cui durata è comunque pari a 50.000 ore di esercizio; tale sostituzione è comunque ottenibile tramite lo sganciamento rapido del proiettore, senza alcun impiego di utensili.

Diverso nelle dimensioni dell'intervento e nella tipologia è il progetto di illuminazione delle parti comuni e del cortile monumentale di Palazzo Carli-Benedetti all'Aquila, realizzata nell'ambito del restauro post-sismico¹³. Qui la morfologia del porticato con colonne e capitelli con aggetti minimi, in grado di mimetizzare solo elementi di esigue dimensioni, rendeva difficile ogni possibile inserimento di apparecchi. La soluzione finale, messa a punto nel 2016, ha previsto al primo piano l'inserimento di miniproiettori con ottica variabile, posti in corrispondenza dell'ordine superiore con



Fig. 7. Palazzo Carli-Benedetti (L'Aquila), 2012-16. Vista del cortile monumentale durante le prove notturne per la regolazione dell'illuminazione; il cablaggio a basso voltaggio dei moduli miniaturizzati per illuminazione indiretta avviene con coppie di cavi unipolari neri che si avvolgono ad elica intorno alle colonne tortili, risultando sostanzialmente invisibili sia di giorno che di notte.

¹² Il termine *spike* indica un picco di tensione di breve durata, tale da attraversare il fusibile senza fonderlo, che quindi si riversa sulle apparecchiature

elettroniche, che possono rimanere fortemente danneggiate.

¹³ BARTOLOMUCCI 2015.

montaggio sottogronda e alimentatori remoti. Al piano terra la mancanza di aggetti, come già esposto, rendeva difficile la collocazione dei corpi illuminanti. Si è pertanto privilegiato l'inserimento di moduli sottili con sorgenti LED, di ridotta lunghezza e conseguente basso flusso luminoso, entrambi limitati dalle dimensioni massime dei capitelli. Nei casi in cui le catene toccavano l'abaco sovrastante alcuni capitelli è stato necessario dividere i moduli in due porzioni ridotte, sistemate ai lati dei tiranti. Nonostante il ridotto flusso luminoso e l'emissione indiretta, il sistema è comunque ben calibrato ai fini della visibilità degli spazi e dei percorsi, coadiuvato dagli altri apparecchi da incasso inseriti nella pavimentazione. L'alimentazione dei moduli lineari avviene con *driver* remoti a corrente costante, collegati con due cavi unipolari neri avvolti a spirale intorno alle catene tortili, invisibili sia di notte, con l'illuminazione artificiale, che di giorno (Fig. 7).

I progetti sperimentali per due storiche chiese romane

Nella fase preliminare del progetto per l'illuminazione della chiesa di S. Stefano Rotondo (2007) sono stati analizzati lo stato dei luoghi e il contesto specifico, attraverso considerazioni sull'uso e sulla gestione, in coordinamento con le istanze espresse dal progetto di restauro e con le esigenze di carattere funzionale e impiantistico. Di estrema importanza è stata anche la ricerca, mirata all'individuazione di riferimenti storici per gli edifici di culto a pianta circolare, con particolare attenzione per il rapporto tra gli spazi interni e l'illuminazione naturale¹⁴.

Le linee-guida del progetto d'illuminazione hanno tenuto conto di conciliare le esigenze di una corretta percezione dei compiti visivi con la necessità di rispettare le esigenze proprie degli spazi dedicati al culto, anche per quanto riguarda il controllo dei livelli d'illuminamento. A tal fine è stato dedicato ampio approfondimento all'inserimento e alla tipologia degli apparecchi d'illuminazione. A conclusione della fase preliminare, si è pervenuti alla scelta di riproporre il tipo dell'apparecchio a sospensione, la cui presenza nei monumenti di culto del periodo era testimoniata da fonti storiche e iconografiche. Il progetto dei nuovi apparecchi recupera la funzione simbolica e artistica degli arredi sacri, di cui la basilica è priva. L'involucro, che incorpora degli apparecchi per illuminazione commerciali, alludendo alla forma degli arredi sacri, diventa un oggetto contemporaneo in grado di integrarsi con il monumento (Fig. 8).

Diversamente dall'iter progettuale sviluppato per S. Quirico d'Orcia, qui il processo si è suddiviso tra gli aspetti formali e semantici dell'involucro e quelli strutturali e dimensionali per alloggiare i vari apparecchi di illuminazione.

Un'importante peculiarità del progetto, considerando l'altezza dello spazio centrale (oltre venti metri), le dimensioni e il peso delle sospensioni, è la semplificazione delle operazioni di manutenzione, che possono essere attuate tramite dispositivi motorizzati che consentono l'abbassamento dei corpi illuminanti. Nello spazio fra sof-

¹⁴ D'AQUINO 2016.

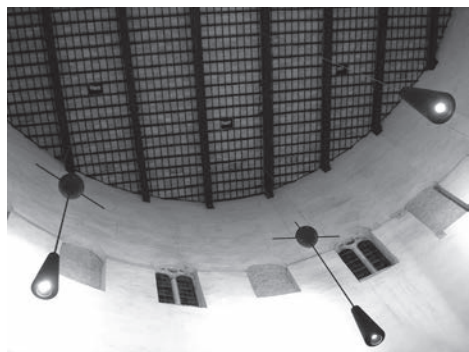


Fig. 8. Basilica di S. Stefano Rotondo (Roma), 2007-09. Le grandi sospensioni sono degli involucri che racchiudono degli apparecchi di illuminazione commerciali, ma alludono alla forma degli arredi sacri, diventando oggetti contemporanei in grado di integrarsi col monumento.

fitto e tetto sono stati fissati alla struttura metallica della copertura argani specifici per lampadari, caratterizzati da una bassa velocità di movimentazione e dall'assenza di 'strappi' (tali sistemi sono stati concepiti per la movimentazione di grandi lampadari a gocce in cristallo).

Il progetto d'illuminazione per la chiesa dei Ss. Luca e Martina al Foro Romano (2009) potrebbe sembrare convenzionale, per certi aspetti, ma in realtà ha richiesto una lunga gestazione progettuale, dedicata all'approfondimento dell'inquadramento storico, all'analisi morfologica e geometrica degli spazi architettonici, con particolare attenzione per il rapporto fra gli spazi interni e l'illuminazione naturale 'progettata' da Pietro da Cortona nonché alla modalità di propagazione, diffusione e riflessione all'interno del tempio (Fig. 9). Per una completa trattazione si rimanda pertanto ai testi che si occupano specificatamente del restauro condotto¹⁵.

Qui non si è potuta attuare la soluzione scelta per S. Stefano Rotondo, sistemando argani per la movimentazione degli apparecchi a sospensione, per la sopravvenuta cessata produzione del prodotto. Sono stati quindi utilizzati apparecchi di serie (caratterizzati però da un montaggio particolare) e si sono ottimizzati gli aspetti gestionali, semplificando l'impatto impiantistico sul monumento, attraverso l'uso di un impianto elettrico con sistema 'bus'.



Fig. 9. Chiesa dei Ss. Luca e Martina (Roma), 2007-09. Il progetto della luce si basa sullo studio della propagazione della luce naturale all'interno della chiesa e gli impianti elettrici con sistema 'bus' sfruttano antichi passaggi e fasce non visibili (prive di intonaco) sopra le cornici.

¹⁵ PORZIO, BALDI 2015.

Qualora si ritenga opportuno che l'impianto elettrico tradizionale presenti caratteristiche di elevata flessibilità, quindi sia configurabile ed espandibile in funzione delle diverse e molteplici esigenze dell'utente, necessiterà di circuiti particolarmente complessi, strutturati in modo tale che ogni funzione venga consentita da un cablaggio separato e dedicato. Ciò comporta un notevole aumento del tempo d'installazione, difficoltà e oneri particolari per effettuare eventuali modifiche o aggiunte di nuove funzioni in immobili esistenti. Va inoltre considerato il problema della posa di grandi quantità di tubazioni che, in alcuni casi, potrebbero comportare la realizzazione di ingenti opere murarie.

La soluzione a tali problemi impiantistici è rappresentata dalle tecnologie digitali, che permettono di sostituire alle apparecchiature tradizionali dei dispositivi 'intelligenti', ovvero in grado di comunicare tra loro. Ogni dispositivo è dotato di un circuito che provvede all'elaborazione dell'informazione e al suo invio agli altri dispositivi. Il mezzo di trasmissione delle informazioni tra i vari dispositivi è il già citato sistema 'bus', costituito da un doppino intrecciato che provvede contemporaneamente all'alimentazione e allo scambio delle informazioni tra i vari dispositivi connessi in parallelo, in modo da comandarne l'accensione, lo spegnimento e la regolazione sia dal centralino di controllo, che attraverso gli interruttori tradizionali posti localmente.

Questa tipologia di impianti permette la riduzione del numero delle linee elettriche e delle relative canalizzazioni, limitando l'impatto sulle murature e sui cornicioni e facilitando il recupero di vecchi percorsi e di varchi murari, così da non richiedere la disposizione di tracce a parete. Inoltre, il sistema presenta un'elevata flessibilità, indispensabile per consentire di variare le accensioni e per integrare o aggiornare gli impianti.

Dall'impianto minimo all'impianto di climatizzazione complesso

Il restauro di Casa Noha a Matera per consentirne l'uso di sede locale del FAI (2012-14) ha richiesto soluzioni impiantistiche molto leggere, tradotte nell'adozione di impianti elettrici minimali. Qui si sono impiegate canalizzazioni sottopavimento - con percorsi obbligati dalla presenza di tratti di pavimentazione non originale o soggette a ricollocazione - cavi esterni ad isolamento minerale e cavi intrecciati su isolatori ceramici per alcune distribuzioni. Generalmente l'impiego di questi ultimi materiali e sistemi esecutivi, che rimandano a soluzioni vernacolari lontane dal linguaggio contemporaneo, appare discutibile per la connessa rinuncia ad una coerenza progettuale priva di ambigui rimandi ad una presunta 'tradizione' costruttiva ed esecutiva. Nel caso specifico esistevano sulle volte relitti di antichi impianti con isolatori e cavo intrecciato e la committenza chiedeva il recupero dell'immagine della casa locale tradizionale, quasi priva di sistemi impiantistici. In realtà, il recupero funzionale dell'unità immobiliare (soprattutto per gli apparati multimediali) ha richiesto una significativa implementazione di tubazioni elettriche esterne.

Gli impianti termici sono di minimo impatto, utilizzando una caldaia murale (non a condensazione, per l'eccessiva difficoltà a realizzare lo scarico delle acque) e

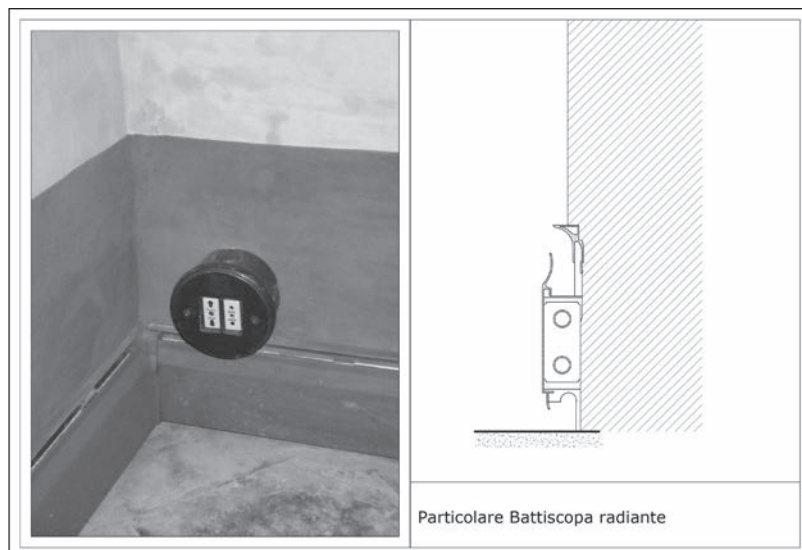


Fig. 10. Casa Noha (Matera), 2012-13. Il battiscopa radiante risulta poco visibile e sostituisce funzionalmente altre tipologie di unità terminali, con minore impatto.

unità terminali composte da sistemi di riscaldamento a battiscopa radiante per medie/basse temperature di mandata. Il battiscopa è composto da tubazioni alettate e struttura in alluminio verniciato ed è incassato a filo con l'intonaco (Fig. 10); l'impianto è provvisto di un sistema di regolazione automatica della temperatura ambiente.

Il sistema di riscaldamento così concepito permette una distribuzione omogenea del calore immesso in ambiente, riducendo i fenomeni di stratificazione e di condensazione sulle pareti.

Un inserimento di impianto complesso è stato elaborato per il progetto di climatizzazione dell'Acquario Romano, oggi sede dell'Ordine degli architetti di Roma, tuttora non realizzato. L'edificio ottocentesco di Ettore Bernich, già alterato pochi anni dopo l'inaugurazione del 1887, fu adibito a magazzino del Teatro dell'Opera dagli scorsi anni Trenta al 1984, quando iniziarono lavori di restauro dal Comune di Roma.

Tra il 2004 e il 2006 è stato redatto un progetto per la realizzazione degli impianti tecnologici per la climatizzazione e il ricambio d'aria. L'impianto è caratterizzato da una minima invasività, sfruttando vecchi cavedi e integrando i sistemi di canalizzazione nelle strutture aggiunte successivamente intorno al lucernario (Fig. 11). Le centrali termiche sarebbero state disposte all'interno di ambienti interrati nell'area di sedime intorno all'edificio, a ridosso della fascia archeologica nel giardino, al cui interno insiste un tratto delle Mura Serviane.

Nelle centrali era previsto un gruppo refrigeratore a pompa di calore, con recupero di calore, sistemato in un manufatto interrato coperto con grigliati Keller per l'aspirazione e l'espulsione dell'aria di raffreddamento del condensatore. Le sottocentrali



Fig. 11. Acquario Romano (Roma), 2004-06. Il progetto degli impianti di climatizzazione si adattava in vecchi passaggi impiantistici, integrandosi nelle strutture non originali degli anni Trenta e successive.

sul terrazzo in corrispondenza di ciascun lato del lucernario. Da ciascuna cassetta una derivazione a bassa velocità sarebbe entrata nel lucernario centrale in corrispondenza della fascia perimetrale in policarbonato, andando ognuna ad alimentare gruppi di ugelli per l'immissione dell'aria; tali ugelli sono posizionati all'altezza dell'attacco del lucernario sul tamburo dodecagonale.

Per la ripresa dell'aria si è previsto di recuperare quattro griglie rettangolari già esistenti, posizionate nella sala centrale nella zoccolatura perimetrale, e di aggiungere a esse ulteriori nuove griglie nella stessa fascia muraria, così da convogliare l'aria in una canalizzazione al di sotto del pavimento del piano interrato dalla quale viene aspirata dai ventilatori di ripresa nelle unità di trattamento dell'aria (Fig. 12).

L'aria di rinnovo, prelevata dall'esterno, doveva essere convogliata separatamente alle unità di trattamento aria in due canali.

Nell'anello perimetrale del piano terreno, esterno alla sala centrale, è stata prevista l'installazione di pannelli radianti a pavimento, che funzionano anche in estate grazie all'immissione di acqua refrigerata. Nei periodi invernali, senza accendere l'impianto di condizionamento (all'epoca la sala centrale dell'Acquario era utilizzata con minore continuità rispetto ad oggi) una caldaia murale avrebbe potuto alimentare il circuito a pannelli e i fan coil dei servizi al piano interrato.

In sintesi, il progetto per l'Acquario Romano poteva rappresentare un esempio d'inserimento di un impianto complesso e di discrete dimensioni all'interno di un edificio storico, con parti interrate tra l'edificio (sfruttando in parte l'intercapedine esistente) e la zona archeologica limitrofa (rimanendo nella fascia di sedime del fabbricato) e con canalizzazioni che recuperavano vecchi percorsi (unici percorsi verticali

dovevano essere ugualmente interrate e posizionate in adiacenza con il vano della centrale frigorifera. Per eventuali manutenzioni straordinarie, che prevedano l'estrazione di componenti dell'unità di trattamento, erano previste aperture a soffitto, a livello del piano di calpestio esterno, opportunamente dimensionate. È stata prevista la partenza dalle UTA di canalizzazioni di mandata a sezione circolare, ad alta velocità; queste dovevano raggiungere i quattro cavedi esistenti e risalire in copertura, alimentando alcune cassette riduttrici di pressione appoggiate

¹⁶ L'insorgere di problemi amministrativi ha impedito che si arrivasse alla fase di esecuzione del

progetto, già appaltato e arrestato al momento della consegna dei lavori.

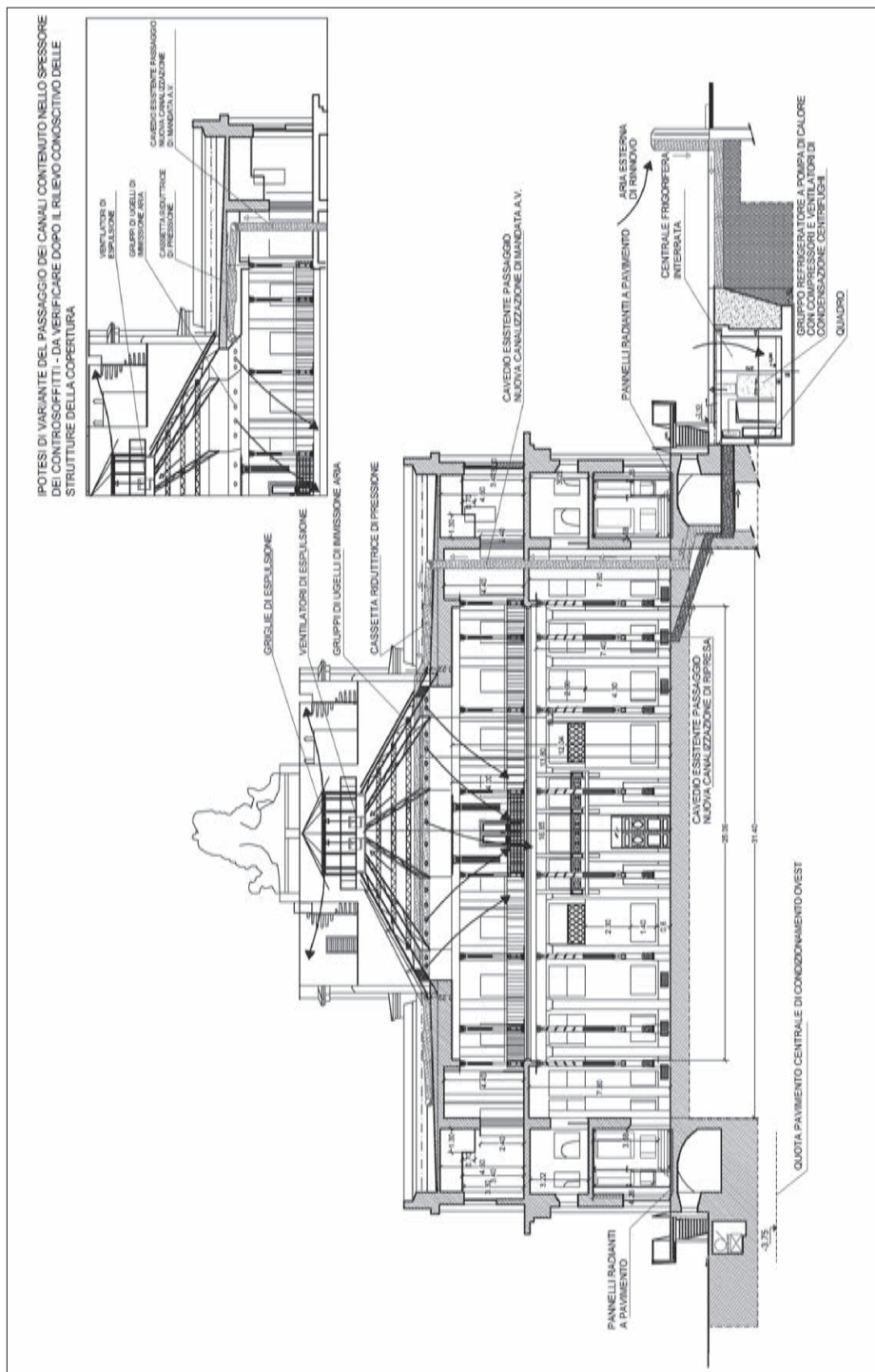


Fig. 12. Acquario Romano (Roma), 2004-06. Per la ripresa il progetto riutilizzava delle vecchie griglie di immissione di aria calda del periodo 1930-84, ricavate nelle specchiature inferiori degli antichi vani di inserimento delle vasche per piscicoltura.

che permettono di salvaguardare gli affreschi di pareti e soffitti) e terminali inseriti nella porzione non originale di soffitto, senza interessare il delicato sistema strutturale costituito dalle colonnine di ghisa e travi reticolari del tetto¹⁶.

Conclusioni

Negli esempi sopra riportati si riscontra come il controllo e la verifica dei requisiti di progetto e degli aspetti normativi e il soddisfacimento degli obiettivi di *comfort* ambientale e di adeguamento funzionale non esauriscano l'operazione progettuale, dovendo, nella fase esecutiva, confrontarsi con le altre problematiche di carattere architettonico, conservativo, strutturale e illuminotecnico.

Infatti nelle esperienze descritte emerge una comune caratterizzazione nell'approccio progettuale, che, negli interventi di restauro, segue la strada dell'integrazione, assorbendo gli aspetti impiantistici all'interno dell'atto della progettazione architettonica.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- LINEE DI INDIRIZZO MiBACT 2015: *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. Architettura, centri e nuclei storici ed urbani*, MiBACT 2015, in <http://www.beap.beniculturali.it/opencms/multimedia/BASAE/documents/2015/10/27/1445954374955_Linee_indirizzo_miglioramento_efficienza_energetica_nel_patrimonio_culturale.pdf> [09/04/2017]
- BARTOLOMUCCI 2015: C. Bartolomucci, *Restoration and seismic improvement of Palazzo Carli-Benedetti in L'Aquila*, in N. Berlucchi, D. Fiorani, A. Griletto, S. Kulikov, O. Pyatkina, T. Vyatchanina (eds), *Scuola di Restauro: Heritage Conservation in Italy and in Russia*, Nardini Editore, Firenze 2015, pp. 341-346
- D'AQUINO 2016: R. D'Aquino, S. Stefano Rotondo. *Pavimento e luci: un progetto di restauro?*, in «Materiali e strutture», 2016, 9, pp. 57-64
- DE CAMILLIS 2012: C. De Camillis, *L'illuminazione del chiostro dei Ss. Quattro Coronati: evoluzione di un progetto alla luce delle nuove tecnologie*, in L. Barelli, R. Pugliese (a cura di), *Dal cantiere dei Ss. Quattro Coronati a Roma*, Viella, Roma 2012, pp. 97-106
- DE CAMILLIS, FIBBI 2015: C. De Camillis, R. Fibbi, *La casa di Augusto e la casa di Livia nel complesso Augusteo al Palatino*, in «LUCE», LIII, 2015, 314, pp. 24-28
- FIBBI 2015: R. Fibbi, *Plant design: integration and control of the impact assessment on monuments*, in N. Berlucchi, D. Fiorani, A. Griletto, S. Kulikov, O. Pyatkina, T. Vyatchanina (eds), *Scuola di Restauro: Heritage Conservation in Italy and in Russia*, Nardini Editore, Firenze 2015, pp. 275-280
- MAZZONE 1999: B. Mazzone, *Illuminare senza alterare. L'illuminazione quale parte integrante del progetto per il restauro*, in «Flare: International Architectural Lighting», 1999, 22, pp. 18-25
- PORZIO, BALDI 2015: P.L. Porzio, P. Baldi (a cura di), *La cupola dei Ss. Luca e Martina di Pietro da Cortona. Aperti per restauri*, Gangemi, Roma 2015

LED e Beni Culturali: i primi 15 anni

FABIO ARAMINI

Inquadramento storico

L'Istituto superiore per la Conservazione e il Restauro (ISCR, già Istituto Centrale del Restauro - ICR) segue fin dalla sua istituzione l'evoluzione tecnologica delle sorgenti luminose. Questo interesse è strettamente connesso sia con la fase del restauro che con quella successiva dell'esposizione delle opere ed è finalizzato a ottenere il miglior compromesso possibile tra fruizione e conservazione, usando il meglio della tecnologia disponibile al momento dell'intervento. Ovviamente questo punto d'incontro è mutevole nel corso del tempo.

Già negli scorsi anni Cinquanta il fisico Manlio Santini affiancato dal chimico Salvatore Liberti analizzava gli spettri di emissione delle sorgenti disponibili in quel decennio¹. Contemporaneamente, Roberto Carità progettava dispositivi ottici parabolici per produrre un'illuminazione omogenea (la chiamò 'parete isolux' - *Fig. 1*)² per illuminare in modo uniforme sia dipinti di grandi dimensioni che disegni esposti su pannello.

Nella sede storica dell'ICR, già negli anni Quaranta, era stata anche realizzata dall'architetto Sergio Radiconcini una sala espositiva climatizzata, progettata con un innovativo soffitto dotato di una matrice di innesti elettrici a baionetta. Utilizzando lampade munite di steli di lunghezza diversa, questo impianto permetteva di realizzare un'illuminazione localizzata dei dipinti appena restaurati in tutte le possibili condizioni angolari (*Figg. 2-3*)³.

La generazione di Santini e Carità ha probabilmente, in qualche modo, trasmesso quest'approccio ai propri successori.

