

11. L'umidità di risalita capillare negli edifici in pietra leccese: fenomeni di degrado fisico-chimico indotti sulle murature e casi applicativi del sistema elettrofisico a neutralizzazione di carica in edifici storici a Lecce

Prof. Ing. Giorgio Zavarise, Dott. Ing. Paolo Congedo, Dott.ssa Delia D'Agostino - Università del Salento, Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione

Arch. Biancaneve Codacci Pisanelli, MIBAC - Direzione Generale per il Paesaggio, le Belle Arti, l'Architettura e l'Arte Contemporanee - Segreteria Tecnica Roma

Abstract

L'interesse per l'idonea conservazione del patrimonio architettonico e per la sua giusta valorizzazione rende crescente l'esigenza di una valutazione attenta delle condizioni microclimatiche interne agli edifici storici, al fine di definire interventi mirati a contenere le pericolose conseguenze dell'attivazione di processi fisici di degrado.

La pietra leccese, ampiamente diffusa nel patrimonio monumentale ed edilizio del Salento, è tra i materiali porosi più facilmente degradabili. In particolare, la pietra ha proprietà e composizione chimico-fisica tali da favorire la risalita capillare di acqua.

Con l'obiettivo di verificare l'efficacia dell'innovativa apparecchiatura "a neutralizzazione di carica" Domodry nel fermare l'umidità di risalita nella pietra e, quindi, favorirne l'asciugamento, sono state avviate prove in laboratorio e sono state effettuate analisi in sito - tuttora in corso - presso tre edifici salentini di elevato valore storico-artistico: la chiesa Cattedrale di Lecce, La Chiesa di San Matteo e l'edificio universitario Buon Pastore, caratterizzati da un degrado documentato dal fenomeno dell'umidità di risalita capillare.

I rilevamenti eseguiti in sito durante il primo anno dall'attivazione dell'impianto di deumidificazione muraria indicano risultati positivi in termini di riduzione dell'iniziale, anomalo contenuto d'acqua della muratura, risultati che comunque saranno compiutamente valutati a ciclo sperimentale concluso.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI ASSOCIATI DI ARCHITETTI, DI INGEGNERI, DI RESTAURATORI



In collaborazione con:

Relazione

L'interesse per l'idonea conservazione del patrimonio architettonico e per la sua giusta valorizzazione rende crescente l'esigenza di una valutazione attenta delle condizioni microclimatiche interne agli edifici storici, al fine di definire interventi mirati a contenere le pericolose conseguenze dell'attivazione di processi fisici di degrado.

La pietra leccese, ampiamente diffusa nel patrimonio monumentale ed edilizio del Salento, è tra i materiali porosi più facilmente degradabili. In particolare, la pietra ha proprietà e composizione chimico-fisica tali da favorire la risalita capillare di acqua. Con l'obiettivo di verificare l'efficacia dell'innovativa apparecchiatura "a neutralizzazione di carica" Domodry nel fermare l'umidità di risalita nella pietra e, quindi, favorirne l'asciugamento, sono state realizzate analisi in sito e sono state avviate prove in laboratorio. Le indagini in sito sono state condotte presso tre edifici salentini di elevato valore storico-artistico: La chiesa Cattedrale di Lecce, La Chiesa di San Matteo, l'edificio Buon Pastore, caratterizzate da un degrado documentato dal fenomeno dell'umidità di risalita capillare.

L'analisi termografica ha consentito di identificare, con una metodologia non distruttiva, i difetti presenti nelle trame murarie ed opere d'arte, e consentirà ai restauratori di intervenire sulle stesse, in modo puntuale, nelle attività di consolidamento e di recupero. In presenza di affreschi, l'indagine contribuisce ad accertare lo stato di conservazione degli stessi, identificando eventuali difetti strutturali quali, ad esempio, le fessurazioni delle volte, la presenza di umidità di risalita o infiltrazioni. Inoltre, indagini di laboratorio più dettagliate, basate sulle minime differenze di emissività dei materiali e dei pigmenti nei successivi interventi di restauro, talvolta consentono di individuare le superfici originali degli affreschi o dipinti dalle superfici oggetto di interventi di restauro.

