UNIONE EUROPEA
Fondo europeo di sviluppo regionale

PON Ricerca e Competitività 2007-2013

Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca

Ministero dello Sviluppo Economico

Centro Ricerca Energia e Ambiente
Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione
Università del Salento

CNRNANO

ordine ingegneri provincia di lecce

Collegio Provinciale Geometri e Geometri Laureati di Lecce

UMIDITÀ DI RISALITA CAPILLARE NELLE MURATURE: INDAGINI DIAGNOSTICHE, ANALISI DEL DEGRADO, EDIFICI STORICI DEL SALENTO

Ing. Paolo Maria Congedo, Prof. Ing. Giorgio Zavarise, dott.ssa Delia D'Agostino

OBIETTIVO COMUNE

SOLUZIONI AI FENOMENI DI DEGRADO DEGLI EDIFICI

- Acquisizione di competenze specifiche
- Diagnosi accurata del degrado
- Utilizzo di tecniche avanzate
- Individuazione tecniche più idonee per il restauro
  - contrastare la risalita di umidità dalla base
  - proteggere il materiale dalle infiltrazioni e agenti atmosferici
  - recuperare la funzionalità statica

EDIFICI STORICI DEL SALENTO

- Presenza nel territorio salentino di un patrimonio di beni monumentali di notevole entità.
- Materiale da costruzione costituito da pietra locale:
  - calcareniti di notevole valenza estetica
  - ottima lavorabilità
  - scarsa resistenza meccanica
  - scarsa resistenza agli agenti atmosferici

Contesto del costruito estremamente fragile e spesso gravemente ammalorato

Problemi di NATURA strutturale

- Lesioni di varia entità su paramenti murari e volte
- Distacco di paramenti murari nelle murature a sacco

Problemi di degrado del materiale: ALVEOLIZZAZIONE

- Elevata porosità
- Elevato contenuto di sali solubili e igroscopici
- forte turbolenza dell’aria

Problemi di degrado del materiale: distruzioni e distacchi superficiali

- Precipitazione di subfluorescenze
- legami con l’alveolizzazione

Problemi di degrado del materiale: distruzioni e distacchi di intonaci

- Precipitazione di subfluorescenze

Problemi di degrado del materiale: presenza di macchie e zone umide

- Difetti di natura estetica
- Scarso comfort ambientale per umidità elevata
- Efflorescenze per precipitazione superficiale dei sali cristallini

Deterioramento DEL MATERIALE

- Resistenza meccanica (grado di coesione del materiale)
- Porosità (rapporto fra volume dei vuoti e volume apparente)
- Permeabilità (capacità di assorbimento di acqua)

Caratterizzazione del materiale

- Cave di calcare: Sannicola, Supersano, Poggiardo, Galatina, Soleto
- Cave di pietra leccese: Cursi, Melpignano, Galatina, Soleto, Martignano
- Cave di tufo a grana fine/compatto (carparo): ovunque

Struttura geologica e distribuzione dei materiali lapidei

Caratterizzazione del materiale

Scheda di qualificazione tecnica

Nome commerciale	Pietra Leccese (strato intermedio cave)
Definizione petrografica	Calcarenite marnosa
Categoria commerciale	Pietra

Caratteristiche tecniche generiche

Massa dell' unità di volume	(Kg m^3) 1730
Coefficiente di inibizione	
Carico di rottura a compressione semplice	(MPa) 20,4
Carico di rottura a compressione semplice dopo gelività	(MPa)16
Modulo elastico tangente	(MPa) 12967
Modulo elastico secante	(MPa) 9213
Carico di rottura a trazione indiretta mediante flessione	(MPa) 4,7
Resistenza all' abrasione	Ha 1,99
Prova di rottura all' urto	Kgm 0,95
Grado di porosità	n 36,40
Grado di compattezza	c=0,636
Resistenza a trazione	Kg/ cm^2 23,7

1 MPa (Mega Pascal) = 10,2 Kg cm^2

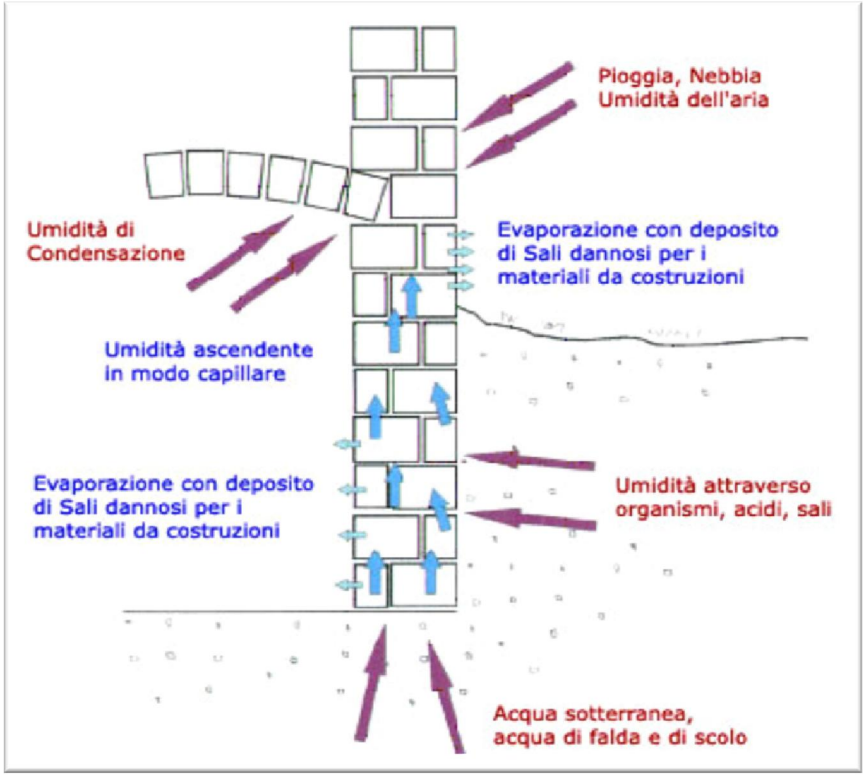
Caratterizzazione del materiale

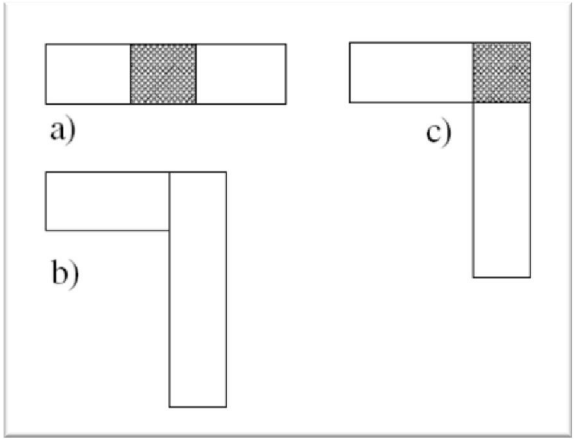
Scheda generica dei vari strati

Varietà	m.v. reale (Kg/m3)	m.v. apparente (Kg/m3)	gr. compattezza %	coeff. porosità %	coeff. imibizione &
PIROMAFO	2750	1617	59	41,2	20,3
CUCUZZARA	2760	1780	64	35,5	12,1
DURA	2710	1861	69	31,3	11,6
BIANCA	2750	1738	63	36,8	14,4
DOLCE	2710	1660	61	68,7	16,2
SAPONARA	2770	1572	55	44,8	20,7
GAGGINARA	2730	1572	57	42,4	19,1

MURATURE

- punti o zone di umidità;
- ponti termici;
- fughe d'aria;
- infiltrazioni d'aria.





a) ponte termico di struttura; b) ponte termico di forma; c) ponte termico di forma e di struttura.

RISALITA CAPILLARE

- Migrazione di acqua verso l’alto a causa delle forze capillari
  - Porosità muratura e terreno
  - Quantità di acqua e sali presenti
  - Gradienti termici
  - Gradienti di umidità
  - Condizioni climatiche

IL MATERIALE

Pietra leccese

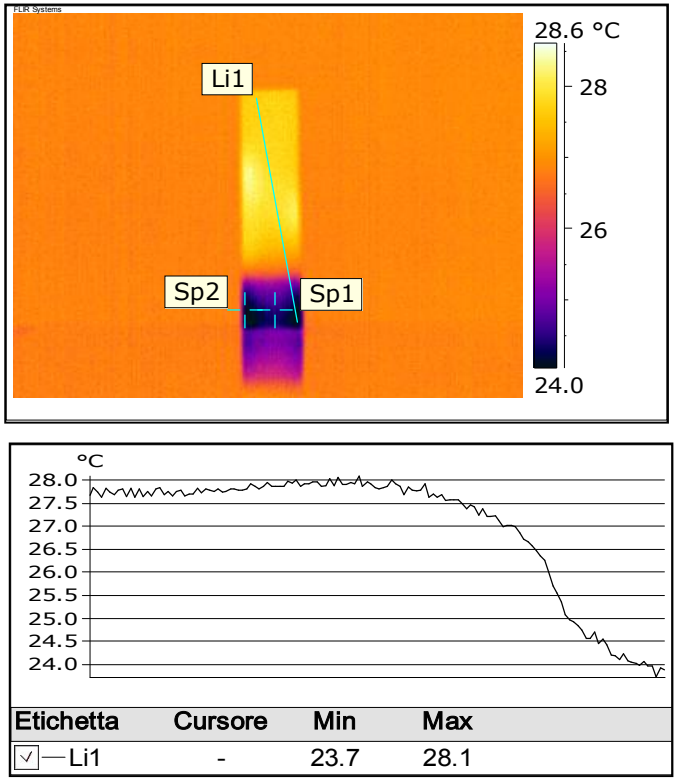


Immagine termografica dopo 15 min

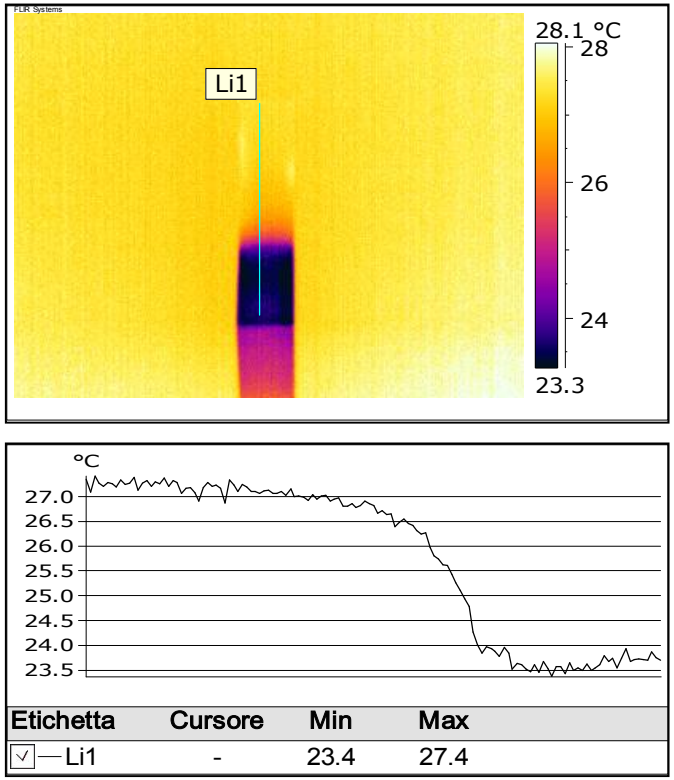
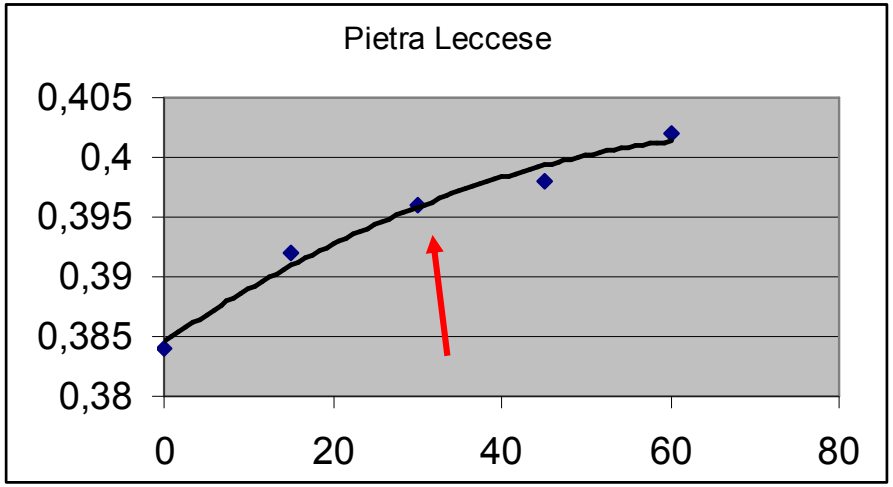


Immagine termografica dopo 60 min

IL MATERIALE

Risultati Pietra leccese

Provino Pietra leccese					
T.IMMERSIONE minuti	PESO UMIDO Kg	PESO ACQUA Kg	ACQUA/SUP Kg/m²	T.ARIA °C	U.R. %
0	**0,384**	0	/	27,8	49,3
15	**0,392**	0,008	8,00	27,8	49,3
30	**0,397**	0,013	13,00	27,1	50,7
45	**0,397**	0,013	13,00	27,2	50,3
60	**0,402**	0,018	18,00	27,3	48,2



AUMENTO DI PESO: +4,47 %

Contesto storico degli interventi

- Anni ’60
  - cuci/scuci con sostituzione conci con basoli da marciapiede
- Anni ’70 - ’80
  - battuta di cemento e catrame a caldo con sabbia
  - sostituzione sottofondi con vespai in pietra viva
  - taglio Massari con inserimento fogli materiale isolante
- Anni ’90 - oggi
  - barriera orizzontale mediante liquidi impregnanti
  - barriera elettroosmotica
  - isolamento pavimentazione
  - intonaci speciali

OSSERVAZIONI

- Importanza dei metodi di indagine
  - individuazione accurata delle cause di degrado
- Scelta della tecnica di intervento più adeguata/meno invasiva
  - problemi statici
  - problemi di fondazione
  - tipologia delle murature
- Attenzione al rispetto dell’opera

Case history

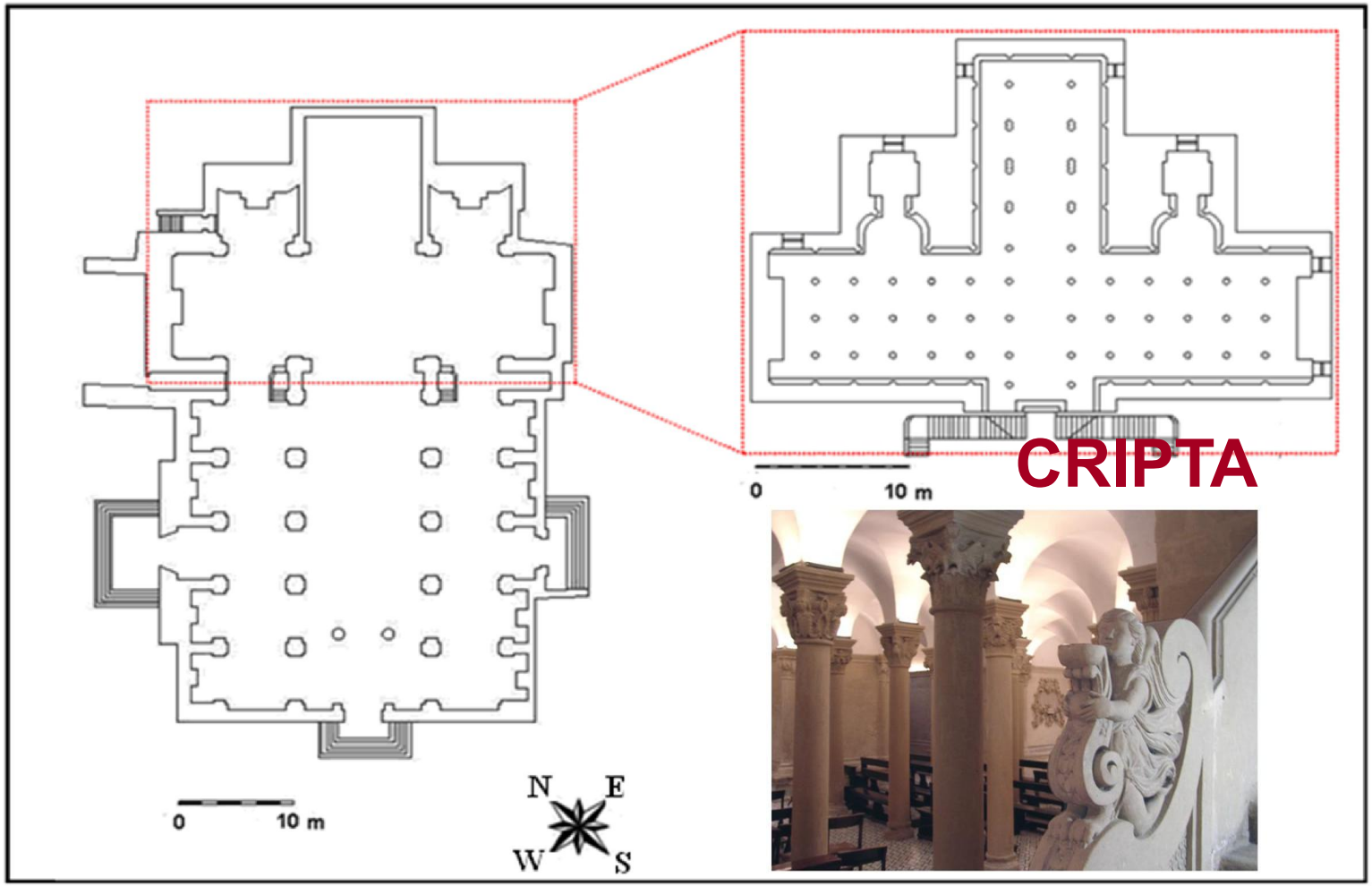
Il duomo di Lecce

Il fascino di piazza Duomo è stato descritto da numerosi storici dell'arte, estasiati di fronte a una tale bellezza racchiusa in un così piccolo spazio.