La 'luce elettronica'

Com'è noto, nel novembre del 2014 è stato conferito il Premio Nobel per la Fisica a Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura, che hanno concorso con le loro ricerche all'invenzione del LED a luce blu. I loro studi hanno consentito di sbloccare,

¹ SANTINI 1953; LIBERTI 1950.

² CARITÀ 1953.

³ RADICONCINI 1946.

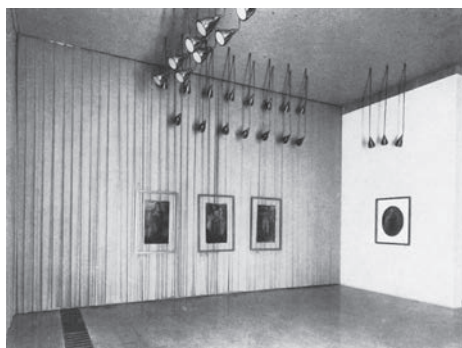
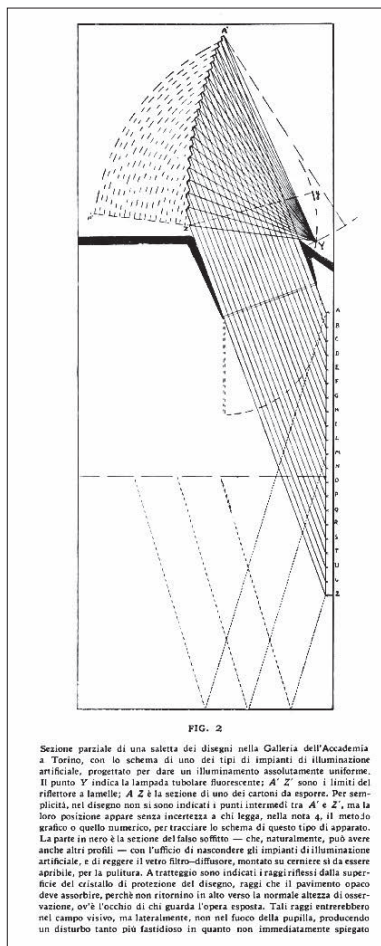


Fig. 1. Uno degli schemi per la progettazione di pareti espositive 'Isolux' con la relativa legenda (CARITÀ 1953).

Fig. 2-3. La sala ICR di esposizione pubblicata dall'arch. Silvio Radiconcini (RADICONCINI 1946).

con questa innovazione, la realizzazione di componenti elettronici in grado di produrre un'emissione di luce visibile completa.

Già agli albori dell'era dei LED a luce bianca, intorno al 2000, avviammo le prime sperimentazioni per utilizzarne le caratteristiche a fini conservativi. I primi interventi furono tentati negli ipogei, in quanto luoghi più critici per la necessità di un accurato dosaggio delle energie prodotte dalle fonti d'illuminazione artificiale. I test preliminari vennero condotti a Tarquinia⁴. I primi tentativi di applicazione furono volti a realizzare

⁴ In collaborazione col prof. Sandro Massa del C.N.R.



Fig. 4. I primordi della sperimentazione dei LED: la telecamera brandeggiabile munita di un piccolo illuminatore LED, orientabile a distanza, durante l'installazione all'interno della Tomba dell'Orco a Tarquinia.

un'illuminazione decrescente del percorso per l'accesso ad alcune tombe della necropoli, applicando queste sorgenti nella parte inferiore del corrimano delle balaustre dei *Dromos* di accesso. Era infatti necessario produrre un adattamento progressivo dell'occhio durante la discesa, dai livelli della luce naturale dell'esterno, pari a 50.000/100.000 lux (inverno/estate), ai circa 50 lux d'illuminamento interno delle tombe. La ridotta dimensione delle sorgenti, la possibilità di alimentazione con bassissime tensioni elettriche, non pericolose anche in ambienti con tassi di umidità ambientale molto elevati, la bassa temperatura di esercizio e la lunga durata dei componenti, aprirono subito spazi per l'impiego in ambienti ipogei di queste nuove tecnologie. Un anno dopo, la produzione dei LED che nel frattempo si era in larga parte trasferita nella Silicon Valley, iniziava a mettere a disposizione sorgenti e accessori ottici (le piccole parabole TIR⁵) di maggior efficienza: impiegammo questi nuovi dispositivi come illuminatori per una telecamera attivabile e orientabile da remoto, installata all'interno della Tomba dell'Orco, situata a circa un chilometro dalla necropoli di Tarquinia, in un luogo di difficile accesso. L'impianto sperimentale di visualizzazione a distanza permetteva la fruizione delle pareti dipinte. Lo spot LED, associato ad una telecamera brandeggiabile, aveva una composizione spettrale e una dissipazione di energia tali da non produrre sollecitazioni significative all'interno di un sito archeologico confinato (Fig. 4).

Nel corso di poco più di un decennio l'efficienza della 'luce elettronica' è aumentata progressivamente più di dieci volte. Nel 2001 l'efficienza luminosa dei primi LED di potenza a luce bianca era di circa 25 lumen/Watt. Nel 2015 sono stati annunciati dispositivi caratterizzati da un'efficienza di oltre 200 lumen/Watt. È aumentata inoltre, in particolare con la tecnologia COB (*Chip On Board*), la potenza luminosa dei singoli

⁵ *Total Internal Reflection.*

componenti. Si è passati quindi progressivamente, nel corso degli anni, da applicazioni prevalentemente riguardanti l'illuminazione localizzata e di piccoli ambienti, ad interventi su scala di gran lunga maggiore.

L'assenza di emissione UV e IR (senza la necessità di filtrare le sorgenti), l'emissione a spettro continuo, la presenza quindi di tutte le lunghezze d'onda del visibile (come avviene sia nella luce naturale che in quella della fiamma, le uniche disponibili fino alla fine dell'Ottocento), la lunga durata in assenza di manutenzione, la possibilità d'indirizzare il fascio luminoso con ottiche in materiale plastico di dimensioni minime, costituiscono caratteristiche oggettivamente interessanti per l'illuminazione dei beni culturali.

Ricordo che in un convegno dell'Associazione dei Progettisti Illuminotecnica Italiani (APIL) del 2009, a Milano⁶, il settore del restauro fu l'unico che si dichiarò già pienamente favorevole alla transizione ai LED. Anche i grandi produttori di apparecchi d'illuminazione, nella fase iniziale dell'avvento dei LED, assunsero un atteggiamento di prudente attesa rispetto a una tecnologia che sembrava terreno per produzioni di piccole serie, avviate anche con modesti investimenti, senza la necessità di avvalersi di grosse strutture industriali. Dopo pochi anni quest'approccio si è modificato radicalmente⁷.

La varietà dei materiali e delle situazioni espositive, caratteristica dei beni culturali nella loro accezione più ampia, induce ad un'ulteriore riflessione: la possibilità di realizzare soluzioni di basso impatto architettonico e di ridotte dimensioni, da 'cucire addosso' alle opere, costituisce comunque, dal nostro punto di vista, un'opportunità che può rivelarsi decisiva in questo settore, soprattutto perché consente un adattamento impiantistico non invasivo negli ambienti architettonici storici. Tutto questo risulta particolarmente utile ad evitare il rischio di modificare eccessivamente le connotazioni originali degli spazi con una 'invasività impiantistica', soprattutto all'interno delle dimore gentilizie e dei musei ospitati in edifici storici.

Le prime progettazioni organiche

Nel 2003, un primo impianto di grande estensione fu installato in uno degli ipogei archeologici più visitati di Roma: la Basilica inferiore e il Mitreo di S. Clemente. Le reazioni non furono molto positive e rischiarono di produrre una battuta d'arresto per la progettazione degli impianti a LED, non soltanto nei siti archeologici. I motivi vanno ricercati soprattutto nel fatto che nel progetto definitivo venne realizzato un *design* forse un po' audace di alcuni corpi illuminanti, in qualche approssimazione nel calcolo fotometrico e, soprattutto, nella mancata selezione dei componenti elettronici installati: alcuni dei LED contigui producevano luce di tonalità sensibilmente diversa

⁶ Convegno APIL, *Facciamo luce sui LED: i pro e contro di una nuova tecnologia*, Fiera Milano Rho, 5 febbraio 2009.

⁷ Convegno AIDI (Associazione Italiana di Illuminazione), *Dalla luce elettrica alla luce elettronica*, Firenze 22 maggio 2012.

Fig. 5. L'impianto predisposto per il restauro e le visite guidate sulle impalcature della Sala della volta dorata alla Domus Aurea. Questa sperimentazione aprì le porte a un uso più esteso delle emissioni LED nei grandi ambienti ipogei.



fra loro. Il controllo di qualità cromatico in fase di fabbricazione non era ancora sufficientemente sviluppato e curato da parte dei produttori.

Un paio di anni dopo ci trovammo noi a dover curare un impianto provvisorio da disporre nella Domus Aurea. Cercammo, pur andando controcorrente, di disfare la cattiva fama che si era prodotta nei confronti dei LED.

L'ambiente della Sala della Volta Dorata, nel quale era stata installata una grande impalcatura con due piani di lavoro sfalsati fra loro e destinati rispettivamente al restauro e alle visite guidate, era caratterizzata all'epoca da un regime di umidità relativa costantemente prossimo alla saturazione. Sulle superfici, bagnate anche a causa di alcune recenti infiltrazioni di acque meteoriche, si producevano fenomeni di colonizzazione algale, anche in presenza di illuminamenti di pochi lux prodotti dalle sorgenti *uplight* poste a terra, una decina di metri più in basso. Dalle sperimentazioni che avevamo condotto negli anni precedenti a Tarquinia e nella basilica inferiore di S. Clemente, avevamo rilevato che le distribuzioni spettrali di LED a tonalità calda risultavano di gran lunga meno efficaci rispetto alle sorgenti tradizionali, nell'innescare i fenomeni di crescita biologica degli organismi autotrofi, in ambienti di questo tipo (Fig. 5).

Realizzammo quindi un'illuminazione con barre LED appositamente costruite. Per non incorrere nei problemi che avevano afflitto i progettisti dell'installazione citata in precedenza, gli apparecchi furono assemblati con partite omogenee e selezionate di LED.

Un'altra insidia degli alti tassi di umidità relativa è costituita dalla condensazione sulle piste metalliche dei circuiti elettronici. In particolare, ciò accade nei circuiti stampati sui quali sono disposti i LED e sulle basette degli alimentatori stabilizzati che ne attivano l'accensione, che rischiano di essere cortocircuitati dal velo d'acqua prodotto dalla condensa, specie nelle ore notturne. Il fenomeno produce una serie di

evidenti malfunzionamenti, talvolta anche in apparecchi stagni, se non sigillati in atmosfera secca. La soluzione individuata fu quella di 'tropicalizzare'⁸ preventivamente tutti i circuiti con apposite resine.

L'installazione risultò perfettamente adeguata agli obiettivi di progetto. Soprattutto, nel corso di circa tre anni di funzionamento, fino allo smantellamento delle impalcature, non furono rilevate tracce d'innesco di colonizzazione superficiale da parte di biodeteriogeni⁹.

Nel corso degli anni successivi si cominciarono quindi ad installare in molte sale della Domus, a partire dalle sedici escluse da qualche decennio dai percorsi e dal Criptoportico dell'ala occidentale, impianti LED con apparecchi appositamente progettati, concepiti in modo da fornire prestazioni perfezionate rispetto alle esperienze precedenti.

Un'altra tappa nell'estensione di questa tecnica vide il suo sviluppo in un tipo di ambienti e su materiali completamente diversi, come quello di una biblioteca storica.

La Biblioteca Lancisiana, presso l'Ospedale di S. Spirito in Sassia, custodisce la raccolta più preziosa al mondo di scritti e documenti nel campo della medicina antica.

La sala di consultazione e deposito, adiacente alla biblioteca storica, fu progettata da un *team* interdisciplinare¹⁰ ponendo una particolare attenzione a tutti gli aspetti della conservazione preventiva.

Per quanto riguarda l'illuminazione, progettammo e brevettammo¹¹ delle apposite ottiche per le barre LED, in grado di produrre un fronte di luce *wall-washer* molto omogenea sulle scaffalature di deposito, collocando gli apparecchi lungo il perimetro dei vari piani dell'ambiente¹². È abbastanza evidente che questo tipo di soluzione derivava direttamente dalle esperienze effettuate nel decennio precedente con le guide di luce prismatiche ad emissione longitudinale, ideate nel corso della realizzazione del nuovo allestimento del Museo della *Capilla Real* di Granada nel 1992¹³.

Molte applicazioni di questa modalità localizzata di erogazione dell'energia luminosa furono realizzate in quegli anni, sia nel campo dell'illuminazione delle teche espositive che nell'esposizione di disegni particolarmente celebri e preziosi, come per l'allestimento di una grande mostra monografica su Raffaello ospitata nelle sale della Galleria Borghese nel 2006 (*Fig. 6*)¹⁴.

Nel frattempo, anche nel campo degli illuminatori per il restauro venivano realizzati prototipi per testare la qualità della luce, soprattutto nelle fasi d'integrazione

⁸ La 'tropicalizzazione' è un procedimento adottato in origine per proteggere dall'umidità, dalla polvere e da sostanze ossidanti le schede elettroniche, in special modo dei dispositivi militari, impiegate in ambienti marini e in condizioni ambientali difficili.

⁹ ARAMINI 2009.

¹⁰ Coordinato dal dott. Marco Fiorilla, un gruppo di esperti di varie discipline della Biblioteca

Lancisiana, dell'ICR, dell'Istituto Centrale per la Patologia del Libro e dell'Università di Tor Vergata

¹¹ In collaborazione con l'Elettronica Informatica Sud di Torre del Greco (NA).

¹² DE CAMILLIS, ROSATI 2009.

¹³ RADÌ 1993.

¹⁴ La mostra, intitolata *Raffaello da Firenze a Roma*, si è tenuta presso la Galleria Borghese nel maggio-agosto del 2006.



Fig. 6. L'esposizione dei disegni di Raffaello con barre LED munite di ottica asimmetrica, durante la mostra "Raffaello da Firenze a Roma" alla Galleria Borghese in Roma (2006).

cromatica dei dipinti su tavola. Le sorgenti artificiali di maggiore qualità, fino a quel momento, erano anche le meno efficienti in termini di produzione luminosa rispetto al carico termico dissipato. Inoltre, nonostante l'uso di filtri e parabole dicroiche, una certa quantità non trascurabile d'infrarosso residuo permaneva nel fascio di luce proiettato direttamente sulle opere. Soprattutto sui dipinti su tavola e sui disegni questo aspetto risultava alquanto indesiderabile (Fig. 7)¹⁵.

A proposito della definizione della qualità cromatica delle sorgenti LED, una vicenda un po' complessa ha messo in subbuglio gli ambienti della normazione della luce per lungo tempo. Fino al 2015, le modalità di calcolo degli indici di resa cromatica attribuivano ai LED, anche quelli con spettri di emissione più che dignitosi, valori numerici decisamente bassi, comunque inferiori a quelli delle lampade fluorescenti. Per molti anni ci si è chiesto come fosse possibile che sorgenti a spettro continuo, con una ricchezza quindi di frequenze luminose sicuramente non comparabile rispetto a quelle a spettro discontinuo, le quali ricostruiscono una luce bianca sostanzialmente con poche righe spettrali di emissione, risultassero meno fedeli nella rappresentazione e nella percezione visiva dei colori. Finalmente, a porre rimedio a questa situazione un po' imbarazzante ha provveduto, nel 2015, la *Illuminative Engineering Society* (IES) con la proposta di un nuovo modello di calcolo più completo (denominato TM-30-15) che tiene conto della capacità di corretta rappresentazione da parte della sorgente luminosa, non solo su un numero limitato di colori impiegati prevalentemente in campo industriale, come avveniva in precedenza, ma anche su un discreto novero di pigmenti

¹⁵ Uno dei primi illuminatori LED a temperatura di colore regolabile è stato sperimentato nel 2007

nel 'Laboratorio Tavole' dell'IsCR durante il restauro dell'Annunciazione di Antonello da Messina.



Fig. 7. Prototipo di un illuminatore LED utilizzato per il restauro dell'Annunciazione di Antonello da Messina, all'interno dei laboratori di restauro ICR al San Michele (2007).

e coloranti (99) di origine diversa, sicuramente più rappresentativi della reale capacità di produrre una prestazione visiva adeguata in contesti diversi¹⁶.

La nuova illuminazione del Cenacolo Vinciano offre lo spunto anche per una riflessione su questi temi. Abbiamo già riferito come fino a tutti gli scorsi anni Novanta si potesse in linea di massima affermare che la qualità delle sorgenti luminose fosse in sostanza inversamente proporzionale all'efficienza delle stesse.

L'estensione dell'uso delle fibre ottiche per l'illuminazione, in particolare per le teche e le vetrine espositive, nasceva dall'obiettivo di produrre la miglior qualità di luce possibile, dissipando all'esterno dell'ambiente le inefficienze della sorgente luminosa. Questa logica fu applicata anche per l'allestimento della sala del Refettorio di S. Maria delle Grazie a Milano, installando un impianto d'illuminazione che utilizzava dei grossi conduttori ottici, le guide di luce OLF, per trasferire e distribuire un flusso luminoso a spettro continuo di elevata qualità cromatica, prodotto all'esterno dell'ambiente e filtrato da tutte le componenti indesiderate, in particolare dell'infrarosso¹⁷. La

¹⁶ IES, *Illuminating Engineering Society of North America* 2015; IES-TM-30-15 *Method for Evaluating Light Source Color Rendition*, New York, NY 2015.

¹⁷ Una derivazione, leggermente modificata, delle guide di luce progettate per il Cenacolo è visibile, tutt'oggi in esercizio, sulle banchine di alcune delle principali stazioni ferroviarie italiane.

definimmo sinteticamente “una teca con i visitatori dentro”. Dopo alcuni anni, queste sorgenti luminose furono sostituite da un impianto più tradizionale, basato sull’impiego di tubi fluorescenti lineari, posto all’interno della sala. Esaminato dal punto di vista strumentale, il decadimento della prestazione apparve abbastanza evidente. Appena le fonti LED hanno raggiunto una certa maturità ed è aumentata la diffusione di una competenza critica su questi temi, si è colta l’occasione per riportare ad una condizione percettiva più corretta i dipinti murali di Leonardo e del Montorfano¹⁸.

L’evoluzione normativa ha registrato un’altra interazione importante fra illuminazione dei beni culturali e LED. Il regime di visita dell’Ultima Cena è stato probabilmente il primo a trarre vantaggio dal recepimento da parte delle Normative Europee di una raccomandazione della Commissione Internazionale di Illuminazione (CIE). Nel dicembre del 2014, infatti, la norma CN/TS 16163¹⁹ ha recepito nel campo dei beni culturali il concetto di ‘fattore di danno’ associato alla distribuzione luminosa di una sorgente (CIE 157/04)²⁰. Il Cenacolo, per motivi complessi, è sempre stato assoggettato a limitazioni rispetto alla ‘dose di luce annua’ consentita per la sua fruizione. La modifica dell’impianto d’illuminazione è avvenuta un paio di mesi dopo l’entrata in vigore del nuovo impianto normativo europeo. In sintesi, invece di dover ridurre di circa il 15% gli orari d’apertura per rientrare nei limiti d’esposizione previsti dalla norma, per le emissioni delle lampade fluorescenti (preesistenti), rispettando gli indici spettrali di fotodegrado si è potuto programmare l’estensione degli orari d’apertura del 15%. Ciò grazie alla tipologia di emissione dei LED installati. Sostanzialmente la luce emessa dai LED attualmente in uso comporta circa un 30% in meno di attitudine fotochimica al degrado dei pigmenti rispetto alle sorgenti precedenti: questo ha permesso di estendere in sicurezza la possibilità di visita a circa 50.000 persone in più ogni anno. Vorrei sottolineare che due caratteristiche dei LED a tonalità calda (tra i 2700 e i 3500° Kelvin), - la scarsa attitudine allo sviluppo di organismi biodeteriogeni in ambiente umido e la bassa potenzialità in termini di fotodegrado sui pigmenti - sono fondamentali anche dal punto di vista della conservazione delle opere e delle decorazioni architettoniche. A tutto ciò si aggiungono i vantaggi dovuti a una sensibile diminuzione degli interventi di manutenzione e del carico termico prodotto sugli ambienti. Per quanto concerne il vantaggio energetico, occorre inoltre sottolineare anche la forte diminuzione dei consumi dell’impianto di climatizzazione. In un museo tutto sommato ‘di piccole dimensioni’ come la Galleria Borghese (Fig. 8), la sola parziale sostituzione delle lampade ‘Halospot’ con le omologhe LED²¹ ha prodotto all’inizio del 2016 un abbattimento di 18 KW/h per i consumi elettrici del solo impianto di illuminazione. Allo stesso tempo si è registrato un risparmio stimato dello stesso ordine di grandezza, dovuto all’alleggerimento del carico di lavoro dell’impianto di climatizzazione.

¹⁸ CEREGIOLI, ARAMINI 2015.

¹⁹ CEN/TS 16163/2014 *Conservation of Cultural Heritage – Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions*.

²⁰ CIE Technical Report 157/2004: *Control of damage to museum objects by optical radiation*.

²¹ In gergo illuminotecnico viene definita un’operazione di ‘retrofit’.



Fig. 8. Galleria Borghese in Roma, Sala di Mariano Rossi. La possibilità di effettuare manutenzioni delle sorgenti con intervalli temporali molto più ampi (diradati di almeno di 5 volte rispetto alle lampade fluorescenti) si rivela prezioso all'interno degli edifici storici. In questa sala, la presenza delle statue lungo il perimetro e di mosaici romani sul pavimento costringe ad esempio ad adottare un gran numero di complesse precauzioni per la semplice sostituzione delle lampade poste sul cornicione, a più di 10 m di altezza.

Nuovi traguardi in museotecnica

La 'luce elettronica' possiede anche altre caratteristiche interessanti dal punto di vista della fruizione.

L'intensità delle emissioni è ampiamente regolabile, praticamente dallo 0 al 100%, e il linea di principio risulta possibile produrre spettri luminosi di qualsiasi temperatura di colore. Sono inoltre in corso studi per migliorare ulteriormente in fase di produzione la qualità cromatica degli spettri di emissione.

Già negli anni passati sono stati realizzati alcuni impianti d'illuminazione che 'copiavano' e 'amplificavano' lo spettro dei bassi livelli di luce naturale, come ad esempio la luce trasmessa dalle monofore di una chiesa medievale, le quali illuminano a 5-10 lux un prezioso ciclo di affreschi in Abruzzo²². Successivamente, nella Basilica neopitagorica di Porta Maggiore in Roma è stato realizzato un piccolo impianto che produce una simulazione dinamica della scansione prodotta dalla luce naturale che un tempo illuminava, attraverso un lucernario il vestibolo e le tre navate dell'ambiente sotterraneo. Sono state riprodotte artificialmente sia la successione geometrica che la variazione della temperatura di colore della luce che lambiva nel corso della giornata gli stucchi e gli affreschi dell'ambiente²³, oggi sormontato dalle linee ferroviarie che

²² ARAMINI 2012.

²³ Per la precisione, come dati di progetto sono

conducono alla Stazione Termini. Riprodurre questa condizione ormai 'impossibile' da ottenere senza modificare il tracciato del nodo ferroviario, al di là delle considerazioni filologiche, presenta una certa suggestione.

Oggi possiamo anticipare che la prossima tappa in questo percorso di avvicinamento all'obiettivo di 'accordare' la luce naturale con quella artificiale nei luoghi del nostro passato, sarà effettuata sulla Cappella degli Scrovegni a Padova. Le sorgenti LED dell'impianto, che al momento in cui scrivo è già progettato e prossimo all'inaugurazione, saranno regolate da un sofisticato sistema di controllo che consentirà da subito di migliorare la leggibilità e la fruibilità degli affreschi posti sulla parete finestrata, soprattutto quando la stessa è irraggiata direttamente, compensando gli illuminamenti. Contemporaneamente, si avvierà lo studio e il monitoraggio per alcuni mesi del regime di luce naturale del monumento. Le sorgenti sono già predisposte per essere regolate per un'emissione in un ampio *range* di temperatura di colore e verranno studiati gli algoritmi più opportuni per far sì che la tonalità della luce artificiale, che oggi come oggi risulta prevalente, si adegui in modo dinamico a quella con la quale in origine è stato concepito e realizzato questo ciclo di affreschi giotteschi.