All'indagine termografica può essere affiancata un'indagine multidisciplinare realizzata mediante monitoraggio microclimatico degli andamenti di temperatura, dell'umidità e della velocità dell'aria all'interno degli ambienti e sulle superfici. In particolare, la distribuzione dell'aria può essere evidenziata e successivamente corretta mediante utilizzo di codici di calcolo CFD. I modelli numerici di simulazione 3D danno la possibilità d'indagare il movimento dell'aria e la distribuzione dei parametri termoigrometrici su tutto il volume del caso di studio, impostando dati reali, provenienti dal monitoraggio microclimatico come condizioni al contorno.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



Le indagini multidisciplinari realizzate nella Cripta del Duomo di Lecce (Figg. 1 ÷ 3) hanno evidenziato una situazione ambientale compromessa dalle infiltrazioni occasionali di acqua dall'esterno (piogge, perdite da tubature, scarichi), che vengono favorite soprattutto dalla posizione interrata di circa tre metri rispetto al piano stradale e dalla tipologia dei vani finestre, posizionati nella parte alta e realizzati tagliando la muratura con una pendenza necessaria per avere l'affaccio verso l'esterno, dove essi risultano a livello stradale. In particolare, i vecchi infissi sono stati in parte murati per limitare fenomeni di sversamento di materiale all'interno della cripta stessa. L'intervento ha ulteriormente limitato la ventilazione naturale all'interno della stessa, aumentandone il deterioramento.



Fig. 1 - La Cattedrale, orientata secondo l'asse Nord-Est Sud-Ovest, è costruita con un materiale tipico del territorio: la pietra leccese, che assume colori particolari e crea giochi chiaroscurali che variano al variare della luce. I due prospetti, per la loro collocazione rispetto a chi entra nella piazza, sono completamente diversi.



Fig.2 - L'interno si presenta come una semplice e imponente croce latina a tre navate, divise da pilastri e da semicolonne addossate, con transetto: la cattedrale ripete, nell'ampio volume dell'aula, l'intuizione delle antiche basiliche.