Posta la prima pietra il 1° gennaio 1659, nel 1670 la Cattedrale fu completata sul tracciato dei precedenti edifici, 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 .

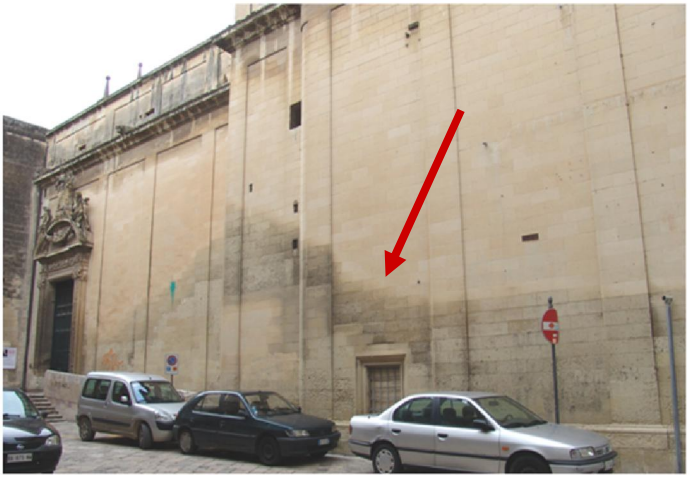
La Cattedrale, orientata secondo l'asse Nord-Est Sud-Ovest, è costruita con un materiale tipico del territorio: la pietra leccese, che assume colori particolari e crea giochi chiaroscurali che variano al variare della luce. I due prospetti, per la loro collocazione rispetto a chi entra nella piazza,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

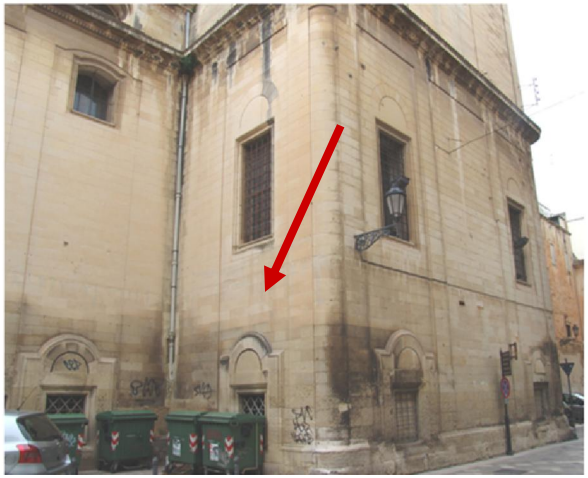
Nella Top 10 delle piazze più belle d'Italia, spicca al quinto posto Piazza Duomo. La classifica è stata stilata dal portale turistico nazionale "Virgilio Viaggi". E' uno dei pochissimi esempi di piazza chiusa, essendo stata in passato una sorta di cortile aperto di giorno e chiuso di notte".

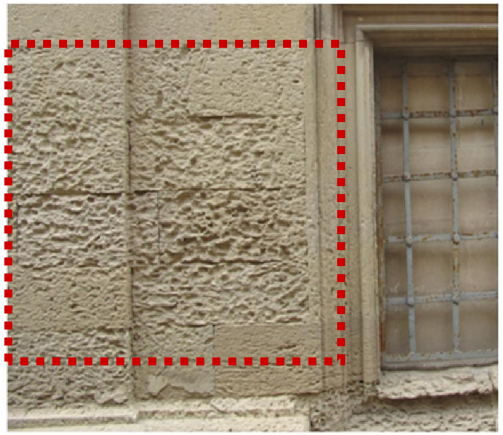


La struttura della Cripta ha subito nel corso dei secoli numerose trasformazioni. La Cripta, interamente costituita in pietra leccese così come il Duomo sovrastante, ha pianta a croce greca con 3 navate, 54 colonne e 38 semicolonne monolitiche con base attica, fusto rotondo e capitelli romanici.

ESTERNO

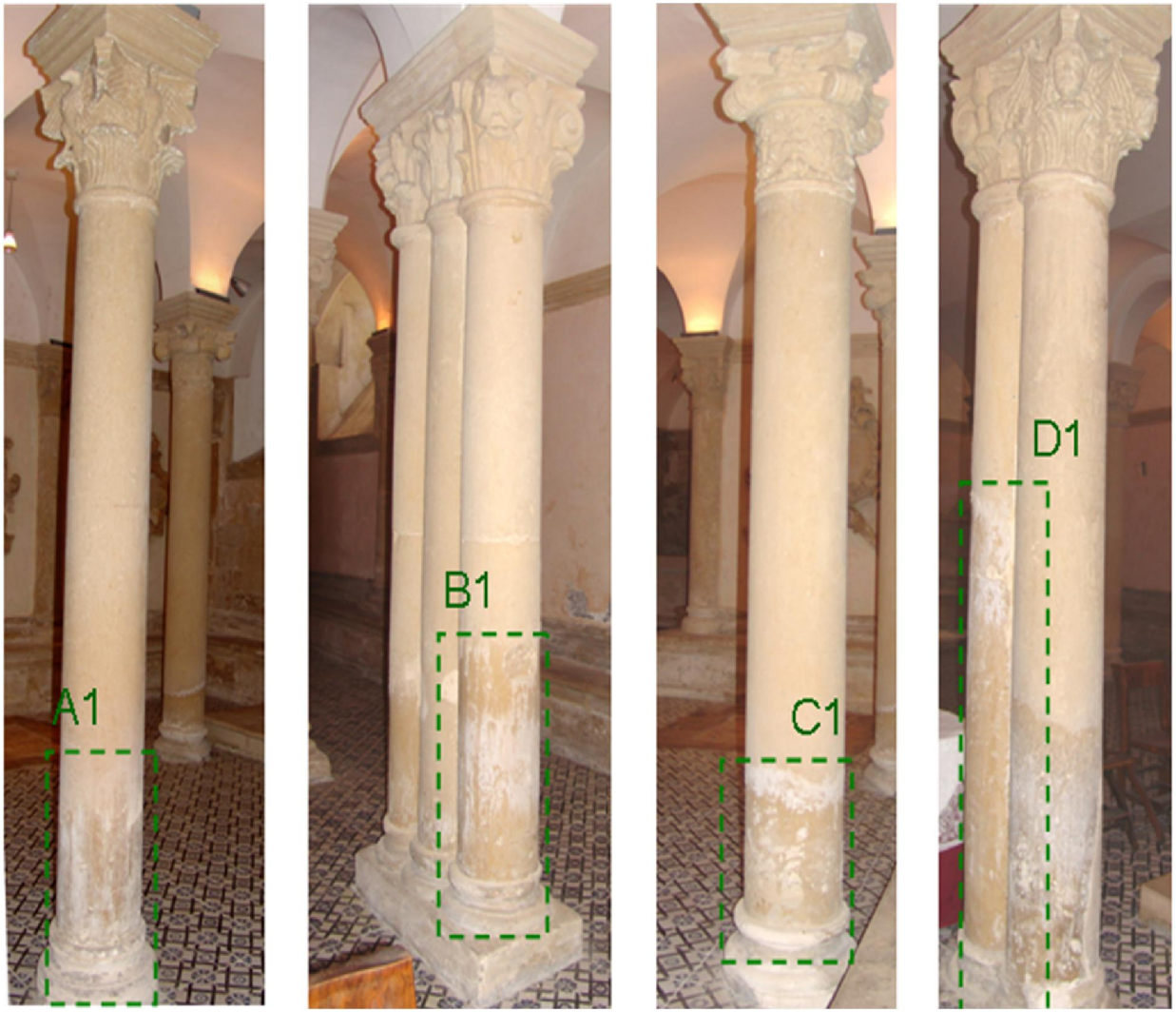






La parte esterna della Cripta appare soggetta a ogni tipologia di degrado della pietra leccese, tra cui l'alveolizzazione, che si presenta con la formazione di alveoli molto profondi, il biodeterioramento, la creazione di depositi superficiali, patine, croste nere, il distacco dell'intonaco dalla pietra.

COLONNE



Le efflorescenze sono presenti anche sulle colonne che costituiscono la struttura portante verticale della Cripta, fenomeno che interessa da tempo l'edificio, come dimostrano i visibili segni di rimozione meccanica, testimoni che si è fatto ricorso ad una asportazione manuale.

MURATURE CON INTONACO

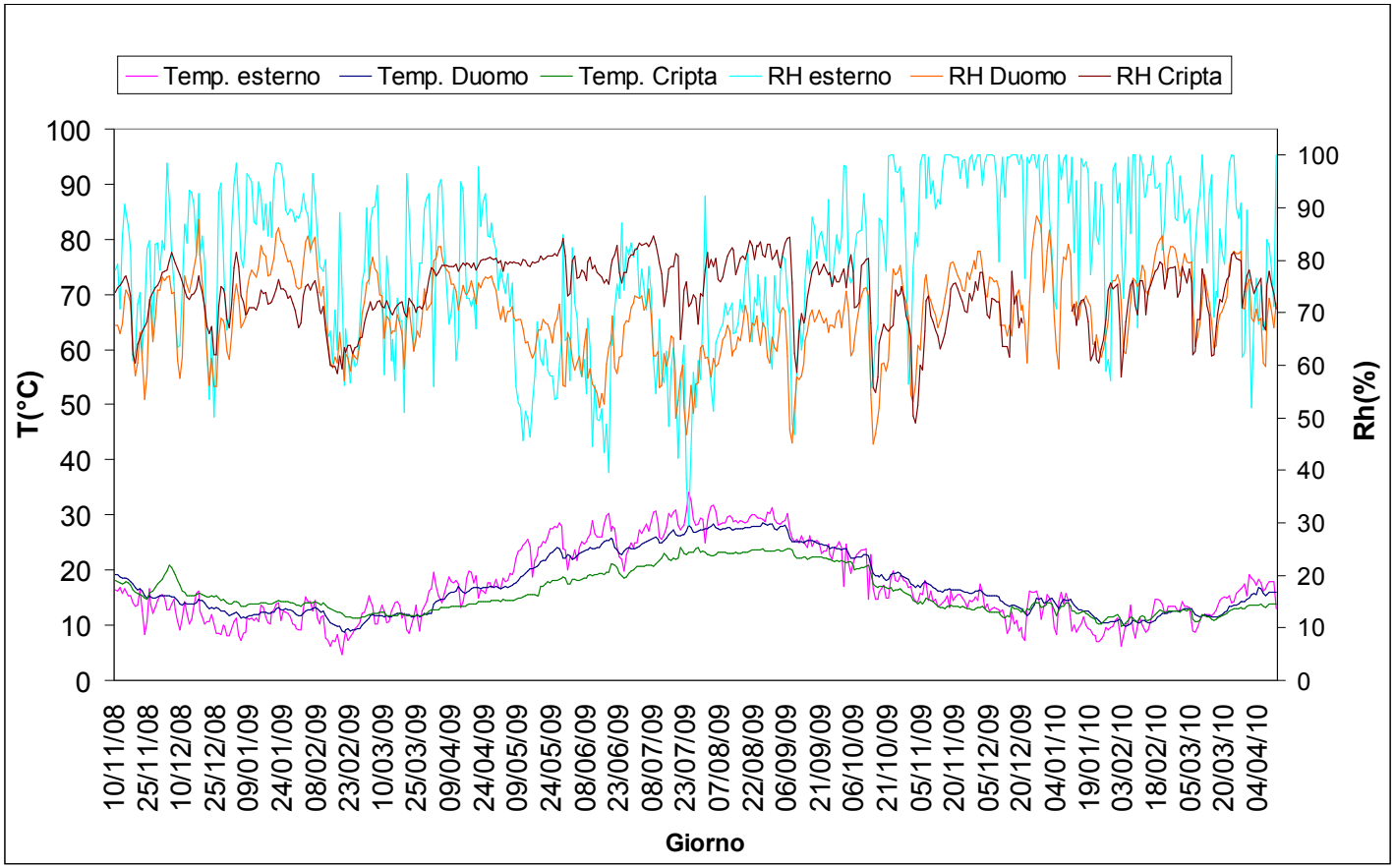
Le pareti ancora ricoperte da intonaco presentano problemi in relazione alla sua aderenza, con visibili rigonfiamenti e/o distruzioni.

CAUSE acqua ed umidità, caratteristiche del materiale poroso, struttura dell'edificio, interventi e gestione dell'ambiente inadeguati.

ITER SPERIMENTALE

- I. MONITORAGGIO MICROCLIMATICO
- II. DOCUMENTAZIONE GRAFICA E MAPPATURA DEL DEGRADO
- III. CAMPIONAMENTO ED ANALISI DELLE EFFLORESCENZE
- IV. MODELLAZIONE FISICA E SIMULAZIONI NUMERICHE CON CODICI DI FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE (CFD)

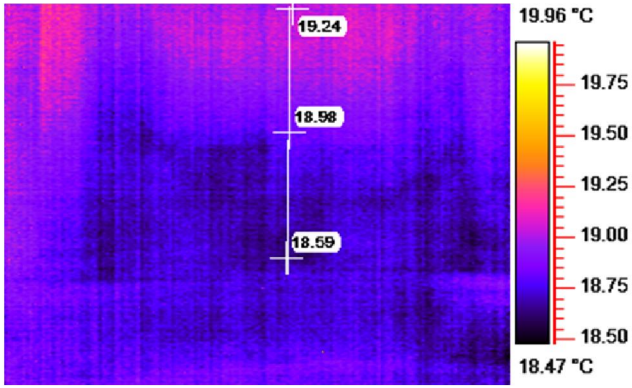
TEMPERATURA (T) ED UMIDITÀ RELATIVA (RH) INTERNA ED ESTERNA A DUOMO E CRIPTA



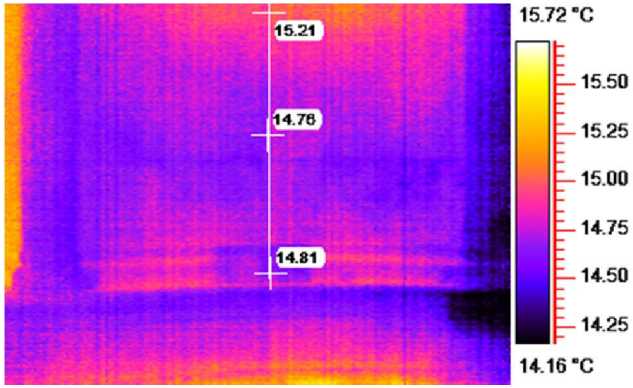
I valori medi mensili di temperatura all'interno della Cripta sono oscillati tra 11°C e 24°C (minima giornaliera pari a 9.8°C il 2/02/2010; massima 24°C il 20/07/2009), mentre quelli di umidità relativa tra 66 e 81% (giornaliera minima 48% il 2/11/2009, massima 84.5% il 7/09/2009).
La temperatura della Cripta è stata mediamente di 1.4 °C superiore a quella del Duomo da novembre 2008 ad inizio marzo 2009. aprile 2009 a gennaio 2010 le temperature più elevate sono state registrate nel Duomo, Da gennaio 2009 a fine marzo 2010 le temperature nelle due chiese sono state di nuovo uguali

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T03



24-11-2011
ΔT = 0,65 °C

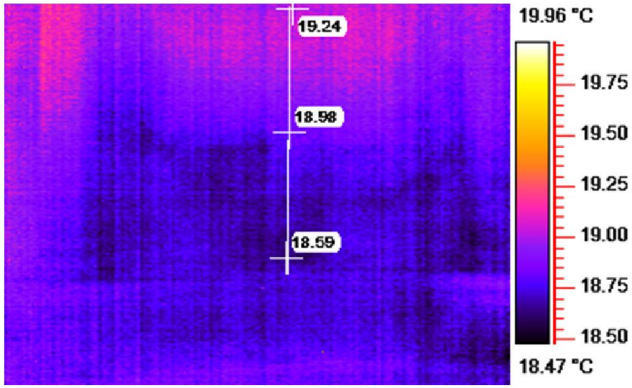


20-12-12
ΔT = 0,50 °C

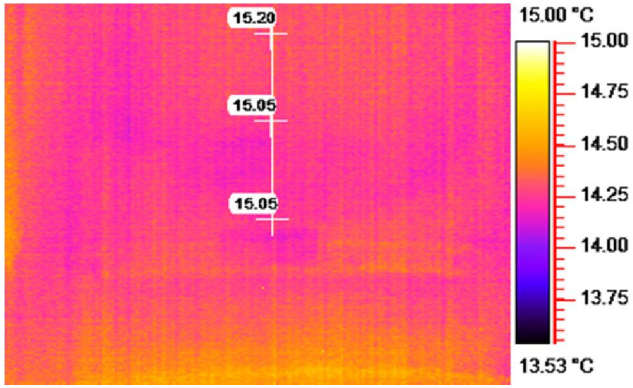
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T03