Per finire, devo sottolineare che anche nei laboratori di restauro pittorico dell'I-SCR sono stati predisposti da parecchi anni illuminatori che offrono la possibilità di regolazione, in questo caso manuale, della temperatura di colore. Il senso di questa scelta è quello di mettere il restauratore nella miglior condizione di percezione visiva durante il suo lavoro, ma anche di consentirgli di sottoporre le integrazioni cromatiche effettuate sulle superfici dipinte ad un test finale di metamerismo, così da controllare il proprio lavoro sotto tutto l'arco delle possibili condizioni della luce naturale alle quali un dipinto mobile potrebbe essere riesposto nella sua collocazione definitiva.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ARAMINI 1992: F. Aramini, *Iluminacion y estudio colorimetricos aplicados a la exposicion del bien cultural*, in «Cuadernos Instituto Andaluz del Patrimonio Historico», 1, 1992, 1, pp. 77-80
- ARAMINI, CACACE 1997: F. Aramini, C. Cacace, *Il monitoraggio microclimatico delle guide di luce nel Museo della Capilla Real di Granata*, in «LUCES», XXXVI, 1997, 5, pp. 50-56
- ARAMINI 1998: F. Aramini, *Iluminazione e microclima*, in A. Pandolfi, L. S. Spampinato (a cura di), *Materiali per l'aggiornamento nel restauro*, De Luca, Roma 1998, pp. 85-86
- ARAMINI 1999: F. Aramini, *Impianti illuminotecnici e dimore storiche: la Galleria Borghese*, in A. Ginesi (a cura di), *Il progetto illuminotecnico della Galleria Borghese*, Centro Studi e Ricerche 'iGuzzini', Editoriale Domus, Milano 1999, pp. 7-11
- ARAMINI, JERVIS 2002: F. Aramini, A.V. Jervis, *Criteri per una corretta esposizione delle opere d'arte su carta*, in G. Fioravanti (a cura di), *Scelte e strategie per la conservazione della memoria*,

state riprodotte le condizioni del 21 giugno, da mezzogiorno fino al tramonto, in condizione di cielo sereno. Il tutto è gestito da una centralina

domotica, attivabile da telecomando, che gestisce i vari scenari predisposti.

- atti del convegno (Dobbiaco, 25-29 giugno 2002), CFRL, Archivio di Stato di Bolzano, Dobbiaco (BZ) 2002, pp. 175-185
- ARAMINI, CEREGIOLI 2006: F. Aramini, P. Ceregioli, *Effetti della variazione di temperatura colore prodotta da un sistema di illuminazione sulla risposta cromatica nell'immagine pittorica*, in *Atti del Convegno Internazionale AIDI* (Venezia, 9-10 ottobre 2006), Associazione Italiana di Illuminazione, Luce e Architettura, Milano 2006, pubblicato su CD.
- ARAMINI 2007: F. Aramini, *Aspetti fotometrici ed illuminotecnici dell'intervento conservativo*, in G. Basile, M. Marabelli (a cura di), *Leonardo l'Ultima Cena. Indagini, ricerche, restauro*, ICR e Nardini Editore, Roma 2007, pp. 84-87
- ARAMINI 2009: F. Aramini, *La sala della Volta Dorata: illuminazione LED in ambiente ipogeo*, in «Luce&Design», 5, 2009, pp. 52-55
- ARAMINI 2012: F. Aramini, *Bominaco. L'oratorio affrescato e la 'Scarsella' di San Pellegrino. Note tecniche sull'impianto di illuminazione*, in «Quaderni Soprintendenza BSAE dell'Abruzzo», 2012, 4, pp. 92-93
- ARAMINI 2017: F. Aramini, *The lighting design*, in «Light is back- Perceptive Restoration», iGuzzini Editore, Recanati 2017, pp. 54-67
- BARBIERI 2003: R. Barbieri, *LED a luce bianca: da semplice comparsa ad attore protagonista*, in «Luce - Organo Ufficiale dell'Associazione Italiana di Illuminazione», novembre 2003, 5, Editore Torazzi Parma, pp. 82-8
- CARITÀ 1953: R. Carità, *Nota sull'illuminazione artificiale delle opere d'arte*, in «Bollettino d'Arte», s. IV, 1953, IV, pp. 357-364
- CEREGIOLI, ARAMINI 2015: P. Ceregioli, F. Aramini, *LED lighting for a fragile masterpiece: Leonardo da Vinci's The Last Supper*, in *PLDC – Professional Lighting Design Convention, Proceedings* (Roma, 28-31 ottobre 2015), VIA-Verlag, Gütersloh – Germania 2015, pp. 63-65
- CORSARO, MAGNI 2004: K. Corsaro, A. Magni, *Il LED da segnalatore a illuminatore*, in «Luce - Organo Ufficiale dell'Associazione Italiana di Illuminazione», novembre 2004, 7, Editore Torazzi Parma, pp. 60-63
- DE CAMILLIS, ROSATI 2009: C. De Camillis, S. Rosati, *L'illuminazione per i beni culturali*, in «AR», 2009, 82, pp. 36-38
- LIBERTI 1950: S. Liberti, *Le illuminazioni al NEON dei musei e generalmente dei dipinti*, in «Bollettino ICR», 1950, 1, pp. 27-28
- RADI 1993: P. Radi, *Il sistema d'illuminazione a Guida di luce*, in «Luce», 32° anno, marzo/aprile 1993, 2, pp. 68-72
- RADICONCINI 1946: S. Radiconcini, *La casa del restauro*, in «Domus», ottobre 1946, 214, pp. 9-13
- SANTINI 1953: M. Santini, *Luce naturale e luce artificiale in relazione alle opere d'arte*, in «Bollettino ICR», 1953, 16, pp. 189-197

Aspetti diversi del risparmio energetico nei contesti di pregio

MARIA ELENA CORRADO

Energia e contesti di pregio

Il concetto di risparmio energetico è ben più ampio di quanto generalmente sia portato a pensare chi non si occupa specificamente del settore.

Innanzitutto, confluiscono in questa sfera operazioni profondamente diverse, come quelle volte al miglioramento dell'efficienza energetica e quelle relative alla produzione di energie rinnovabili.

Il primo gruppo comprende tutti quegli interventi che mirano al contenimento del fabbisogno energetico di un edificio: questo può avvenire incrementando le prestazioni impiantistiche, ma anche riducendo al massimo le dispersioni, agendo quindi sull'involucro esterno, sui materiali costitutivi e sulla tecnologia delle pareti, della copertura, dei solai, dei serramenti (con particolare attenzione ai ponti termici), inserendo sistemi passivi bioclimatici e così via¹.

Il secondo gruppo comprende invece l'impiego di quei sistemi di produzione energetica attraverso tecnologie che convertono l'energia solare, geotermica, eolica ecc. in energia utile all'alimentazione degli impianti². Nel primo caso l'obiettivo è la riduzione dei consumi, nel secondo la produzione di energia; ma, senza il miglioramento preventivo dell'efficienza energetica di un edificio, ha poco senso progettare impianti per la produzione di energia rinnovabile. Tali temi appaiono più complessi se applicati agli edifici storici o di pregio, specie se aperti al pubblico, edifici che rischiano di perdere identità e valore se sottoposti ad interventi non attentamente vagliati.

Negli ultimi anni, l'esigenza di risparmio energetico si è aggiunta ad altre istanze energetiche già consolidate, finalizzate all'ottenimento di un comfort adeguato alle persone e alla corretta conservazione delle opere d'arte presenti.

¹ L'efficienza energetica può definirsi come "quell'insieme di operazioni tecnologiche con le quali s'intende conseguire l'obiettivo di realizzare gli stessi prodotti o servizi (in quantità e qualità) con un minor consumo di energia primaria ed eventualmente con un maggiore impegno di risorse d'altro tipo" (DRIGO 2011, p. 6).

² *Ibidem*, "Le energie rinnovabili sono forme di energia generate da fonti che, per loro caratteristica intrinseca, si rigenerano o non sono 'esauribili' in una scala di tempi che non pregiudica la loro disponibilità per le generazioni future".

Come affermato in pubblicazioni autorevoli³, la progettazione impiantistica in edifici storici va ricondotta al più ampio tema del progetto di restauro e condivide con essi gli stessi principi (compatibilità, reversibilità, minimo intervento e così via). Occorre pertanto studiare soluzioni *ad hoc* per l'adeguamento ai parametri energetici calibrando la progettazione in generale sulla conoscenza approfondita delle caratteristiche dell'edificio storico e specificandone attentamente le soluzioni di dettaglio.

Alla luce delle "Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale", recentemente pubblicate dal Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo⁴, che approfondiscono l'applicazione di tale materia ai beni culturali, nel presente testo s'intendono approfondire alcuni aspetti che, per l'esperienza di chi scrive, sono spesso sottovalutati e invece rivestono un'importanza primaria ai fini della corretta conservazione del patrimonio.

Nel campo del miglioramento energetico, sia per gli impianti che per gli elementi costitutivi dell'edificio, si vuole porre l'accento soprattutto sull'importanza della manutenzione ordinaria, con particolare riferimento alla gestione dei luoghi di cultura, quali musei, residenze storiche o comunque edifici di pregio aperti al pubblico.

Nel campo della produzione di energia rinnovabile, negli ultimi anni si è molto discusso dell'impatto dei nuovi sistemi con i contesti di pregio, quasi sempre evidenziando l'oggettiva difficoltà di realizzare interventi pienamente compatibili. Qui si vuole approfondire il possibile sviluppo nell'ambito dei siti archeologici e di quelle parti dei centri urbani non caratterizzate da un tessuto omogeneo o significativamente integro, ma interessate da fenomeni di degrado o da gravi lacune, che necessitano la realizzazione di ricuciture.

L'importanza della manutenzione

La sistemazione di impianti negli edifici storici comporta la messa a punto di soluzioni sofisticate e creative (Fig. 1), da sottoporre comunque alle approvazioni di legge, specie per gli aspetti legati alla sicurezza e alla conservazione degli oggetti musealizzati.

Un grosso problema nella gestione degli edifici storici aperti al pubblico è nella scarsa considerazione del processo manutentivo, spesso inteso come mera incombenza di legge, come procedura indipendente dalla vita dell'edificio.

Soprattutto le fabbriche storiche che ospitano musei richiedono una costante attenzione agli aspetti tecnici; questa dovrebbe essere garantita tramite un opportuno aumento di risorse e del numero di addetti coinvolti attivamente, i cui ruoli andrebbero chiaramente diversificati. Soluzioni adeguate dovrebbero essere studiate nella

³ Cfr. CARBONARA 1997, pp. 443-452; FIORANI 2015, pp. 155-173.

⁴ Le linee guida citate (LINEE GUIDA 2015) sono disponibili in formato digitale sui siti del Ministero

dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo (www.beniculturali.it) e della Direzione generale BEAP (www.beap.beniculturali.it).



Fig. 1. Udine, Loggia del Lionello; contenitore per strumenti metereologici in ferro battuto di Alberto Calligaris. L'artista, artigiano del ferro battuto, subito dopo la prima guerra mondiale, collaborò con l'architetto Raimondo Tommaso D'Aronco nei lavori al palazzo municipale che contiene la Loggia. Un simbolico e precoce esempio di attenzione per l'inserimento in un edificio di alto pregio di strumentazione tecnologica grazie ad una progettazione attenta al contesto e un linguaggio contemporaneo adeguato (foto A. Sacquegna).

valutazione dei tempi di apertura e dei percorsi visitabili, in un'ottica di massimizzazione dell'offerta che consenta lo svolgimento delle operazioni di manutenzione senza generare interferenze significative con le altre attività.

Gli aspetti impiantistici si notano in genere solo in presenza di malfunzionamenti evidenti e in ritardo. La soluzione dei problemi è quindi pressata dall'emergenza e parziale, consistendo spesso in costosi interventi di manutenzione straordinaria o in ancor più costose e lunghe progettazioni *ex novo*⁵, magari con il rinnovamento complessivo degli impianti.

L'effettivo esercizio manutentivo, ordinario, costante e accurato, dovrebbe invece prevalere sulla pratica gestionale di questi edifici, consentendo una fruizione nel pieno del comfort e della sicurezza, ma, purtroppo, in Italia le strutture completamente a

⁵ Interessanti, a questo proposito, le riflessioni in TRECCANI 2011 sugli eccessi a cui portano gli interventi *ex novo*, che spesso cancellano senza troppa

preoccupazione impianti antichi viceversa meritori di conservazione.

norma secondo i parametri stabiliti dalle leggi più recenti (peraltro in continua evoluzione) sono piuttosto poche.

Si tratta di applicare anche agli interventi di manutenzione quello che è ormai da tempo definito il metodo ‘caso per caso’, da sostituirsi all’attuale pratica standardizzata e ripetitiva (e talvolta approssimativa) e all’eccessiva semplificazione di azioni e procedure⁶.

È noto che la legge prevede la procedura in deroga per i contesti tutelati⁷, ma ciò non comporta una riduzione degli oneri impiantistici o energetici (né tanto meno di quelli legati alla sicurezza); anzi, proprio ai fini di una corretta conservazione del monumento, bisogna sopperire alle impossibilità oggettive d’introdurre determinate modifiche, potenziando altri aspetti che contribuiscano al raggiungimento di un risultato soddisfacente.

Ad esempio, se non è possibile calcolare con esattezza le dispersioni delle pareti, perché rivestite di finiture di pregio e costituite da materiali non omogenei e molto variabili da zona a zona, bisognerà calibrare con maggiore attenzione l’impianto di climatizzazione e intervenire dove possibile (disponendo guarnizioni negli infissi, sostituendo i vetri, realizzando cavedi ecc.).

La manutenzione ordinaria, per essere appropriata, deve avere origine da condizioni ‘a regime’ accettabili, quasi sempre raggiungibili tramite consistenti lavori di adeguamento. La ‘manutenzione programmata’ tanto auspicata risulta ancora per questo un obiettivo di non facile raggiungimento.

In alcuni casi virtuosi, però, la corretta programmazione manutentiva, attraverso l’attuazione di piccoli accorgimenti migliorativi o la messa a punto di soluzioni nuove, attente all’innovazione tecnologica e all’uso dei materiali, ha favorito il coinvolgimento positivo degli stessi utenti⁸.

La documentazione tecnica

La disponibilità di una documentazione tecnica esaustiva costituisce un presupposto fondamentale per una manutenzione efficace e per un controllo dei parametri legati al bilancio energetico attendibile. Devono essere utilizzabili non solo un rilievo accurato dello stato dei luoghi e i progetti di tutti gli interventi realizzati, ma an-

⁶ La semplificazione a cui ci si riferisce è intesa nel senso deteriore di ‘scorciatoia’, non in quello lodevole di riduzione di passaggi burocratici ed amministrativi ai fini di una maggiore efficacia dell’azione.

⁷ Sull’applicabilità della deroga secondo il vigente sistema normativo, si veda il D. Lgs 192 del 19 agosto 2005 (attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia) con le modifiche introdotte dalla legge 90 del 3 agosto 2013; un aggiornamento della situazione è riportato nelle citate Linee Guida (LINEE GUIDA 2015, pp. 5 e 6). Degna di nota, a tal proposito, l’osservazione di Valeria Pracchi: “Nelle legislazioni si tende a dare

soluzione al conflitto – non sempre così estremo – tra esigenze di conservazione e innovazione nei requisiti tecnici, attraverso lo strumento della deroga, che però dovrebbe rappresentare un’opportunità per una consapevole modulazione del progetto e per l’adozione d’interventi commisurati, e non, come invece spesso accade, un modo per aggirare i problemi” (PRACCHI 2013, p. 223).

⁸ Notevole in questo senso è l’esempio dei Musei Vaticani, che dal 2009 stanno investendo molto sulla manutenzione, tramite la redazione e il collaudo dei piani di manutenzione programmata e l’organizzazione di incontri informativi con visitatori e tecnici.

che le certificazioni, le conformità, le verifiche periodiche previste dalla normativa, le schede tecniche, i manuali d'uso e i libretti di manutenzione di tutti gli elementi più importanti. Gli elaborati cosiddetti '*as built*', in particolare, devono corrispondere fedelmente a quanto realizzato e devono scaturire dalla registrazione di tutte le piccole modifiche intercorse nell'esecuzione dei lavori sugli elaborati progettuali originari. Ad essi si aggiunge oggi la 'scheda dati relativa alla conoscenza del contesto' prevista dalle linee guida del MiBACT⁹ sull'energetica, con l'illustrazione delle caratteristiche fisiche dell'esistente.

Se la prassi consueta risulta perlopiù basata sull'uso di modelli già compilati e genericamente adattati al caso specifico, un reale ed efficace programma di manutenzione, esteso dagli impianti allo stato dei serramenti e delle murature, al sistema di smaltimento dell'acqua e a tutti gli elementi che possono interferire con lo stato dei luoghi, dovrebbe conferire a questi documenti una valenza 'operativa', facendo emergere in maniera chiara e agevolmente consultabile le peculiarità del singolo edificio su cui si interviene. Tale obiettivo coinvolge direttamente progettisti, imprese, tecnici, direzione, e lo stesso personale amministrativo, incaricato dell'archiviazione e della custodia della documentazione.

Ciò vale anche per gli interventi di manutenzione straordinaria: spesso gli impianti di importanti musei o contesti aperti al pubblico vengono completamente trasformati negli anni con numerosi ma circoscritti interventi straordinari poco documentati, perché ritenuti di per sé poco significativi.

Non è facile documentare con esattezza gli interventi effettuati in edifici in muratura ricoperti da finiture di pregio inamovibili, spesso risultanti da accorpamenti, modifiche o rifacimenti e per questo ricchi di intercapedini e spazi di risulta, al cui interno gli impianti sono stati rimaneggiati più volte.

L'uso di cavedi o intercapedini esistenti per alloggiare cavi e condotti è un'ottima soluzione, ma sarà comunque necessario posizionare bocchette, punti luce o altre terminazioni impiantistiche; queste potranno talvolta disporsi sulle cornici, ma il passaggio dal cavedio alla cornice potrà richiedere di forare la muratura antica in un punto da selezionarsi dove risulti meno invasivo. Le soluzioni tecnologiche e architettoniche saranno di volta in volta diverse e andranno progettate con cura e col costante confronto con chi si occupa della tutela e della conservazione degli edifici oggetto d'intervento.

Quando si deve intervenire per riparare un guasto, proprio l'incerta conoscenza dello stato di fatto porta alle decisioni più drastiche di rimozione e riprogettazione *ex novo*, anche in situazioni in cui pochi accorgimenti avrebbero potuto dare risultati soddisfacenti.

La cosiddetta 'diagnosi energetica', uno strumento più completo della nota 'certificazione', aiuta quindi a definire gli interventi più appropriati di miglioramento, calibrati secondo le effettive esigenze di utilizzo¹⁰.

⁹ Cfr. LINEE GUIDA 2015, pp. 192-198.

¹⁰ Cfr. Norma UNI CEI EN 16247-1, *Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali*, 2012. Su

questi aspetti, inoltre sono fondamentali i contributi di Elena Lucchi, che sostiene, fra l'altro, che per gli edifici storici "la mancanza di conoscenza

L'interdisciplinarietà

La normativa UNI parla non a caso di “Sistema di manutenzione”¹¹, perché tale attività non può svolgersi in maniera settoriale.

Per studiare consumo e fabbisogno energetico e – di conseguenza – per capire come ottenere un risparmio e un miglioramento, bisogna considerare molti fattori, anche profondamente diversi fra loro, quali dispersioni dell’involucro, ponti termici, climatizzazione, illuminamento, impianto elettrico ecc. Anche l’insorgenza di problemi nel sistema di smaltimento delle acque con conseguenti infiltrazioni determina, con la bagnatura delle murature, una maggiore dispersione di calore e la correlata alterazione dei parametri microclimatici¹².

Le luci, inoltre, possono influire molto sulla temperatura e sul consumo di energia di un ambiente: di recente diverse lampade tradizionali vengono infatti sostituite da apparecchi a LED con caratteristiche d’illuminazione equivalenti. Ma anche la domotica e la connessa possibilità di governare l’accensione e il controllo degli impianti da un’unica sala di regia offrono buone opportunità per migliorare le condizioni ambientali contenendo i consumi.

Occorre inoltre considerare gli aspetti legati alla sicurezza, correlati alla sistemazione dei percorsi di visita e delle attività di chi vi lavora. Gli impianti speciali per la sicurezza (antincendio, antintrusione, videosorveglianza ecc.) costituiscono una grossa fetta delle spese di progettazione e manutenzione e, insieme a quanto predisposto con il piano di emergenza, condizionano i flussi dei visitatori e, di conseguenza, il microclima interno degli ambienti visitati. Attualmente, anche la rete informatica, *Wi-Fi* e non, riveste un importante ruolo nella gestione delle attività museali.

L’interesse per la manutenzione dovrebbe essere condiviso, non solo dagli architetti, ma anche dagli storici dell’arte, dai restauratori, dagli archeologi e dagli archivisti: il contributo di queste figure è infatti prezioso per gli impiantisti, in quanto essi sono generalmente in grado di suggerire le esigenze ambientali dei beni che è loro prerogativa custodire e dei quali solo loro conoscono a fondo le caratteristiche.

Sarebbe perciò molto importante e urgente ideare una formazione specifica per coinvolgere in questo campo tutti i professionisti che operano in tali strutture, ciascuno secondo la propria competenza, in modo da fornire loro gli strumenti adeguati per un’efficace collaborazione necessariamente interdisciplinare.

può portare alla definizione di interventi inappropriati, che possono anche causare il degrado e il malfunzionamento dell’immobile. In un bene storico, inoltre, prendere in considerazione le modalità d’uso permette di definire gli interventi di gestione e manutenzione” (LUCCHI 2013, p. 121).

¹¹ UNI 11414: “Manutenzione – Linee guida per la qualificazione del sistema di manutenzione”. “Nel

tempo il concetto di manutenzione inteso come singolo intervento su una macchina o sull’attrezzatura è stato superato. La manutenzione viene ora considerata infatti come un ‘sistema’ da gestire in quanto coinvolge tutti i processi lavorativi e organizzativi e diventa dunque un’attività fondamentale per garantirne l’affidabilità” (da www.uni.com).

¹² In merito, si veda ROSINA 2013, pp. 144-157.

Da ultimo, non si può non ricordare l'importanza del monitoraggio: in corrispondenza di nuovi progetti impiantistici come nella normale vita quotidiana di una struttura museale è infatti indispensabile tenere d'occhio i parametri che evidenziano le condizioni degli ambienti.

Energie solari e contesti di pregio

Sebbene la bibliografia sull'inserimento di dispositivi ad energia solare sugli edifici storici non sia molto vasta¹³, il dibattito in proposito, rianimato anche con la pubblicazione delle citate Linee Guida del MiBACT, è stato molto acceso negli ultimi anni, specie in seguito al propagarsi anche in Italia di forme d'incentivazione molto efficaci, quali il 'conto energia'¹⁴.

La gran parte di coloro che operano nella tutela ritiene meglio evitare l'uso dei sistemi solari, peraltro generalmente invasivi, nei centri storici; l'esercizio della deroga per i contesti sottoposti a tutela previsto dalla normativa, sollecita preferenzialmente tale esclusione¹⁵, anche a ragione della grande quantità di richieste e, soprattutto, della bassa qualità architettonica di gran parte delle soluzioni proposte, che tendono principalmente a massimizzare la produzione energetica utilizzando elementi facilmente disponibili sul mercato.

D'altra parte, sarebbe però importante che chi si occupa di tutela conosca questi sistemi, per capirne le potenzialità progettuali e dialogare in maniera aperta con i proprietari degli immobili, in quanto un atteggiamento di totale chiusura *a priori* può, a lungo andare, rivelarsi perdente. Il saggio impiego delle incentivazioni potrebbe inoltre indirizzare ad operare in maniera compatibile sui contesti di pregio: ciò comporterebbe da parte degli enti ai quali spetta l'erogazione degli incentivi uno sforzo maggiore nell'analisi del progetto, non solo attento a 'cosa' s'installa, ma a 'come' lo si fa.

Ciò vale anche per il miglioramento dell'efficienza energetica: ad esempio, gli incentivi che premiano *a priori* l'uso del 'cappotto' esterno alle murature prescindono completamente dall'eventualità che tale dispositivo sia realizzato in maniera impropria, solo su una parte della parete, come spesso avviene con gli edifici condivisi da proprietari diversi, determinando risultati non solo poco efficaci dal punto di vista energetico, ma anche molto deleteri per gli aspetti paesaggistici; purtroppo nemmeno i centri storici sono immuni da questo tipo di interventi¹⁶.

¹³ Cfr. PVACCEPT 2005; CORRADO 2008; DAVOLI 2010; CORRADO 2011; PRACCHI 2013

¹⁴ Il GSE, Gestore Servizi Energetici, definisce il conto energia come "il programma che incentiva in conto esercizio la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici connessi alla rete" (da www.gse.com).

¹⁵ Sull'argomento, una posizione originale e acuta è quella "Contro l'innovazione" di Gian Paolo Treccani (TRECCANI 2011, p. 12): "Per sottrarsi a perico-

lose derive tecnicistiche che – come ben sappiamo – sono una passione del nostro presente, quest'indiscussa necessità d'innovazione va, tuttavia, in qualche modo problematizzata, cioè va sottoposta a obiezioni per sondarne la reale validità"; o ancora: "Rifiutare l'innovazione è sbagliato, ma sorvegliarla criticamente è necessario" (TRECCANI 2011, p. 17).

¹⁶ "Anche in Italia il sistema di incentivi connessi al tema del risparmio energetico manca di una regolamentazione efficace e dei correttivi necessari



Figg. 2 e 3. Social Housing, Torino, Porta Palazzo. Fotovoltaico traslucido colorato. L'edificio fa parte di un ampio progetto di recupero sostenibile (2013) nel centro storico di Torino (foto A. Sacquegna).



Tornando all'applicazione di sistemi alimentati da energie rinnovabili e, in particolare, al fotovoltaico¹⁷, si osserva come tale tecnologia, fin dai primi anni 2000, ha mostrato possibilità di sviluppo interessanti con la realizzazione di moduli meno invasivi, basati sull'inserimento di film sottili in elementi stampati con disegni, fotografie o testi. Sono però purtroppo mancati progressi significativi recenti, forse proprio a causa della

bassa domanda di progetti di buona qualità architettonica¹⁸.

Anche in pubblicazioni recenti si continua a mostrare il caso – pure interessante – del 'manifesto' presso il museo Formentini, sulle mura del castello di San Giorgio a La Spezia, ormai risalente a una dozzina d'anni fa, modello poco imitato e comunque non superato da altri sistemi innovativi.