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



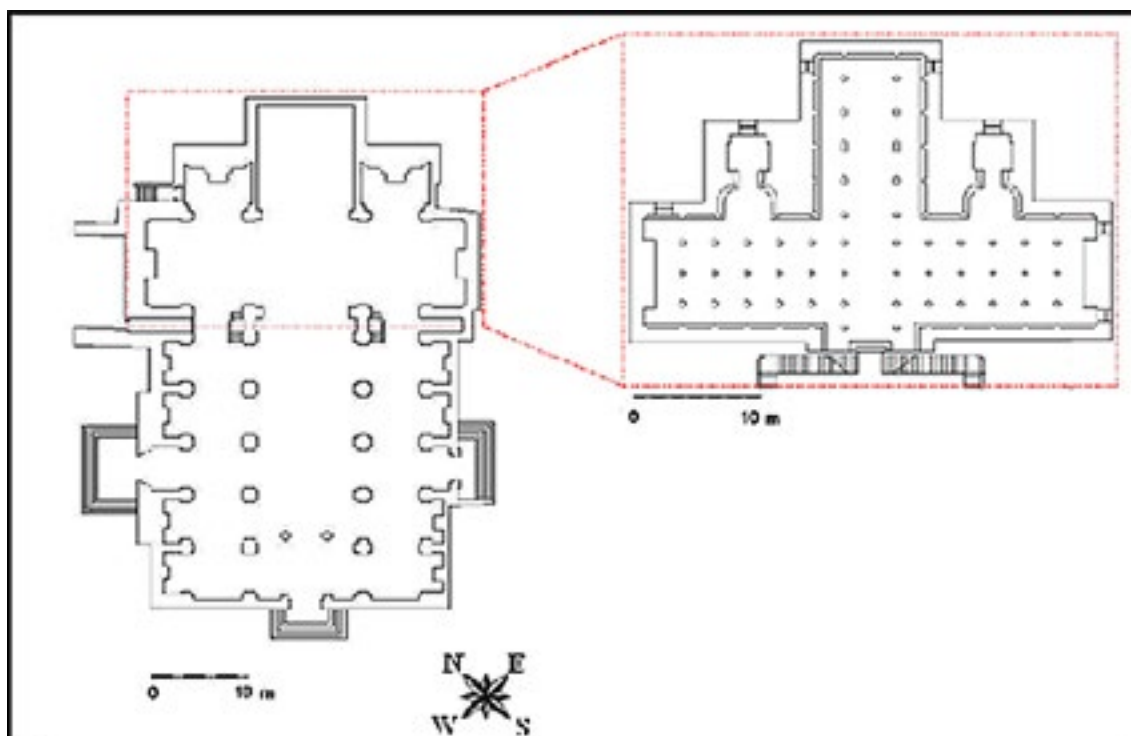


Fig. 3: La struttura della Cripta ha subito nel corso dei secoli numerose trasformazioni. La Cripta, interamente costituita in pietra leccese così come il Duomo sovrastante, ha pianta a croce greca con 3 navate, 54 colonne e 38 semicolonne monolitiche con base attica, fusto rotondo e capitelli romanici.

Mediante monitoraggio microclimatico sono stati registrati gli andamenti e i cambiamenti di temperatura e umidità relativa nella Cripta, riscontrando nel periodo considerato (novembre 2008 - aprile 2010) una certa stabilità di situazione microclimatica, grazie alle mura perimetrali spesse circa due metri, all'assenza di riscaldamento e contributo di radiazione solare, alla quasi inesistente frequentazione turistica e liturgica. Il monitoraggio ha escluso che l'umidità ambientale possa avere origine da fenomeni di condensazione superficiale: le fonti principali, invece, oltre alle infiltrazioni esterne, sono i sali igroscopici e la risalita capillare, che risulta permanente e proveniente sia dal terreno su cui poggiano direttamente le fondamenta, sia dalle murature perimetrali controterra, cioè dalla risalita laterale.

A queste fonti d'umidità sono legate le tipologie di degrado che sono state classificate secondo la Normal 1/88, tanto su substrato intonaco quanto su pietra leccese. La si-

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:



tuazione è apparsa particolarmente penalizzante per le pareti ricoperte da intonaco, in quanto questo blocca la traspirazione e l'evaporazione dalla pietra, col risultato che la forza di risalita capillare può esercitarsi a pieno ritmo con tutto il quantitativo di acqua disponibile dal terreno, senza alcuna diminuzione dovuta all'evaporazione superficiale durante il suo percorso.

La contaminazione da sali portati in soluzione dalla risalita (Fig.4) è in atto da secoli nel monumento ed è stata aggravata da una serie d'interventi inappropriati. Nel tempo i cristalli hanno progressivamente intasato i pori della pietra leccese e ridotto la quantità di fuoriuscita di soluzione salina rispetto a quando questa poteva evaporare del tutto, determinando la formazione di sub-efflorescenze. Ragion per cui i sali depositati in passato, quando la risalita aveva un diverso livello, risultano oggi presenti nel muro come sub-efflorescenze bagnate per igroscopia. Ciò ha appunto determinato il progressivo innalzamento dell'altezza del livello di fuoriuscita salina e di evaporazione.