24-11-2011
ΔT = 0,65 °C

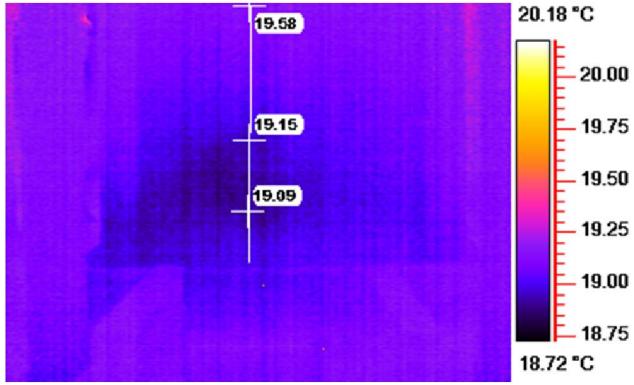


6-2-14
ΔT = 0,20 °C

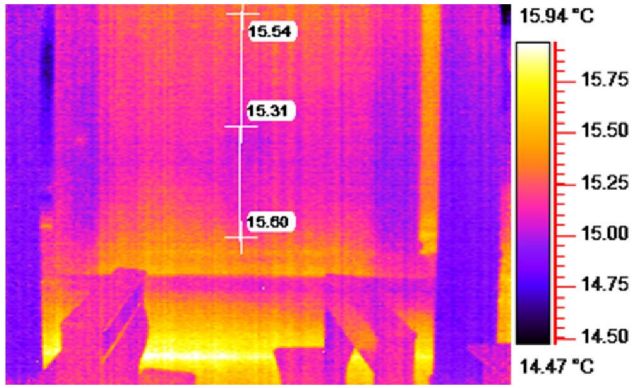
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T13



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

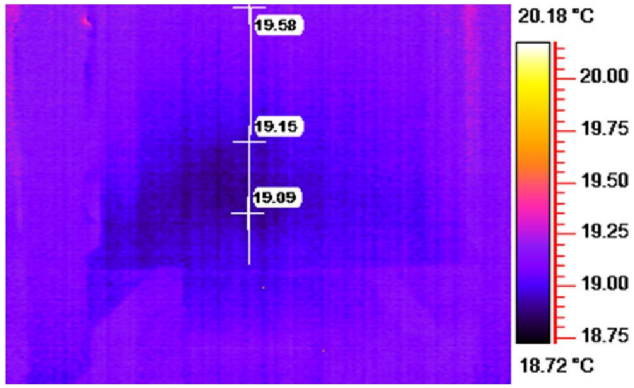


20-12-12
ΔT = 0,40 °C

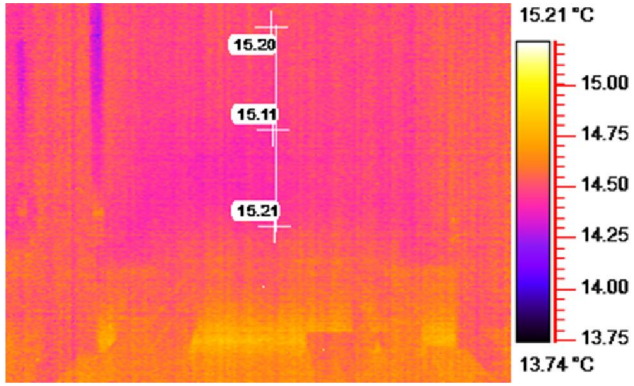
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T13



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

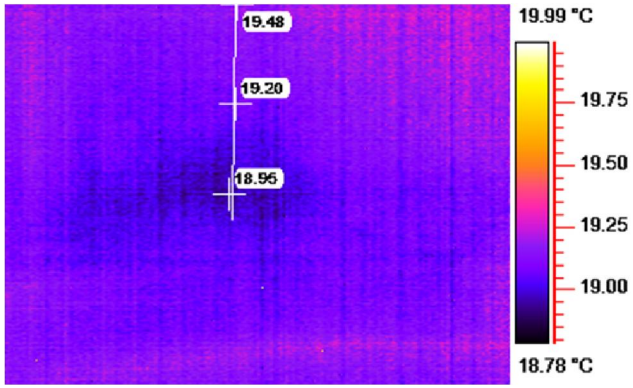


6-2-14
ΔT = 0,20 °C

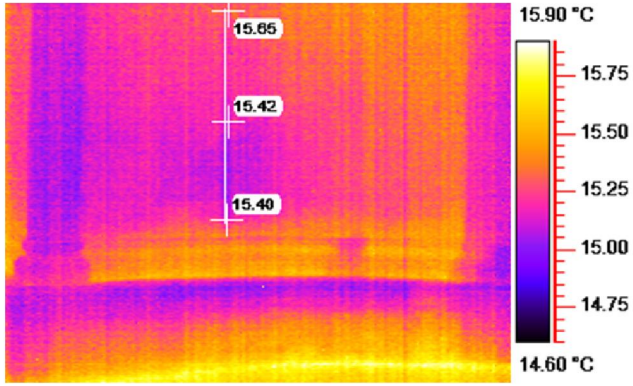
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T17



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

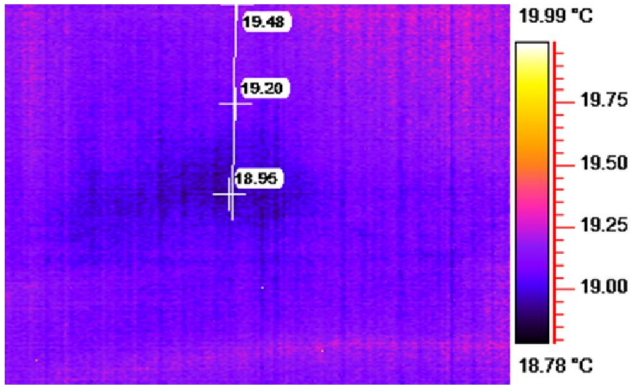


20-12-12
ΔT = 0,35 °C

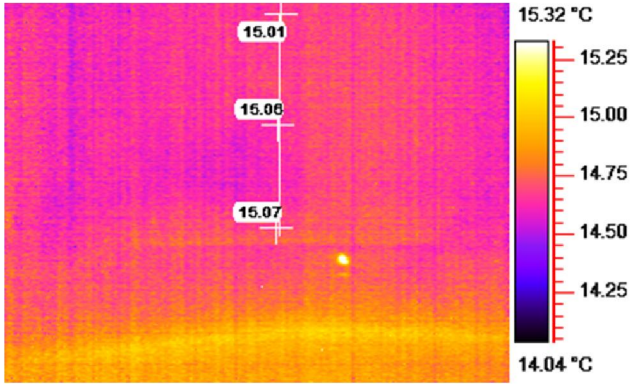
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T17



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

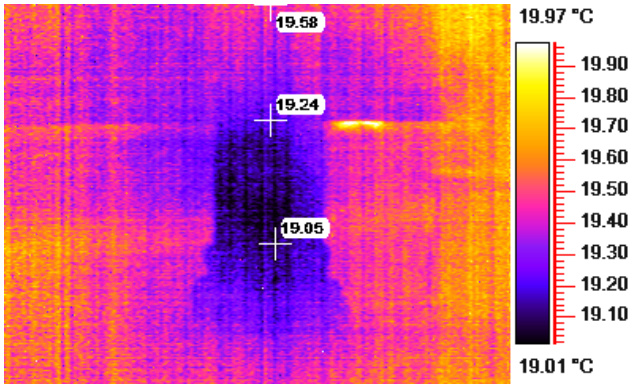


6-2-14
ΔT = 0,15 °C

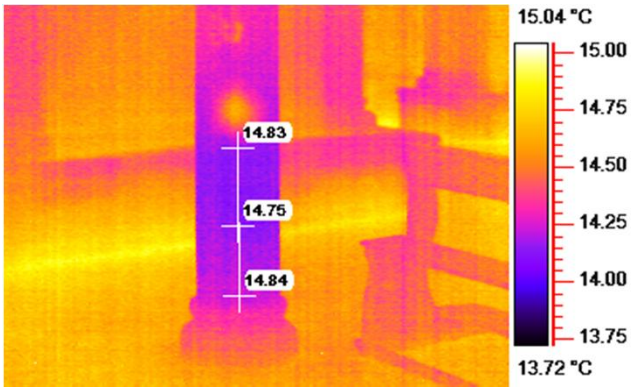
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T25



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

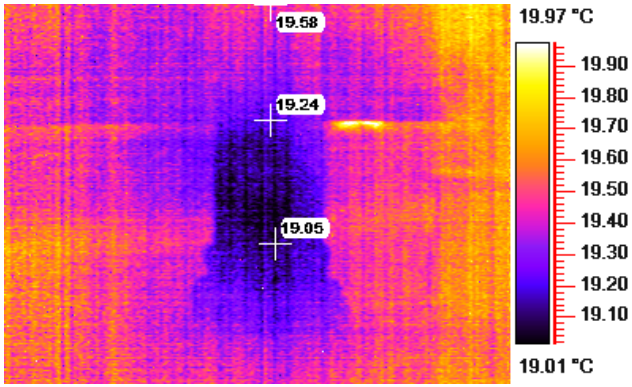


20-12-12
ΔT = 0,30 °C

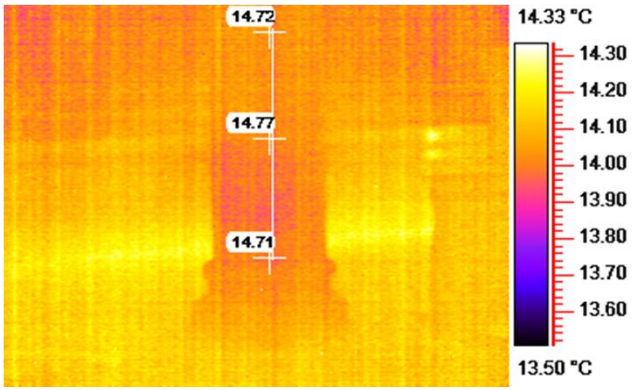
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T25



24-11-2011
ΔT = 0,55 °C

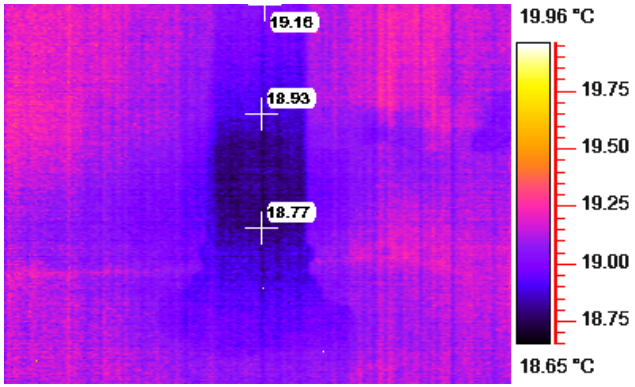


6-02-14
ΔT = 0,20 °C

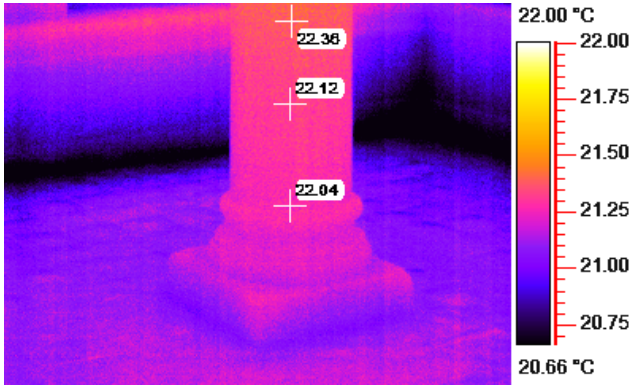
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T27



24-11-2011
ΔT = 0,50 °C

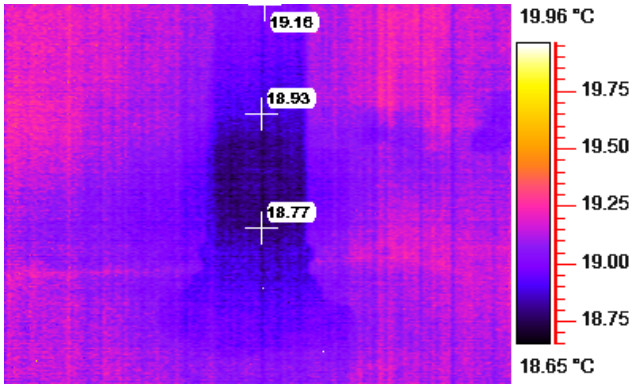


20-12-2012
ΔT = 0,30 °C

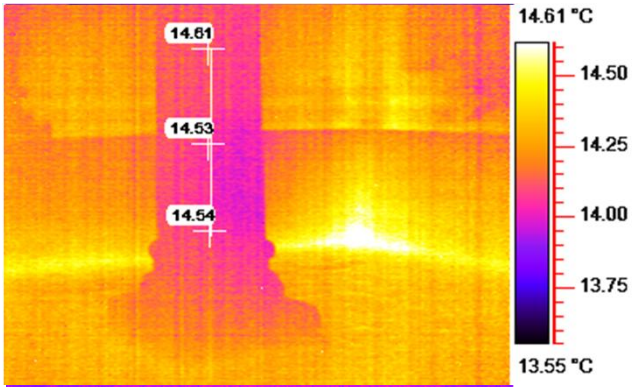
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T27



24-11-2011
ΔT = 0,50 °C

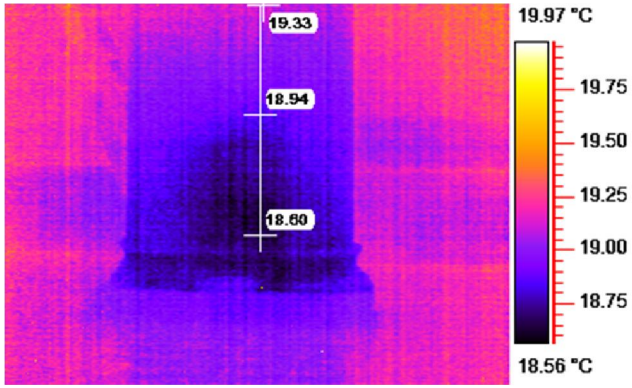


6-02-2014
ΔT = 0,20 °C

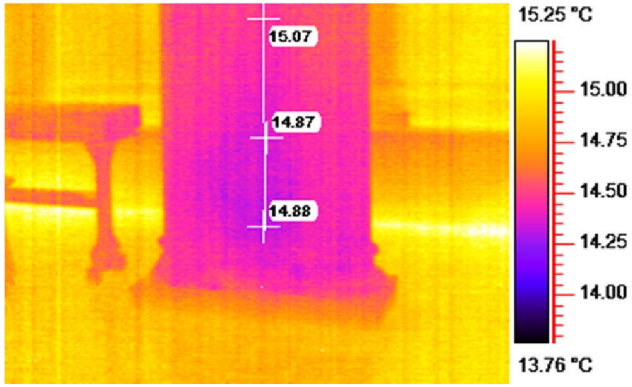
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T28



24-11-2011
ΔT = 0,70 °C

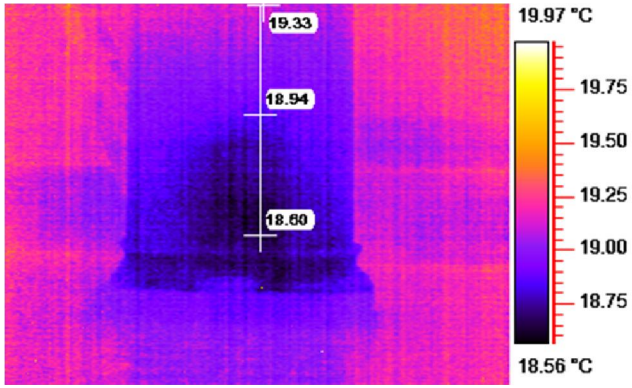


20-12-12
ΔT = 0,30 °C

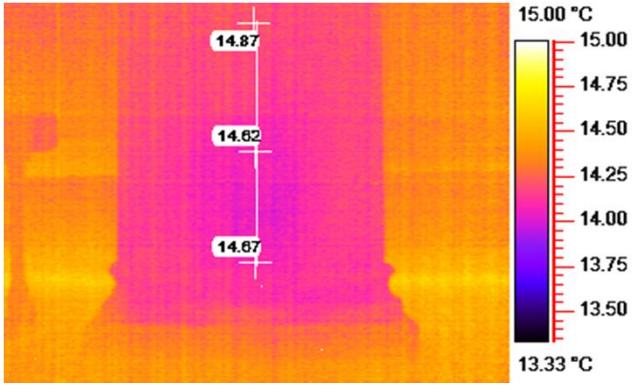
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2° controllo