Celle fotovoltaiche tradizionali di colori diversi dall'azzurro, ad esempio color rame, così da ridurre l'impatto con i materiali da costruzione tradizionali, quindici anni fa costavano il doppio di quelle usuali e garantivano un'efficienza pari alla metà delle

alle diverse specificità del caso: ciò, sommato alla scarsa sensibilità diffusa tra gli operatori, sta producendo estese e acritiche sostituzioni di componenti" (PRACCHI 2013, p. 218).

¹⁷ Si rimanda al testo «energie rinnovabili, restauro architettonico e tutela del paesaggio» per i dettagli tecnici e per la descrizione nello specifico delle va-

riabili progettuali, nonché di esempi in contesti di pregio (CORRADO 2011, pp. 1-79).

¹⁸ Nel caso degli elementi stampati, la bassa efficienza energetica è probabilmente alla base della limitata diffusione; in ogni caso, la scarsa domanda non ha certamente stimolato la ricerca tecnologica in questa direzione.

Fig. 4. il centro storico di Serralunga d'Alba (CN) visto dal castello: un esempio di omogeneità dei tetti e particolare conformazione non alterabile con inserimenti di pannelli fotovoltaici (foto A. Sacquegna).



altre. Con gli anni, questi parametri sono decisamente migliorati, ma l'uso di questi dispositivi (per lo meno in Italia) è ancora poco diffuso.

I punti fermi relativi all'inserimento del fotovoltaico sui tetti di minor pregio nei centri storici contenuti nelle Linee Guida, peraltro ormai generalmente condivisi da molte Soprintendenze, sono accettabili. I centri storici, però, sono organismi diversi e in continua evoluzione: l'esclusione *a priori* di elementi tecnologici innovativi, ma invasivi, può essere opportuna in centri antichi ben conservati e omogenei (Fig. 4), ma in presenza tessuti urbani, lacunosi e puntellati di edifici incongrui, occorrerebbe prevedere possibilità operative maggiori. Qualora risulti possibile intervenire con elementi moderni, l'inserimento di sistemi fotovoltaici, frutto di un'accuratissima e studiata progettazione, potrebbe rivelarsi accettabile (Figg. 2-3).

Inoltre, sono ormai piuttosto note, sebbene ancora poco utilizzate, le possibilità dell'uso del fotovoltaico all'interno delle componenti di arredo urbano, quali lampioni, pensiline, fermate d'autobus, tettoie ecc. Talvolta, soluzioni sinceramente moderne e ben progettate appaiono più efficaci e compatibili di altre, normalmente privilegiate, che richiamano arredi ottocenteschi riprodotti meccanicamente.

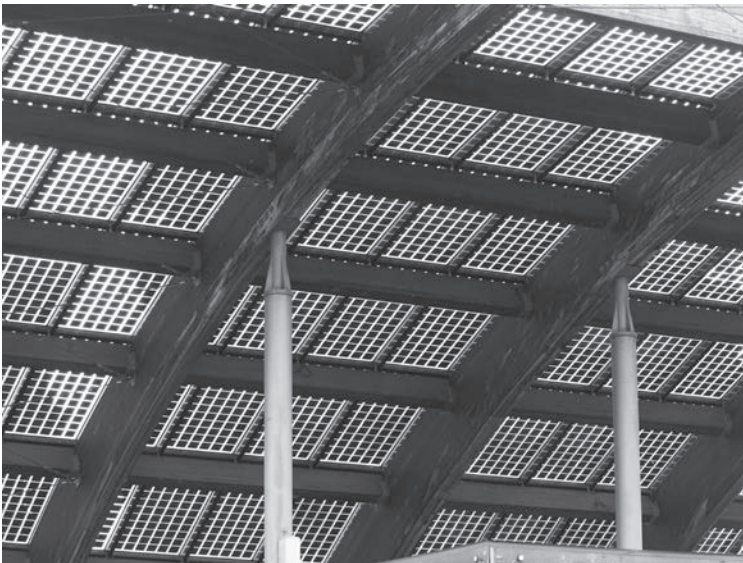
Infine il fotovoltaico può costituire una soluzione efficace – spesso l'unica – soprattutto in ambito archeologico, potendo risolvere il problema dell'alimentazione elettrica: molti siti si trovano infatti lontani dai centri abitati e da reti di distribuzione energetiche (su piccole isole, aree desertiche o montane ecc.). Il cosiddetto impianto fotovoltaico *'stand alone'*¹⁹ consente di alimentare centraline di monitoraggio e gli impianti necessari in un luogo aperto al pubblico.

¹⁹ L'impianto *'stand alone'*, diversamente da quello connesso alla rete di distribuzione dell'energia elettrica (cosiddetto *'grid connected'*), viene alimentato da batterie. Queste richiedono

una manutenzione accurata, costante e particolari accorgimenti per lo smaltimento alla fine del loro ciclo di vita, ma costituiscono una soluzione meno dispendiosa e invasiva rispetto ad altre oggi



Figg. 5-6. Totem fotovoltaico, Environment Park, Torino. Esempio di fotovoltaico traslucido, inserito fra 2 lastre di vetro e con celle separate per consentire il passaggio della luce (foto A. Sacquegna).



Ove sia da prevedere una copertura, ma solo ed esclusivamente se questa è necessaria ai fini conservativi, il fotovoltaico è facilmente inseribile al suo interno; in alcuni casi i moduli non risultano neppure visibili dal basso²⁰, ma si sono anche studiate coperture con fotovoltaico traslucido (Figg. 5-6), che lasciano passare la luce in quantità dosabile intensificando o diradando la concentrazione delle celle a seconda delle esigenze dei reperti da conservare.

Anche l'impiego del film sottile, data la sua particolare versatilità, sembra dare risultati interessanti in questo campo. Un esempio particolarmente creativo in tal senso fu una proposta del 2011, non realizzata, nell'ambito di un progetto di valorizzazione nel parco archeologico di Baia²¹: si prevedeva infatti l'inserimento di un manto flessibile di fotovoltaico sull'estradosso della volta del corpo di guardia.

Altro esempio degno di nota in ambito archeologico è il progetto in corso nel sito di *Pasargadae*, in Iran (Figg. 7-8). Qui l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro del MiBACT sta collaborando con le amministrazioni locali in un progetto per la conservazione del sito che prevede anche, in sostituzione delle strutture esistenti, la realizzazione di due pensiline con fotovoltaico a protezione dei delicati e preziosi resti dei bassorilievi in pietra nera che costituivano le due porte di accesso al palazzo privato di Ciro il Grande²².

Questo prototipo di copertura leggera, a basso impatto ambientale, consentirà di alimentare le strumentazioni per il monitoraggio ambientale e l'illuminazione del luogo e può essere considerato come un'interessante soluzione per casi simili in molti siti presenti in Iran come in altri paesi. In questo campo vi è ancora molto spazio per una progettualità innovativa, che risulti nel contempo attenta e sensibile.

esistenti per siti isolati e non collegabili a reti infrastrutturali.

²⁰ Un esempio degno di nota è stato realizzato a Bedollo (TN) per la copertura dei forni Redebus, in località Acqua Fredda (CORRADO 2011 p. 32 e DI MUZIO 2011 p. 658).

²¹ Comune di Pozzuoli e Bacoli (Napoli). Parco archeologico delle Terme di Baia, progetto di valorizzazione del 2011 (prog. esecutivo di G. Carbonara, G. Batocchioni, A. Di Muzio, E. Di Rocco, D. Esposito, L. Romagnoli, in DI MUZIO 2011 p. 656). Sempre nell'ambito del progetto citato, vale la pena di menzionare un altro interessante inserimento, in questo caso effettivamente realizzato,

di pannelli fotovoltaici integrati nella struttura in legno lamellare che costituisce la copertura di percorsi panoramici (DI MUZIO 2011 p. 658-659).

²² Pasargadae (WHS) World Heritage Site – project for measures on site stone conservation in Pasargadae; l'arch. Claudio Prosperi Porta ha ideato per IsCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro) un prototipo di copertura leggera ad autosufficienza energetica, che fra l'altro recupera la carpenteria esistente migliorando, senza stravolgerlo, lo stato di fatto. La nuova struttura, ad assetto variabile, prevede anche la possibilità di inserire pannelli informativi sulle antenne di supporto.



Figg. 7-8. Pasargade (Iran): stato di fatto e rendering di progetto. La nuova copertura a pensilina prevede uno strato di fotovoltaico di celle a film sottile applicato su un piano in policarbonato alveolare a doppia camera (prodotto localmente). Inverter e batterie dell'impianto sono alloggiati all'interno della muratura di terra che, zavorrando la struttura, consente di evitare la realizzazione di fondazioni e che inoltre ripropone una parte dell'andamento originario della muratura di fondo del palazzo privato di Ciro il Grande (foto C. Prosperi Porta, rendering CPT Studio s.r.l.).

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ACCARDO *et al.* 1992: G. Accardo, C. Cacace, G. D'Ercoli, R. Rinaldi *Monitoraggio ambientale: analisi e tecniche di intervento strumentale sul territorio*, Atti della 3 conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'arte (Viterbo 4-8 ottobre 1992), pp. 865-879
- AIMAN, sito web dell'Associazione Italiana Manutenzione, www.aiman.com [gennaio 2017]
- CARBONARA 1997: G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro. Teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli, 1997
- CORRADO 2006: A. Corrado, *Introduzione ai sistemi fotovoltaici*, ISES, Roma, 2006
- CORRADO 2008: M. E. Corrado, *Applicabilità delle energie solari ai centri urbani e alle aree tutelate*, in «L'ufficio tecnico», 3, 2008, pp. 26-34
- CORRADO 2011: M. E. Corrado, *Energie rinnovabili, restauro architettonico e tutela del paesaggio*, in Carbonara G. (a cura di), *Trattato di restauro architettonico*, quarto aggiornamento, vol. XII, UTET, Torino, 2011, pp. 1-79
- DAVOLI 2010: P. Davoli, *Il restauro energetico-ambientale degli edifici storici*, in «Recupero e Conservazione», 90, 2010, pp. 54-59
- DE SANTOLI 2007: L. De Santoli, *Gli aspetti energetici nella conservazione dei beni culturali*, in Carbonara G. (a cura di), *Trattato di restauro architettonico*, primo aggiornamento, IX, UTET, Torino, 2007, pp. 489-509
- DI MUZIO 2011: A. Di Muzio, *Siti archeologici: energie rinnovabili e sostenibilità*, in *Scienza e Beni Culturali*, in *Governare l'innovazione, processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro*, Atti del Convegno di Studi, XXVII, 2011, (Bressanone, 21-24 giugno 2011), pp. 655-661
- DRIGO 2011: S. Drigo, *Cenni sulle energie rinnovabili e sulle tecnologie efficienti*, in Carbonara G. (a cura di), *Trattato di restauro architettonico*, quarto aggiornamento, vol. XII, UTET, Torino, 2011, pp. 6-11
- ENVIRONMENT PARK, sito web www.envipark.com [gennaio 2017]
- FIORANI 2015: D. Fiorani, *Alte Anlagen der historischen Architektur: unbenutzbare Gegenstände oder Reichtum? Impianti antichi nell'architettura storica: inutile presenza o risorsa?* in A. Battisti, E. Endres, D. Santucci, F. Tucci (a cura di), *Occasione o minacce per il paesaggio urbano europeo? ENERGIA Bedrohung oder Chance für die europäische Stadtlandschaft*, TUM, München 2015, pp. 154-175
- GSE, sito web del Gestore dei Servizi Energetici www.gse.com [febbraio 2017]
- IEA 2006: IEA, International Energy Agency, *Renewables in global energy supply - an IEA fact Sheet*, OECD, settembre 2006
- LINEE GUIDA 2015.: *Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale*, in: http://www.pabaac.beniculturali.it/opencms/opencms/BASAE/sito-BASAE/contenuti/aree/Notizie/Direzione-generale/visualizza_asset.html?id=9195&pagename=19 [novembre 2017]
- LUCCHI 2013: E. Lucchi *Il comportamento termofisico dell'edilizia preindustriale e I metodi di valutazione energetica* in E. Lucchi, V. Pracchi (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito – La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), 2013, pp. 85-117 e pp. 119-144

- LUCCI 2008: A. Lucci, *L'integrazione delle tecnologie fotovoltaiche nei centri storici*, in G. Pardi, «Architettura energetica». Ricerche e proposte per una visione energetica dell'ambiente costruito, Gangemi, Roma, 2008
- LUOGHI COMUNI, PORTA PALAZZO, SOCIAL HOUSING, sito web <http://www.luoghicomuni.org/portapalazzo/> [gennaio 2017]
- MUSEI VATICANI, sito ufficiale, http://mv.vatican.va/2_IT/pages/z-Info/MV_Info_Conferenze12.html [gennaio 2017]
- PALMERIO 2005: G. Palmerio *et al.*, *Appunti di restauro: metodi e tecniche per l'architettura*, Università di Roma, La Sapienza, stampa Tipografia Toscana, Ponte Buggianese (PT), 2005
- PALMERIO, DI MUZIO 2007: G. Palmerio, A. Di Muzio, *Le strutture protettive in archeologia*, in Carbonara G. (a cura di), *Trattato di restauro architettonico*, primo aggiornamento, IX, UTET, Torino, 2007, pp. 401-487
- PRACCHI 2013: V. Pracchi, *Tra tutela e miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio costruito*, in E. Lucchi, V. Pracchi (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito – La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), 2013, pp. 213-227
- PVACCEPT 2005: PVACCEPT, *Final report 01.07.01 - 31.12.04*, Innovation and SME, IPS-2000-0090, febbraio 2005
- ROSINA 2013: E. Rosina, *Effetti delle interazioni tra edifici storici e condizioni climatiche*, in E. Lucchi, V. Pracchi (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito – La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), 2013, pp. 145-165
- SPAGNUOLO 2002, M. Spagnuolo, *il sole nella città - l'uso del fotovoltaico nell'edilizia*, Franco Muzio Editore, Roma, 2002
- TRECCANI 2011: G. P. Treccani, *Innovazione e conservazione nell'intervento sul costruito* in *Governare l'innovazione, processi, strutture, materiali e tecnologie tra passato e futuro*, Atti del Convegno di Studi, XXVII, 2011, (Bressanone, 21-24 giugno 2011), pp. 9-18
- UNI, ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE, sito web www.uni.com [febbraio 2017]

In equilibrio tra ‘soppesare’ e misurare. Alcune riflessioni su sostenibilità ed efficienza energetica nell’edilizia storica

VALERIA PRACCHI

Introduzione

La tematica dell’efficienza energetica nella sua applicazione all’edilizia storica comincia a vantare una cospicua bibliografia di riferimento costruita soprattutto nell’ultimo decennio o poco più. Le ragioni sono facili da intendere: dove il consumo di suolo va limitato si costruisce meno e si ‘recupera’ di più, inoltre i cambiamenti climatici obbligano ad una revisione nell’uso di energia ottenuta da fonti non rinnovabili, imponendo forme alternative di approvvigionamento e consumi misurati.

La cornice legislativa, coordinata dalla Comunità Europea e recepita dagli stati membri, attesta l’importanza del risparmio energetico. Senza qui tracciare il lungo *iter* percorso, si considerino solamente i provvedimenti più recenti, che impongono di avvicinarsi a consumi quasi nulli entro il 2020 per le nuove costruzioni, ed entro il 2018 anche per l’edilizia esistente di proprietà pubblica¹. In presenza di elementi considerati ‘di particolare pregio’ il legislatore, come del resto già per altri ambiti, ha previsto la possibilità della deroga, qualora l’intervento, pur volto a migliorare le prestazioni energetiche, possa sortire “una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici”². La legge n. 90 del 2013 impone, però, la valutazione delle prestazioni energetiche per tutti gli edifici (siano essi sottoposti a dichiarazione di pubblico interesse o meno) e, solo in presenza di impedimenti accertati, consente di non intervenire.

È una struttura normativa consueta quella in cui, non potendo tenere in considerazione l’infinita varietà dei casi reali, si consentono per deroga alcune eccezioni in

¹ Direttiva 2010/31/UE (EPBD recast - Energy Performance of Building Directive). Il suo recepimento a livello nazionale, avvenuto attraverso diversi provvedimenti, si è completato con i tre decreti interministeriali del 26/06/2015. Nello specifico, gli attuali requisiti minimi per edifici di nuova costruzione o soggetti a riqualificazione rilevante prevedono il rispetto di prescrizioni relativamente alle prestazioni dell’involucro edilizio, alla valutazione dell’efficacia di sistemi schermanti e all’adozione di soluzioni impiantistiche particolarmente efficienti. Per quanto riguarda l’impiego

di fonti rinnovabili, dal 1° gennaio 2017 è richiesto il rispetto degli obblighi previsti dall’Allegato 3 del D. Lgs 28/2011.

² D. Lgs 311/2006 Art. 3 c. 3: “Sono esclusi dall’applicazione del presente decreto ... gli immobili ricadenti nell’ambito della disciplina della parte seconda [Beni Culturali] e dell’articolo 136, comma 1, lett. b e c [Beni Paesaggistici] del D. Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 ... nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici”.

ambiti particolari, come quello dell'architettura monumentale. È il segno evidente dell'esistenza di un possibile conflitto tra ragioni conservative e forme d'adeguamento degli edifici antichi legate a modalità di uso diverse da quelle originarie.

In un recente convegno dedicato al tema dell'efficienza energetica per il patrimonio costruito si rimarcava che l'ammontare totale del patrimonio 'vincolato' rispetto allo *stock* edilizio esistente è così basso da risultare ininfluenza sul piano energetico e, quindi, tale da poter essere escluso dal novero degli edifici da sottoporre ad intervento³. Una decisa volontà conservativa non può però sottrarsi a un confronto con esigenze mutate nel tempo. In questo caso specifico va poi sottolineato come intervenire nel delicato rapporto tra ambiente ed edificio possa anche assumere una positiva funzione di controllo delle manifestazioni di degrado spesso correlate a cause ambientali. È evidente dunque che il vero nodo della discussione sia da ricercarsi nel come e quanto intervenire in contesti particolari, piuttosto che se lo si debba fare o meno.

È però utile uscire dalla disputa fra edifici vincolati (e centri storici) *versus* edilizia minore comunque da preservare e considerare piuttosto il *discrimen* costituito dalle forme d'uso⁴. Edilizia residenziale con permanenza continua o edifici usati in modo discontinuo chiedono ragionamenti diversi ma, soprattutto, vogliono il superamento di automatismi ciecamente efficientisti che impongono modalità standard di intervento senza invece preoccuparsi di riscaldare (o condizionare) solo dove serve e per quanto serve. Un intervento commisurato considera le particolarità dell'architettura esistente, ne comprende le possibilità e ne asseconda le attitudini. Riecheggiano cioè le tematiche discusse in un altro ambito: quello relativo all'intervento strutturale che – proprio per evitare perniciosi eccessi – ha introdotto le categorie di 'adeguamento' e di 'miglioramento', oggi rimesse in discussione dopo i recenti eventi sismici, forse sull'onda dell'emotività.

Imparare dagli errori del passato

Proprio dagli avanzamenti introdotti in seguito al dibattito relativo alle modalità di consolidamento dovremmo trarre sagge considerazioni. Interventi che hanno imposto schemi strutturali impropri agli edifici antichi si sono rivelati nocivi. Da normative che imponevano l'abbattimento di strutture considerate non sicure perché non facilmente modellizzabili, o interventi incompatibili perché propri dell'edilizia moderna nata con schemi strutturali totalmente differenti, si è passati a pratiche che più si avvicinano al concetto di manutenzione. Garantire tetti leggeri e ben 'legati', angolari ammorsati etc. è più utile che invadere il corpo delle strutture antiche con cordoli e

³ *L'efficienza energetica nel patrimonio storico: opportunità e limiti*, Genova 21 aprile 2016, organizzato da G. Franco, Università degli Studi di Genova.

⁴ L'Unione Europea classifica il 30% degli edifici esistenti di importanza storica rilevante, dunque,

anche sul piano quantitativo, la porzione di 'manufatti particolari' su cui intervenire è significativa (*Energy-Efficient Buildings Ppp Multi-Annual Roadmap and Longer Term Strategy European Commission 2010*).

Figg. 1-2. Il Palazzo Europa a Bruxelles “fa proprio il concetto di sviluppo sostenibile, nei materiali e nelle tecnologie utilizzati. La facciata, costituita da un mosaico di telai di finestre di legno recuperati da siti di ristrutturazioni o demolizioni negli Stati membri, ha l'obiettivo di promuovere sviluppo sostenibile e riciclaggio dei materiali, testimoniare la maestria degli artigiani e la diversità culturale dell'UE”. (<http://www.consilium.europa.eu/it/contact/address/council-buildings/europa-building/>). Si omette di ricordare le direttive che hanno spinto alla dismissione dei serramenti storici (ad esempio la 93/76/EEC Energy Efficiency (SAVE) poi ritirata), e quelle che tutt'oggi ne stanno decretando la scomparsa ad un ritmo allarmante. (<http://www.theplan.it/eng/webzine/international-architecture/philippe-samyn-european-council-headquarter>).



scanalature per solai in latero cemento. Eppure, se si esaminano gli interventi effettuati per l'efficientamento energetico, si assiste allo stesso tipo di errore concettuale: mutare regole e prestazioni pensate per le nuove costruzioni imponendole ad edifici che hanno forme di comportamento e peculiarità differenti, senza calibrazione alcuna e senza conoscenza preventiva.

Sembra anche in questo caso prevalere un efficientismo che vuole la garanzia del parametro numerico soddisfatto (peraltro richiesto da una struttura normativa ancora prescrittiva, in cui vanno raggiunti valori limite – ad esempio – di trasmittanza delle singole parti che compongono gli edifici). Si dismettono così finestre antiche, s'impiegano interventi per la copertura delle murature senza che siano chiari il loro comportamento e le reali esigenze del singolo caso in rapporto al tipo di funzione ospitata. Se nel campo strutturale si era pervenuti finalmente alla consapevolezza di aver colmato il *deficit* di conoscenza con l'eccesso di intervento, ciò a cui assistiamo in questo 'nuovo' ambito dimostra che, ancora una volta, gli errori del passato non hanno insegnato nulla (Figg. 1-2).

Adeguamento e miglioramento

Le *Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale* (2015) sono organizzate sulla falsariga delle *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* (2010). Ciò non è casuale, alcune questioni di fondo sono infatti simili sul piano concettuale: si auspica pertanto una modulazione negli interventi proprio perché il dominio di riferimento è quello dei beni culturali⁵. Viene dunque ripreso il concetto di miglioramento da preferirsi a quello di adeguamento: “intervenire in termini di miglioramento deve significare progettare solo sulla base della conoscenza della fabbrica realizzando soltanto quel progetto che, pur dando opportune garanzie di sicurezza, sia rispettoso del contesto su cui va a collocarsi”.

Ma il concetto di miglioramento – sia esso discusso in relazione alle strutture o all'efficienza energetica – porta con sé la questione della sua misurabilità: migliorare significa partire da una situazione data e capire quanto valga il beneficio che può essere ottenuto, esaminato sotto vari profili⁶, ad esempio nelle *Linee di indirizzo* si chiede di valutare l'indice di prestazione energetica prima e dopo l'intervento⁷.

A tal proposito un cenno va dedicato alle criticità evidenti nei *software* oggi disponibili per la diagnosi energetica, particolarmente quelli d'impiego comune, cioè quelli di tipo statico.

Ciò mette in campo la questione della capacità ‘predittiva’ ottenibile attraverso l'uso di questi strumenti al fine di progettare gli interventi. Appare infatti evidente come non solo sia necessario un sistema capace di tenere in considerazione comportamenti realistici nei modi d'uso e nelle caratteristiche effettive delle murature storiche (inerzia termica, sfasamento etc.) ma anche, per quanto raffinato esso possa essere, resta la necessità di *input* accurati che, come si vedrà nel prosieguo, soffrono ancora di grandi indeterminanze⁸.

⁵ Si è provato a proporre una prima analisi del contributo offerto dalle *Linee di indirizzo* in PRACCHI 2016.

⁶ Nelle *Linee guida* si specifica che “non è solo un concetto qualitativo ma richiede comunque il calcolo dei livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia dell'edificio nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento”.

⁷ Nelle *Linee di indirizzo* il miglioramento energetico è definito come “l'esecuzione di uno o più interventi aventi lo scopo di ridurre l'indice di prestazione energetica senza modificare lo stato strutturale e architettonico del manufatto e cercando di migliorare le condizioni di qualità ambientale”.

⁸ Essendo pensati per l'edilizia di nuova costruzione, i software contengono librerie non adatte: basti

osservarne i lemmi. Inoltre, la possibilità di calcolare le perdite per trasmissione attraverso l'involucro edilizio soffre di limiti evidenti, data la mancanza di specifiche per materiali utilizzati, stratigrafie, caratteristiche di inerzia termica, sfasamento e attenuazione, tecniche di posa; così i parametri usati per la descrizione e le prestazioni termofisiche dei diversi componenti dell'involucro differiscono sensibilmente soprattutto per quanto concerne la conduttività termica e la presenza di umidità interstiziale. Il calcolo delle infiltrazioni d'aria e delle perdite per ventilazione, che incide particolarmente sui dati finali, è richiesto come “numero di ricambi orari”, un dato facilmente individuabile in presenza d'impianti, ma difficile da quantificare quando vi è la sola ventilazione naturale. Infine, i software pensati per la certificazione energetica richiedono l'inserimento di un impianto di climatizzazione in-

Nelle *Linee di indirizzo* si fa menzione al fatto che la diagnosi energetica in questo ambito non sia un processo semplice ma, forse, va rimarcata la necessità di strumenti raffinati, benché ciò comporti costi superiori e personale specializzato. Pur senza mostrare cieca fiducia nelle misure e in eccessi diagnostici, se la verifica richiesta dalla normativa si limita al rispetto di parametri numerici o valuta la differenza di comportamento tra una condizione pre e post intervento, l'analisi deve essere attendibile.