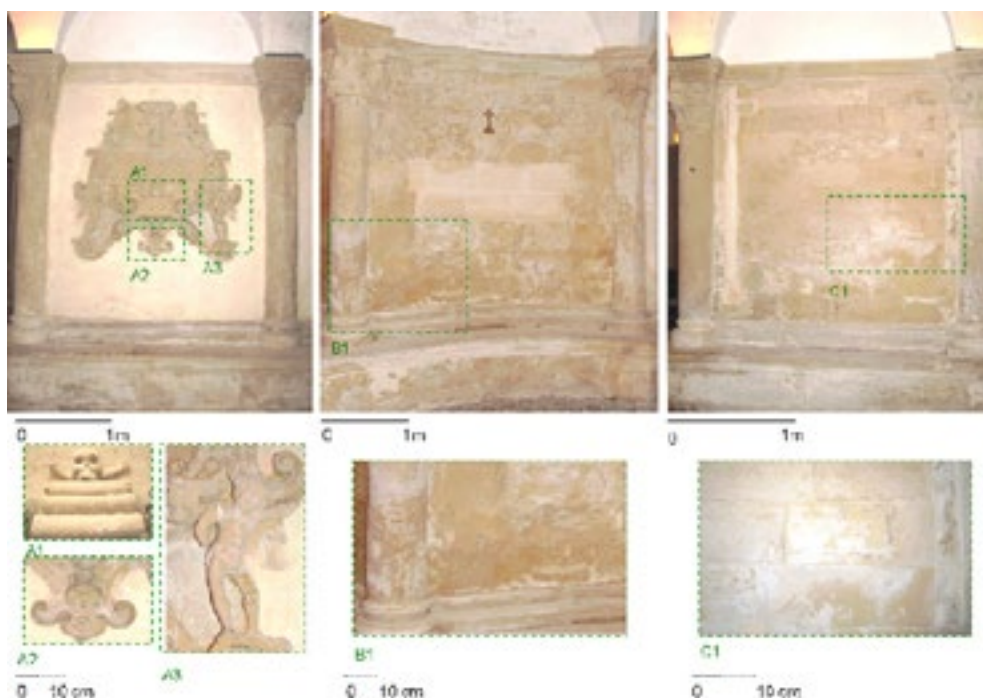


Fig. 4 - Nell'ambiente interno l'analisi delle condizioni ambientali ha messo in rilievo come la manifestazione più evidente di degrado sia costituita da efflorescenze saline, diffuse o localizzate in strisce sulle murature perimetrali.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano



In collaborazione con:



L'area complessiva interessata dalle efflorescenze (ottobre 2008 - febbraio 2010) è risultata all'incirca pari al 20%, valore pressoché costante nel corso del periodo indagato, ad eccezione di una diminuzione fino al 10% nei mesi da giugno 2009 ad ottobre 2009. La forma salina predominante nell'area esaminata è costituita dai nitrati, che derivano principalmente dalla decomposizione naturale delle proteine di organismi animali e che, nel caso in esame, sono testimoniate dalle lapidi sul pavimento. Dai dati in letteratura però, le condizioni microclimatiche idonee alla dissoluzione dei nitrati non sembrano mai esser raggiunte nella Cripta. La diminuzione dei sali sulle pareti nel periodo giugno 2009 - ottobre 2009 può essere dovuta, quindi, ad una variazione della solubilità del composto a causa delle alte temperature, del prosciugamento del terreno e dell'aumentata evaporazione in concomitanza dei mesi di caldo secco. Tali circostanze hanno presumibilmente prodotto all'interno della muratura evaporazione e cristallizzazione, con ulteriore formazione di sub-efflorescenze o crypto-efflorescenze e relativa "apparente sparizione" delle efflorescenze all'esterno.

L'obiettivo è stato quello di individuare le soluzioni da adottare per migliorare le condizioni microclimatiche ai fini della corretta conservazione. Queste indagini si sono avvalse di un codice di fluidodinamica computazionale, CFD (Fluent 12.0).

Tra i vantaggi dei modelli di simulazione 3D sicuramente rilevante quello di aver avuto la possibilità d'indagare il movimento dell'aria e la distribuzione dei parametri termogrometrici su tutto il volume del caso di studio, impostando dati reali, provenienti dal monitoraggio microclimatico come condizioni al contorno ed, in particolare, prevedendo la riapertura di alcune finestre (Fig.5). A corredo dell'interpretazione dei risultati delle 24 simulazioni realizzate è venuta incontro anche una serie di osservazioni presentate dalla normativa italiana ed europea in tema di conservazione dei beni culturali ed ecclesiastici per la prevenzione e la manutenzione degli stessi, per cui riguardo ai principali riferimenti al microclima e alle condizioni di rischio legate, in termini conservativi, a perturbazioni microclimatiche.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale
Italiana per l'UNESCO



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



In collaborazione con:



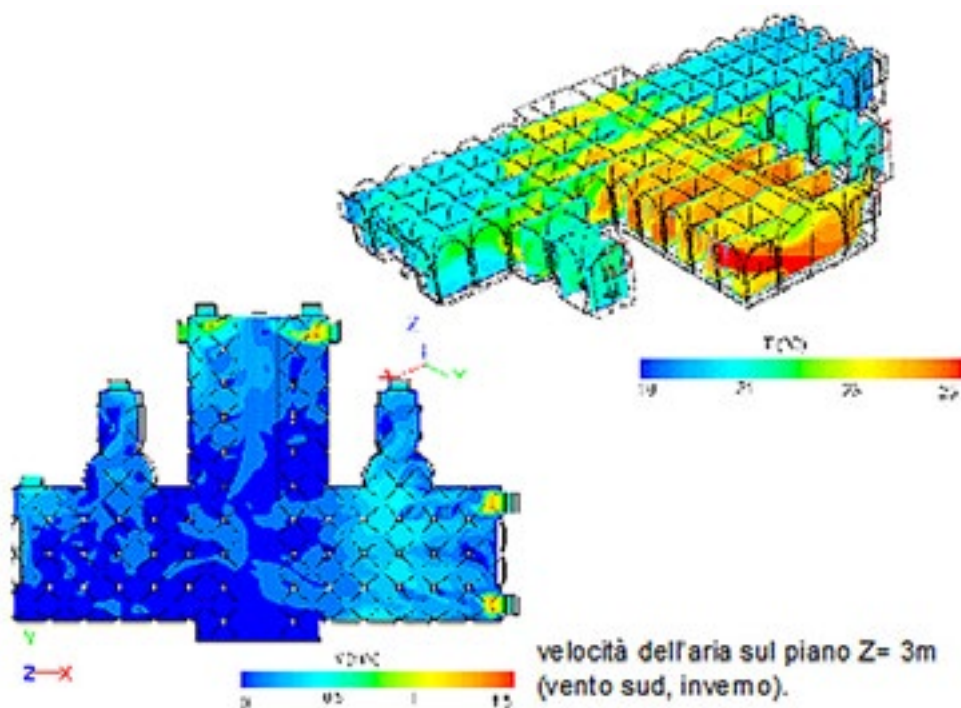


Fig. 5 - Contours della velocità dell'aria all'interno della Cripta con vento proveniente da Sud ed una delle possibili soluzioni di riapertura delle finestre.

Sebbene non sia agevole garantire in tal modo un ricambio d'aria ottimale, si riscontra tuttavia il vantaggio di avere un suo minor flusso a lambirne le pareti e, di conseguenza, anche un minor flusso di acqua a risalire dal terreno e dalle murature controterra. In tale contesto di studio relativo alla situazione ambientale della Cripta non può non confluire anche l'auspicio che la previsione di un intervento, in apparenza ambizioso ma in concreto attuabile, possa configurarsi sulla base dei risultati emersi dalle indagini interdisciplinari realizzate.

Al fine di trovare una soluzione definitiva al problema dell'umidità di risalita all'interno della Cripta del Duomo di Lecce è in corso, come detto, una collaborazione con la Leonardo Solutions, iniziata a novembre 2011, consistente nell'applicazione dell'innovativa tecnologia a neutralizzazione di carica Domodry per la deumidificazione delle murature (Fig.6).

Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:



Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con:





Fig. 6 - Installazione dispositivo DOMODRY all'interno della cripta del Duomo di Lecce.

I primi rilievi termografici sono relativi al periodo di installazione dei dispositivi Domodry e sono previsti rilievi periodici per almeno due anni per valutare in condizioni climatiche simili il grado di asciugatura delle murature.

Con l'obiettivo di verificare l'efficacia dei dispositivi Domodry nel fermare l'umidità di risalita nella pietra e, quindi, favorirne l'asciugamento, sono state avviate prove in laboratorio e sono state effettuate analisi in sito.

I rilevamenti eseguiti in sito durante il primo anno dall'attivazione dell'impianto Domodry indicano risultati positivi in termini di riduzione dell'iniziale, anomalo contenuto d'acqua della muratura, risultati che comunque saranno compiutamente valutati a ciclo sperimentale concluso.

Le schede delle analisi in sito (termografie all'infrarosso) sono riportate di seguito.