Monitoraggio dell'Umidità muraria

Immagine: T28



24-11-2011
ΔT = 0,70 °C

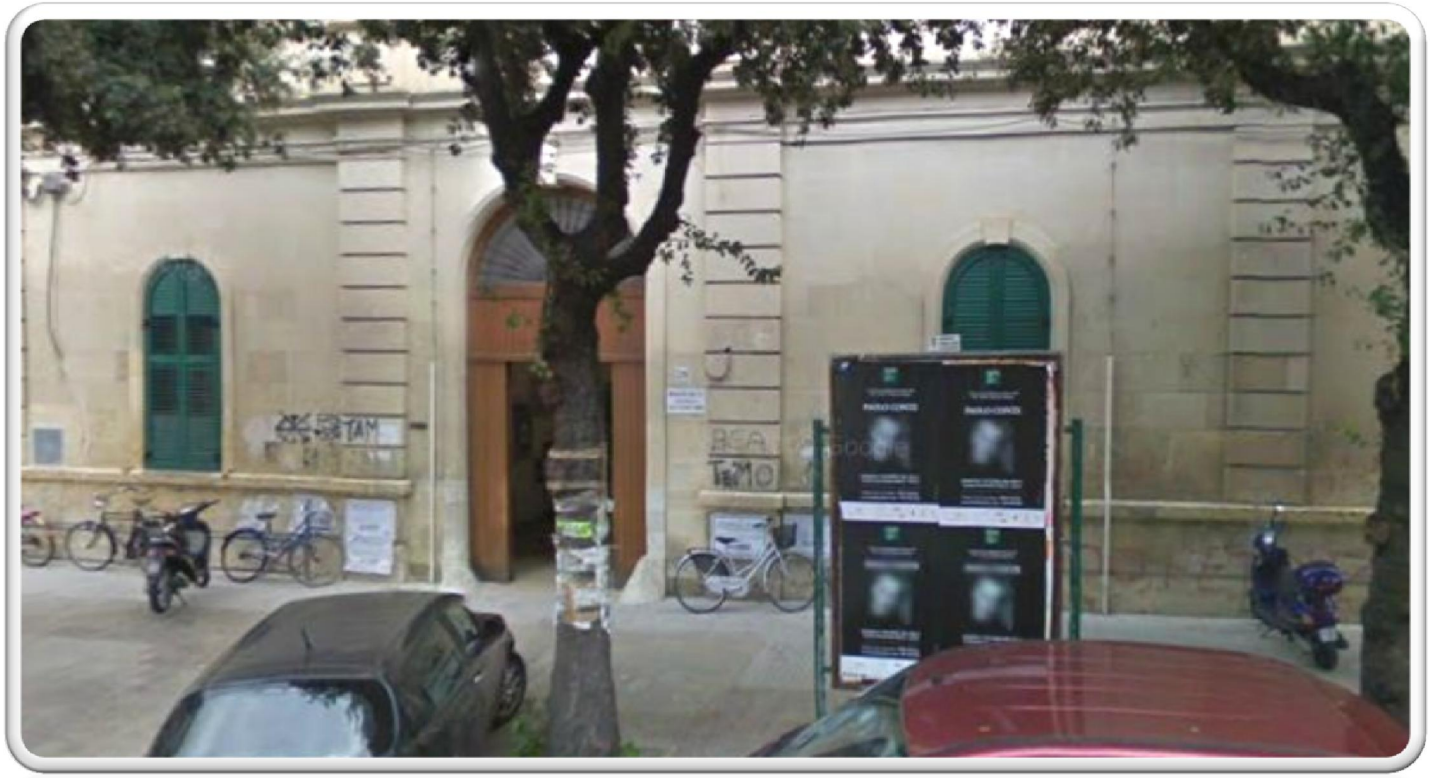


6-02-14
ΔT = 0,20 °C

Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3° controllo

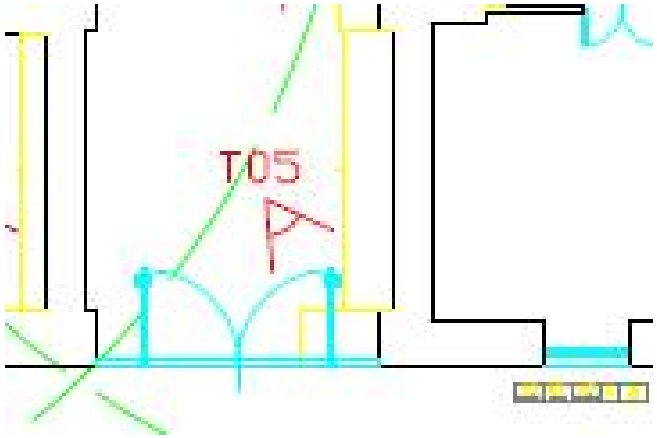
Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

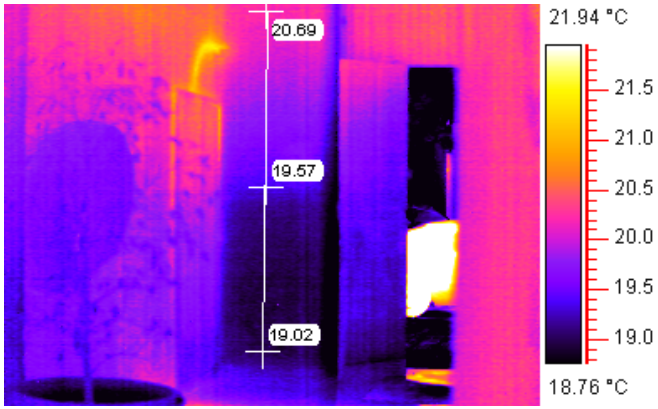
Università del Salento, sede “Buon Pastore”

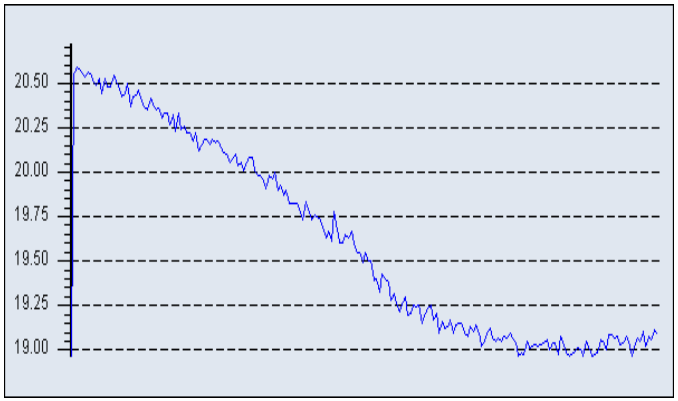


Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

Mappatura IRT iniziale (1°controllo 25-11-2011)





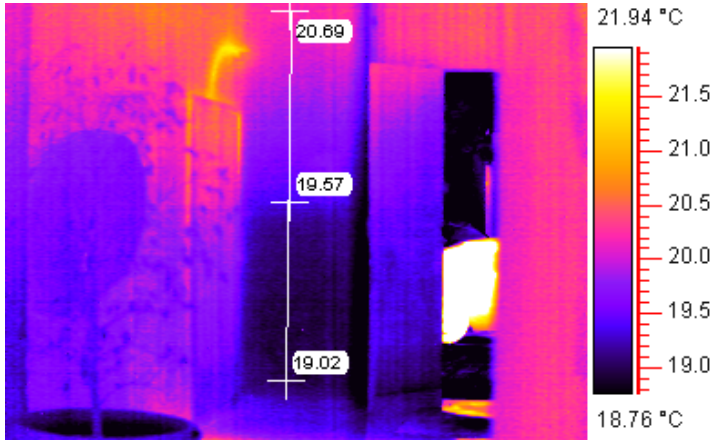


(Dati Immagine: T05)

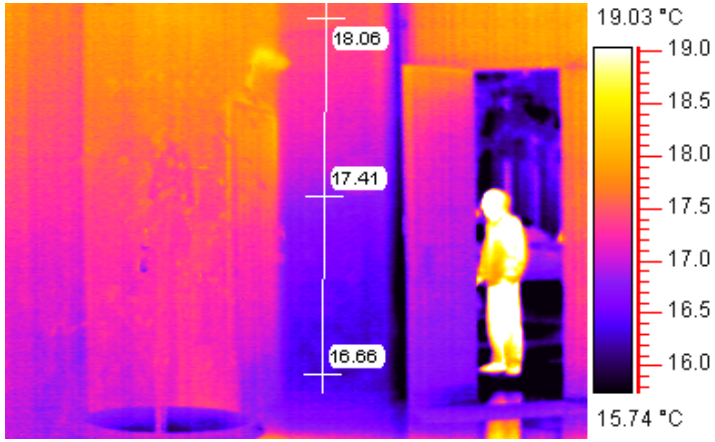
Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

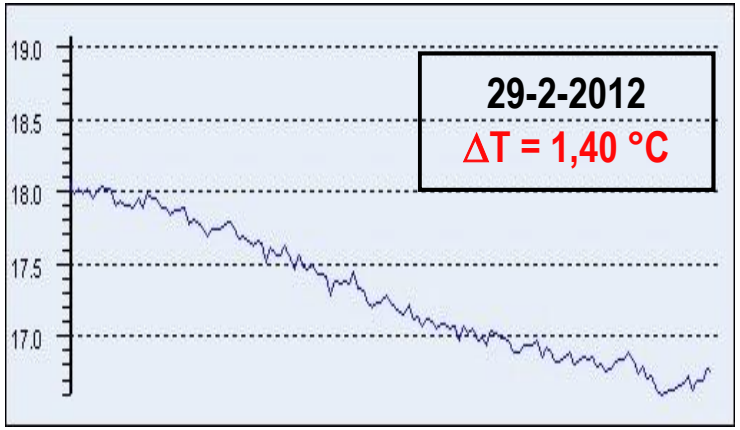
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2°controllo

1° C.
25-nov-11



2° C.
29-feb-12





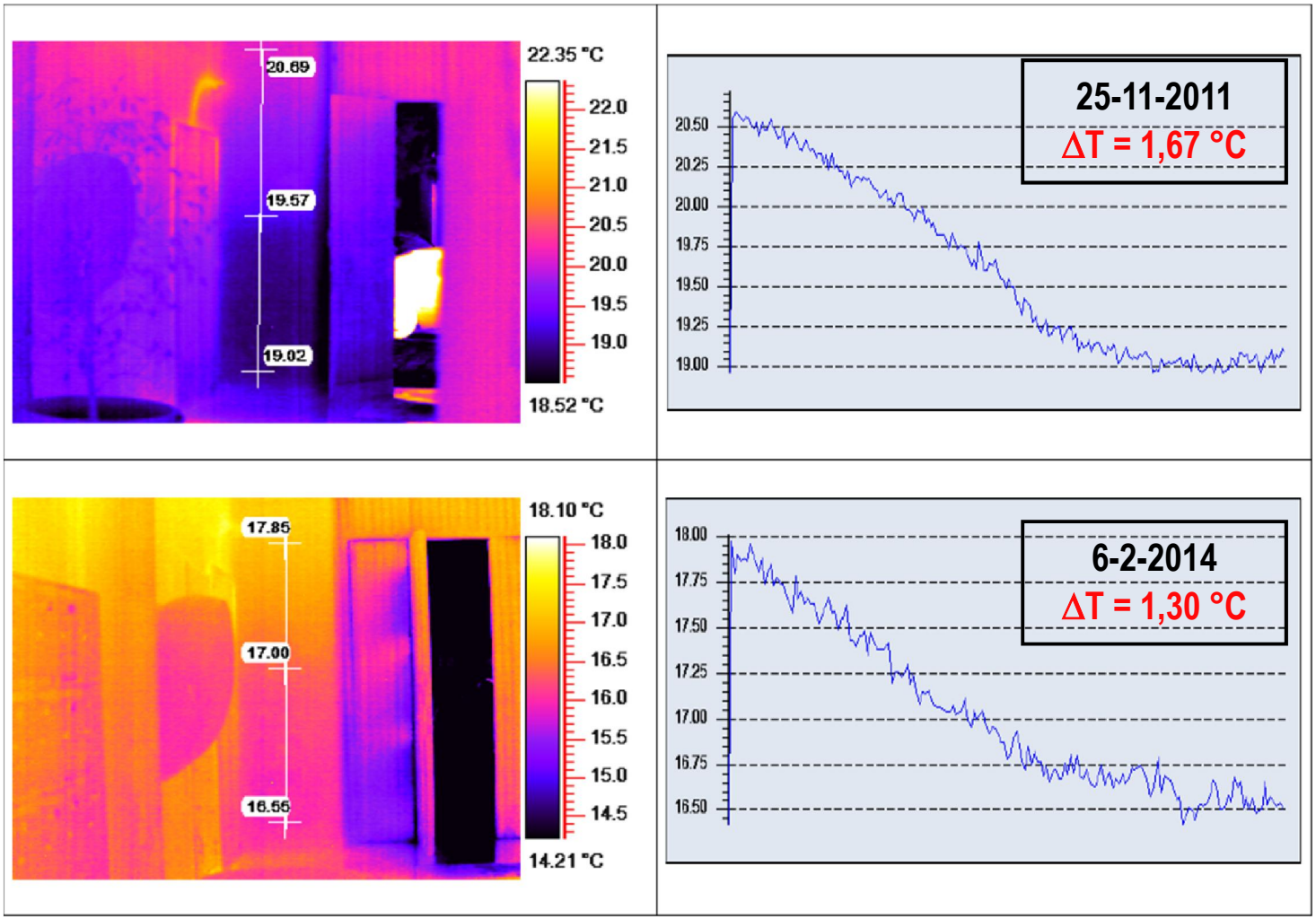
(Dati Immagine: T05)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

1° C.
25-nov-11

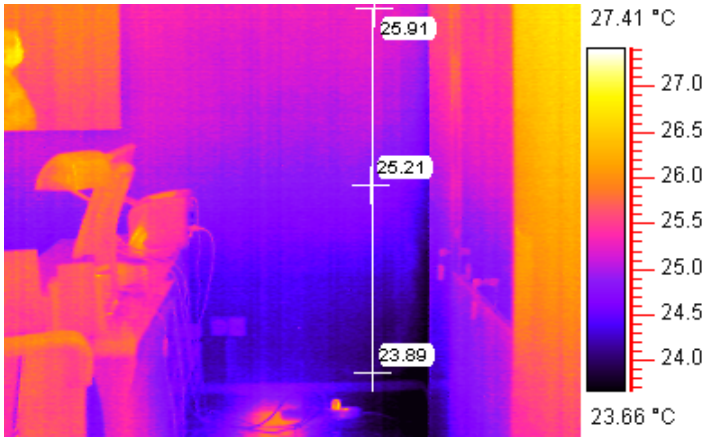
2° C.
6-feb-14



(Dati Immagine: T05)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

Mappatura IRT iniziale (1°controllo 25-11-2011)

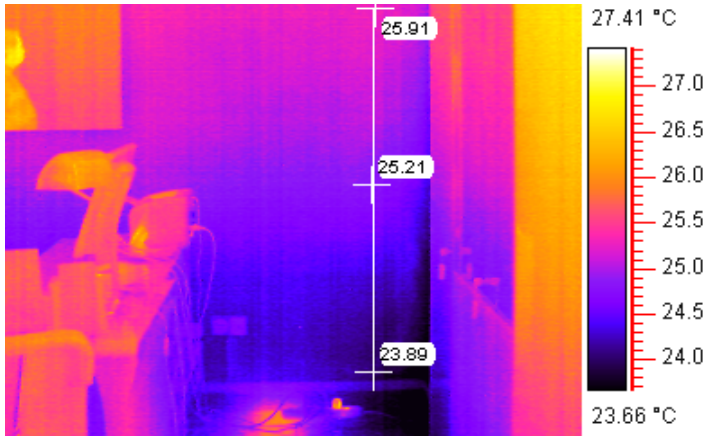


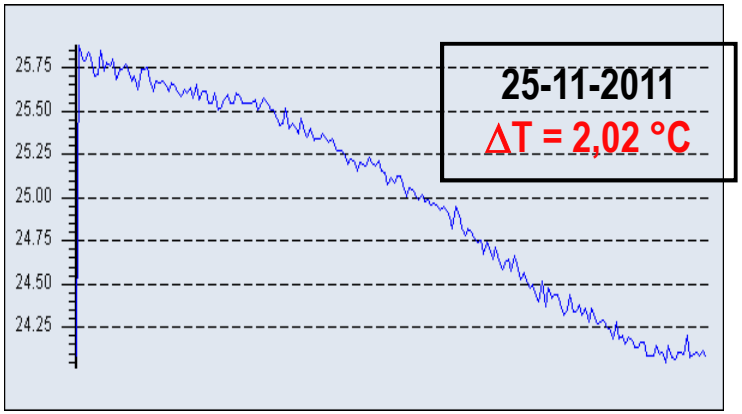
(Dati Immagine: T08)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

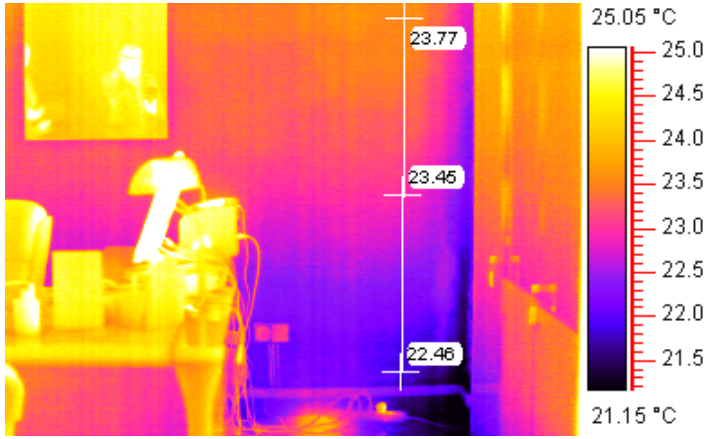
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2°controllo

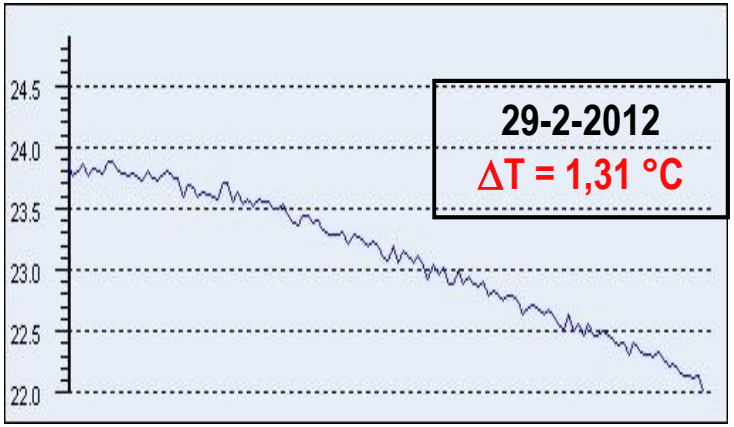
1° C.
25-nov-11





2° C.
29-feb-12



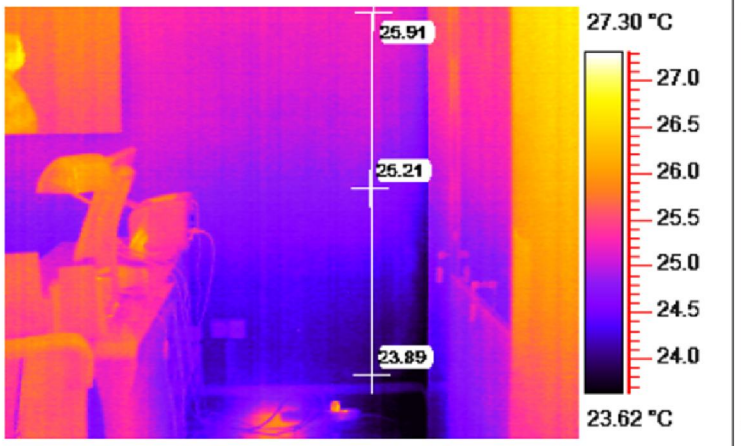


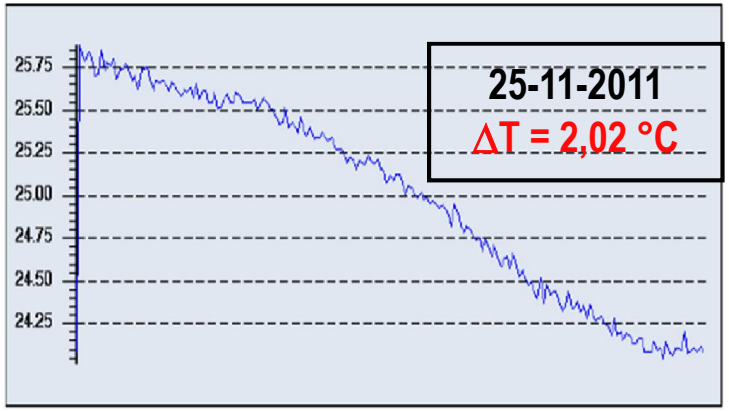
(Dati Immagine: T08)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