E se non si possono negare le difficoltà relative all'ottenere dati quantitativi attendibili, tuttavia è importante poter disporre di valutazioni 'credibili' anche per evitare interventi insignificanti, saperne gli effetti e, all'interno di una comparazione, poter scegliere quelli meno impattanti, tentando il difficile bilanciamento delle diverse esigenze in gioco.

Comprendere il margine di miglioramento, anche non necessariamente in valori assoluti, è importante proprio nell'ottica seguita dalle *Linee di indirizzo* che prospetta diverse opzioni tecniche, segnalando per ciascuna vantaggi e rischi. È una strada saggia, mutuata dal filone delle guide per l'edilizia storica, che spinge all'esame del ventaglio di possibilità, invitando alla scelta più appropriata per il singolo caso. Avere pertanto valutazioni di efficacia degli interventi ipotizzati sarebbe utile. È stato ad esempio misurato l'effetto di diverse tipologie d'interventi attuabili su serramenti antichi⁹. Per ciascuno si è analizzato il confronto fra il valore di trasmittanza iniziale e quello calcolato dopo le modifiche¹⁰. I dati ottenuti consentono di passare alla fase sperimentale, in cui alcune soluzioni verranno realizzate in modo da verificare la loro risposta reale. Ma l'analisi è stata utile soprattutto per osservare come vi siano tipologie d'intervento che consentono di ottenere prestazioni energetiche molto simili, tra le quali quindi è possibile scegliere quella che più favorisce il mantenimento della finestra storica (Fig. 3).

vernale, in quanto per legge sono esclusi dall'obbligo di certificazione le unità immobiliari che ne sono prive, come spesso accade negli edifici monumentali (ADHIKARI *et al.* 2012a).

⁹ Il punto di partenza è stata l'analisi di 21 ricerche compiute in paesi europei ed extraeuropei nelle quali si indagava la possibilità di miglioramento delle prestazioni di serramenti antichi attraverso una pluralità di interventi più o meno conservativi (PRACCHI *et al.* 2014).

¹⁰ È stato inoltre stimato e confrontato il rapporto tra i valori trovati con quelli limite imposti da normativa; l'incidenza dell'involucro trasparente

sul coefficiente delle dispersioni per trasmissione globale dell'edificio; la percentuale di riduzione delle dispersioni globali dell'edificio analizzando gli elementi disperdenti e considerando la zona climatica in cui il fabbricato si trova con l'inserimento delle temperature medie mensili; la percentuale di diminuzione dei kWh necessari per il riscaldamento per ciascuna ipotesi di intervento, la diminuzione delle emissioni di CO₂, il costo del riscaldamento, e il relativo risparmio annuo; il tempo di ritorno dell'investimento, considerati il costo dell'intervento sui serramenti e il risparmio sul riscaldamento (PRACCHI *et al.* 2016).



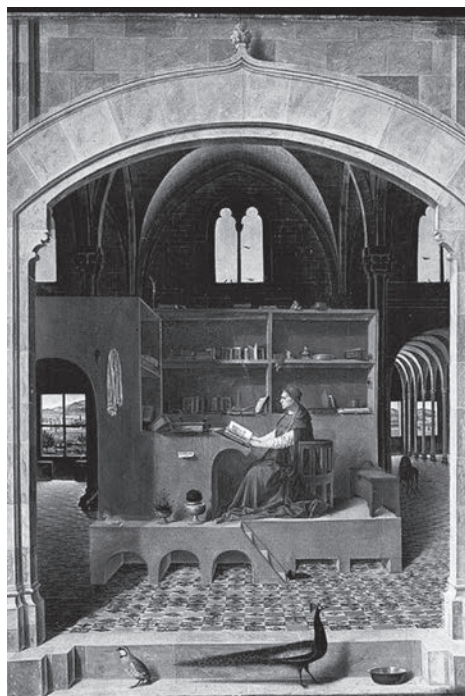
Bellissimo esempio di triple finestra a balcòne con arredi doppi ed antine esterne aggiunte. Considerare il vantaggio che il doppio vetro apporta nella spesa di riscaldamento di questo ambiente. (Milano, Via Donizetti).

Fig. 3. *La finestra doppia è un sicuro risparmio di combustibile*, articolo comparso in «Il Vetro», III, 2, XVIII, pp. 41-46. Alla fine degli anni Trenta le riviste di architettura tornano su una soluzione assai impiegata fino ad un recente passato (cfr. *La funzione isolante della finestra doppia*, in «Casabella costruzioni», 134, febbraio 1939, pp. 53-57; altri articoli ad esempio in «Rassegna di architettura») (Foto di Sara Mauri).

Il ruolo della conoscenza

È evidente come il ruolo della ricerca e della conoscenza del comportamento degli edifici antichi sia centrale. E se la considerazione è superflua per gli 'addetti ai lavori', ciò nonostante qualche considerazione va fatta per sottolineare le ragioni che motivano perché di efficienza energetica nell'edilizia storica dovrebbero occuparsi 'i restauratori' in collaborazione con ingegneri e fisici. La prima è che il restauratore sa che l'unica garanzia per commisurare l'intervento è appunto conoscere l'edificio antico nei suoi aspetti materiali e immateriali, inoltre sa che il proprio operato è al servizio dell'architettura e non viceversa, e sa infine che il suo apporto s'inserisce in una storia lunga, in un contesto determinato da vincoli o caratteristiche che impongono la ricerca continua di soluzioni *ad hoc*. Il progettista della conservazione ha (o dovrebbe avere) un *habitus* mentale che favorisce la dimensione storica della conoscenza, è abituato cioè a riconoscere le strategie messe in opera in passato per mitigare il rapporto con il clima e cercare di ottenere il 'massimo' possibile.

Anche le *Linee di indirizzo* già citate rimarcano l'importanza della conoscenza (e in un recente convegno è stato osservato come per la prima volta l'ingegnere che



Figg. 4-5. *La nascita di santo Stefano*, oratorio di Santo Stefano a Lentate sul Seveso, MB (foto dell'autore); *Studio di San Girolamo*, Antonello da Messina (http://4.bp.blogspot.com/-vTwHPn-4joQw/VbOY4Nb07FI/AAAAAAAAA9c/m0gaVrCCJ4k/s1600/national_gallery_london_020_antonello_da_messina_studio_san_girolamo.jpg). Soluzioni premoderne garantiscono una sorta di protezione o di luogo riparato, attraverso la schermatura delle pareti con materiale ligneo o con tessuti e separazione dalla parete fredda costituita dal pavimento.

studia il microclima sia posto di fronte alla necessità di conoscere gli edifici antichi) con un'accezione del termine però limitata agli aspetti fisici (conoscenza dimensionale, degli impianti antichi presenti, delle cavità etc.) mentre va sottolineata l'esigenza di studiare mentalità e strategie usate nel passato per ottenere la mitigazione degli effetti climatici¹¹. È un aspetto fondamentale, spesso trascurato, che richiede ancora molta ricerca utile almeno per due finalità: da un lato potenziare le risorse già presenti negli edifici antichi e dall'altro ripensare in chiave tecnologicamente avanzata soluzioni – più o meno 'ricche' – spesso di complemento e reversibili, usuali nella tradizione costruttiva storica (Figg. 4-5).

¹¹ Si veda al proposito il filone di studi dedicato al microclima storico in particolare PRETELLI, FABBRI 2016a e 2016b.

Possibili linee di ricerca

Se dunque il campo dell'efficienza energetica è ancora relativamente nuovo nell'estensione al costruito storico, non deve stupire la necessità di approfondimenti che ne renderanno possibile una applicazione critica e commisurata.

Le linee di ricerca future possono essere suddivise in filoni tematici assai diversi tra loro, alcuni già ora praticati, altri ancora negletti.

Un ambito 'consueto' è quello dello studio di materiali innovativi, capaci di apportare dei miglioramenti compatibili con le esigenze richieste, come i materiali coibenti di spessore ridotto o i materiali a cambiamento di forma; di questi vanno ovviamente verificate le eventuali ricadute negative, come ad esempio la formazione di condensa.

Meno praticata è la cosiddetta ricerca di base, considerata meno spendibile. Il Politecnico di Milano ha invece finanziato uno studio per la misurazione *in situ* della trasmittanza di murature antiche, dimostrando come (e quanto) il loro 'comportamento' sia ampiamente sottostimato, rischiando così di facilitare interventi eccessivi¹². Analisi fatte allo stesso scopo in Scozia e Gran Bretagna giungono a conclusioni pressoché identiche¹³.

Meno usuale, coerentemente con quanto già affermato, è la rivisitazione di strategie o tecniche del passato. Sono comunque in corso alcune ricerche finalizzate alla valutazione prestazionale di materiali tradizionali 'rivisti', come per la disposizione di 'cappotti' interni¹⁴ (ove possibile) costituiti da impasti a base di malta di calce (o misti a canapa) disposti al di sopra di cannicciati.

Un'altra sperimentazione condotta con l'ausilio d'impresе che cercano una nicchia specializzata nel settore del tessile (oggi in crisi a causa della concorrenza straniera) è una sorta di arazzo o tappezzeria dalle prestazioni particolari, la cui caratteristica precipua deve essere la facilità di posa e di smontaggio, senza parti direttamente infisse nelle murature, da utilizzare stagionalmente (*Fig. 6*)¹⁵. Lo scopo non è, ovviamente, la modifica della temperatura interna ma evitare l'effetto 'parete fredda', agendo piuttosto sul *comfort*. Lo stesso intento, ripreso ancora in soluzioni di complemento e stagio-

¹² Si è analizzata la prestazione effettiva di 25 murature storiche, di differenti spessori e composizione, attraverso una campagna di misure termoflussimetriche. Il primo intento era confrontare i dati misurati *in situ* con quelli presenti nelle UNI TS 11300 e con quelli ottenibili attraverso il calcolo secondo il metodo proposto dagli standard internazionali. Il confronto dimostra come la trasmittanza di murature in mattoni e malta sia decisamente migliore (dal 3 al 56%) rispetto al valore contenuto nelle UNI e rispetto a quello calcolato. Ancora più sorprendente risulta il dato relativo ai muri in pietra, considerati sotto questo profi-

lo poco performanti e invece ampiamente sottostimati, probabilmente perché non si è tenuta in adeguata considerazione la percentuale variabile di malta e di aria presente (ADHIKARI *et al.* 2012b).

¹³ BAKE 2011; RYE 2010.

¹⁴ È noto come il cappotto interno (laddove sia possibile) costituisca una soluzione vantaggiosa nel periodo invernale, in quanto la presenza di un isolante interno scherma immediatamente il trasferimento di calore per conduzione nella parete, ma comporti notevoli svantaggi in estate, per la difficoltà di raffreddamento dell'aria interna.

¹⁵ MONTICELLI *et al.* 2016.

Fig. 6. Sulla parete sono applicati uno strato di cartongesso unito ad uno di aerogel (area 11), il tessuto unito all'aerogel (area 12-16) oltre ad un cappotto interno fatto di perlite (area 14 e 17). Interessante osservare che la risposta dell'«arazzo» è paragonabile a quella dei sistemi più tradizionali di coibentazione naturalmente con uno spessore decisamente più ridotto, con la possibilità inoltre di rimuovere stagionalmente il dispositivo, riporlo, lavarlo (Termografia Elisabetta Rosina, cfr. MONTICELLI *et al.* 2016).

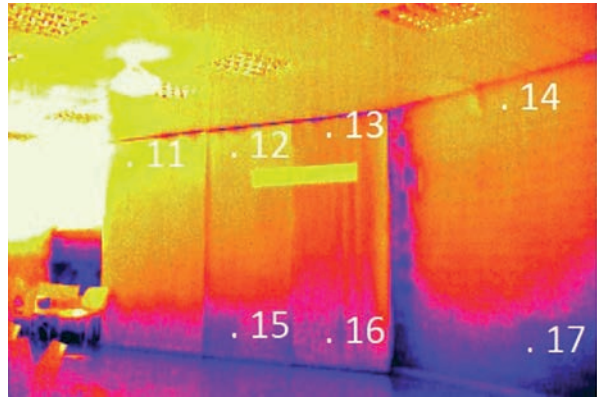
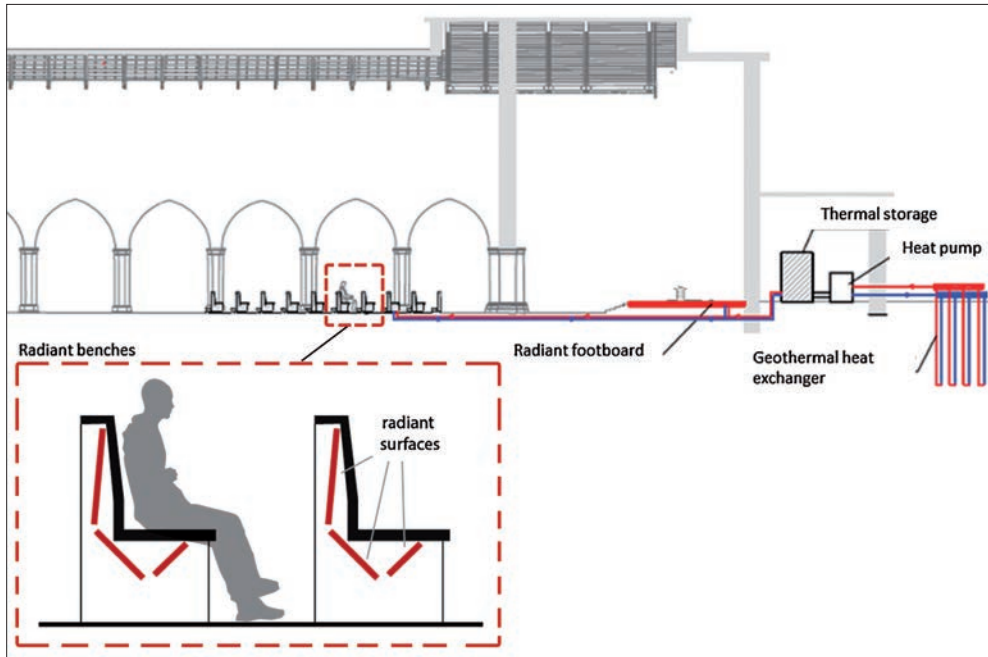


Fig. 7. Schema generale del sistema idronico ad alta efficienza pensato per la basilica di Collemaggio (AQ) e dettaglio della panca radiante (ASTE *et al.* 2016b).



nali, è nell'impiego di pedane lignee (riscaldate o meno), spesso visibili nelle chiese, o di panche riscaldate¹⁶ (Fig. 7). Forse il dispositivo ad oggi più conosciuto, accompagnato da una sostanziosa ma contrastante bibliografia di riferimento, è il *Temperierung*, che nasce sempre dallo studio di soluzioni antiche, come l'ipocausto¹⁷.

¹⁶ ASTE *et al.* 2016a, ASTE *et al.* 2016b.

¹⁷ DEL CURTO 2013; BICHLMAIRA *et al.* 2015.

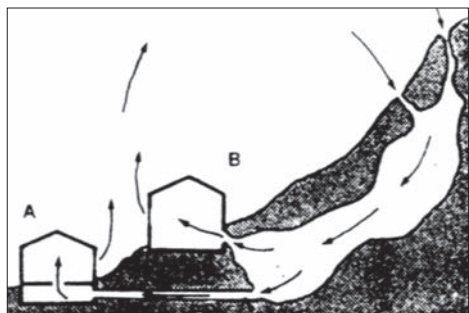


Fig. 8. I Covoli di Costozza in provincia di Vicenza: un sistema di grotte e cavità che tramite condotti - detti ventidotti - convogliano l'aria fresca proveniente dall'interno fino alle ville sorte sui Colli Berici per rinfrescare gli ambienti in estate e intiepidirli d'inverno (<https://diegoterna.wordpress.com/2015/01/23/buildings-that-come-to-life/>).

Naturalmente gli spunti che vengono dal passato sono molteplici anche per quel che riguarda la necessità di condizionamento: è noto il caso dei Covoli di Costozza in provincia di Vicenza, un sistema di grotte e cavità che tramite condotti - detti 'ventidotti' - convogliano l'aria fresca proveniente dall'interno fino alle ville sorte sui Colli Berici per rinfrescare gli ambienti in estate e intiepidirli d'inverno (Fig. 8).

Il tema del condizionamento è stato ad ora meno considerato, forse perché le ricerche principali sono state prodotte in paesi del nord Europa, dove il problema è meno sentito ma, dati anche i cambiamenti climatici in corso, è o sarà per i paesi mediterranei la vera sfida¹⁸.

Un caso particolare, per via delle tecniche costruttive mutate, delle sperimentazioni intercorse, riguarda poi l'architettura del Movimento Moderno. Lo studio del microclima presente nella Casa del Fascio a Como, compiuto su richiesta della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio, dimostra in modo interessante come 'la casa di vetro' soffra soprattutto nel periodo estivo.

Ciò avviene anche perché sono stati rimossi, perché non compresi, i dispositivi pensati da Giuseppe Terragni per ventilare e sfruttare aria più fredda, oltre che per le azzardate sperimentazioni presto andate in crisi.

Un altro tema considerato di particolare delicatezza riguarda l'interazione tra i dispositivi necessari alla produzione di energia (fotovoltaico, pale eoliche etc.) e il loro inserimento nel paesaggio¹⁹.

Da ultimo, va ricordato che "Anche nei casi più critici ... ove non sia possibile operare sull'involucro è comunque possibile intervenire sul miglioramento dell'efficienza energetica. Per esempio si possono prevedere sistemi di produzione dell'energia ad alta efficienza e tecnologie di controllo e gestione più adeguate"²⁰.

Misure compensative e coinvolgimento di utenti o operatori

Nella ricerca di soluzioni *ad hoc*, che potenzino le risorse già presenti negli edifici antichi, un cenno va infine dedicato a misure compensative che, proprio in una logica di miglioramento, mitigano la situazione data. La difficoltà di affrontare proprio il caso sopra citato della Casa del Fascio di Como ha obbligato a ricercare tende per

¹⁸ FERRARI, ZANOTTO, 2016.

¹⁹ DI BENE, SCAZZOSI, 2006.

²⁰ DE SANTOLI 2010.

esterni dalle prestazioni particolari (ottenute da materiali speciali), riprendendo del resto alcune intuizioni di Terragni (Fig. 9). Il vantaggio che si ottiene (diminuzione delle temperature estive fino a 3 gradi, se in abbinamento ad altre strategie quali l'adozione di tende interne, l'uso degli avvolgibili lignei) non è sufficiente, ma da questo si può partire per commisurare un intervento complessivo.

È evidente, però, che interventi a più basso impatto, che non comportino modifiche ai serramenti, quali l'uso di tende e scuri o l'aggiunta di elementi rimovibili, richiedono il coinvolgimento dell'utente o dell'operatore. Si tratta di un esempio tipico di modalità gestionali che consentono spesso nel restauro di minimizzare l'invasività delle nuove opere. Uno strumento di sensibilizzazione molto diffuso all'estero è costituito dalle guide per i proprietari dei beni (ne sono state esaminate 20), dalla struttura semplice ma accurata (Fig. 10)²¹. Tali guide solitamente partono dallo spiegare l'importanza delle finestre storiche, dedicano spazio alla fase conoscitiva, evidenziano le problematiche ricorrenti, individuano possibili interventi, riportano le FAQ, usano spesso *check list* riepilogative e aggiungono contatti



Fig. 9. Casa del Fascio a Como (arch. Giuseppe Terragni). Dettaglio del prospetto su piazza del Popolo provvisto del sistema a rullo originario che permetteva la movimentazione delle tende che scorrevano senza occupare l'intero spazio del vano murario (da EISENMAN 2004).

²¹ Ne riportiamo solo alcune ad esempio: *Historic Scotland: Sash & Case Windows, a short guide for homeowners* <http://www.historic-scotland.gov.uk/sash-and-case-windows.pdf>; *Energy Efficiency and Historic Buildings, secondary glazing for windows* <http://www.english-heritage.org.uk/publications/eehb-secondary-glazing-windows/eehb-secondary-glazing-windows.pdf>; *Heritage at risk, conservation areas* <http://www.woodwindowalliance.com/sites/homeowner/assets/files/caar-booklet-acc.pdf>; *Historic Scotland: Conservation of traditional buildings* <http://www.historic-scotland.gov.uk/guide-for-practitioners-6.pdf>;

Charlottetown: Guidelines for the repair and replacement of historic windows <http://www.city.charlottetown.pe.ca/pdfs/WindowGuidelines.pdf>
Ohio: A window of opportunity, how to evaluate historic windows and determine the appropriate restoration and retrofit treatment <http://www.heritageohio.org/wp-content/uploads/2011/10/A-WINDOW-OF-OPPORTUNITY.pdf>
San Francisco: Tenant Guidelines for energy efficient renovation of buildings <https://eetd.lbl.gov/node/50567>. [30/12/2016].



Fig. 10. Esempi di guide per i proprietari dei beni. La loro articolazione solitamente parte dallo spiegare l'importanza delle finestre storiche, dedica una parte alla fase conoscitiva, evidenzia le problematiche ricorrenti, individua possibili interventi, riporta le FAQ, usa spesso *check list* riepilogative e aggiunge contatti e pubblicazioni utili all'approfondimento (cfr. nota 21 nel testo).

e pubblicazioni utili all'approfondimento. È infatti molto importante considerare l'aspetto dei comportamenti nell'uso. Anche la Comunità Europea ha colto l'importanza di questo approccio finanziando alcune linee di ricerca specificamente dedicate al tema del coinvolgimento degli abitanti. Alcuni anni fa con un consorzio di università europee si era proposto lo studio, coordinato da May Cassar, dal titolo *Energy Efficiency in Heritage Buildings: Integrating Users' Perceptions, Attitudes and Behaviours into Decision-Making Frameworks* dedicato a comprendere scelte relative al tema dell'efficienza energetica da parte di utenti non esperti.

Sostenibilità e risparmio energetico

Infine un punto fondamentale da rimarcare è la distinzione tra il concetto di sostenibilità e quello di risparmio energetico. Spesso essi vengono sovrapposti, determinando equivoci particolarmente pericolosi nel nostro ambito disciplinare, dove si assiste alla perdita di elementi fragili causata dalla prevalenza data ad un parametro considerato univocamente: quello della riduzione di costi. Secondo una visione più ampia di sostenibilità, entro cui si considerino le ricadute dell'intero ciclo di vita degli elementi, facilmente si può osservare che azioni considerate virtuose sul piano del

risparmio energetico non necessariamente risultano sostenibili. Due esempi (tra i tanti possibili) lo dimostrano bene. Il primo riguarda quanto sta accadendo ai serramenti storici. Ammettendo in via ipotetica che la loro sostituzione sia positiva sul piano del risparmio (ma i dati al proposito sono assai diversi, e non così promettenti, soprattutto laddove questo sia l'unico intervento effettuato)²², se si analizza, come è stato fatto, l'intero ciclo produttivo che comprende dismissione del pezzo esistente, estrazione e produzione dei nuovi materiali, messa in opera fino al loro fine vita, il quantitativo di CO₂ immesso in atmosfera risulta di circa 8 volte superiore rispetto al mantenimento del pezzo²³. Mantenimento che comporta di contro un maggior consumo di energia a causa di prestazioni ridotte. Per una valutazione complessiva vanno allora analizzate le fonti di produzione dell'energia (rinnovabili o meno) e i costi, molto variabili da paese a paese. Inoltre, le finestre storiche sono riparabili perché fatte per parti che possono essere sostituite, a differenza delle attuali. Per ragioni ovvie, poi, i materiali usati in passato sono decisamente più compatibili rispetto a molti tra quelli oggi in uso. Gli svantaggi sono invece legati alle prestazioni meno elevate rispetto a quelle attualmente richieste; alla presenza di 'spifferi', che negli edifici antichi non costituisce necessariamente un male, e alla scarsa protezione dal rumore. Anche restando però fermi ad una analisi che non tenga in considerazione fattori quali i valori culturali, limitandosi al solo piano economico, il calcolo del ritorno dell'investimento è controverso. Inoltre, se per un privato il tempo di recupero dell'investimento ha grande importanza, forse nel caso di patrimonio pubblico dove durata, permanenza e uso sono completamente differenti, si possono pensare forme alternative di compensazione economica tra enti pubblici proprietari e Stato.

Un secondo esempio che rimarca l'equivoco sottolineato all'inizio è osservabile nelle politiche per il contenimento dei consumi energetici presenti nei piani di governo del territorio di molti centri storici. Assecondando una logica perversa, in cui si fa a gara nel chiedere trasmittanze sempre più basse, si stima virtuoso chi sostituisce parti dell'edificato storico con altre dalle prestazioni superiori a quelle richieste dalla legislazione nazionale. Il vantaggio per il proprietario è legato agli incentivi fiscali ma, in molti dei casi analizzati, un campione di 30 comuni tra quelli giudicati più virtuosi da un recente rapporto di Legambiente²⁴, si possono ottenere anche incrementi volumetrici in centro storico.