Con il Patrocinio di:



Commissione Nazionale Italiana per l'UNESCO



MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI



Regione Siciliana



Provincia di Ragusa

Ente organizzatore:



Comune di Ragusa
Un. Centri Storici

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ DEL SALENTO

assorestauRO

associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
OGGI associato al patrimonio, ANNI 4000 restaurato



In collaborazione con:



LEONARDO SOLUTIONS



TECNOLOGIE PER IL CONTROLLO E LA DEUMIDIFICAZIONE MURARIA



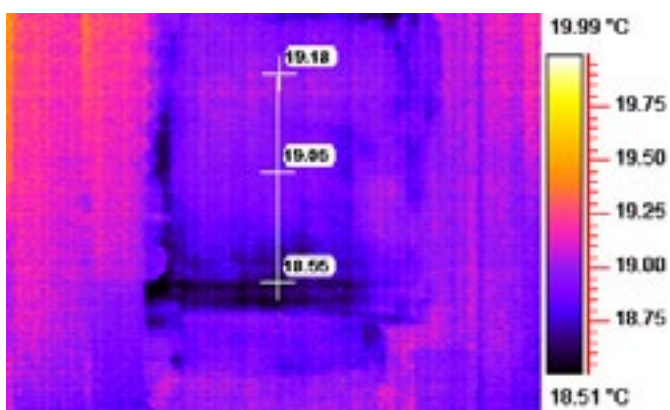
Dati immagine T01

Data:
20-12-12

Lavoro:
Cripta del Duomo di Lecce – Lecce

Note:
Confronto termogrammi e profili termici tra Installazione e 2° Verifica.

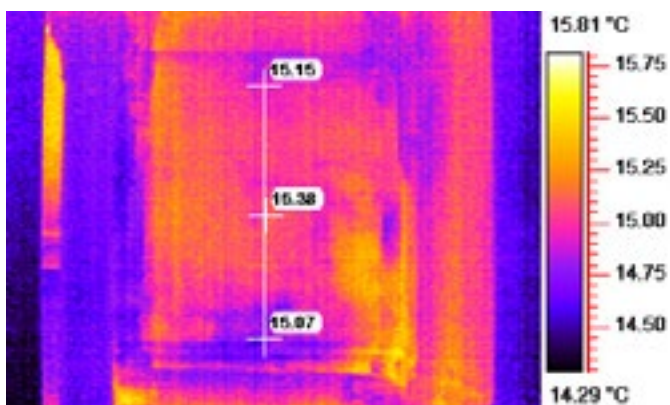
T01 del 24-11-11



$\Delta T = 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 24-11-11



T01 del 20-12-12



$\Delta T = 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 20-12-12



Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
Solemi associati: architettura, arte, urbanistica



In collaborazione con:





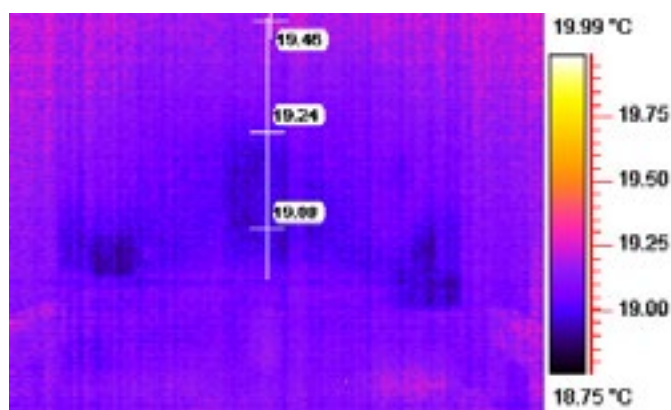
Dati immagine T11

Data:
20-12-12

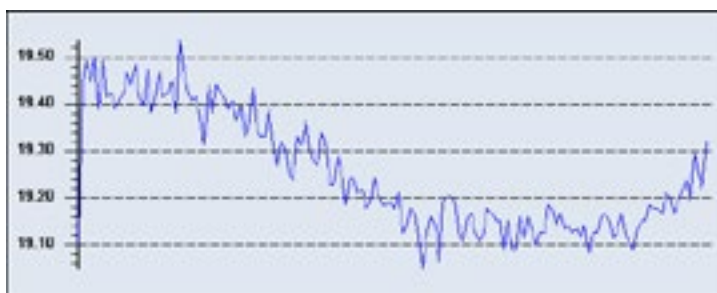
Lavoro:
Cripta del Duomo di Lecce – Lecce

Note:
Confronto termogrammi e profili termici tra Installazione e 2° Verifica.