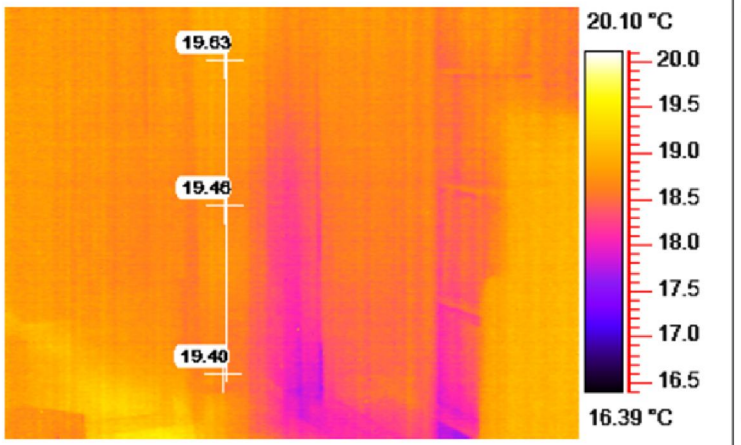
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

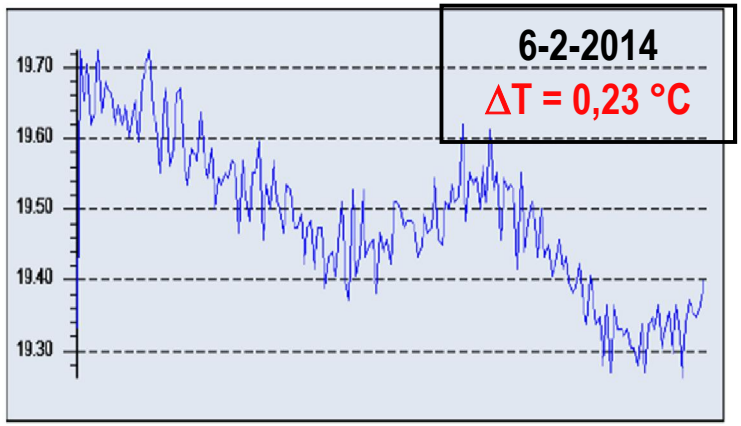
1° C.
25-nov-11





2° C.
6-feb-14

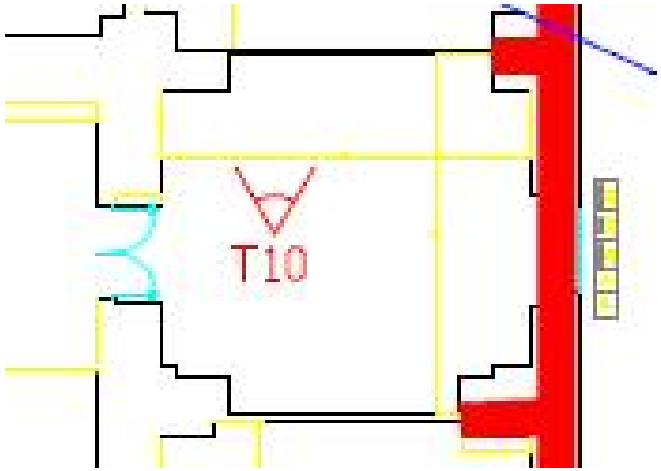


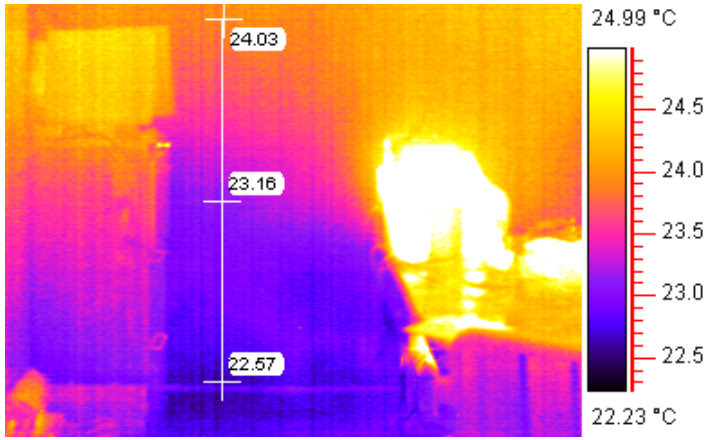


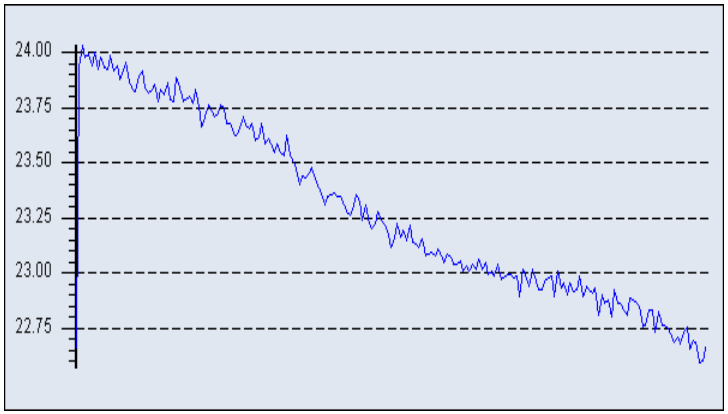
(Dati Immagine: T08)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

Mappatura IRT iniziale (1°controllo 25-11-2011)





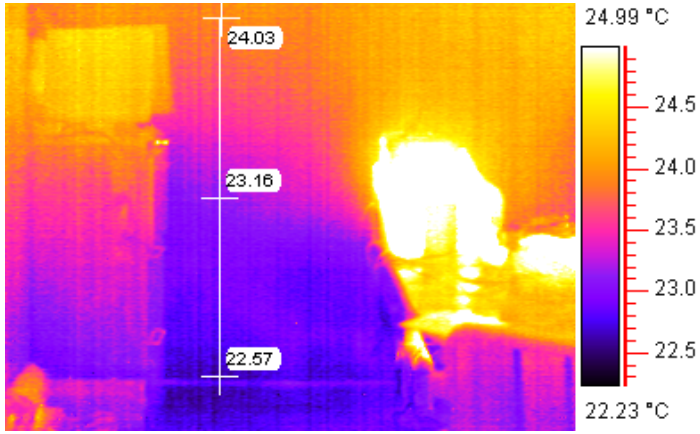


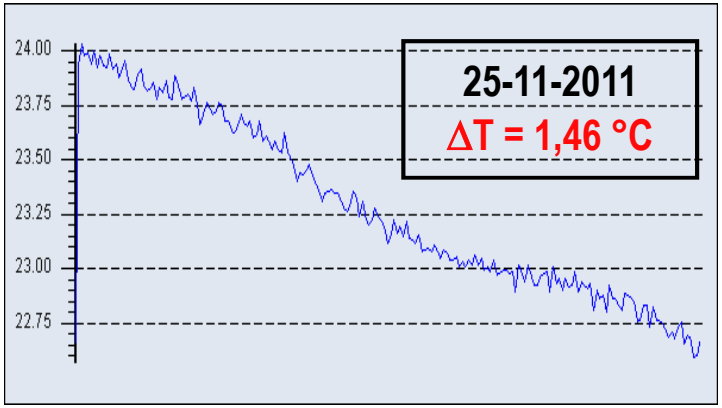
(Dati Immagine: T10)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

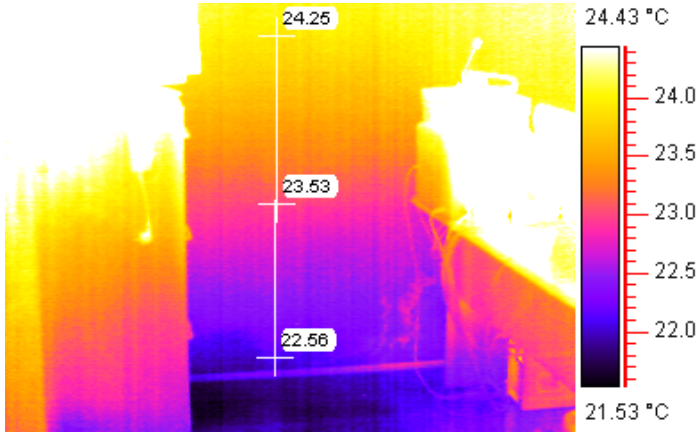
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2°controllo

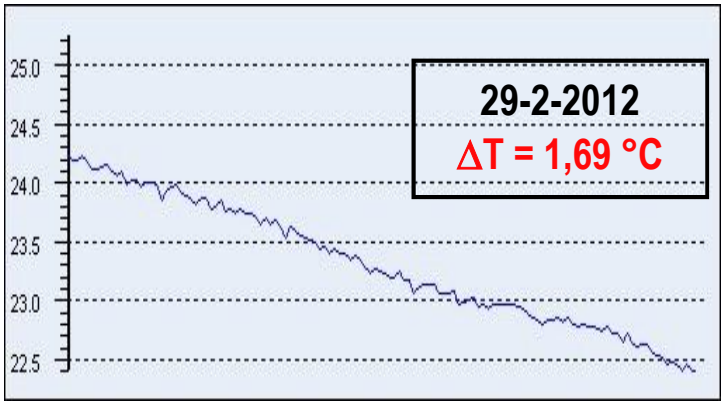
1° C.
25-nov-11





2° C.
29-feb-12



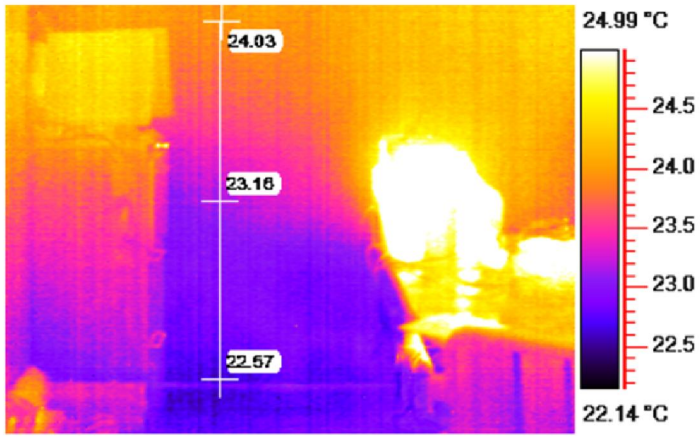


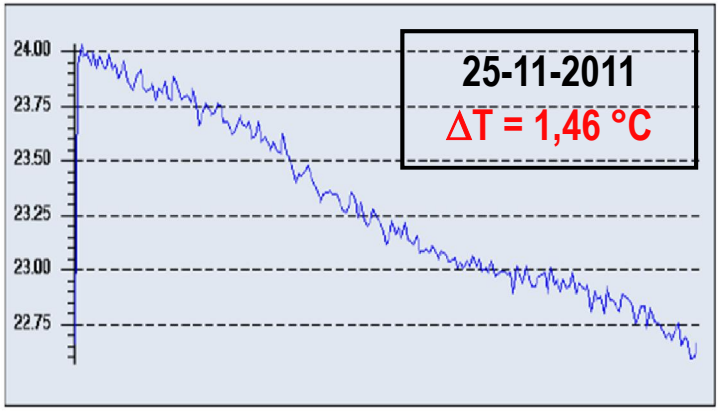
(Dati Immagine: T10)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

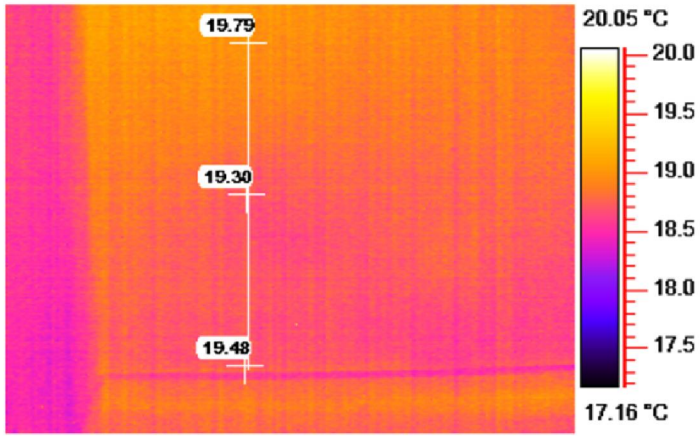
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

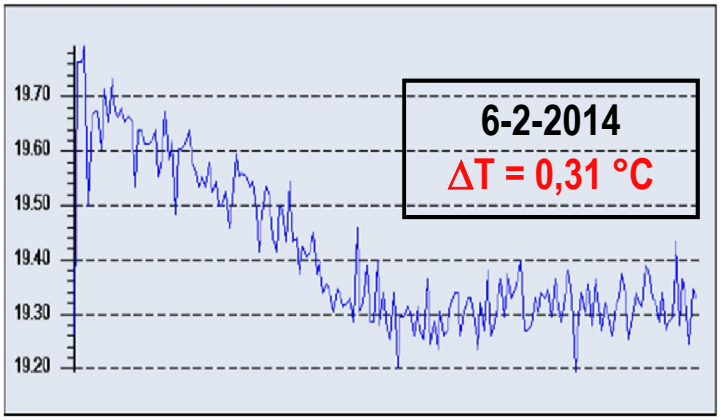
1° C.
25-nov-11





2° C.
6-feb-14

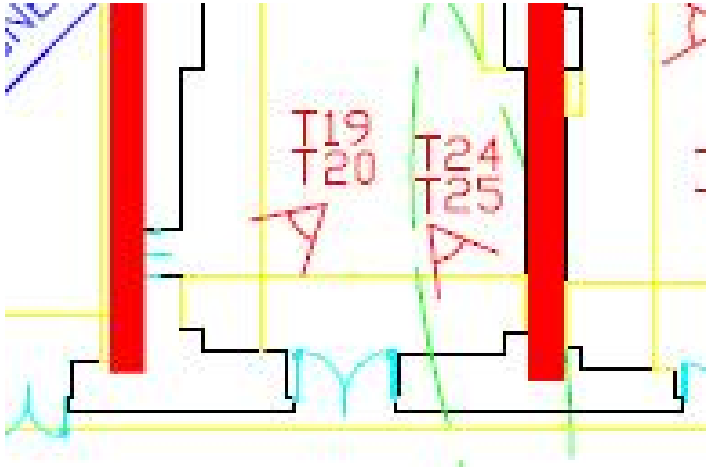


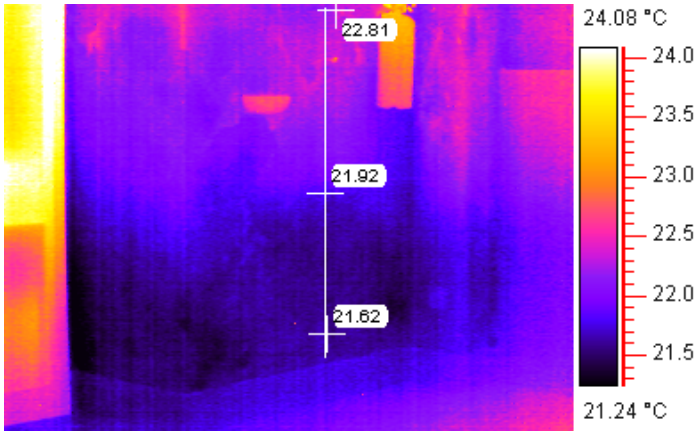


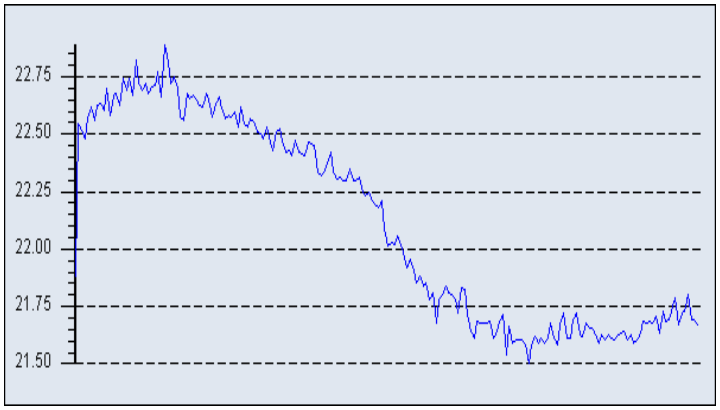
(Dati Immagine: T10)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

Mappatura IRT iniziale (1°controllo 25-11-2011)