Mai politica fu più miope in rapporto ad un obiettivo di sostenibilità per il territorio.

Se dunque vi è un presupposto da ribadire, è quello di evitare ragionamenti monodimensionali in cui il risparmio sia considerato secondo una sola prospettiva. Vi sono, d'altra parte, studi molto promettenti indirizzati ad affrontare le tematiche della sostenibilità in una logica di sistema. Ci si è resi conto, infatti, che, il più delle volte, è molto difficile (e anche rischioso) pensare agli interventi di miglioramento energetico

²² CRESME 2010; ENEA 2010.

²⁴ LEGAMBIENTE 2015.

²³ FOSSDAL 1996.

limitandosi ad affrontare il tema alla scala del singolo edificio e non, in una logica più generale di sostenibilità ambientale estesa al più ampio sistema insediativo, almeno alla scala micro-urbana. Si è invece ad oggi lavorato principalmente sui singoli elementi ‘scomposti’ (infissi, coperture etc.), riducendo il progetto alla sostituzione di nodi della struttura e contando sul perseguimento di un beneficio assai più ampio di quanto non si sia verificato.

Conclusioni

Un’ultima riflessione riporta al titolo dell’articolo, che indica la difficoltà nel trovare bilanciamenti complessi tra sistemi valoriali differenti, alcuni misurabili e altri non facilmente quantificabili. In altri termini, devono essere considerate attentamente le necessità dettate da una disciplina che usa procedure ‘scientifiche’ entro un quadro teorico di stampo ‘umanistico’, dove gli interventi che si compiono hanno senso solo a certe condizioni, rispetto alla tradizione propria delle scienze fisiche, in cui la valutazione di efficacia è più facilmente misurabile o risponde ad una misura.

La difficoltà nello stare a cavaliere è quella di ‘registrare’ questo rapporto e, come dimostrato in passato nell’ambito del consolidamento, ciò è tutt’altro che facile a farsi. Vi è infatti una complessità intrinseca nel muoversi tra rigore scientifico ed esigenze ‘altre’, che non misurano l’efficacia dell’azione secondo parametri numerici, ma la ‘soppesano’ entro un quadro di valori.

Proprio per questo sono necessarie un’ampia condivisione e aperte discussioni (che non sembrano peraltro appassionare i cultori del restauro) per evitare che le esigenze dettate dalla sostenibilità siano vissute come l’ennesimo faticoso adempimento entro una *check list* di operazioni imposte e non comprese. Questo comporterà anche il ripensare la tematica dell’efficienza energetica negli edifici storici, sforzandosi di uscire da automatismi perniciosi nel campo dell’intervento specifico e non solo, facendo – se possibile – tesoro di esperienze e di errori del passato.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ADHIKARI *et al.* 2012a: R.S. Adhikari, E. Lucchi, V. Pracchi, E. Rosina, *Efficienza energetica dell'edilizia storica. I sistemi di valutazione statica e dinamica: caratteristiche limiti e potenzialità*, in *Oltre la certificazione energetica: progettazione e gestione del sistema edificio-impianto per ottimizzare il comfort ed i consumi energetici reali*, atti del 30^o convegno (Bologna 19 ottobre 2012), Aicarr, Milano 2012, pp. 77-89
- ADHIKARI *et al.* 2012b: R.S. Adhikari, E. Lucchi, V. Pracchi, *Experimental Measurements on Thermal Transmittance of the Opaque Vertical Walls in the Historical Buildings*, in *PLEA 2012 Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*, atti della 28^a Conferenza internazionale, (Lima, Perú 7-9 November 2012) Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 2012 (s.p.)
- ASTE *et al.* 2016a: N. Aste, R.S. Adhikari, M. Buzzetti, C. Del Pero, F. Leonforte, H. Huerto Cardena, *CFD Comfort Analysis of a Sustainable Solution for Church Heating*, in *PLEA 2016 Passive and Low Energy Architecture. Cities, Buildings, People: towards regenerative Environments*, atti della 32^a Conferenza internazionale (Los Angeles California 11-13 luglio 2016) (s.p.)
- ASTE *et al.* 2016b: N. Aste, S. Della Torre, R.S. Adhikari, M. Buzzetti, C. Del Pero, F. Leonforte, M. Manfren, *Sustainable Church Heating: the basilica Collemaggio case study*, in «Energy and Buildings», 116, 2016, pp. 218-231
- BAKE 2011: P. Bake, *U-values and traditional buildings. In situ measurement and their comparisons to calculated values*, 2011, <<http://www.historic-scotland.gov.uk/hstp102011-u-value>>. [30/12/2016]
- BICHLMAIRA *et al.* 2015: S. Bichlmaira, S. Rafflerb, R. Kiliana, *The Temperierung heating systems as a retrofitting tool for preventive conservation of historic museums buildings and exhibits*, in «Energy and Buildings», 95, 2015, pp. 80-85
- CRESME 2010: CRESME, *Analisi sull'impatto socio-economico delle detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente*, 2010, <http://orizzontenergia.it/download/News%20/CRESME_ENEA_06-08_2010.pdf> [30/12/2016]
- DE SANTOLI 2010: L. de Santoli, *Efficienza energetica negli edifici storici*, in «AICARR journal», 1, aprile 2010
- DEL CURTO 2013: D. Del Curto, *Restauro, conservazione preventiva ed efficienza energetica. Il sistema Temperierung in Italia*, in E. Lucchi, V. Pracchi (a cura di), *Efficienza energetica e patrimonio costruito. La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*, Maggioli, Sant'Arcangelo di Romagna 2013, pp. 309-323
- DI BENE SCAZZOSI, 2006: A. Di Bene, L. Scazzosi (a cura di), *Gli impianti eolici: suggerimenti per la progettazione e la valutazione paesaggistica*, Gangemi, Roma 2006
- EISENMAN 2004: P. Eisenman, *Giuseppe Terragni: trasformazioni, scomposizioni, critiche*, Quodlibet, Macerata 2004
- ENEA 2010: ENEA e Ministero dello Sviluppo Economico (Unità Tecnica Efficienza Energetica), *Impatto delle detrazioni fiscali del 55% sul mercato dei prodotti e dei servizi incentivati ed effetti macroeconomici indotti*, 2010, <<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/rapporto%20mercato%20v3p.pdf>> [30/12/2016]
- FERRARI, ZANOTTO 2016: S. Ferrari, V. Zanotto, *Building Energy Performance Assessment in South Europe*, Springer, London 2016
- FOSSDAL 1996: S. Fossdal, *Windows in existing buildings - maintenance, upgrading or replacement?*, 1996 <<http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapport192.pdf>> [30/12/2016]

- LEGAMBIENTE 2015: Legambiente, *Rapporto comuni rinnovabili*, 2015. <www.legambiente.it/contenuti/dossier/comuni-rinnovabili-2015> [30/12/2016]
- MONTICELLI *et al.* 2016: C. Monticelli, A. Zanelli, S. Aliprandi, V. Pracchi, E. Rosina, *The Energy Efficiency Improvement of Listed Buildings through Textile-Based Innovative System*, in *Advanced Building Skins*, 11^a Conferenza (Bern, Switzerland 10-11 ottobre 2016), pp. 192-202
- PRACCHI *et al.* 2014: V. Pracchi, N. Rat, A. Verzeroli, *Historic Windows: Conservation or Replacement. What's The Most Sustainable Intervention? Legislative Situation, Case Studies and Current Researches*, in M. López, A. Yáñez, S. Gomes Da Costa, L. Avellà, (Coord.), *Proceedings of the International Conference on Energy Efficiency and Historic Buildings* (Madrid, 29-30 settembre 2014), Fundación de Casas Históricas y Fundación Ars Civilis, Madrid 2014, pp. 432-449
- PRACCHI 2016: V. Pracchi, *Efficienza energetica e patrimonio culturale: un contributo alla discussione alla luce delle nuove Linee di indirizzo*, Bressanone 2016, in G. Biscontin e G. Driussi (a cura di), *Eresia e ortodossia nel Restauro. Progetti e realizzazioni, atti del convegno Scienza e Beni Culturali* (Bressanone, 28 giugno -1 luglio 2016), Arcadia ricerche, Venezia 2016, pp. 717-726
- PRACCHI *et al.* 2016: V. Pracchi, N. Rat, A. Verzeroli, *Balancing different needs: enhancing energy efficiency and preserving historic windows*, in *Heritage 2016*, 5th International Conference on Heritage and Sustainable Development, (Lisbona, 12-15 luglio 2016), Green Line Institute, Barcelos Portugal 2016, pp. 581-591
- PRETELLI, FABBRI 2016: M. Pretelli, K. Fabbri, *New Concept of Historical Indoor Microclimate - Learning From the Past for a More Sustainable Future*, in «Procedia Engineering», 2016, 161, pp. 2173-2178
- PRETELLI, FABBRI 2016: M. Pretelli, K. Fabbri, *Historic Indoor Microclimate (HIM): a new challenge in heritage building in Heritage 2016*, 5th International Conference on Heritage and Sustainable Development, (Lisbona, 12-15 luglio 2016), Green Line Institute, Barcelos Portugal 2016, pp. 1279-1284
- RYE 2010: C. Rye, *The SPAB Research Report 1: U value*, Report 2010, London, <<https://www.spab.org.uk/downloads/TheSPABU-valueReportFINAL.pdf>> [30/12/2016]

La quarta cella del Santuario Repubblicano nell'area archeologica del *Capitolium* di Brescia Un processo virtuoso per la realizzazione dell'impianto di climatizzazione

GIUSEPPE BONFANTE, CHIARA BONVICINI, CARLO CACACE

Conservare in regime di clima controllato comporta un'attenta analisi del contesto in cui si opera e dei processi tecnici messi in campo. Il progetto di un impianto di condizionamento che tenga conto dei diversi possibili usi di ambienti che siano o contengano beni culturali (specie se archeologici), va opportunamente studiato in funzione della loro valorizzazione e deve coniugarsi con la conservazione e la tutela del manufatto oltre che delle opere contenute. Il progetto deve considerare il valore storico-artistico della struttura architettonica e, di conseguenza, la dinamica temporale nei processi evolutivi delle condizioni ambientali che possono compromettere la sua conservazione. Nel caso del Santuario Repubblicano a Brescia il tema è reso più complesso dalla natura ipogea dell'ambiente¹. Il lavoro ha seguito un processo di studio virtuoso che ha messo in relazione, ognuno per la propria competenza, l'amministrazione del Comune di Brescia, le strutture territoriali del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo (MiBACT), i progettisti e i consulenti, dal progetto preliminare sino alla realizzazione dell'intervento, individuando una soluzione impiantistica innovativa, non invasiva, sicura ed energeticamente sostenibile.

La progettazione degli impianti di condizionamento per la conservazione

Molti dei problemi presenti nella conservazione sono bene interpretati se si tiene presente che l'opera d'interesse storico-artistico vive e si evolve in un ambiente col quale inevitabilmente interagisce. Tale interazione avviene attraverso scambi di energia e scambi di materia. È fondamentale tenere sotto controllo e limitare questi scambi, perché è proprio da essi che hanno origine i processi di degrado. Se si assume il rischio di perdita del patrimonio culturale come criterio per individuare le priorità operative, la conoscenza dello stato di conservazione delle opere, della loro collocazione fisica e delle relazioni che intercorrono fra ambiente interno ed esterno in cui esse sono disposte (che siano sale espositive e/o depositi) risulta utile e necessaria per programmare gli interventi di tutela, conservazione e fruibilità.

La possibilità di rappresentare il livello di rischio ambientale diventa allora un sintetico modo di visualizzare questa informazione ed è un valido mezzo per piani-

¹ CACACE *et al.* 2009.

ficare le attività ad esso connesse. Conservare, quindi, in regime di clima controllato comporta un'attenta analisi del contesto in cui si opera e dei processi tecnici messi in campo. Il progetto di un impianto di condizionamento che tenga conto dei diversi usi (uffici, consultazione, visita, conservazione ecc.) degli ambienti che contengono al loro interno beni culturali (in genere pertinenti a complessi architettonici che non nascono con scopi espositivi e/o conservativi) va opportunamente dimensionato in funzione degli obiettivi da raggiungere, considerando i seguenti aspetti: orientamento e dislocazione della fabbrica, estensione della stessa, conformazione delle strutture. Inoltre, nella realizzazione dell'impianto di condizionamento, il progetto deve considerare le opere di valore storico-artistico nel loro specifico contesto di appartenenza, in relazione alla struttura architettonica e, di conseguenza, alla dinamica temporale dei processi evolutivi delle condizioni ambientali (D.M. 20.05.1992). La presenza delle opere conservate all'interno comporta che il problema del degrado deve essere affrontato nella sua interezza e complessità, tenendo presente:

- le caratteristiche chimico-fisiche di tutti i materiali costitutivi con particolare attenzione alla loro natura igroscopica, ovvero alla capacità di ritenere e trasferire masse d'acqua con meccanismi di capillarità, per evaporazione e/o assorbimento,
- l'interazione della struttura nel suo complesso con l'aria-ambiente in cui si trova dà luogo all'insieme di trasformazioni che coinvolgono l'oggetto e costituiscono i processi di degrado.

Quanto premesso comporta che il sistema di condizionamento deve scaturire dall'attenta analisi dei dati di rilevamento; questi riguardano una serie di parametri microclimatici che, opportunamente correlati, indicano dal punto di vista analitico e quantitativo il tipo d'interazione in atto fra opera d'arte e ambiente circostante. In questo modo sarà possibile effettuare una comparazione fra i parametri imposti come condizione di esercizio e la reale capacità del sistema di rispettare tale condizioni nell'ambiente e, in particolare, nell'intorno del manufatto.

L'opera interagisce continuamente con l'ambiente e risente dei diversi tipi di sollecitazione che si possono instaurare, ad esempio di natura termica o igrometrica (irraggiamento, evaporazione, condensazione, ecc.). Nasce, quindi, la necessità di misurare preliminarmente parametri diversi, così da analizzare e quantificare la loro evoluzione nel tempo. Inoltre, l'azione che questi fattori esercitano sul manufatto è continua, modulata dallo scorrere delle stagioni e dipendente dal comportamento generale del clima ambientale oltre che da cause accidentali. Normalmente i sistemi di condizionamento non prevedono controlli in più punti strategici degli ambienti e molto spesso, quindi, si deve ricorrere a strumentazioni accessorie per ovviare a questa mancanza. Le tecnologie della strumentazione di rilevamento microclimatico² e di elaborazione informatica dei dati sono oggi tra le più avanzate, perché rendono possibile

² ACCARDO *et al.* 1992; GIAVARINI *et al.* 2004; GABRIELLI *et al.* 2007; CACACE *et al.* 2008.

la visualizzazione e l'analisi dei fenomeni in forma rapida e concisa e, nello specifico, permettono di produrre *data-base* sempre aggiornabili sulle condizioni termo-igrometriche degli ambienti. L'accessibilità delle tecnologie informatiche oggi disponibili non deve far dimenticare però il ruolo fondamentale che comunque spetta all'elaborazione delle informazioni e ai processi di analisi connessi con tali attività.

A questo proposito le conoscenze maturate dall'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro (già Istituto Centrale per il Restauro, d'ora in poi IsCR) sulle funzioni di danno e sui processi di trasformazione fisico-chimica dei materiali costitutivi, ovvero sui meccanismi di deterioramento dei beni, sono servite da guida e da filtro per individuare e definire i modelli necessari allo sviluppo della metodologia per il rilevamento e il controllo degli ambienti preposti alla conservazione, al fine di selezionare i dati utili e necessari al raggiungimento di tale obiettivo, per normalizzare le modalità di raccolta degli stessi e per sviluppare le procedure di analisi e elaborazione delle informazioni. L'indirizzo metodologico seguito è maturato nel corso degli ultimi trenta anni grazie alle esperienze realizzate nel corso di mirate indagini scientifiche, del controllo microclimatico ambientale e delle prove non distruttive, applicate alla conoscenza e alla conservazione dei beni in ambienti condizionati e non. Infatti, ad integrazione o, per quanto possibile, in alternativa al restauro che interviene a danno avvenuto, questo indirizzo propone di sviluppare, attraverso interventi sistematici di conservazione e manutenzione dei beni, una strategia basata sulla prevenzione del danno. In questo modo è possibile esprimere il rischio in funzione di queste due componenti e misurarne l'intensità attraverso la misura delle grandezze fisiche, che concorrono alla loro determinazione. Il tempo e la localizzazione spaziale delle grandezze fisiche considerate sono le variabili introdotte per poter conoscere la distribuzione spazio/temporale dei parametri e dei fenomeni che si vogliono analizzare: ciò ne consente la rappresentazione spaziale e la sua evoluzione nel tempo.

La conoscenza delle condizioni climatiche e microclimatiche deve essere perseguita attraverso un approccio basato sulla misura degli effetti prodotti direttamente sulle opere e nel loro intorno dall'eventuale interazione con l'ambiente. Ciò è utile e necessario per riscontrare il valore degli indici calcolati (evaporazione, condensazione, gradienti termo-igrometrici, flussi d'aria, profili termici, ecc.) e per una puntuale verifica della metodologia. Solo il confronto diretto fra la previsione del calcolo e la misura del danno subito quantifica la reale attendibilità dell'indicatore, migliorando in concreto le capacità informative del sistema e la conoscenza necessaria all'attività di conservazione e prevenzione. La misura può essere fatta in modo sistematico per una serie limitata ma significativa di zone campione, scelte in modo da rappresentare adeguatamente tutte le classi di pericolosità individuate dalla metodologia.

Il principio fondamentale del sistema di condizionamento è quello di mantenere stabili le condizioni dell'ambiente, ponendo un intervallo piuttosto contenuto delle variazioni ammissibili, ma la difficoltà di raggiungere tale obiettivo è ovviamente legato ai volumi degli ambienti in cui normalmente si opera, alla tenuta degli infissi,

che non sempre garantiscono un isolamento perfetto, alla presenza di sistemi d'illuminazione, che non sempre rispondono a criteri conservativi, e così via.

Dal punto di vista fisico, generalmente, un ambiente è a rischio quando il tentativo di giungere all'equilibrio delle componenti del sistema avviene attraverso scambi repentini, provocati da gradienti termici o igrometrici. Nel momento in cui allo scambio termico corrisponde un'inaspettata variazione dell'umidità relativa, pilotata dal contenuto di acqua libera nell'aria e nelle opere conservate, si determina una variazione dei parametri nel comportamento generale del sistema, le cui componenti raggiungono l'equilibrio in tempi e modalità diverse. Tale rischio non è legato necessariamente ai valori assoluti dei parametri termoigrometrici, ma alla rapidità di evoluzione nel tempo, per cui condizioni elevate di umidità relativa potrebbero non destare preoccupazione se esse sono raggiunte in tempi legati ai vari passaggi stagionali e non regolati dai cicli periodici giornalieri.

La conoscenza del comportamento microclimatico della struttura architettonica e dell'intorno dei manufatti presenti prima della messa in opera del sistema di condizionamento è importante, perché consente di comprendere in quali periodi l'ambiente nel suo insieme rimane più stabile e quando non lo è; in particolare, quando esso risente delle variazioni giornaliere in modo da diminuire i rischi di esaltare fenomeni evaporativi e/o di assorbimento.

Molto spesso, invece, si definiscono alcuni parametri 'a priori' attraverso i quali i sistemi impongono valori che non sempre sono tarati sulle reali possibilità di 'tenuta' da parte dell'ambiente, dato che manca molto spesso, come detto, uno studio pregresso in grado di definire i limiti e le possibilità d'intervento.

Occorre ricordare che l'aria può essere considerata una miscela di gas perfetti: aria secca e vapor d'acqua (umidità specifica). L'umidità specifica indica quanti grammi di vapor acqueo sono presenti in ogni kg di aria secca e l'umidità relativa è la percentuale di vapore contenuto nell'aria (US) in rapporto alla massima quantità in esso riscontrabile (Usa = assoluta) ad una data temperatura. La condizione normale degli ambienti chiusi e isolati è che l'umidità relativa dell'aria sia strettamente legata alla temperatura ambiente: a parità di grammi di vapore acqueo contenuti in un kg di aria secca, l'umidità relativa aumenta al diminuire della temperatura e diminuisce all'aumentare della temperatura, in quanto minore è la temperatura dell'aria, minore è la miscibilità del vapore acqueo nell'aria stessa. Questo comporta che, a volte, i sistemi per mantenere le condizioni di esercizio di un impianto lavorano con immissioni di vapore immediate e non regolate secondo le esigenze dell'ambiente ma in funzione dell'input del sensore di rilevamento dell'umidità relativa; questo, molto spesso, è unico nella sala e non sempre risulta collocato in posizione ottimale. Ad esempio, in uno studio microclimatico effettuato dall'IsCR a Venezia, in Palazzo Labia³, utilizzando il diagramma di Carrier è stato possibile rappresentare su di uno stesso strumento di

³ CACACE *et al.* 2009.

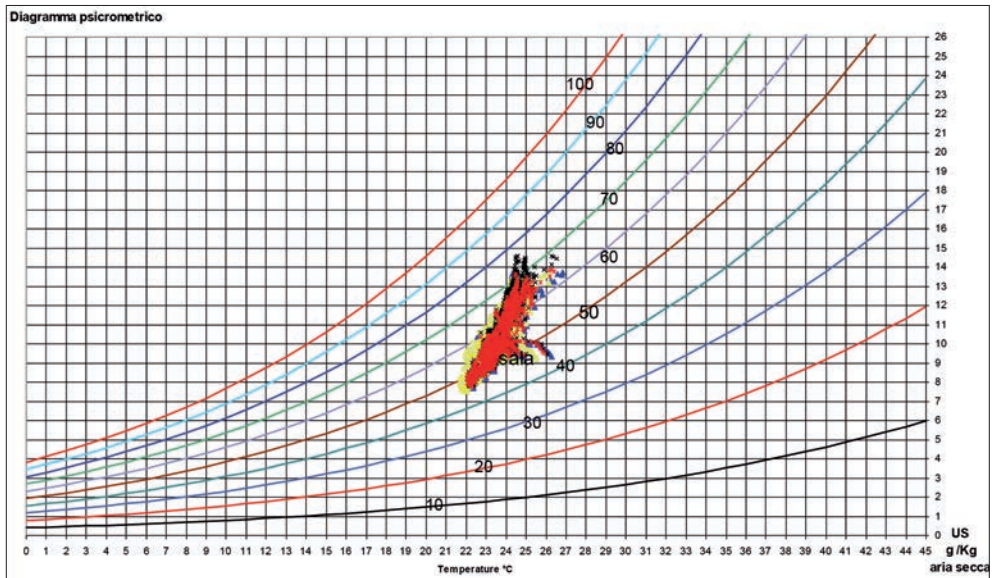


Fig. 1. Venezia, studio microclimatico effettuato a Palazzo Labia, diagramma psicrometrico.

lettura tutte le grandezze fisiche termo-igrometriche rilevate quali la temperatura ambiente (asse delle x) l'umidità relativa (curve nere), l'umidità specifica, cioè il vapore (asse delle y). L'analisi ha dimostrato come il sistema di condizionamento lavorasse con rapide immissioni di vapore che avveniva per tutti i quattro punti di immissione dell'aria leggibili, con colorazioni diverse, sulla scala dell'asse delle y del diagramma, per consentire all'ambiente di mantenere un'umidità relativa tra il 40 e il 60%, raggiungendo talvolta il 65-70% (Fig. 1).

Il caso della IV Cella del Santuario Repubblicano di Brescia

Un esempio di approccio innovativo per la progettazione degli impianti di climatizzazione per la conservazione di beni archeologici è rappresentato dal progetto per il Santuario Repubblicano dell'area archeologica di Brescia. A partire dalla linee guida definite dallo studio condotto preliminarmente dall'IsCR, il progetto si è basato sugli esiti delle analisi preliminari condotte in sito e, diversamente da quanto previsto con le metodologie tradizionali di progettazione impiantistica, è stato prioritariamente orientato verso una stabilizzazione delle condizioni termo-igrometriche, così da contenere i processi di degrado e i fattori di rischio individuati per i preziosi reperti del Santuario, piuttosto che verso la climatizzazione vera e propria degli ambienti.

La IV cella del Santuario Repubblicano (I sec. a.C.), monumento situato nel cuore storico di Brescia e facente parte del Parco archeologico di Brescia romana, riconosciuto Patrimonio Mondiale dell'Umanità dall'UNESCO, è stata riaperta al pub-



Fig. 2. Brescia, Santuario Repubblicano, prospetto del podio (© su concessione del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo – Soprintendenza Archeologica della Lombardia).

del Santuario Repubblicano può porsi, quindi, come caso – pilota per altri interventi di natura simile⁵.

⁴ Si riporta qui il *team* dei professionisti coinvolti nei lavori: Comune di Brescia, Responsabile del settore edilizia monumentale: arch. Marco Ponzoni; Comune di Brescia, Responsabile del servizio edilizia monumentale e del procedimento, ing. Marcella Dalgrosso; Progetto architettonico e restauri e Direzione lavori arch. Marco Ponzoni, arch. Patrizia Scamoni, geom. Gerardo Brentegani, geom. Vittorio Bandera con geom. Rossella Egidi, geom. Anna Papetti, geom. Maura Moreschi (Comune di Brescia); Fondazione Brescia Musei, dott. Luigi Di Corato, arch. Maria Repossi; Progetto museologico dott.ssa Filli Rossi (Soprintendenza Archeologia della Lombardia); dott.ssa Francesca Morandini (Comune di Brescia); Progetto museografico: arch.

blico nel mese di maggio del 2015, in seguito ad un accurato restauro del ricco apparato decorativo e a un progetto di valorizzazione promosso dal Comune di Brescia e dalla Soprintendenza Archeologica della Lombardia assieme alla Fondazione Brescia Musei (Figg. 2-3)⁴.

L'antico edificio di culto risulta molto ben conservato; all'interno della IV cella sono sopravvissuti i pavimenti a mosaico e una preziosa decorazione pittorica alle pareti.

L'apertura al pubblico dell'area ipogea del Santuario ha richiesto necessariamente la progettazione di adeguati impianti di climatizzazione per garantire la conservazione dei reperti anche nelle nuove condizioni di fruizione del sito.

La fase progettuale ha impegnato enti pubblici e privati nell'individuare strategie di controllo microclimatico adeguate alla conservazione di apparati decorativi in ambienti ipogei aperti al pubblico.

Il lavoro svolto sulla IV cella

Maria Repossi (Fondazione Brescia Musei), arch. Renata Demartini (Soprintendenza Archeologia della Lombardia); Progetto strutturale: ing. Gianni Pellegrinelli – ing. Alessandra Cantoni; Progetto e Direzione lavori Impianti Meccanici, Elettrici e speciali: PROECO - ing. Giuseppe Bonfante, per. ind. Franco Pautasso, per. ind. Alberto Tessari; Consulente per la Conservazione, il Progetto Illuminotecnico e l'Acustica Onleco, ing. Giuseppe Bonfante, dott.ssa Chiara Bonvicini, prof.ssa Anna Pellegrino, arch. Alessia Griginis, arch. Sabrina Canale con Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, dott. Carlo Cacace, dott.ssa Maria Concetta Laurenti.

⁵ Il progetto impiantistico è stato sviluppato dallo studio di ingegneria Proeco di Torino, in stretta



Fig. 3. Brescia, la IV cella del Santuario (© su concessione del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo – Soprintendenza Archeologica della Lombardia).

Le analisi preliminari

Come in precedenza descritto, il punto di partenza fondamentale per la progettazione di un nuovo impianto di climatizzazione destinato alla conservazione di beni culturali è la conoscenza approfondita delle dinamiche termoigrometriche che hanno influenzato la conservazione dei reperti fino al momento precedente all'intervento.

Nel caso dell'ipogeo di Brescia, l'IsCR fu coinvolto fin dal 2008 per una valutazione delle condizioni ambientali e di stato di conservazione dei dipinti murali. La sensibilità dei funzionari del Comune e della Soprintendenza ha permesso di affrontare lo studio dell'ambiente secondo la metodologia in uso all'Istituto.

Sono stati eseguiti diversi sopralluoghi dai funzionari dell'IsCR, si è analizzata la situazione conservativa dei dipinti e si è effettuata una campagna di rilevamento microclimatico; si sono in particolare rilevati i parametri fisici ambientali in 13 punti di misura (Fig. 4) in modo da comprendere l'evoluzione stagionale, giornaliera e oraria dell'ambiente nel periodo febbraio 2009 - settembre 2012. Dall'indagine preliminare

collaborazione con l'IsCR. La società Onleco S.r.l, in collaborazione con la sezione modelli microclimatici e gestione dati del Laboratorio di Fisica e controlli Ambientali dell'IsCR del MiBACT, si è occupata della progettazione illuminotecnica e del

monitoraggio ambientale, del sistema di misura e acquisizione dei dati per la conservazione, della loro elaborazione per la valutazione dei possibili fattori di rischio, del monitoraggio successivo all'intervento.

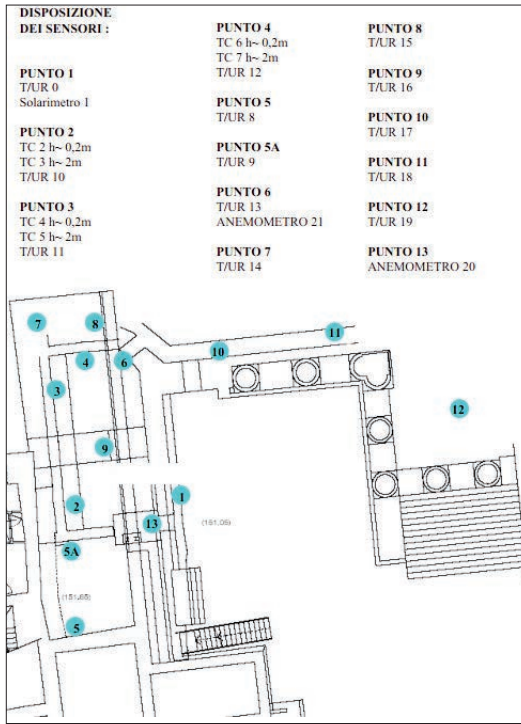


Fig. 4. Disposizione dei sensori di rilevamento dei parametri microclimatici nel periodo dal 2009 al 2012.

è emerso che l'ambiente presentava scambi di vapore e condensazione generalizzati; quest'ultima, in particolare si ripeteva ciclicamente nel periodo primaverile ed estivo. Il grafico (Fig. 5) mostra che gli andamenti della temperatura superficiale della muratura dipinta, su tre verticali distinte rilevati a 20 e 200 cm dal pavimento, risultano talvolta uguali o minori alla temperatura di rugiada (rappresentata dalla linea blu); proprio in tali condizioni avviene il fenomeno della condensazione superficiale del vapore libero in aria sulle murature dipinte.

In generale, nel periodo esaminato è stata anche riscontrata la presenza di sottili patine biancastre omogenee. Tale fenomeno poteva essere spiegato con la presenza di efflorescenze saline ma anche di sviluppi batterici; sono stati pertanto prelevati campioni di materiale in più punti a

due diverse quote a circa 100 e 140 cm per effettuare le analisi di laboratorio.

Le indagini condotte al microscopio ottico hanno messo in luce, nel campione prelevato dalla zona più alta, la presenza di piccoli cristalli aghiformi e l'assenza di forme biologiche, mentre nel campione proveniente dall'area più bassa si sono individuate alcune cellule filamentose attribuibili allo sviluppo di *Attinomiceti*.

L'alterazione osservata è quindi da imputare prevalentemente alla formazione di sali, che non impedisce però, in alcune aree, la colonizzazione localizzata di batteri alofili quali gli *Attinomiceti*.

Il contenuto d'acqua della muratura nella zona esaminata particolarmente alto per la presenza del terrapieno retrostante, favoriva fenomeni di evaporazione e condensazione. Le condizioni dell'area erano apparse critiche, già nei sopralluoghi precedenti al restauro, per la presenza di attacchi microbici ed è probabile che gli interventi di disinfezione consigliati all'epoca, anche con applicazione di prodotti preventivi 'a lento rilascio'⁶, potevano aver perso la loro efficacia dopo circa un anno dall'intervento.

⁶ Tipo Algophase®, biocida per microflora ad efficacia prolungata.

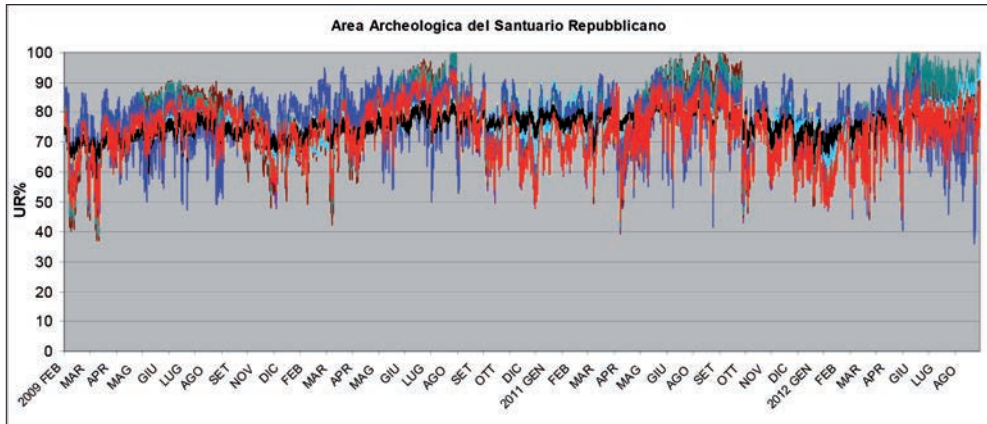


Fig. 5 Confronto delle temperature superficiali della muratura dipinta con la temperatura di rugiada.

Infine, dal punto di vista fisico l'ambiente presentava un alto tasso di umidità relativa. Nelle figure 6 e 7 si può osservare rispettivamente l'andamento dell'umidità relativa e dell'umidità specifica nei vari punti di misura (cfr. pianta Fig. 4), dovuta ai movimenti di vapore in aria.

L'esigenza di climatizzare l'ambiente ipogeo si è così misurata con una serie di utili indicazioni relative all'evoluzione ambientale del sito archeologico; ciò ha consentito agli impiantisti di definire un sistema non 'aggressivo' nei confronti dell'ambiente ma piuttosto collaborativo con la sua naturale ricerca di equilibrio. Sono state pertanto valutate diverse azioni non invasive in grado di lavorare sui contenuti di vapore dell'ambiente interno e sul rapporto con l'esterno.

La soluzione progettuale

Sulla base degli esiti delle analisi preliminari condotte, la strategia progettuale è stata quindi orientata allo sviluppo di una soluzione tecnologica che garantisse la stabilizzazione delle condizioni termoigrometriche in funzione dell'ambiente esterno, limitando tuttavia i fattori di rischio legati a fenomeni di condensazione superficiale evidenziati dalle analisi preliminari.

È stato quindi abbandonato il tradizionale iter progettuale per la climatizzazione vera e propria degli ambienti che prevede, in genere, l'identificazione di intervalli ristretti per le variazioni ammissibili dei parametri ambientali, con l'intento di mantenere stabili le condizioni termo-igrometriche, indipendentemente dalle variazioni dell'ambiente esterno.

Nell'ipogeo di Brescia sono state infatti ricercate le condizioni di temperatura e umidità specifica che meglio si adattavano alle condizioni esterne, al fine di evitare la formazione della condensa superficiale e di assicurare continuità al microclima che aveva garantito una buona conservazione dei reperti nei secoli fino ad oggi.

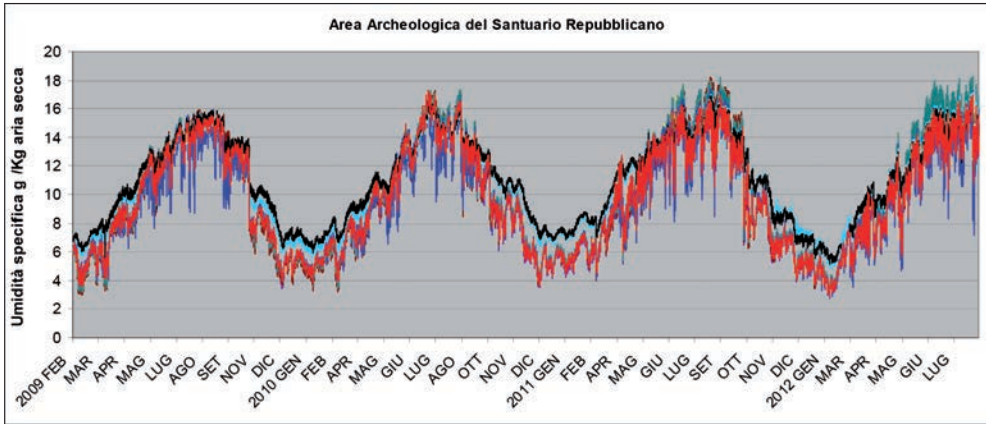


Fig. 6. Andamento della umidità relativa nei vari punti di misura nell'ambiente.

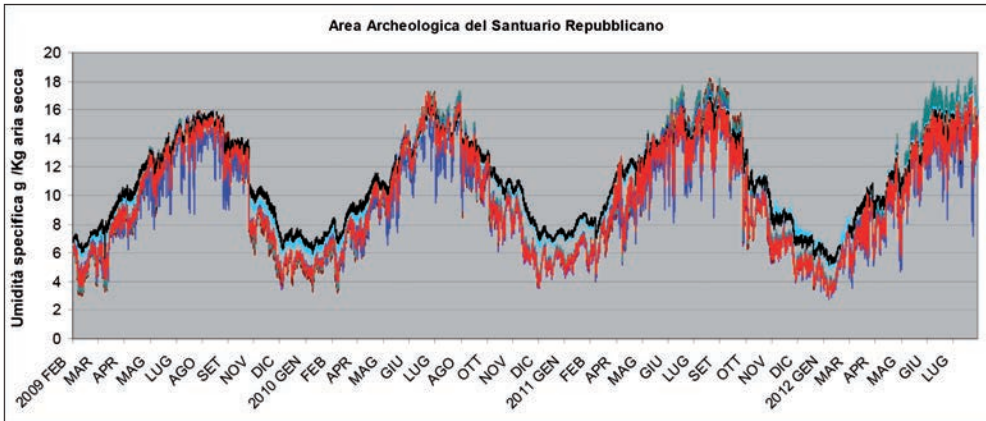


Fig. 7. Andamento della umidità specifica nei vari punti di misura nell'ambiente (2009-2012).

Questo tipo di approccio consente il mantenimento di condizioni interne stabili ma tuttavia simili a quelle rilevate in esterno. In questo modo, limitando il più possibile il gradiente interno-esterno, è stato introdotto un grande vantaggio, ovvero quello di limitare gli stress per i reperti conservati anche in presenza di eventuali disservizi dell'impianto meccanico, minimizzando le escursioni repentine in grado di danneggiare il mantenimento dell'equilibrio raggiunto fra ambiente e manufatto.

Un altro vantaggio non trascurabile della soluzione tecnologica individuata è rappresentato dal contenimento dei consumi energetici, consentito dal non dover assicurare condizioni ambientali troppo differenti rispetto a quelle dell'ambiente esterno.

La soluzione prevista dal progetto consiste in un impianto di ventilazione controllata in grado di agire secondo la logica di regolazione descritta in tabella (Fig. 8), che prevede la definizione dei *set-point* per il mantenimento dei valori di temperatura

	valore medio del titolo dell'aria esterna nell'ultima settimana $X_{e,m}$		valore medio della temperatura dell'aria esterna nell'ultima settimana $T_{e,m}$		valore set-point del titolo ambiente X_a	valore set-point della temperatura ambiente T_a
<i>if</i>	< 5 g/kg	<i>and</i>	< 10°C	<i>then</i>	= $X_{e,m}$	12,5 °C
<i>if</i>	compreso tra 5 e 10 g/kg	<i>or</i>	compresa tra 10 e 15°C	<i>then</i>	= $X_{e,m}$	17 °C
<i>if</i>	>10 g/kg	<i>or</i>	compresa tra 15 e 24°C	<i>then</i>	10 g/kg	= $T_{e,m}$ con un valore minimo di 17°C
<i>if</i>	>10 g/kg	<i>and</i>	>24°C	<i>then</i>	10 g/kg	24°C

Fig. 8. Logica di regolazione dell'impianto di ventilazione controllata.

e assoluta (o titolo) dell'aria interna a partire dai valori rilevati in esterno e mediati nell'arco dell'ultima settimana. Tramite questa tipologia di regolazione si garantisce un'oscillazione graduale nel corso dell'anno, crescente e decrescente, in funzione dell'andamento esterno dei valori di temperatura e di umidità assoluta dell'aria.

L'impianto è dotato anche di un sistema di umidificazione a vapore, al fine di non avere nell'ambiente valori di umidità assoluta troppo bassi durante il periodo invernale.

È noto che, per la conservazione degli apparati decorativi, l'apertura al pubblico di un ambiente ipogeo rappresenta un potenziale fattore di rischio aggiuntivo, legato all'introduzione di inquinanti aerodispersi veicolati dai visitatori. Per contenere tale rischio, l'impianto a servizio del Santuario di Brescia è stato progettato per garantire un lavaggio costante dei locali, pari a circa 2,5 vol/h, con l'immissione dell'aria disposta su un unico fronte, in prossimità dell'ingresso, e l'estrazione concentrata sul fondo, in coerenza con l'esistente flusso d'aria naturale rilevato mediante le analisi preliminari.

È stata inoltre definita una procedura da attuare per controllare l'accesso dei visitatori al sito ipogeo. In particolare, è stato previsto un'area d'ingresso pressurizzata, separata da una porta-filtro dagli ambienti archeologici del Santuario. L'accesso del pubblico avviene attraversando questo ambiente, dove i gruppi di visitatori, sempre accompagnati da personale adeguatamente formato e composti al massimo da quindici persone, stazionano per un periodo non inferiore a quindici minuti, in modo da favorire l'acclimatazione e permettere il lavaggio completo dell'ambiente, prima di accedere al Santuario.

L'uscita del pubblico è consentita tramite un vano d'uscita depressurizzato che separa l'ambiente interno dall'esterno.

Un ulteriore potenziale fattore di rischio connesso con la musealizzazione del sito è la necessità d'illuminare il percorso espositivo per permettere la fruizione dei reperti da parte del pubblico. Il progetto degli impianti d'illuminazione, così come quello degli impianti meccanici, è stato quindi orientato, secondo le indicazioni emerse dalle analisi preliminari condotte dall'IsCR, alla limitazione della potenza termica dell'impianto e dell'emissione di radiazioni critiche, in grado di dare attivare fenomeni di degrado di natura fotobiologica.

Le sorgenti di luce LED scelte per permettere di raggiungere tali obiettivi di conservazione sono caratterizzate dall'assenza di emissione di radiazioni ultravioletta e infrarossa e da elevata efficienza luminosa, tale da garantire la riduzione dei consumi energetici. Tali sistemi consentono inoltre di contenere i livelli d'illuminamento incidente sulla superficie decorata, così come previsto dalla normativa di settore. In particolare, per la categoria di materiali esposti, sono stati considerati i limiti di legge⁷, all'interno dei quali sono specificati i valori critici e ottimali riferiti ai parametri ambientali responsabili del potenziale degrado dei manufatti. I valori assunti come riferimento sono: illuminamento massimo pari a 150 lux; esposizione annua massima pari a 500.000 lux ora/anno; componente UV associata al flusso luminoso $< 75 \mu\text{W}/\text{lm}$ e densità di energia totale tra 400 e 4000 nm $< 10 \text{ W}/\text{m}^2$.

Data la complessità del fenomeno di conservazione che coinvolge le interazioni manufatto-ambiente, si specifica però che tali valori sono da intendersi solamente come riferimento e che le scelte progettuali hanno previsto la possibilità d'interfaciare l'impianto d'illuminazione con sensori di rilevamento dell'occupazione per permettere lo spegnimento automatico dell'impianto in assenza di visitatori e quindi per ridurre al minimo l'esposizione luminosa delle superfici da tutelare e prevenire accensioni prolungate e indesiderate delle sorgenti luminose.

Al fine di rendere possibile il controllo nel tempo delle grandezze ambientali in grado d'influenzare la conservazione dei preziosi reperti del sito archeologico, il progetto ha previsto l'installazione di un sistema di rilievo e acquisizione dati per il monitoraggio in tempo reale dei seguenti parametri: temperatura e umidità relativa dell'aria esterna; irraggiamento solare; temperatura e umidità relativa dell'aria interna; temperatura superficiale in prossimità delle decorazioni pittoriche; velocità dell'aria.

All'interno del sito ipogeo era già presente un sistema di acquisizione dati utilizzato per le analisi preliminari descritte in precedenza. Il nuovo progetto ha previsto la redistribuzione spaziale dei sensori di temperatura e umidità relativa in aria, temperatura superficiale delle murature, velocità dell'aria, rilevamento dell'illuminazione, CO₂ in interno e in esterno in funzione delle nuove esigenze espositive e ha esteso il monitoraggio a due grandezze in precedenza non monitorate: illuminamento e concentrazione di anidride carbonica, in modo da tenere conto dei nuovi potenziali aspetti di rischio per la conservazione costituiti dall'accensione prolungata delle luci e dalla presenza di visitatori (Fig. 9).

L'architettura del sistema di gestione dei dati di monitoraggio è basata sullo standard BACnet (*Communication Protocol for Building Automation and Control Networks*) in modo da poter permettere la regolazione degli impianti elettrici e meccanici sulla base dei dati misurati.

⁷ D.M. 10/05/2001: *Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei.*

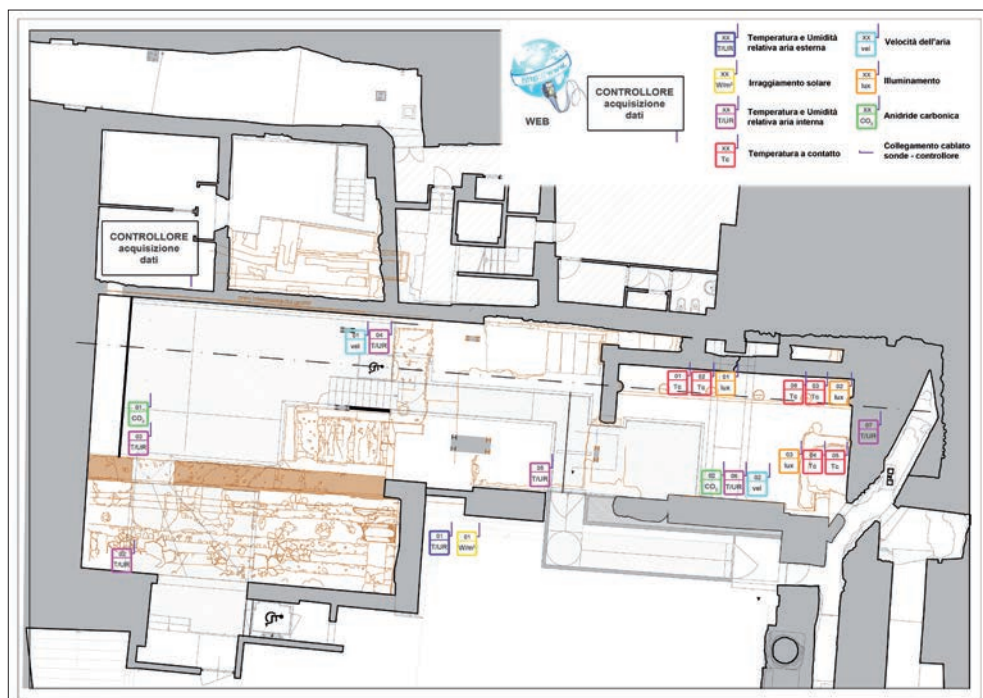


Fig. 9. Progetto del monitoraggio. Distribuzione spaziale dei punti di misura.

Il sistema di monitoraggio è composto da sonde cablate che s'interfacciano con un controllore collegato ad un portale internet che funge da Centro Servizi e consente, tramite l'autenticazione degli utenti, l'accessibilità da remoto reale alle misure acquisite e d'impostare soglie di allarme in grado di avvertire in tempo reale i responsabili della conservazione su eventuali disservizi degli impianti e sul raggiungimento di valori dei parametri ambientali non adeguati alla conservazione delle opere.

Il monitoraggio post-intervento

Ad oggi sono disponibili più di un anno e mezzo di dati relativi alle condizioni microclimatiche del sito ipogeo in seguito all'apertura al pubblico e all'inaugurazione del nuovo spazio espositivo e dei nuovi impianti di climatizzazione.

La significativa mole di dati disponibili consente di poter esprimere un primo giudizio sulle condizioni microclimatiche del sito e di effettuare alcune prime considerazioni sugli interventi eseguiti.

L'analisi dei dati mette in luce la buona capacità dell'impianto di lavorare secondo le logiche di regolazione definite dal progetto e studiate per minimizzare i rischi di condensa superficiale a carico dei dipinti murali e dei materiali conservati nel sito archeologico.

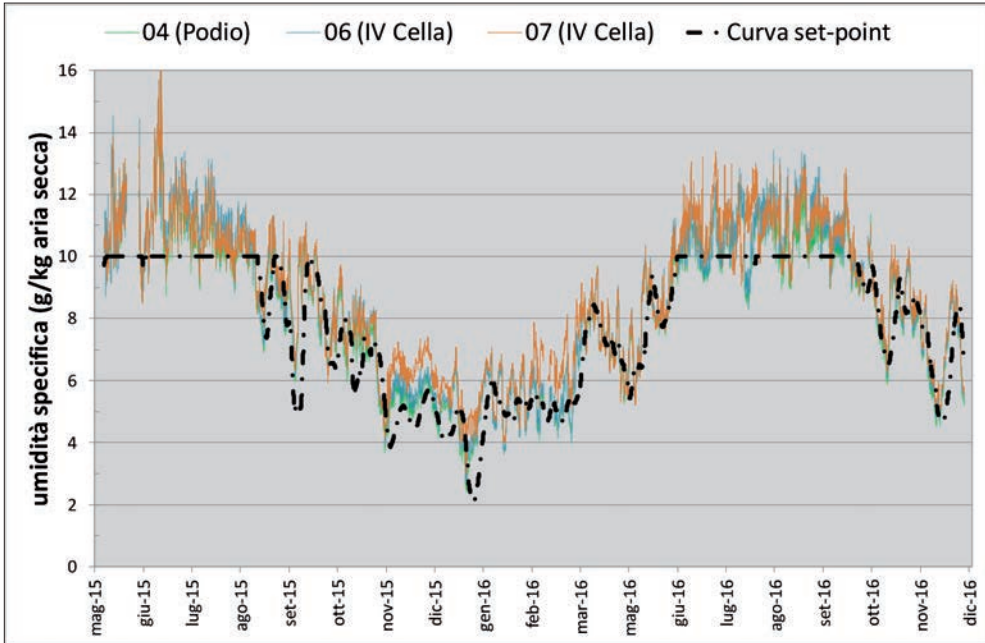


Fig. 10. Profilo temporale dell'umidità specifica post-intervento.

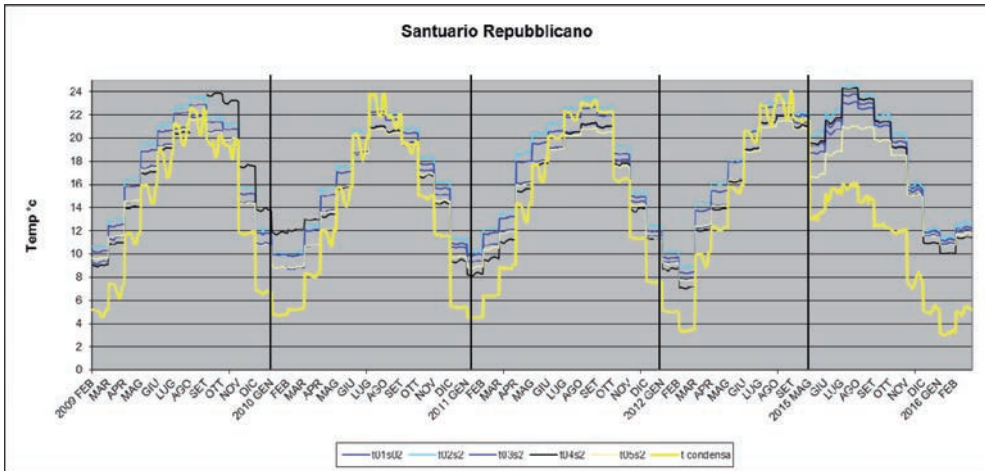


Fig. 11. Confronto delle temperature superficiali della muratura dipinta con la temperatura di rugiada pre e post-intervento.

I valori di temperatura e umidità relativa rilevati si mostrano uniformi all'interno di tutta l'area e non influenzati significativamente dalle condizioni esterne e dall'affluenza di pubblico. Nell'analisi del giorno medio tipico, che è ricavato per ciascun mese, dalla sequenza dei valori medi calcolati dall'insieme di tutti i dati registrati a

una certa ora del giorno, è infatti possibile osservare un andamento stabile con cicli giorno-notte contenuti.

Dall'analisi dei profili temporali di temperatura e umidità specifica dell'aria si conferma la capacità, da parte del nuovo impianto, di contenere le escursioni termiche stagionali e di ridurre il quantitativo di vapore libero in ambiente.

Infatti, come si può notare dal profilo temporale dell'umidità specifica riportato in (Fig. 10) nei punti 04, 06 e 07 in pianta (Fig. 9), ad eccezione di un primo periodo di assestamento delle condizioni interne e di messa a regime del nuovo impianto, la quantità di vapore libero misurata in ambiente risulta ben allineata con l'andamento richiesto all'impianto secondo le logiche di regolazione definite in fase progettuale. La curva di *set-point* è rappresentata in figura mediante linea tratto-punto nera.

La capacità dell'impianto di contenere i livelli di umidità nell'ambiente emerge dal confronto dei valori medi raggiunti in ambiente nell'estate del 2016 (pari a circa 11 g/kg) con quelli rilevati nel corso delle analisi preliminari (valori medi pari a circa 15 g/kg) (Fig. 7).

Il contenimento delle escursioni annuali di temperatura e umidità ha come risvolto positivo, rispetto al passato, una diminuzione sensibile dei fenomeni di condensazione a carico delle pareti.

I dati di monitoraggio di temperatura superficiale delle pareti dipinte acquisiti fino ad ora, permettono di escludere la possibilità che si siano verificati fenomeni di condensazione, sia per i punti di monitoraggio collocati in basso sulla parete, a 20 centimetri dal pavimento, che per quelli collocati a due metri di altezza. Le temperature superficiali rilevate risultano, infatti, quasi sempre superiori al punto di rugiada, rappresentato in figura dalla curva gialla (Fig. 11). È qui possibile notare il confronto fra gli andamenti precedenti e quelli successivi alla messa in funzione del nuovo impianto di climatizzazione nel mese di maggio del 2015.

Conclusioni

L'esperienza condotta sulla IV cella del Santuario Repubblicano di Brescia può consentire di gettare le basi per la definizione di una procedura di progettazione di sistemi di climatizzazione per la stabilizzazione delle condizioni microclimatiche in siti archeologici ipogei.

Il lavoro ha seguito un processo di studio virtuoso che ha messo in relazione, ognuno per la propria competenza, l'amministrazione del Comune di Brescia, le strutture territoriali del MiBACT, i progettisti e i consulenti, dalla fase del progetto preliminare sino alla realizzazione dell'intervento, individuando una soluzione impiantistica innovativa, non invasiva, sicura ed energeticamente sostenibile.

Il sistema di monitoraggio permanente installato in sito permette di fornire ai responsabili della conservazione dati utili per l'interpretazione dei fenomeni che caratterizzano la ricerca del nuovo equilibrio fra apparati decorativi e ambiente. La possibilità

di disporre di tali dati in tempo reale e da remoto consente, inoltre, la comunicazione di eventuali disservizi degli impianti meccanici in tempo utile per intervenire con le azioni correttive maggiormente idonee.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- ACCARDO *et al.* 1992: G. Accardo, C. Cacace, G. D'Ercoli, E. Giani, R. Rinaldi, C. Seccaroni *Monitoraggio ambientale: analisi e tecniche di intervento strumentale sul territorio*, atti della III conferenza internazionale sulle prove non distruttive, metodi microanalitici e indagini ambientali per lo studio e la conservazione delle opere d'arte (Viterbo 4-8 ottobre 1992), pp. 863-880
- CACACE *et al.* 2008: C. Cacace, E. Giani, A. Giovagnoli, M.P. Nugari, M. Singh, *The mural paintings of cave 17 in Ajanta: the environmental study and the Geographic Information System (GIS) of the collected data*, 15th triennial international conference – ICOM Committee for Conservation (Delhi 22-26 sept. 2008), Allied Publishers, 2008, pp. 907-915
- CACACE *et al.* 2009: C. Cacace, E. Giani, *Il complesso microclima degli ambienti ipogei: difficoltà e precauzioni per la musealizzazione*, in «Bollettino ICR», n.s., 2009, 18-19, pp. 3-9
- CACACE *et al.* 2009: C. Cacace, D. Radeaglia, P. Scarpitti, A.D. Basso, *Venezia – Due interventi di monitoraggio ambientale: Palazzo Labia, salone affrescato da Gianbattista Tiepolo (1746-7), Chiesa della Visitazione, soffitto ligneo dipinto del XVI secolo*, in *L'innovazione per un restauro sostenibile*, XVI Salone del Restauro dei Beni e delle Attività Culturali (Ferrara 25-28 marzo 2009), Cangemi editore, Roma 2009, pp. 58-59
- GABRIELLI *et al.* 2007: N. Gabrielli, P. Zander, *La necropoli sotto la Basilica di San Pietro in Vaticano. Interventi conservativi e opere di manutenzione*, in «Kermes», XX, 2007, 65, pp. 53-66
- GIAVARINI *et al.* 2004: C. Giavarini, M.L. Santarelli, G. Torraca, L. Iacofi, *Studi ambientali per la conservazione dei vani ipogei della Domus Aurea*, in «Materiali e Strutture. Problemi di conservazione», n.s., II, 2004, 3-4, pp. 30-47
- D.M. 20/05/1992: Decreto Ministero Beni Culturali e Ambientali, 20 maggio 1992, n. 569, in G.U. n. 52 del 4 marzo 1993
- D.M. 10/05/2001: Decreto Ministero Beni Culturali e Ambientali, 10 maggio 2001, *Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei*, in G.U. n. 238 del 19 ottobre 2001

Abstract

INTERVENTIONS ON HISTORICAL BUILDINGS. A HERITAGE WITH EVOLVING SIGNIFICANCE

MARCO PRETELLI, KRISTIAN FABBRI, LEILA SIGNORELLI

Since their introduction, technological systems – understood in their modern sense – have revolutionized the very concept of architecture, enriching it with new meanings, with new performance features, and with possibilities for accordingly broadened use. This revolution reached its full maturity with functionalism, a movement that thought of architectures as “machines for living in,” or to perform other functions; since then, the revolution has never ceased, constantly enriching buildings with new functions while at the same time improving the efficiency of the functions already acquired.

Over the course of nearly two centuries, systems have been incorporated into architectures. These elements are subject to modification and replacement over much shorter time frames than the architectures that house them; modifications are generally made with no particular regard to their value as testimony. And yet, this attitude now no longer appears justifiable, especially when it involves elements with their own specific nature as architectural documents. Clearly, technical systems are a historical document capable of bearing witness to the life of a building, on a par with any other characteristic it may have; they constitute one of the historical *facies* of the building, and of the technical culture of the time that produced them. This paper analyses three case studies chosen as paradigms, to lay down a framework – which certainly makes no claim to being comprehensive – of the state of the art in the preservation of those systems that are important technological testimony with regard to evolving ways of living. The case studies are: the *Victor Horta Town House* in Brussels, designed by Horta and now home to the Horta Museum; *Villa Tugendhat* in Brno, Czech Republic, an architectural and technological masterpiece by Ludwig Mies Van der Rohe; and lastly, the case of preservation of an extremely particular system – the thermoelectric plant at *Istituto Tecnico Industriale “G. Marconi,”* a building representative of Forlì’s urban and architectural renewal of the 1930s. These are cases where the preservation of systems is an important element of the more general restoration: the three cases are illustrated, seeking to identify parallelisms and, above all, attempting to cast light on the specific features of the various approaches adopted.

INTERVENTI SUGLI IMPIANTI STORICI. UN PATRIMONIO DAL SIGNIFICATO IN EVOLUZIONE

MARCO PRETELLI, KRISTIAN FABBRI, LEILA SIGNORELLI

Gli impianti tecnologici – intesi in senso moderno – hanno rivoluzionato fin dalla loro introduzione il concetto stesso di architettura, arricchendola di nuovi significati, di nuove prestazioni e di conseguenti, ampie, possibilità di uso. Tale rivoluzione è giunta a piena maturazione con il funzionalismo, movimento che pensava alle architetture come a “macchine per abitare” o per svolgere altre funzioni; e da allora non si è più arrestata, arricchendo costantemente il costruito di nuove funzionalità e, contemporaneamente, migliorando l’efficienza di quelle già acquisite.

Nel corso di quasi due secoli, gli impianti si sono depositati nelle architetture. Questi elementi sono soggetti a modifiche e sostituzioni con tempi molto più brevi rispetto a quelli delle architetture nelle quali sono ospitati; modifiche eseguite in genere senza particolare riguardo per il loro valore testimoniale. Eppure tale atteggiamento appare ormai non più giustificabile, soprattutto quando riguarda elementi dotati di una loro specificità documentaria. È infatti chiaro che gli impianti tecnici costituiscono un documento storico in grado di offrire testimonianza sulla vicenda di un edificio, al pari di qualsiasi altra sua caratteristica, essendo essi una delle *facies* storiche della fabbrica e della cultura tecnica dell'epoca che li ha prodotti. Il contributo analizza tre casi studio, scelti come paradigmatici, per tracciare un quadro –che certamente non pretende di essere esaustivo– dello stato dell'arte sulla conservazione di quegli impianti che costituiscono importanti testimonianze tecnologiche relative all'evoluzione dei modi dell'abitare. I casi sono: la *Casa-studio* di *Victor Horta* a Bruxelles, disegnata dallo stesso architetto, e oggi Museo Horta; la *Villa Tugendhat* a Brno, in Repubblica Ceca, *master-piece* architettonico e tecnologico dell'architetto Ludwig Mies Van der Rohe; chiude il contributo il caso della conservazione di un impianto estremamente particolare, come quello della centrale termo-elettrica esistente presso l'*Istituto Tecnico Industriale "G. Marconi"*, edificio rappresentativo del rinnovamento urbanistico-architettonico della Forlì degli anni Trenta. Si tratta di casi nei quali la conservazione degli impianti costituisce un elemento importante del più generale restauro: le tre vicende vengono illustrate cercando di individuare parallelismi e, soprattutto, volendo mettere in luce le specificità dei vari approcci adottati.

SYSTEMS DESIGN AND ARCHITECTURAL RESTORATION

RICCARDO FIBBI, CAROLINA DE CAMILLIS

Careful systems design in a restoration project is part of the cultural approach needed to preserve and hand down architectural heritage. The critical reflection the design must make as to the most suitable mode of intervention for buildings of architectural and historic importance must precede the traditional-type technical and design approach to this day largely separate from (and at times independent of) the design and the operations typical of architectural restoration.

However, this issue, although widely argued and current to the debate on the preservation of Cultural Heritage, has not corresponded with a broad literature beyond the technical literature and manuals aimed at guaranteeing satisfaction of the aspects connected with environmental comfort and energy efficiency.

The designer will have to face numerous difficulties, from the regulatory framework's substantial indifference regarding restoration issues, to the need, at times, to propose a "weak design" to be integrated into the work site, and the difficult choice of lightening the impact of the technological intervention if it compromises the building's integrity, even at the cost of limiting environmental comfort.

PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA E RESTAURO ARCHITETTONICO

RICCARDO FIBBI, CAROLINA DE CAMILLIS

Un'attenta progettazione impiantistica nell'ambito del progetto di restauro è parte dell'approccio culturale necessario per conservare e trasmettere le testimonianze architettoniche.

La riflessione critica, che il progettista deve elaborare sulla più idonea modalità di intervento per gli edifici di rilevanza storica e architettonica, deve precedere l'approccio tecnico-progettuale di stampo tradizionale, ancor oggi largamente separato (e a volte indipendente) dal progetto e dalle operazioni proprie del restauro architettonico.

Al tema, largamente discusso e di attualità nel dibattito sulla conservazione dei Beni Culturali, non corrisponde però un'ampia letteratura, oltre a quella tecnico-manualistica orientata a garantire il soddisfacimento degli aspetti legati al comfort ambientale e all'efficienza energetica. Il progettista dovrà affrontare numerose difficoltà, dall'indifferenza sostanziale del quadro normativo per le tematiche del restauro, alla necessità, a volte, di proporre un "progetto debole" da integrare in cantiere, alla difficile scelta di alleggerire l'impatto dell'intervento tecnologico qualora risulti pregiudizievole per l'integrità dell'edificio, anche a costo di una limitazione del comfort ambientale.

ELECTRONIC LIGHT AND CULTURAL HERITAGE, BETWEEN PRESERVATION AND EXPLOITATION. 15 YEARS OF EXPERIENCES IN THE FIELD
FABIO ARAMINI

This essay offers a reasoned and illustrated review, seen from a "privileged" vantage point, of apparently heterogeneous exhibition experiences, conducted to show and preserve some of the great variety of works that constitute what we define as Cultural Heritage.

The whole array is examined, from the pioneering trials with the first generation of white-light LED in archaeological hypogea, to the dynamic lighting of large cycles of frescos, and of major museums.

This path has provided a point of departure, and reflections for an employment that may in the future, respectfully and pertinently, exploit the opportunities these technologies offer.

LA LUCE ELETTRONICA ED I BENI CULTURALI, TRA CONSERVAZIONE E FRUIZIONE. 15 ANNI ESPERIENZE SUL CAMPO
FABIO ARAMINI

Il saggio offre una rassegna ragionata ed illustrata, vista da un osservatorio "privilegiato", di esperienze espositive apparentemente eterogenee, condotte per esporre e conservare alcune delle opere di natura molto diversa che costituiscono ciò che noi definiamo Beni Culturali.

Dalle pionieristiche sperimentazioni, con la prima generazione di LED a luce bianca, negli ipogei archeologici, fino all'illuminazione dinamica di grandi cicli di affreschi e di grandi musei. Da questo percorso scaturiscono lo spunto e le riflessioni per un impiego che nel futuro possa sfruttare in modo rispettoso e pertinente le opportunità offerte da queste tecnologie.

VARIOUS ASPECTS OF ENERGY SAVINGS IN PRIZED SETTINGS
MARIA ELENA CORRADO

"Energy savings" is a concept far broader than those who do not deal specifically with this sector are usually led to believe.

First of all, this area includes both the operations to improve energy efficiency and those related to the production of renewable energies.

These are two highly different settings; the former comprises all those interventions that aim to contain a building's energy requirement, both by increasing the systems' performance and by reducing energy losses to a minimum. The latter, on the other hand, involves utilizing those systems that generate energy through the use of technologies that convert clean energy into the power needed to run the systems.

In light of the recent *Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale* ("Guidelines for improving energy efficiency in the cultural heritage") published by the Italian Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism (MiBACT), which more deeply examine the application of this matter to cultural heritage, this text is to be understood as analysing certain aspects which, in the author's experience, are often underestimated, but which hold key importance for the purposes of properly preserving heritage.

In the field of energy savings, the aim is to accentuate above all the importance of ordinary maintenance, with particular reference to the management of protected buildings open to the public.

In the field of producing renewable energy, the aim is to more deeply analyse possible development in the context of archaeological sites and of those parts of urban centres not characterized by a homogeneous or significantly intact fabric, but affected by phenomena of decay or by serious gaps that require mending.

ASPETTI DIVERSI DEL RISPARMIO ENERGETICO NEI CONTESTI DI PREGIO

MARIA ELENA CORRADO

Il concetto di "risparmio energetico" è ben più ampio di quanto generalmente sia portato a pensare chi non si occupa specificamente del settore.

Innanzitutto, afferiscono a questa sfera sia le operazioni di miglioramento dell'efficienza energetica che quelle relative alla produzione di energie rinnovabili.

Si tratta di due ambiti profondamente diversi, il primo comprendente tutti quegli interventi che mirano al contenimento del fabbisogno energetico di un edificio sia incrementando le prestazioni impiantistiche sia riducendo al massimo le dispersioni. Il secondo comprende invece l'impiego di quei sistemi di produzione energetica attraverso tecnologie che convertono l'energia pulita in energia utile all'alimentazione degli impianti.

Alla luce delle recenti "Linee guida di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale" pubblicate dal MiBACT, che approfondiscono l'applicazione di tale materia ai beni culturali, nel presente testo s'intendono approfondire alcuni aspetti che, per l'esperienza di chi scrive, sono spesso sottovalutati e invece rivestono un'importanza primaria ai fini della corretta conservazione del patrimonio.

Nel campo del risparmio energetico, si vuole porre l'accento soprattutto sull'importanza della manutenzione ordinaria, con particolare riferimento alla gestione degli edifici tutelati aperti al pubblico.

Nel campo della produzione di energia rinnovabile, si vuole approfondire il possibile sviluppo nell'ambito dei siti archeologici e di quelle parti dei centri urbani non caratterizzate da un tessuto omogeneo o significativamente integro, ma interessate da fenomeni di degrado o da gravi lacune, che necessitano delle ricuciture.

STRIKING A BALANCE BETWEEN “WEIGHING” AND MEASURING. SOME REFLECTIONS ON SUSTAINABILITY AND ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC CONSTRUCTION

VALERIA PRACCHI

The issue of energy efficiency is becoming an important area of study also in the field of preservation, as proved by the recent release of the Guidelines prepared by the Ministry of Culture, which collect the results of a decade-long debate. The intent of this paper is to emphasize the importance of the preservationists' involvement, and to outline possible lines of research. To do this, however, it is necessary to clarify some basic issues related to the particular domain of application – namely, Cultural Heritage – and some misunderstandings that lead to dangerous and uncritical application. We will attempt to outline a sort of state of the art that can be of use for general discussion on a topic that is still too often the exclusive prerogative of specialists.

IN EQUILIBRIO TRA ‘SOPPESARE’ E MISURARE. ALCUNE RIFLESSIONI SU SOSTENIBILITÀ ED EFFICIENZA ENERGETICA NELL’EDILIZIA STORICA

VALERIA PRACCHI

The issue of energy efficiency is becoming an important area of study also in the field of conservation, as it is proved by the recent release of the Guidelines prepared by the Ministry of Culture, which collect the results of a decade-long debate. The intent of this paper is to emphasize the importance of the conservationists' involvement and to outline possible research lines. To do this, however, should be clarified some basic issues related to the particular domain of application - namely the Cultural Heritage - and some misunderstandings that allow a dangerous and uncritical application. We will try to outline some sort of the state of art that can be useful for a general discussion on a topic that is still too often the prerogative only of the specialists.

THE FOURTH CELLA OF THE REPUBLICAN SANCTUARY IN THE CAPITOLIUM ARCHAEOLOGICAL AREA IN BRESCIA. A VIRTUOUS PROCESS FOR DEVELOPING THE CLIMATIZATION SYSTEM

GIUSEPPE BONFANTE, CHIARA BONVICINI, CARLO CACACE

Climate-controlled preservation requires careful analysis of the setting being worked in and of the technical processes put into play. An air conditioning system that takes the various possible uses of environments that are or that contain cultural heritage (especially if archaeological) into account should be appropriately designed to enhance it, and must be combined with the preservation and protection of the building as well as of the works it contains. The design must consider the architectural structure's historical and artistic value, and consequently how the environmental conditions, which might impair its preservation, evolve over time. For the Republican Sanctuary in Brescia, the issue is made more complex by the environment's hypogeal nature. The work followed a virtuous study process that brought together Brescia's municipal administration, the local structures of the Ministry of Cultural Heritage and Activities and Tourism, designers and consultants, from the prelim-

inary design until the intervention was carried out, identifying an innovative, non-invasive, safe, and energetically sustainable systems solution.

LA QUARTA CELLA DEL SANTUARIO REPUBBLICANO NELL'AREA ARCHEOLOGICA DEL CAPITOLIUM DI BRESCIA. UN PROCESSO VIRTUOSO PER LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE
GIUSEPPE BONFANTE, CHIARA BONVICINI, CARLO CACACE

Conservare in regime di clima controllato comporta un'attenta analisi del contesto in cui si opera e dei processi tecnici messi in campo. Il progetto di un impianto di condizionamento che tenga conto dei diversi possibili usi di ambienti che siano o contengano beni culturali (specie se archeologici), va opportunamente studiato in funzione della loro valorizzazione e deve coniugarsi con la conservazione e la tutela del manufatto oltre che delle opere contenute. Il progetto deve considerare il valore storico-artistico della struttura architettonica e, di conseguenza, la dinamica temporale nei processi evolutivi delle condizioni ambientali che possono compromettere la sua conservazione. Per il Santuario Repubblicano a Brescia il tema è reso più complesso dalla natura ipogea dell'ambiente. Il lavoro ha seguito un processo di studio virtuoso che ha messo in relazione, ognuno per la propria competenza, l'amministrazione del Comune di Brescia, le strutture territoriali del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo, i progettisti e i consulenti, dal progetto preliminare sino alla realizzazione dell'intervento, individuando una soluzione impiantistica innovativa, non invasiva, sicura ed energeticamente sostenibile.

Materiali e Strutture. Problemi di conservazione è una rivista dedicata alla ricerca su temi di restauro e conservazione, con particolare, ma non esclusivo, riferimento all'architettura del passato. Specifico interesse viene rivolto agli aspetti materiali e tecnici che caratterizzano la realtà costruita e artistica in generale, affrontati sia dal punto di vista quantitativo-scientifico che nelle possibili implicazioni teoretiche e nelle più adeguate prospettive di natura storico-critica.

L'apporto di competenze diverse, coerentemente con il carattere multidisciplinare del restauro, è particolarmente gradito, soprattutto se posto in relazione con la comprensione intima dell'opera e con la complessità generale delle problematiche conservative ad essa connesse.

Note per gli autori

In prima istanza i contributi vanno inviati via e-mail (donatella.fiorani@uniroma1.it), includendo le illustrazioni. L'invio presuppone che essi siano lavori originali, inediti e che non siano in corso di valutazione per un'eventuale pubblicazione altrove.

Norme redazionali

La prima pagina dovrà contenere: il titolo del contributo, il nome dell'autore, la qualifica e l'ente di appartenenza, un breve abstract.

Immagini

I file digitali delle illustrazioni, salvati in formato TIFF o JPEG, dovranno avere risoluzione minima non inferiore a 300 dpi.

Indicazioni bibliografiche

L'elenco completo delle indicazioni bibliografiche deve essere contenuto in un file specificamente dedicato.

Materials and Structure. Conservation problems is a review dedicated to the research of themes of restoration and conservation with particular, yet not exclusive, reference to the architecture of the past. Specific attention is given to the aspects of material and technology that characterize the realities of building and art in general. These aspects are treated both from a quantitative-scientific point of view as well as exploring any possible theoretical implications and the wider historical-critical perspective.

The contribution of different expertise, coherently with the multidisciplinary nature of restoration, is particularly welcome, especially if there is a correlation between this and a deep lying knowledge of the project and of the general intricacies of its relevant conservation problems.

Notes for Contributors

In the first instance, please submit your paper via e-mail (donatella.fiorani@uniroma1.it), including illustrations. Submission of a paper to the journal is taken to imply that it represents original work, which is not under consideration for publication elsewhere and has not published previously.

Editorial rules

The first page should contain: the title, the author's name, qualifications and affiliation, a short abstract.

Illustrations

Digital files of illustrations need to be at least 300 DPI, and saved as TIFF or JPEG files.

References

References should be cited in full into a specific file.

Finito di stampare nel mese di giugno 2017
presso Arti Grafiche CDC srl – Città di Castello (PG)



ISSN 1121-2373

€ 25,00