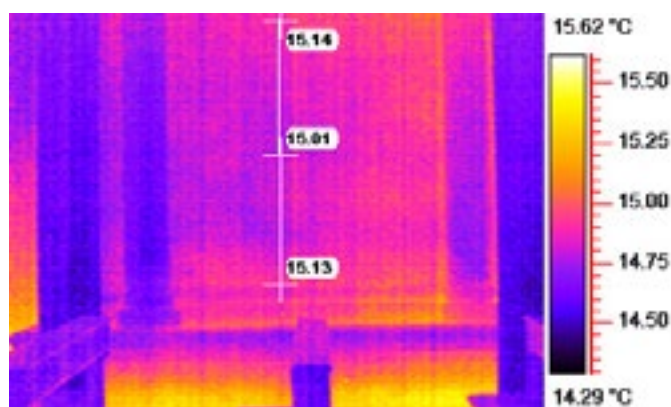
T11 del 24-11-11



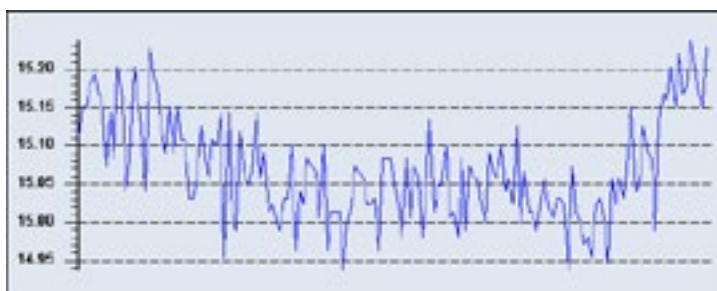
$\Delta T = 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 24-11-11



T11-3 del 20-12-12



$\Delta T = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 20-12-12



Con il Patrocinio di:



MINISTERO
PER I BENI E
LE ATTIVITÀ
CULTURALI



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO

assorestauRO
associazione italiana per il restauro architettonico, artistico, urbano
Solemi associate di architettura, arte ed urbanistica



In collaborazione con:





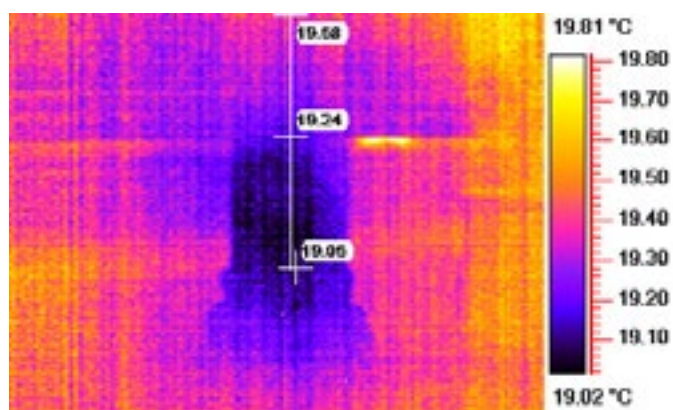
Dati immagine T25

Data:
20-12-12

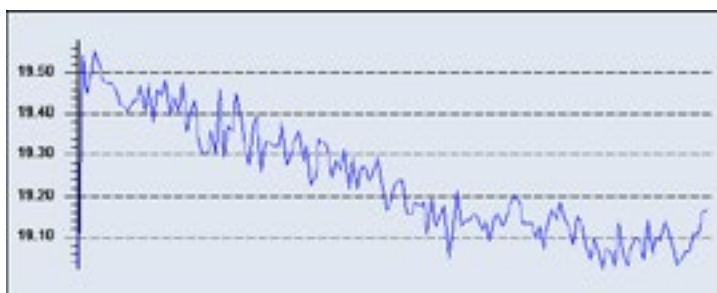
Lavoro:
Cripta del Duomo di Lecce – Lecce

Note:
Confronto termogrammi e profili termici tra Installazione e 2° Verifica.