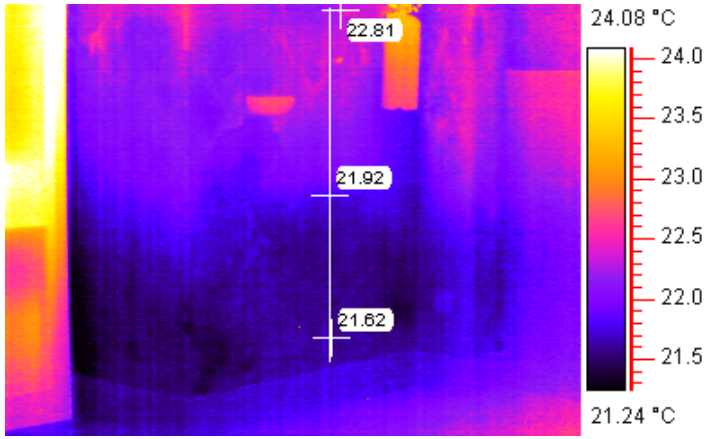


(Dati Immagine: T19)

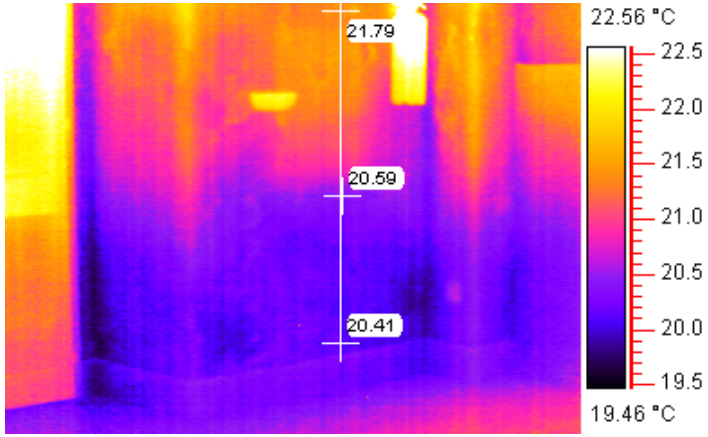
Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

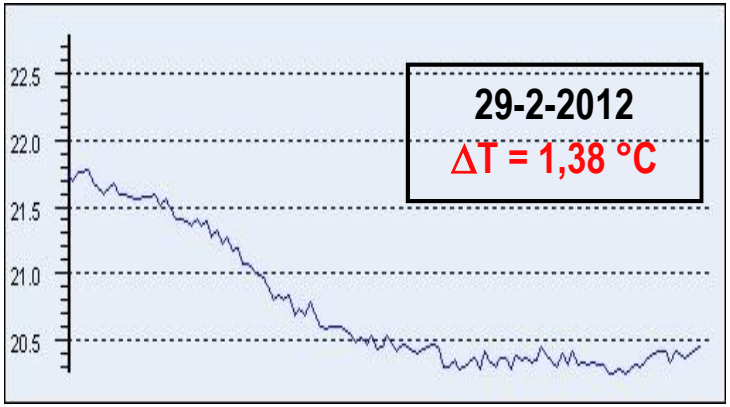
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 2°controllo

1° C.
25-nov-11



2° C.
29-feb-12



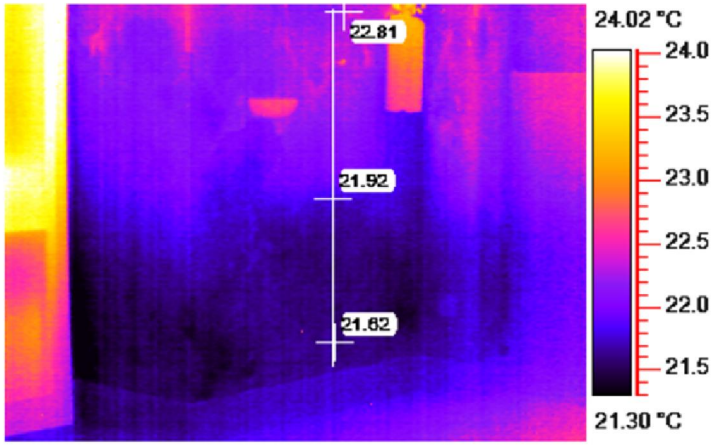


(Dati Immagine: T19)

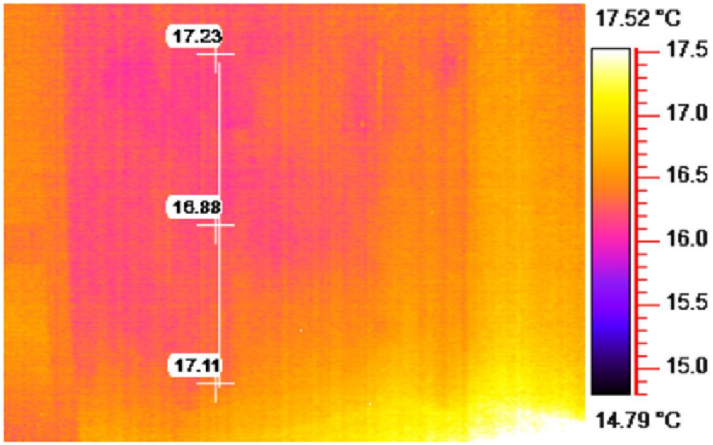
Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

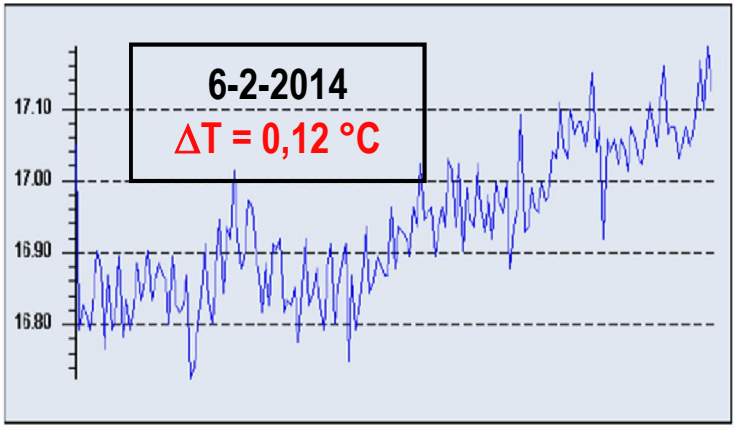
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

1° C.
25-nov-11



2° C.
6-feb-14



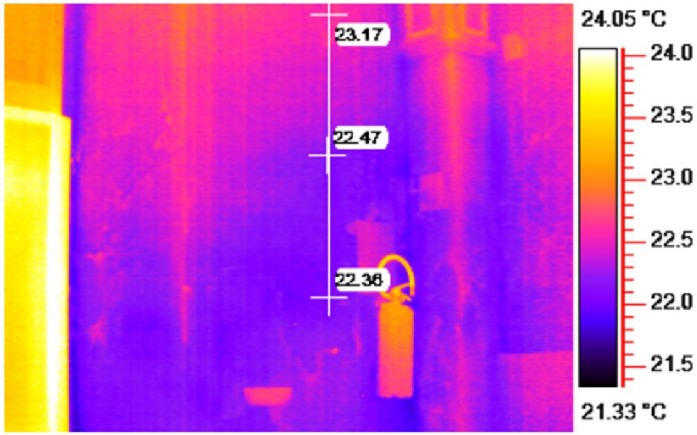


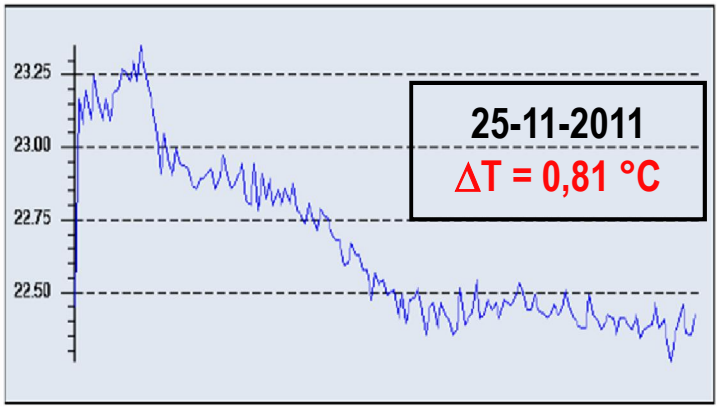
(Dati Immagine: T19)

Case history: Lecce – Edificio universitario “Buon Pastore”

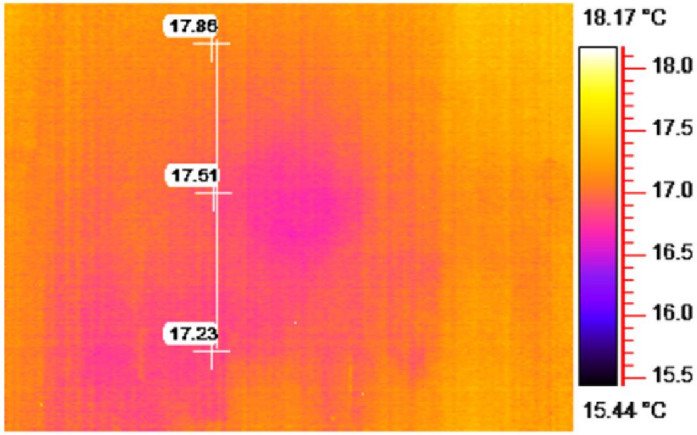
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

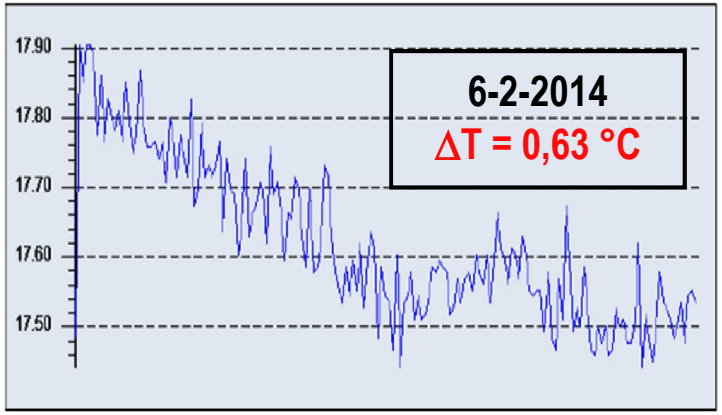
1° C.
25-nov-11





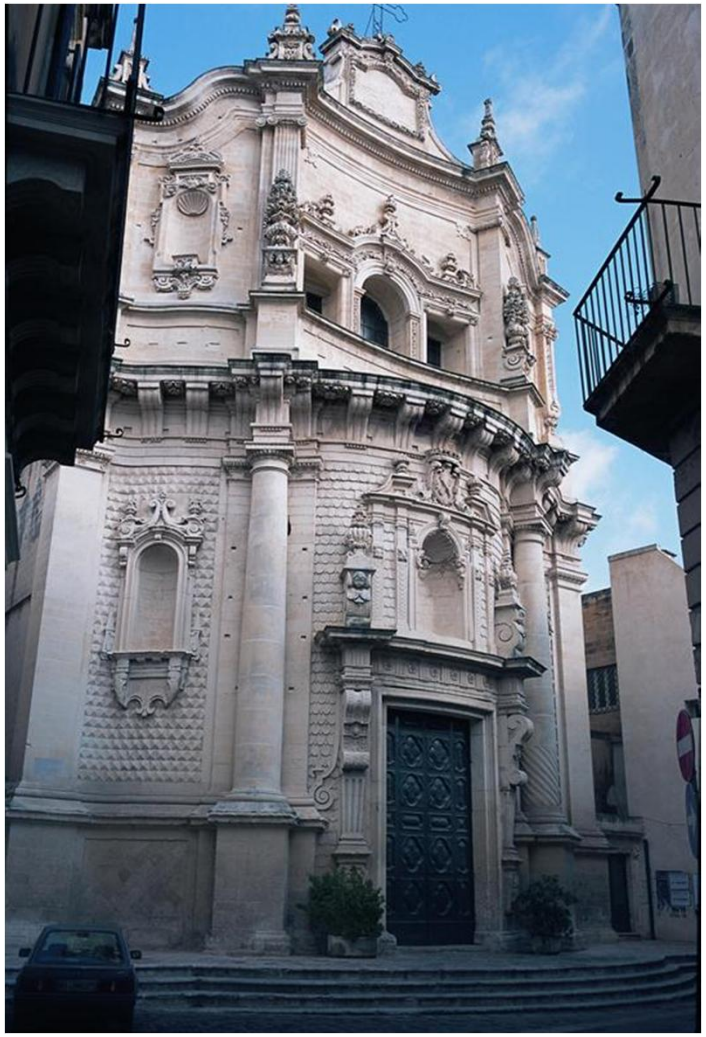
2° C.
6-feb-14





(Dati Immagine: T20)

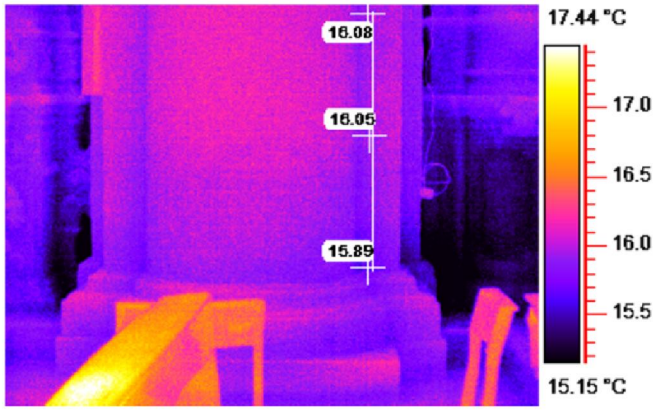
Case history: Lecce – Chiesa San Matteo

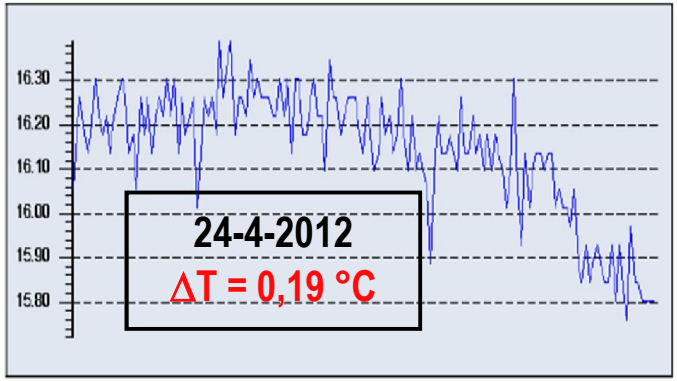


Case history: Lecce – Chiesa San Matteo

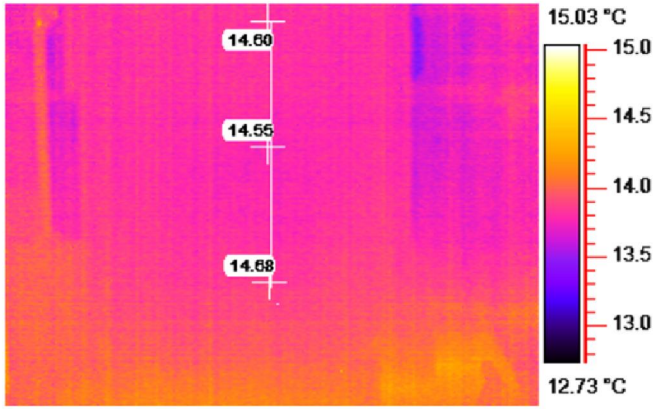
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

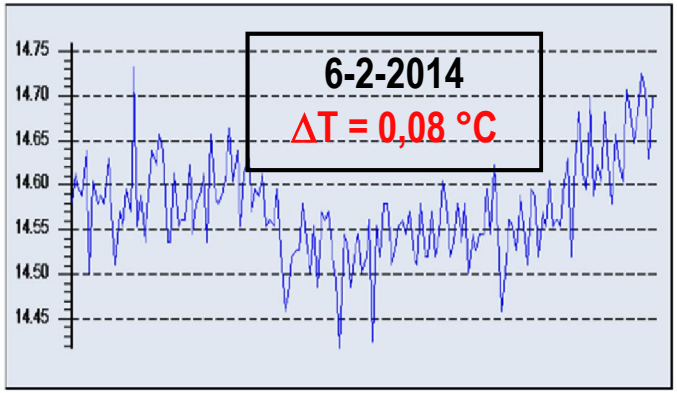
1° C.
24-apr-12





2° C.
6-feb-14



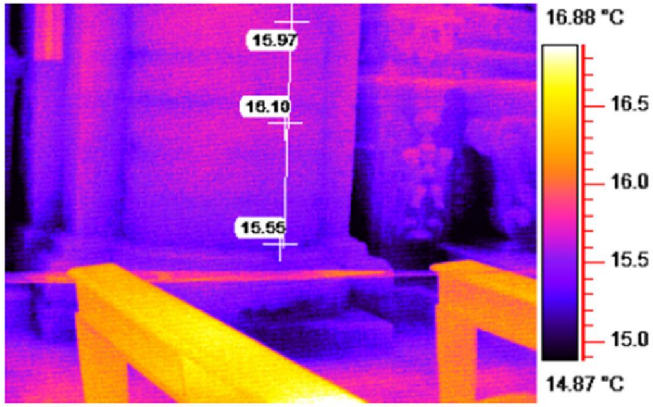


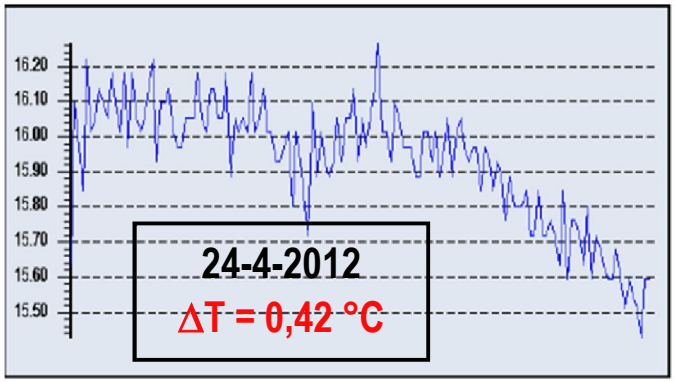
(Dati Immagine: T08)

Case history: Lecce – Chiesa San Matteo

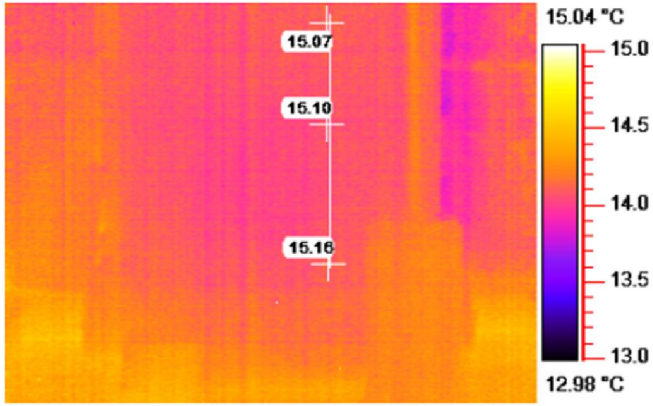
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

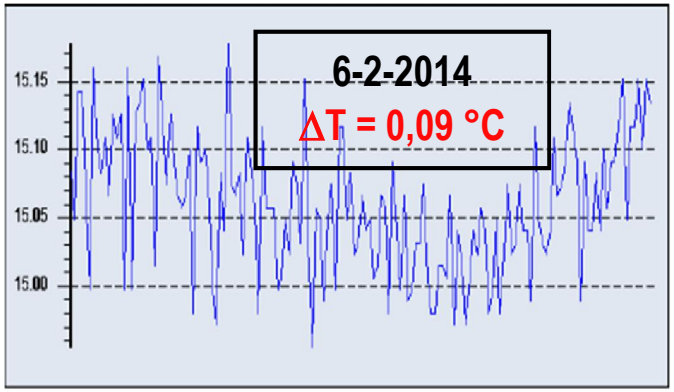
1° C.
24-apr-12





2° C.
6-feb-14



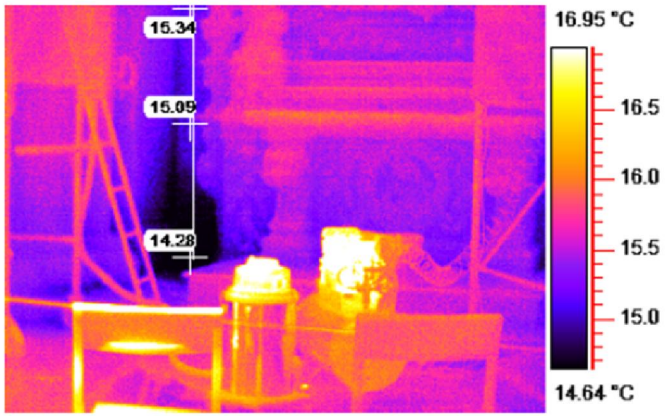


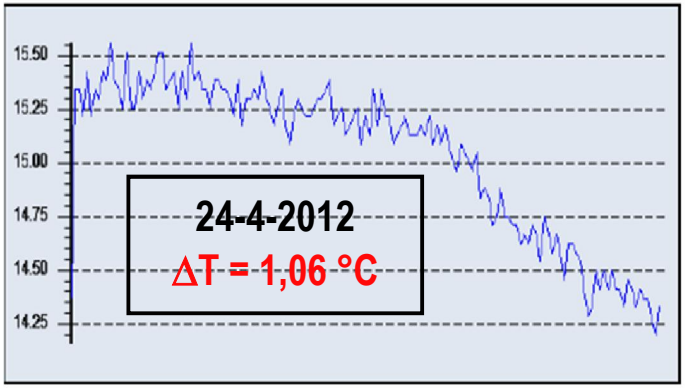
(Dati Immagine: T10)

Case history: Lecce – Chiesa San Matteo

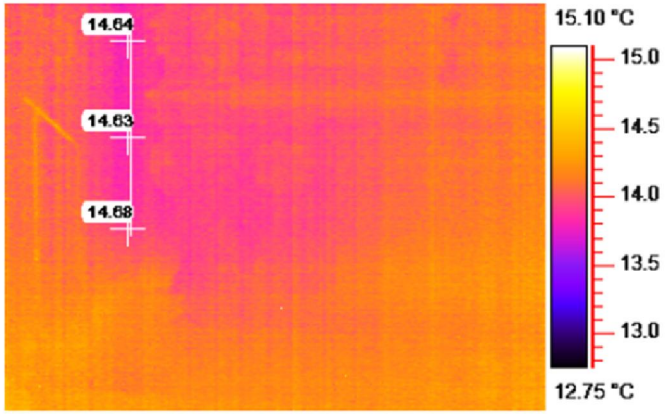
Confronto termogrammi e profili termici tra 1°e 3°controllo

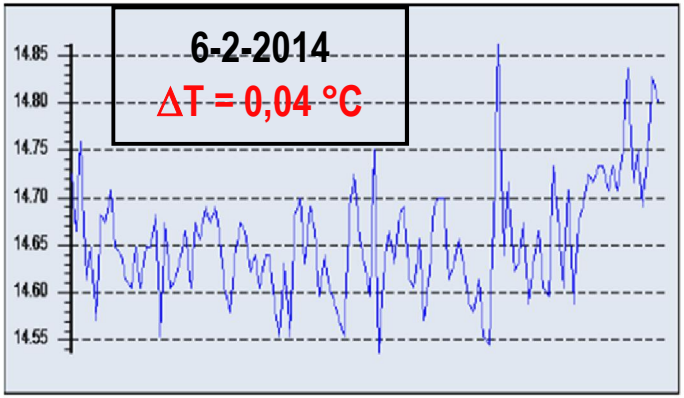
1° C.
24-apr-12





2° C.
6-feb-14





(Dati Immagine: T13)

2. ANALISI SPERIMENTALE

Obiettivi del lavoro:

- **Definizione di un protocollo sperimentale necessario alla verifica dell'efficacia dei sistemi deumidificazione non invasivi**

- **Studio del fenomeno dell'umidità di risalita su differenti materiali**

Fig.2 – Materiali utilizzati

2. ANALISI SPERIMENTALE

Il protocollo prevede le seguenti operazioni preliminari:

1. Asciugatura dei blocchi mediante stufa elettrica ventilata;

2. Predisposizione per ogni materiale n°14 blocchi (20x20x20cm) per la realizzazione di n°2 colonne costituite da 7 blocchi ciascuna e posizionate a 18 m di distanza tra loro. Il contatto tra i blocchi verrà realizzato con fazzoletti in cotone;

3. Numerazione di blocchi e fazzoletti e pesatura preliminare di ciascun blocco;

Fig.3 – Blocchi fuori il campo d'azione
L=Carparo M=Pietra leccese N=Tufo

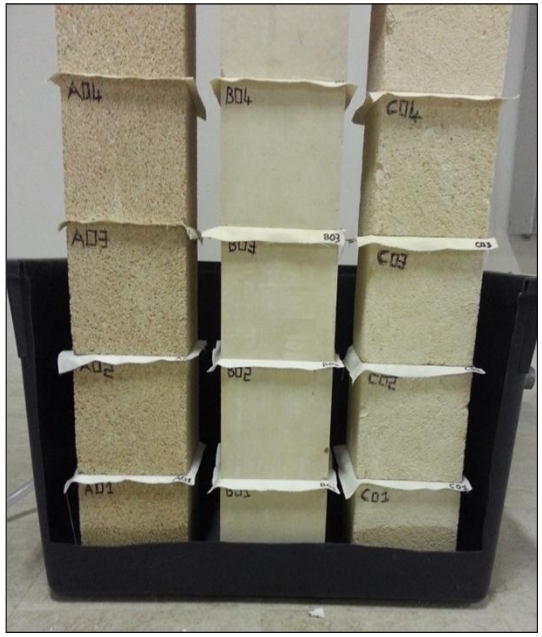


Fig.4 – Blocchi dentro il campo d'azione
A=Carparo B=Pietra leccese C=Tufo

2. ANALISI SPERIMENTALE

• Posizionamento di ciascuna colonna all'interno di vasche asciutte 24 ore prima dell'innesco. Le vasche sono dotate di sistema di riempimento in modo da avere un livello di immersione costante per tutte le colonne;

Fig.5 – Vasca con galleggiante

Fig.6 – Dettaglio del galleggiante

2. ANALISI SPERIMENTALE

• Posizionamento di data logger per ciascun gruppo di colonne al fine di controllare le condizioni microclimatiche al contorno.

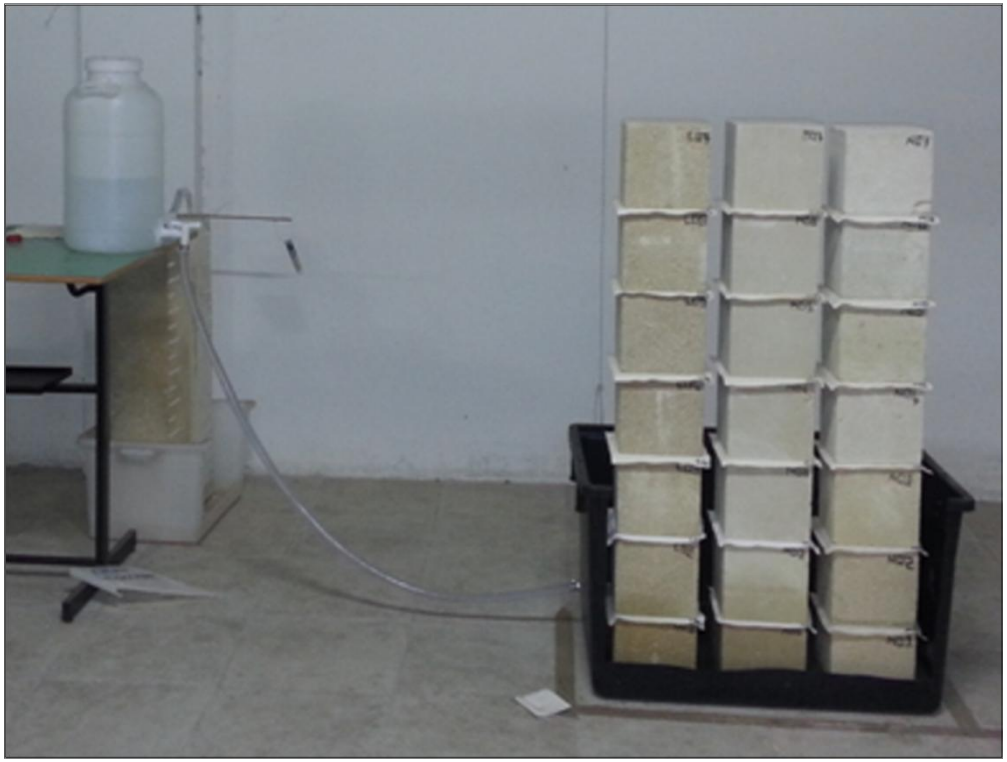


Fig.7 – Sistema fuori il campo d'azione

Fig.8 – Sistema dentro il campo d'azione

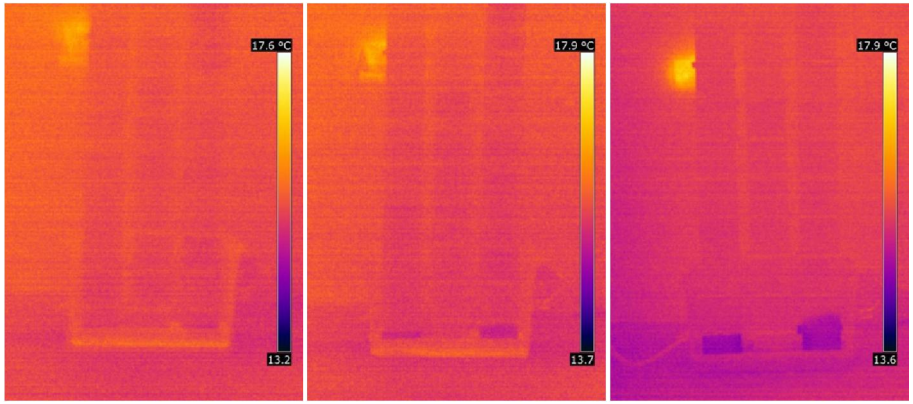
2. ANALISI SPERIMENTALE

La sperimentazione si articola in due differenti fasi:

1. EFFETTI SULLA CAPILLARITÀ IN FASE TRANSITORIA

Verificare l'azione del dispositivo sulle colonne inizialmente asciutte, alimentate alla base con acqua dolce, monitorando il fenomeno a partire dal momento iniziale di innesco della risalita capillare.

DATO QUALITATIVO



DATO QUANTITATIVO

Ogni settimana

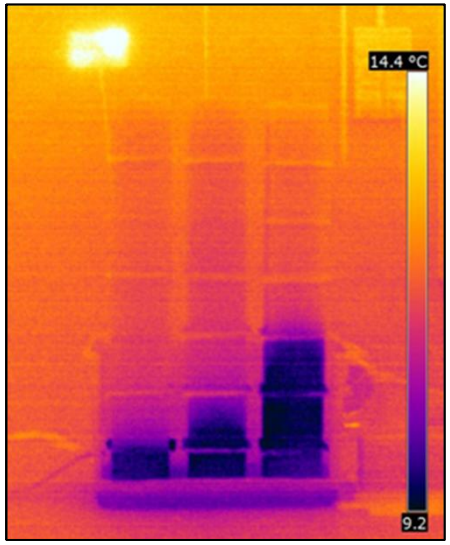
2. ANALISI SPERIMENTALE

2. EFFETTI SULLA CAPILLARITÀ A REGIME

Verificare l'azione del dispositivo partendo dalla situazione stazionaria precedentemente raggiunta (flusso di risalita capillare stabilizzato).

DATO QUANTITATIVO

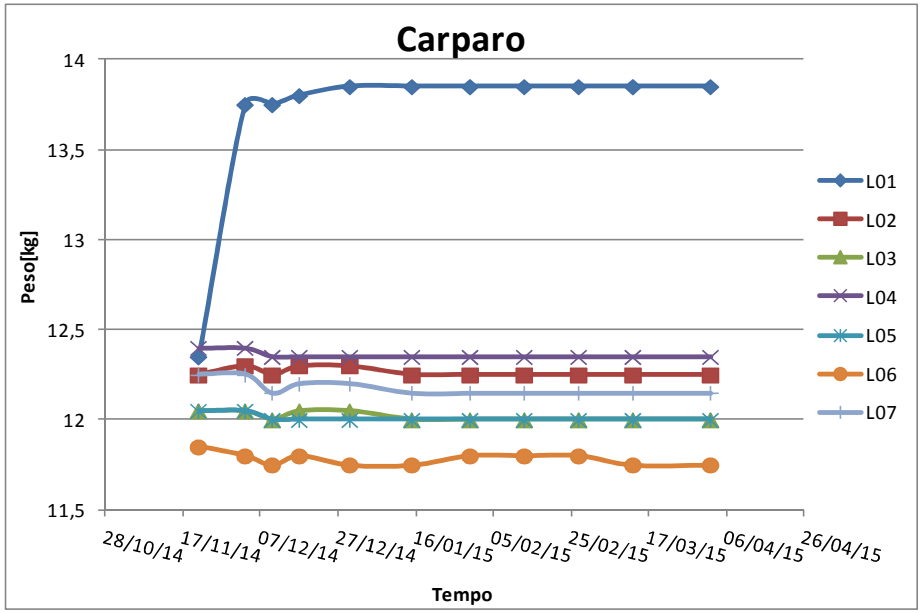
DATO QUALITATIVO

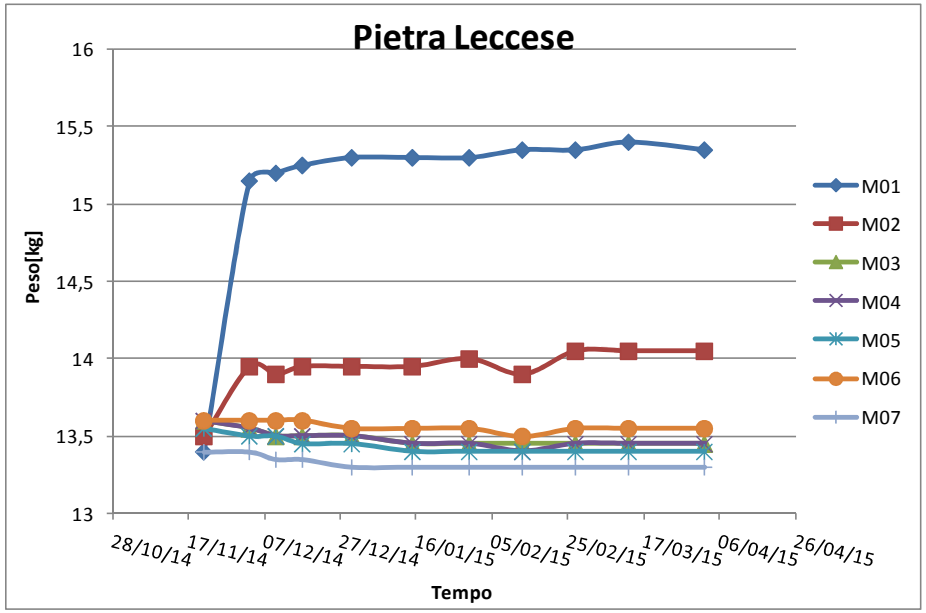


Ogni 2 settimane

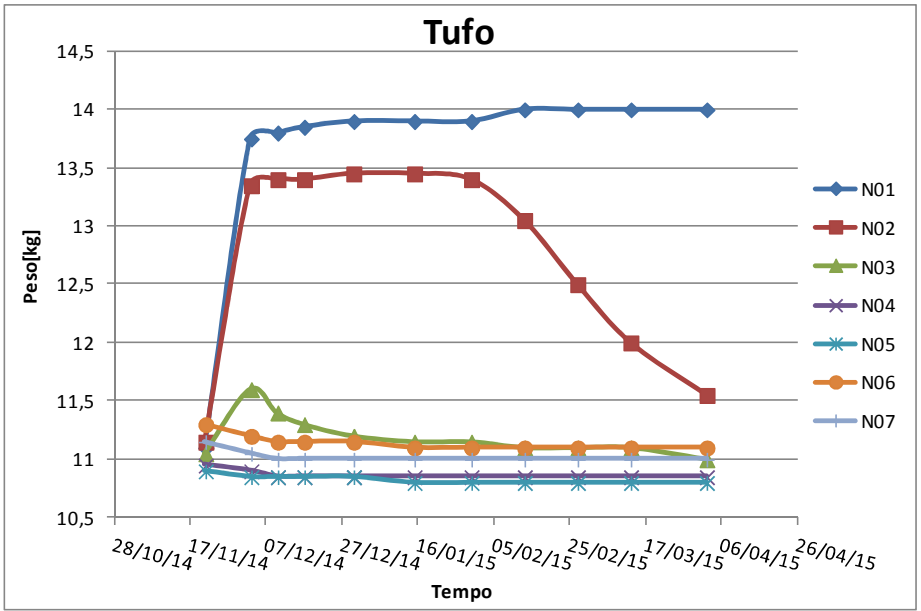
3.ANALISI DEI RISULTATI

FUORI IL CAMPO D'AZIONE





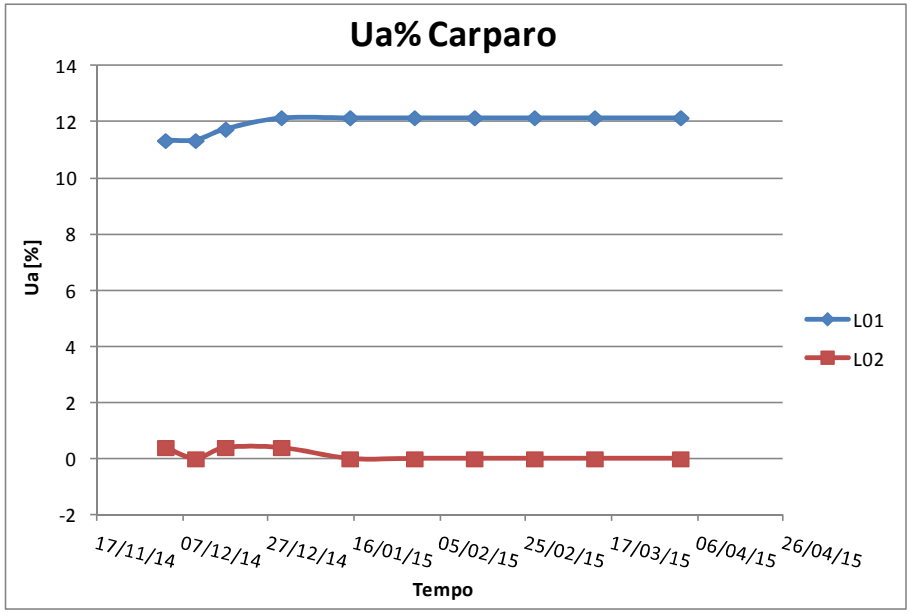
- **Pietra Leccese: Densità 1,7 g/cm³, Porosità 30-40%**
- **Carparo: Densità 1,6 g/cm³, Porosità 30-40%**
- **Tufo: Densità 1,4 g/cm³, Porosità 50%**

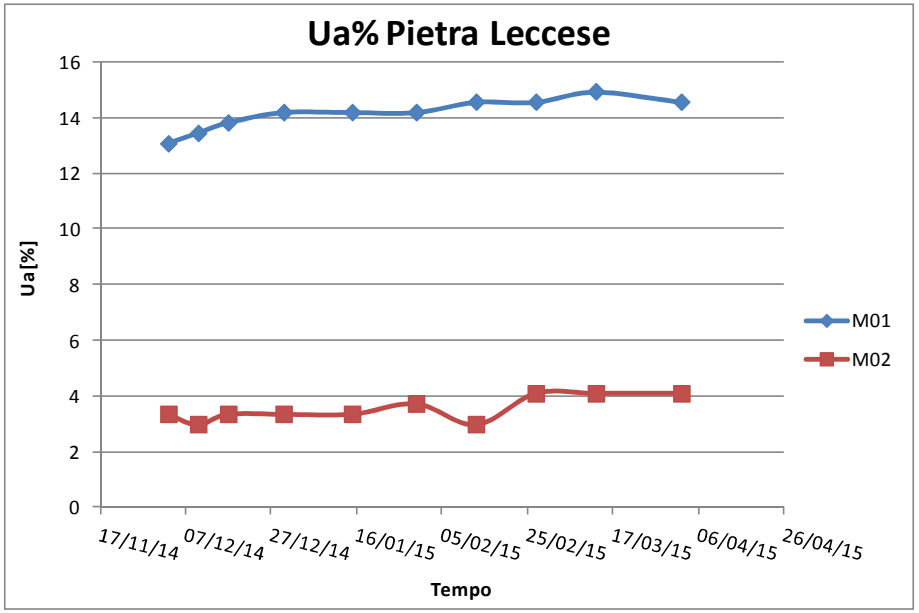


3.ANALISI DEI RISULTATI

PERCENTUALI PONDERALI FUORI IL CAMPO D'AZIONE

$$U_a = (m_u - m_a) * \frac{100}{m_a}$$





- L01 = 12%
- L02 = 0%

- M01 = 14%
- M02 = 3%

3.ANALISI DEI RISULTATI

ESITO TERMOGRAFICO

27 Novembre 2014

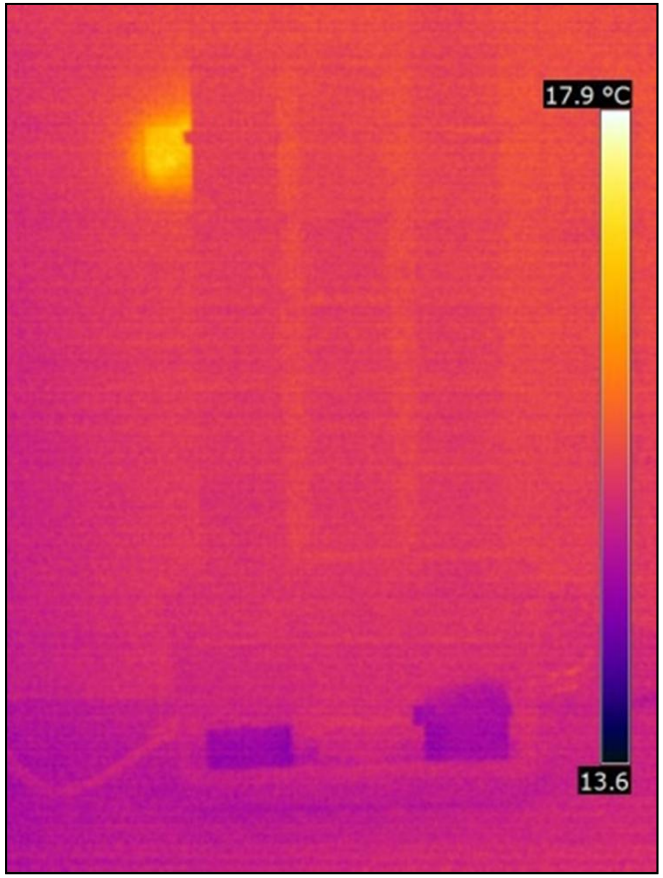


Fig.9 – Sistema dentro il campo d'azione

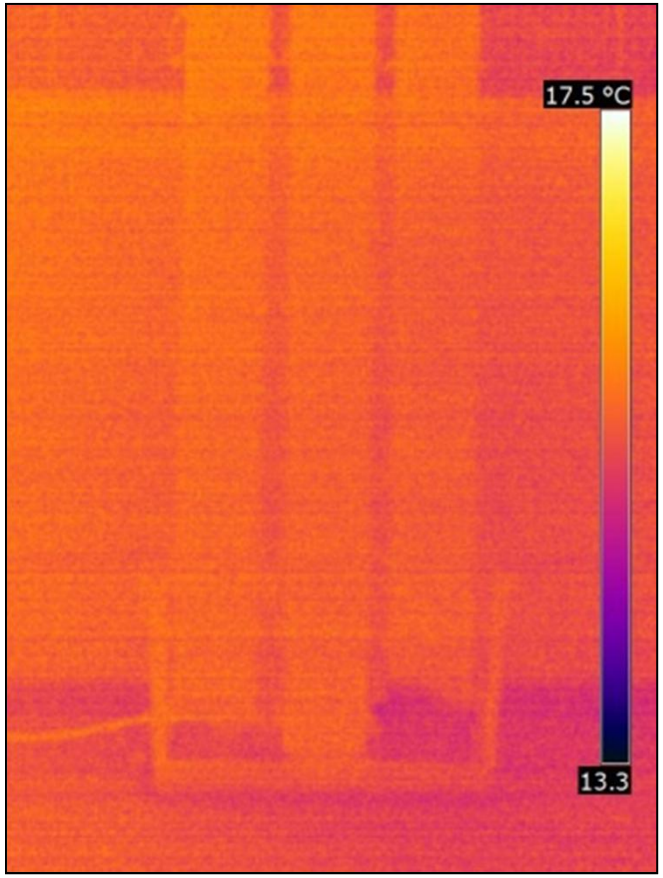


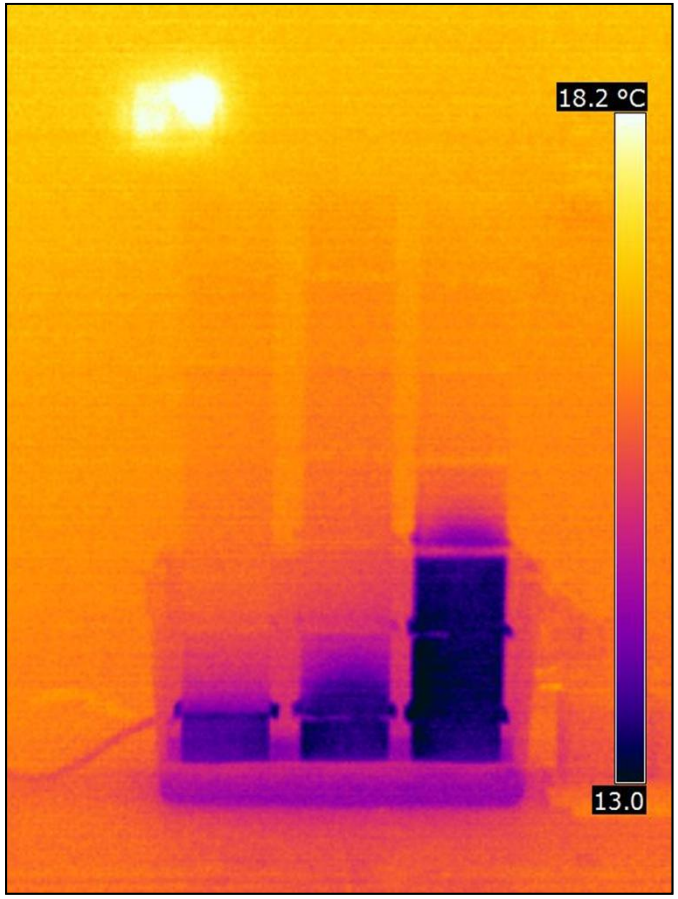
Fig.10 – Sistema fuori il campo d'azione

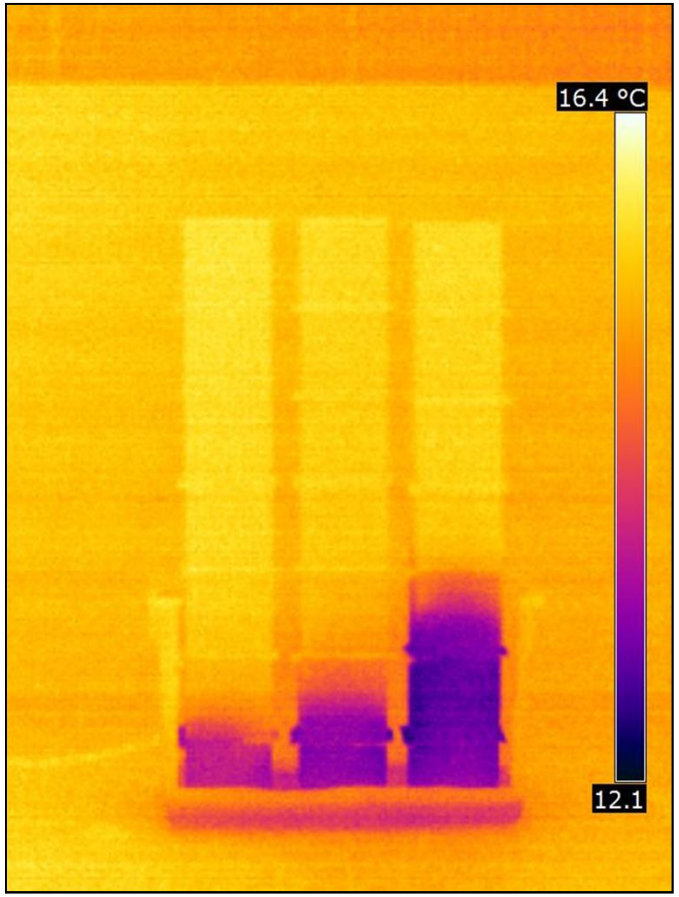
Dopo 4 ore

3.ANALISI DEI RISULTATI

ESITO TERMOGRAFICO

12 Dicembre 2014



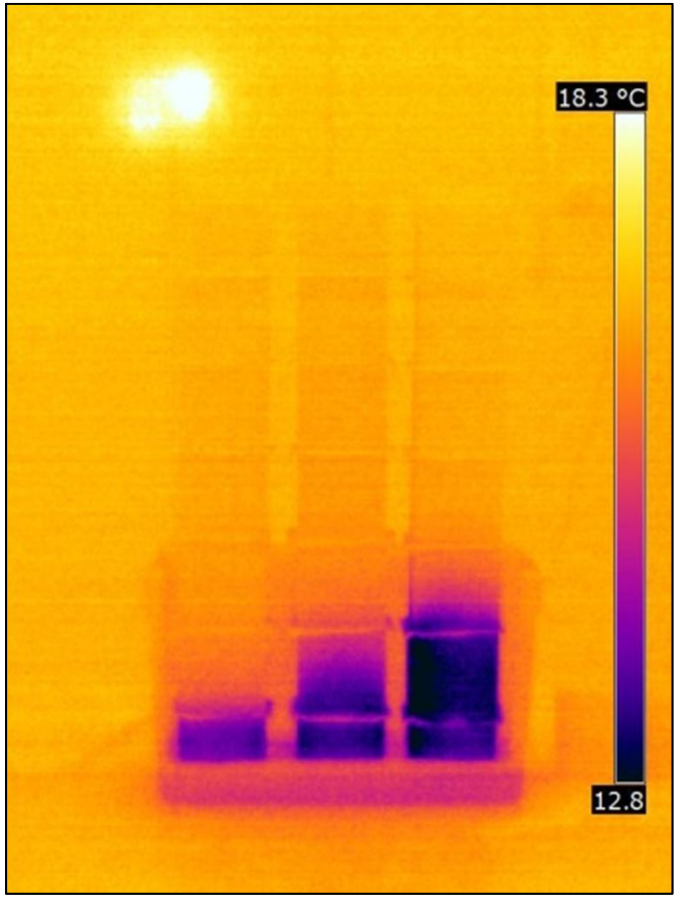


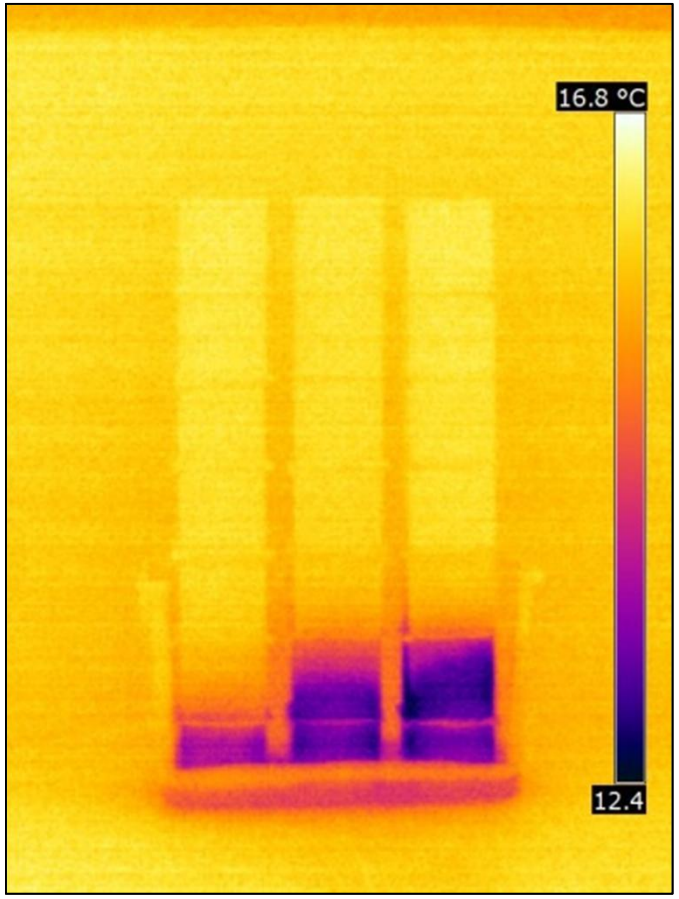
Dopo 15 giorni – Massima altezza di risalita

3.ANALISI DEI RISULTATI

ESITO TERMOGRAFICO

2 Aprile 2015





Dopo 126 giorni

GRAZIE PER L’ATTENZIONE

paolo.congedo@unisalento.it