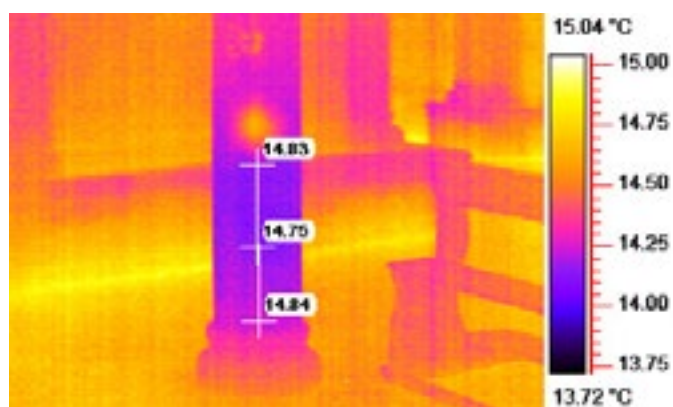
T25 del 24-11-11



$\Delta T = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 24-11-11



T25-3 del 20-12-12



$\Delta T = 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$
PROFILO TERMICO del 20-12-12



Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



In collaborazione con:



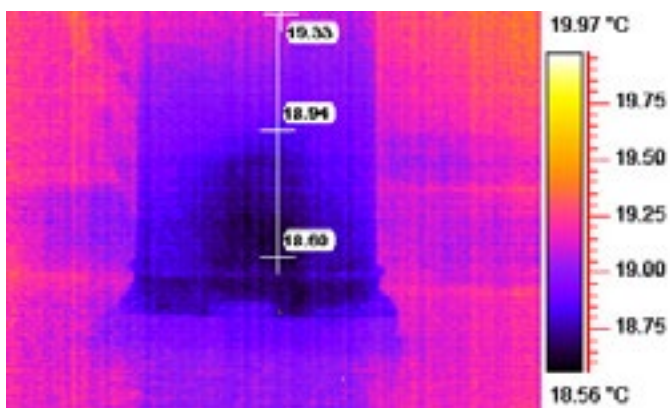
Dati immagine T28

Data:
20-12-12

Lavoro:
Cripta del Duomo di Lecce – Lecce

Note:
Confronto termogrammi e profili termici tra Installazione e 2° Verifica.

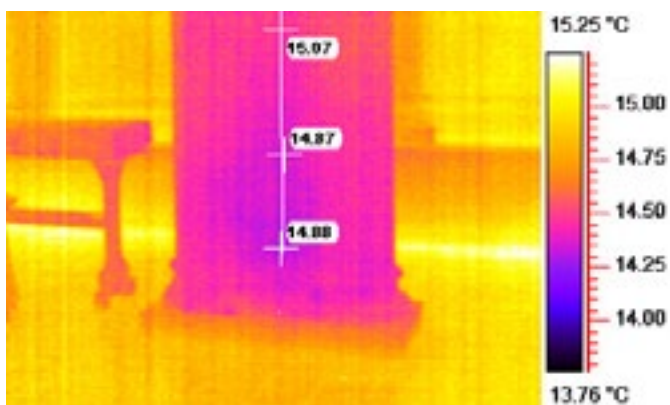
T28del 24-11-11



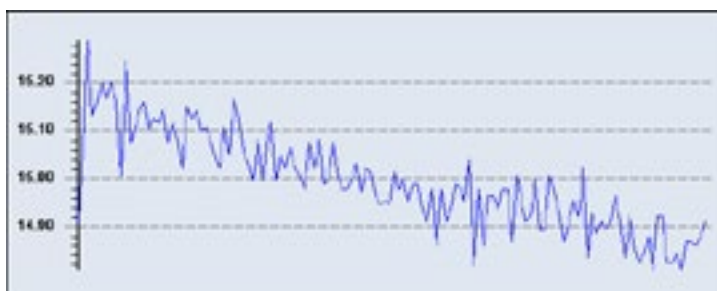
$\Delta T = 0,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PROFILO TERMICO del 24-11-11



T28-3 del 20-12-12



$\Delta T = 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
PROFILO TERMICO del 20-12-12



Con il Patrocinio di:



Ente organizzatore:

Altri Enti Patrocinanti:



In collaborazione con: