



TERMOGRAFIA E INNOVAZIONE DIGITALE: tecniche e tecnologie al servizio della diagnostica

Arch. Massimo Cotti
SMILE-Digital Innovation Hub

Parma 14 novembre 2024

Contenuti della presentazione

1. Prove non distruttive (PND): la qualificazione del personale
2. Aspetti principali di una diagnosi termografica (aspetti normativi)
3. Campi di applicazione delle termografia
4. Casi d'uso

Grazie alla loro abilità nel vedere le radiazioni di calore, i serpenti a sonagli percepiscono all'istante la presenza di prede e nemici, anche nell'oscurità.





La qualificazione del personale

UNI EN ISO 9712:2022 - Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive:

La norma specifica i requisiti per la qualificazione e la certificazione del personale che esegue prove non distruttive industriali (PND) nei seguenti metodi:

- a) prove di emissione acustica;
- b) prove di correnti indotte;
- c) prove di tenuta (escluse le prove di pressione idraulica);
- d) prove magnetoscopiche;
- e) prove di liquidi penetranti;
- f) prove radiografiche;
- g) prove di estensimetria
- h) prove termografiche; ←
- i) prove ad ultrasuoni;
- j) Prove visive



Introduzione (ISO 9712:2021):

«Dal momento che l'efficacia di tutte le applicazioni di prove non distruttive (PND) dipende dalle capacità delle persone che eseguono la prova o ne sono responsabili, è stata sviluppata una procedura per fornire un mezzo di valutazione e documentazione della competenza del personale i cui doveri richiedono l'appropriata conoscenza teorica e pratica delle prove non distruttive da eseguire, specificare, supervisionare, monitorare o valutare»

Importanza della formazione del personale che esegue la prova, della scelta e conoscenza della strumentazione e dell'ambito nel quale la prova viene eseguita



La qualificazione del personale

UNI EN ISO 9712 – capitolo 8: prevede 3 livelli di certificazione del personale:

UNI EN ISO 9712, 8.2 – Livello 1

Il personale dimostra la competenza necessaria ad eseguire PND secondo le istruzioni (scritte) e sotto la supervisione di personale di livello superiore (2 o 3)

Il livello 1 può:

- regolare l'attrezzatura PND
- eseguire le prove
- registrare e classificare i risultati secondo criteri (scritti)
- stendere un rapporto dei risultati

Il livello 1 non è responsabile:

- della tecnica e del metodo PND utilizzato
- dell'interpretazione dei risultati



Esecuzione della prova

UNI EN ISO 9712, 8.2 – Livello 2

Il personale dimostra la competenza necessaria ad eseguire PND secondo le procedure PND

Il livello 2, oltre alle competenze di livello 1, può:

- selezionare la tecnica e il metodo PND da utilizzare
- definire i limiti di applicazione del metodo di prova
- tradurre i codici, le norme, le specifiche e le procedure PND in istruzioni PND adattate alle effettive condizioni lavorative
- regolare e verificare le attrezzature
- eseguire e sovrintendere le prove
- interpretare e valutare i risultati secondo le norme, i codici, le specifiche e le procedure applicabili
- fornire assistenza ad altri livelli 1 o 2
- redigere i rapporti delle PND



Interpretazione della prova

UNI EN ISO 9712, 8.3 – Livello 3

Il personale dimostra la competenza necessaria ad eseguire e dirigere PND

Il livello 3, oltre alle competenze di livello 2, può:

- assumersi piena responsabilità di un laboratorio PND e del relativo personale
- stabilire, riesaminare e convalidare le istruzioni e le procedure PND
- interpretare norme, codici, specifiche e procedure
- eseguire, sovrintendere e fornire assistenza a tutti i livelli (1, 2 e 3)
- identificare altre prove PND idonee al test



Corsi, laboratori, ecc

Diagnosi termografica


Principale quadro normativo di riferimento:

- UNI EN 16714-1:2016 - Prove non distruttive - Prove termografiche
 - Parte 1: Principi generali
(descrive i principi generali per l'applicazione della termografia nelle prove non distruttive)
- UNI EN 16714-2:2016 - Prove non distruttive - Prove termografiche
 - Parte 2: Strumentazione
(descrive le proprietà e i requisiti delle telecamere a infrarossi utilizzate per le prove termografiche non distruttive)
- UNI EN 16714-3:2016 - Prove non distruttive - Prove termografiche
 - Parte 3: Termini e definizioni
(stabilisce i termini e le definizioni per le prove termografiche)



Diagnosi termografica

Procedure per le indagini termografiche (UNI EN 16714-1:2016, Capitolo 6)

Procedura	Tipologia di eccitazione		
	 Attiva – pt.6.3 (regime termico dinamico)	Passiva – pt.6.2 (regime termico stazionario)	
	Utilizza soltanto il flusso di calore dovuto al calore intrinseco dell'oggetto sottoposto a prova.	Le fonti di energia naturali o aggiuntive generano un flusso di calore non stazionario nell'oggetto sottoposto a prova.	
Qualitativa – pt.6.4	Esame dei modelli termici (distribuzione delle radiazioni)		Identifico solo gli elementi
Comparativa – pt.6.5	Grandezze Differenziali (ΔT)	Grandezze Differenziali (ΔT)	Ho un campione ideale e lo confronto con l'elemento oggetto di indagine
Quantitativa – pt.6.6	Grandezze Differenziali (T)	Grandezze Differenziali (T)	Cerco una temperatura

Termografia passiva: utilizzata, per esempio, negli edifici (per esempio per localizzare l'umidità, i ponti termici e le perdite), per l'ispezione dei sistemi elettrici e meccanici e nella diagnostica di processo e dell'installazione.

Termografia attiva: utilizzata per rilevare difetti o discontinuità (per esempio vuoti, distacchi, delaminazione, cricche, variazioni di spessore) per esempio nella produzione industriale e nella manutenzione (per esempio materiali metallici o compositi come componenti di motore e macchina, tecnologia di giunzione).



Diagnosi termografica

Procedure per le indagini termografiche (UNI EN 16714-1:2016, Capitolo 6): operazioni per avere successo

Indagine qualitativa

- Scelta di una termocamera con sensibilità adeguata
- Scelta di una di una sezione d'immagine idonea per una visualizzazione di uno stato non disturbato
- Prevenzione dei riflessi e angolo di visualizzazione adeguato
- Minimizzazione delle possibili interferenze (sorgenti di calore, correnti d'aria, umidità)
- Scelta idonea per quanto riguarda la risoluzione spaziale
- Scelta idonea per la visualizzazione delle scale di temperatura, contrasto, luminosità, intervallo colori, ecc.

Indagine comparativa

- I 6 punti elencati per l'indagine qualitativa e in più:
- Cura nella scelta delle sezioni di immagine per la comparazione
 - Stima dei parametri di misurazione (emissività, Trifl , ecc)
 - Stabilità della taratura della termocamera nel tempo.

Indagine quantitativa

- I 9 punti elencati per l'indagine qualitativa e comparativa e in più:
- Nel caso di indagine attiva, la scelta di un adeguato metodo di eccitazione del campione



Rapporto di prova (capitolo 9): è il documento conclusivo dell'indagine termografica, deve contenere almeno tutti gli elementi indicati al Capitolo 9 della UNI EN 16714-1, fra cui:

- Riferimento alla norma UNI EN 16714
- Scopo e campo di applicazione della prova
- Riferimento all'ordine della prova, data e luogo
- Tecnica utilizzata (come classificato da UNI EN 16714)
- Caratteristiche del rivestimento, se necessarie per migliorare l'emissività
- ecc.

Campi di applicazione

Da ricordare che:

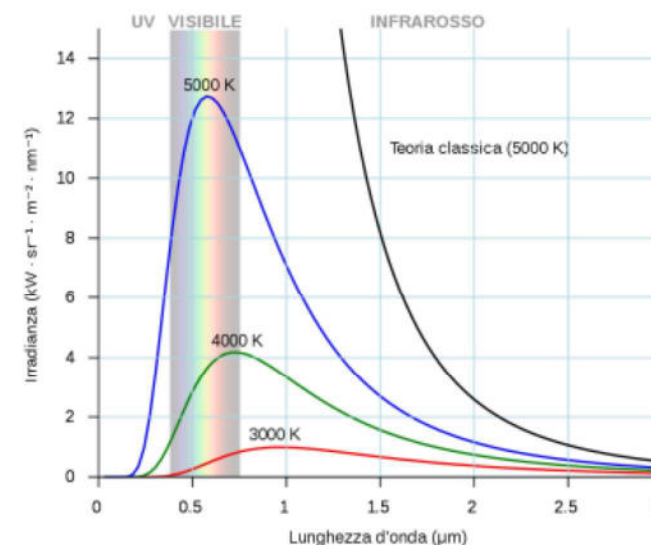
1. ogni oggetto con una temperatura sopra lo zero assoluto (0 Kelvin = - 273,15 °C) emette onde elettromagnetiche
2. come ha dimostrato il fisico Max Planck nel lontano 1900, esiste una correlazione tra la temperatura di un corpo e l'intensità dell'onda elettromagnetica che emette.
3. una termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga (onda elettromagnetica) ricevuti nel suo campo visivo. In base a questi, calcola la temperatura dell'oggetto da misurare.



La termografia (misura della temperatura con una termocamera) è un metodo di misura passivo, senza contatto.

L'immagine termica mostra la distribuzione della temperatura sulla superficie di un oggetto.

Per questa ragione, con una termocamera non è possibile vedere dentro o addirittura attraverso gli oggetti.



La legge di Planck (curve colorate) determina in maniera accurata la radiazione di corpo nero.

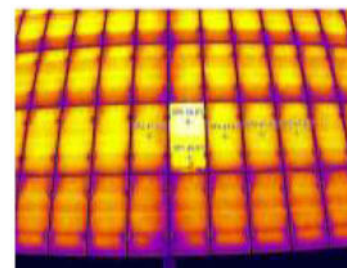
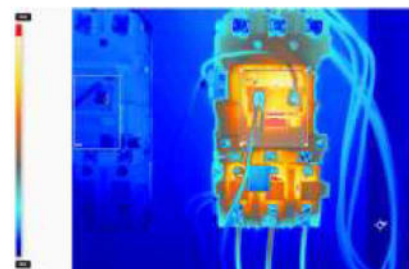
In fisica un corpo nero è un oggetto ideale che assorbe tutta la radiazione elettromagnetica incidente, senza rifletterla

Campi di applicazione

La termografia è quindi applicabile in un qualunque campo in cui una “traccia termica” può avere un significato ben preciso (sia questo qualitativo o quantitativo)

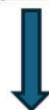


- Campo elettrico: passaggio di corrente elettrica attraverso un conduttore è accompagnato dallo sviluppo di calore (effetto Joule)
- Campo fotovoltaico: ricerca di anomalie (spot) sui pannelli; fare attenzione ai falsi segnali (riflessi, irraggiamento, giunzioni dei pannelli)
(rif. IEC TS 62446-3 - Photovoltaic (PV) systems – Requirements for testing, documentation and maintenance – Part 3: Photovoltaic modules and plants – Outdoor infrared thermography)

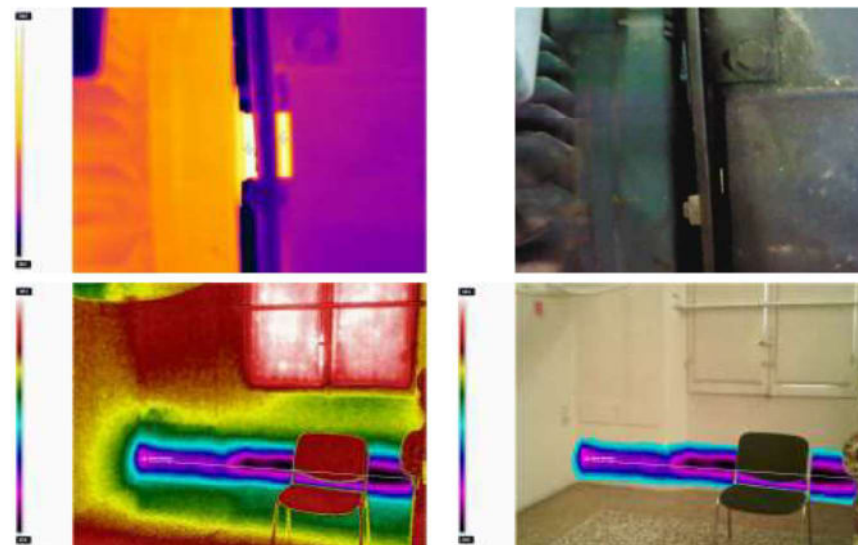


Campi di applicazione

La termografia è quindi applicabile in un qualunque campo in cui una “traccia termica” può avere un significato ben preciso (sia questo qualitativo o quantitativo)



- Campo industriale: ricerca di anomalie termiche rispetto a livelli di criticità noti (es. derivanti a progetto) e monitoraggio
- Campo impiantistico: individuazione di uno schema in opera, verifica del corretto funzionamento rispetto alle previsioni
- Campo ambientale: ricerca dell'impronta “termica” di inquinanti: differenza di temperatura, differenza di comportamento all'infrarosso (emissività acqua nota $\varepsilon = 0,96$)
- Mappatura su ampia scala: mappatura urbana (edifici più o meno caldi), mappatura vegetale (differente riflessione significa diversi stati di sviluppo della vegetazione o diverse tipologie vegetali), ecc.

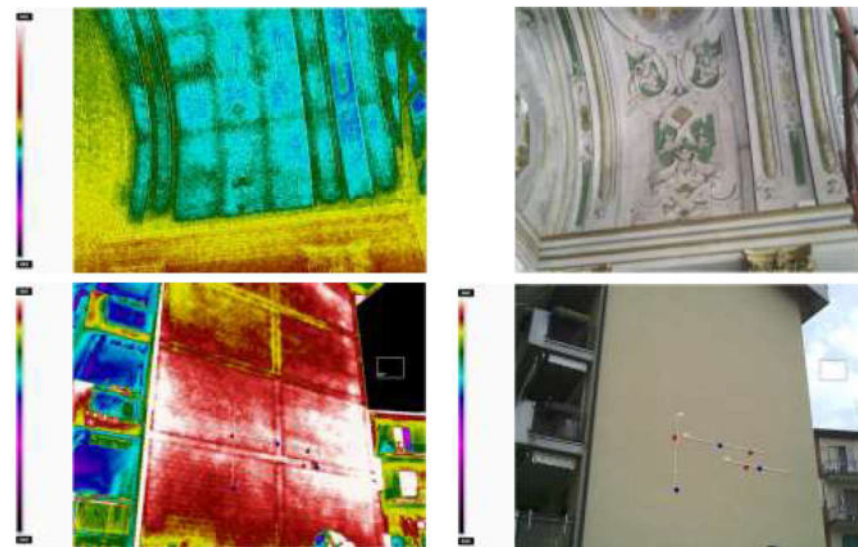


Campi di applicazione

La termografia è quindi applicabile in un qualunque campo in cui una “traccia termica” può avere un significato ben preciso (sia questo qualitativo o quantitativo)



- Diagnostica beni architettonici e restauro
- Campo architettonico: individuazione e studio delle dispersioni energetiche per trasmissione e ventilazione
- Altri settori.....



Casi d'uso

La strumentazione:

FLIR E96 di FLIR Systems con obiettivi da 10mm, 17mm e 24mm

Drone MAVIC 3T di DJI

IR Resolution	640x480 pixels
FOV	42° × 32°, 42° 24° × 18°, 24° 14° × 10°, 14°
IFOV	1,20 mrad/pixel, 42° 0,66 mrad/pixel, 24° 0,38 mrad/pixel, 14°
NETD	< 30 mK 42° @ +30 °C <40 mK, 24° @ +30°C <50 mK, 14° @ +30°C
Image Frequency	50 Hz
Accuracy	+/- 2 °C



Autonomia di volo	45 minuti
Fotocamera grandangolare	CMOS da 1/2"
Zoom ibrido	56x
DFOV Termocamera	61°
Lunghezza focale equivalente	40 mm
Risoluzione	640x512 px

Nota:

La strumentazione termografica è ovviamente corredata di tutti quei sensori che servono per la misurare di parametri specifici:

- Umidità dell'aria
- Temperatura dell'aria
- Temperatura riflessa: secondo la norma ISO 18434-1 il calcolo può essere eseguito con la stessa termocamera tramite l'applicazione di due metodi:
 - Metodo diretto
 - Metodo tramite riflettore
- Emissività di una superficie (se necessario)
- Temperatura diretta della superficie (termocoppie a contatto), se necessario

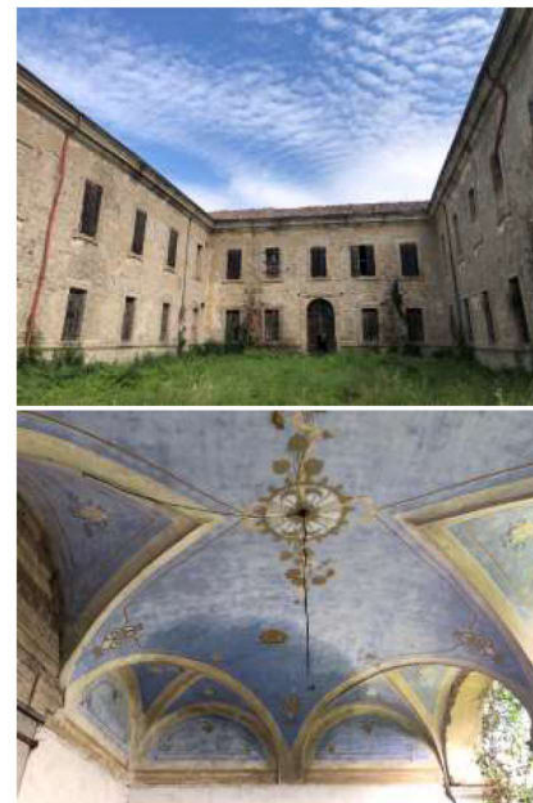


Villa Carona – località Fornovo Taro (PR)

Obiettivi dell'indagine (in accordo con Linee Guida 2011 – Patrimonio culturale, cap.4)

- Individuazione delle tessiture murarie negli impalcati a volta;
- Individuazione di lesioni (di tipo passante) negli elementi architettonici (pareti, impalcati)
- Mappatura dello stato di distacco degli intonaci storici dall'apparato murario;
- Tracce di umidità di risalita nelle murature;
- Presenza di nicchie nelle muratura portanti.

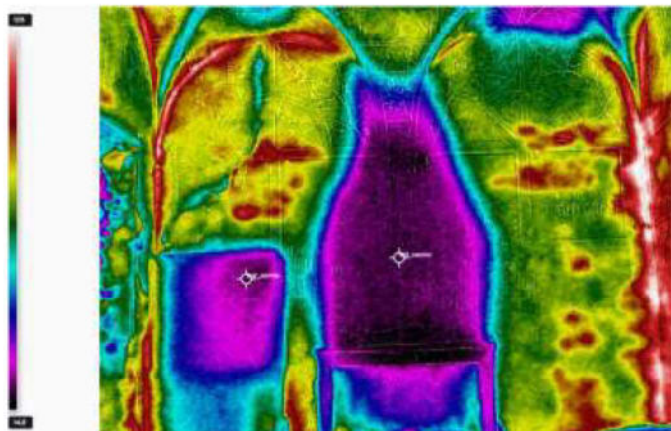
Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva e passiva.



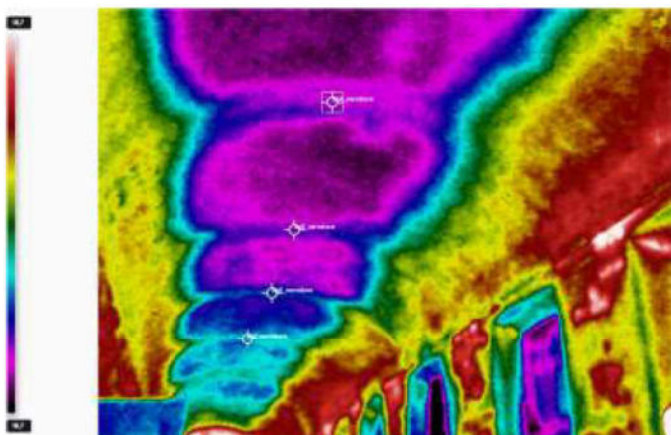
Attività di ricerca svolta nell'ambito di una collaborazione con «MADlab - Laboratorio di Monitoraggio, Analisi e Diagnostica del costruito», Dipartimento di Ingegneria e Architettura (DIA), Università degli Studi di Parma, <https://www.madlab.unipr.it/>, su incarico del Collegio Maria Luigia di Parma



Villa Carona - località Fornovo Taro (PR)



Individuazione di discontinuità interne al paramento murario e lesioni nella tessitura muraria



Individuazione delle nervature estradossali della volta a botte

Palazzo Pallavicino - Parma (PR)

Obiettivi dell'indagine (in accordo con Linee Guida 2011 – Patrimonio culturale, cap.4)

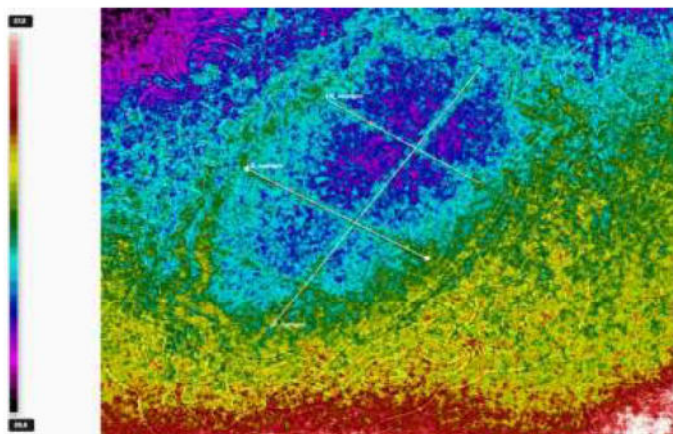
- Individuazione delle tessiture murarie negli impalcati a volta;
- Individuazione delle volte a struttura leggera (tipo cannicciato)
- Mappatura dello stato di distacco degli intonaci storici in corrispondenza di affreschi
- Mappatura dei supporti delle decorazioni;
- Mappatura delle nicchie interne alla muratura portante



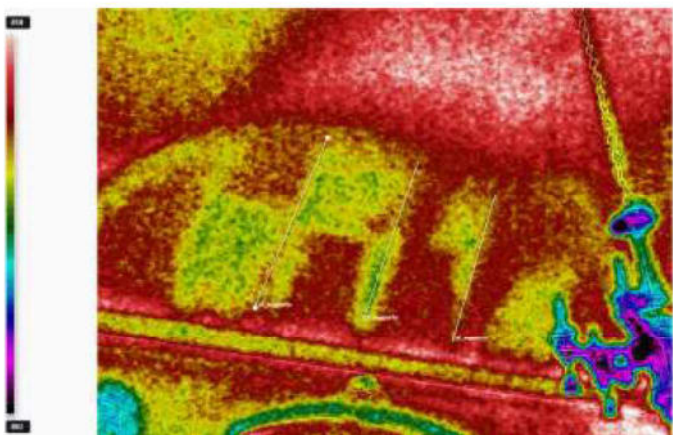
Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva e passiva.

Attività di ricerca svolta nell'ambito di una collaborazione con «MADlab - Laboratorio di Monitoraggio, Analisi e Diagnostica del costruito», Dipartimento di Ingegneria e Architettura (DIA), Università degli Studi di Parma, <https://www.madlab.unipr.it/>, committente Fondazione CariParma

Palazzo Pallavicino - Parma (PR)

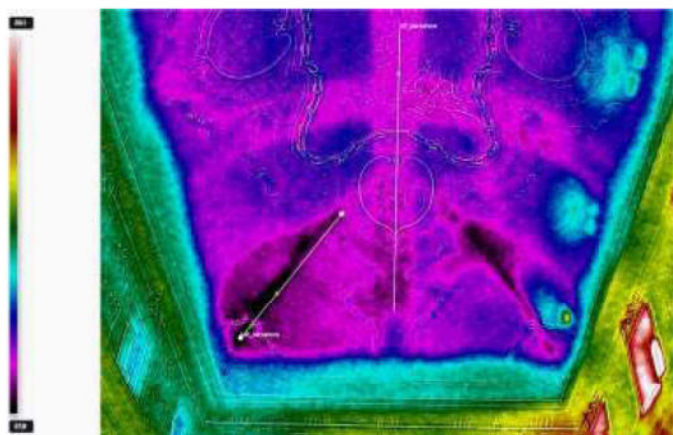


Individuazione degli elementi di sostegno alla volta in canniccio

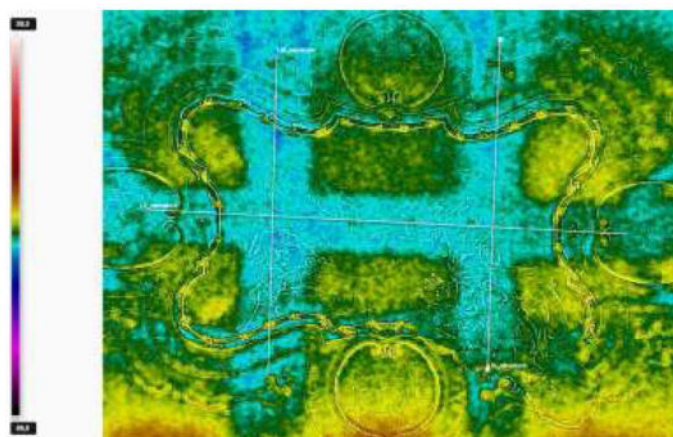


Individuazione degli elementi di sostegno alla volta in canniccio

Palazzo Pallavicino - Parma (PR)



Individuazione delle nervature estradossali nella volta in muratura



Individuazione delle nervature estradossali nella volta in muratura

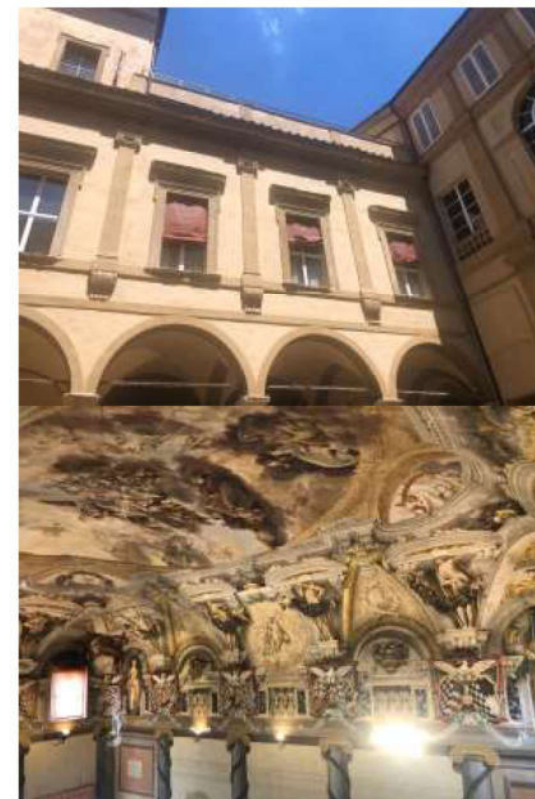


Palazzo Pepoli Campogrande – Bologna (BO)

Obiettivi dell'indagine (in accordo con Linee Guida 2011 – Patrimonio culturale, cap.4)

- Individuazione delle tessiture murarie
- Individuazione delle volte a struttura leggera (tipo cannicciato)
- Mappatura dello stato di distacco degli intonaci storici in corrispondenza di affreschi
- Mappatura dei supporti delle decorazioni
- Mappatura delle nicchie interne alla muratura portante
- Individuazione impianti esistenti

Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva e passiva.

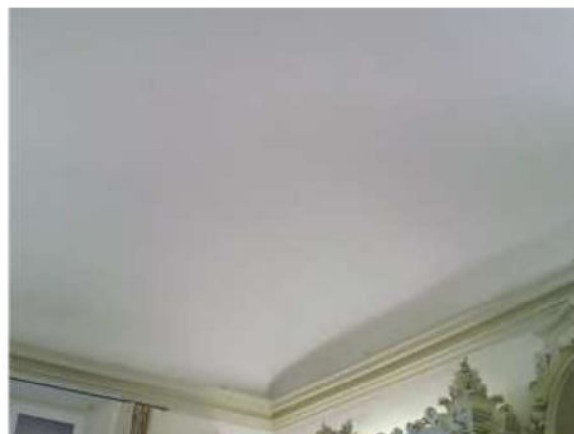
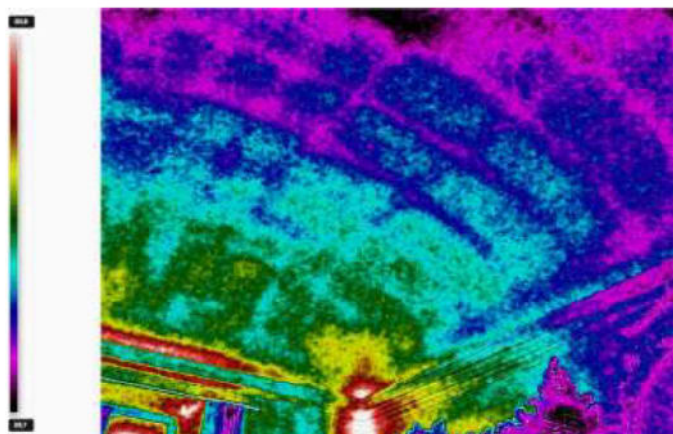


Attività di ricerca svolta nell'ambito di una collaborazione con «CICCREI - Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Conservazione, la Costruzione e la Rigenerazione di Edifici e Infrastrutture», Università degli Studi di Parma, <https://www.unipr.it/node/31778>, committente Musei Nazionali di Bologna – MiC

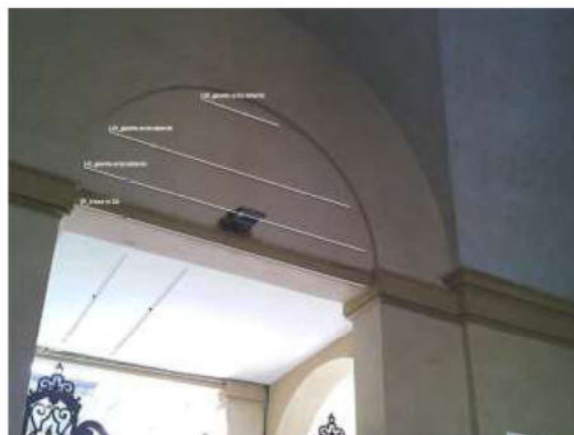
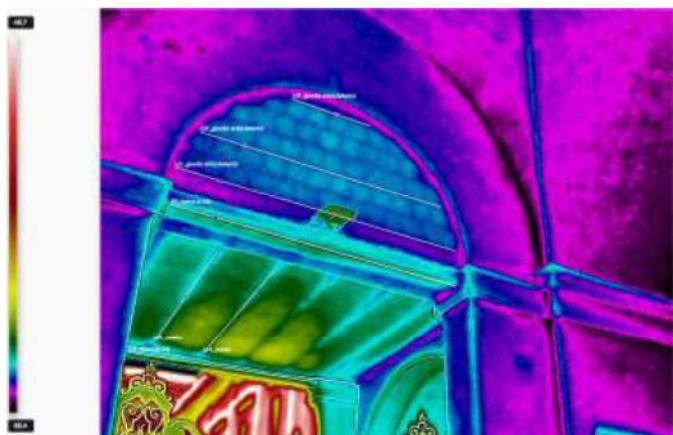


CICCREI
Centro Interdipartimentale di Ricerca per la Costruzione,
la Conservazione e la Rigenerazione di Edifici e Infrastrutture
UNIVERSITÀ
di Parma

Palazzo Pepoli Campogrande – Bologna (BO)

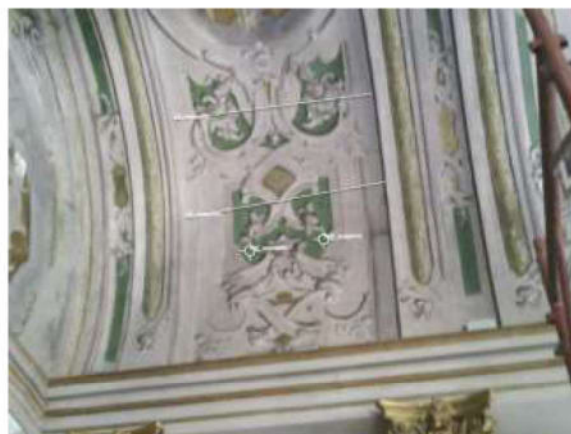
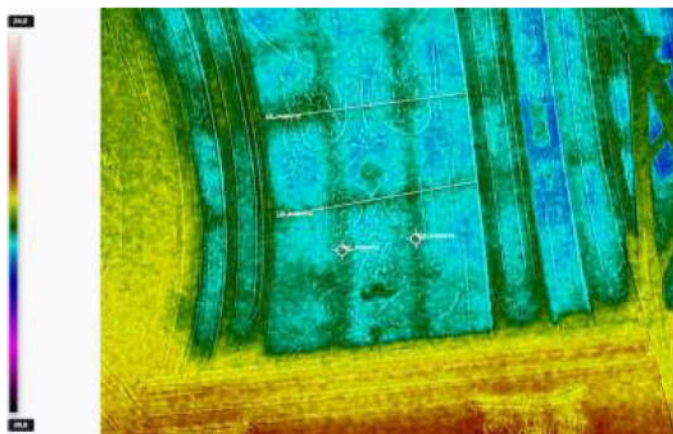


Individuazione degli elementi di sostegno alla volta in canniccio

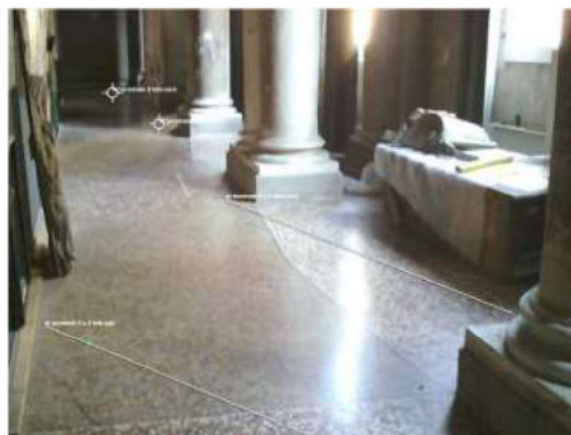
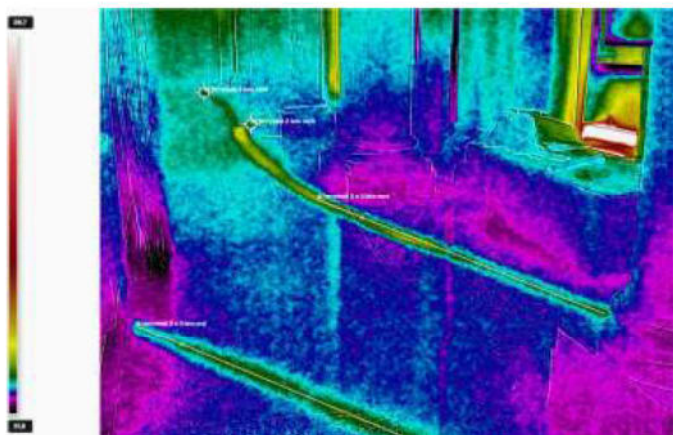


Individuazione della tessitura muraria sotto intonaco

Palazzo Pepoli Campogrande – Bologna (BO)



Individuazione degli elementi di sostegno alla volta in canniccio



Individuazione degli impianti esistenti posto sotto pavimento

Edificio per uffici – Verona (VR)

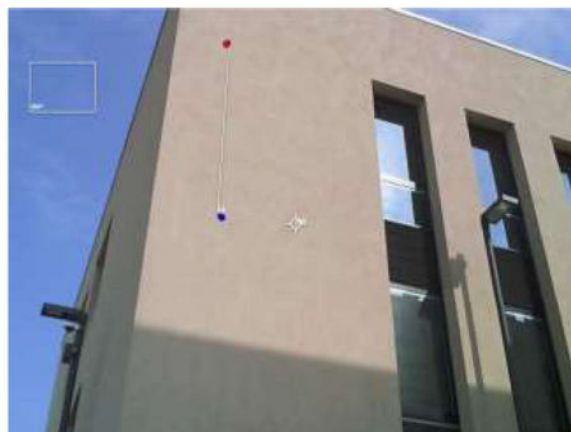
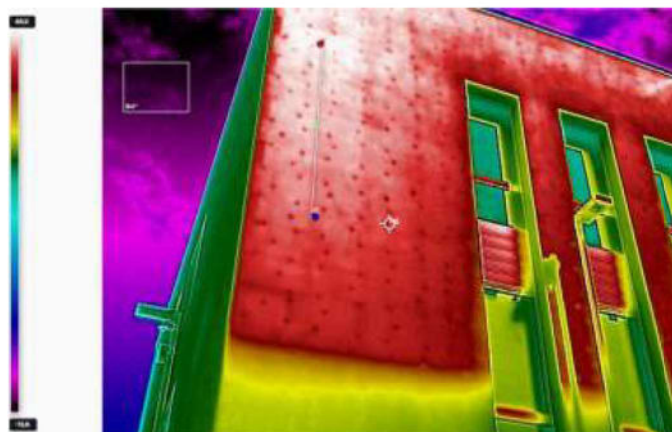
Obiettivi dell'indagine

- Individuazione continuità dell'isolamento a cappotto;
- Verifica della corretta posizione dei fissaggi meccanici (tassellatura)

Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva.



Edificio per uffici – Verona (VR)



Verifica della corretta posa in opera di un rivestimento esterno a cappotto



Verifica della corretta posa in opera di un rivestimento esterno a cappotto (dettaglio)

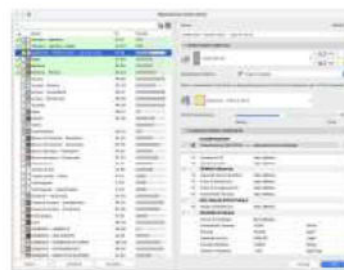
Edificio scolastico – Sant’Ilario d’Enza (RE)

Obiettivi dell’indagine

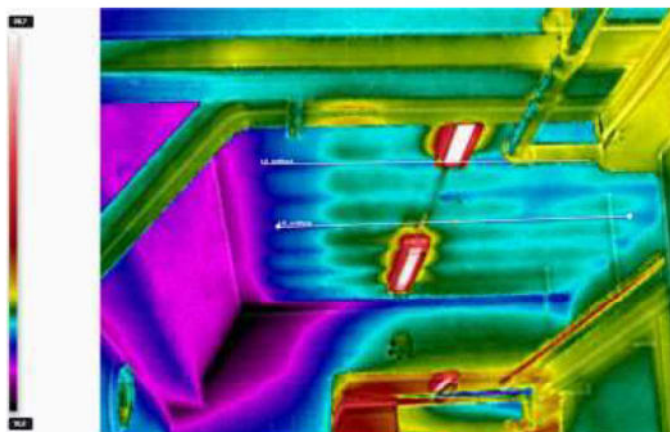
- Verifica del contenuto di umidità nelle strutture (prima dell’esecuzione di interventi di isolamento);
- Supporto ad indagini diagnostiche (NTC 2018, cap.8)
 - Individuazione anomalie negli impalcati di solaio;
 - Individuazione componenti edilizi;

Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva e passiva.

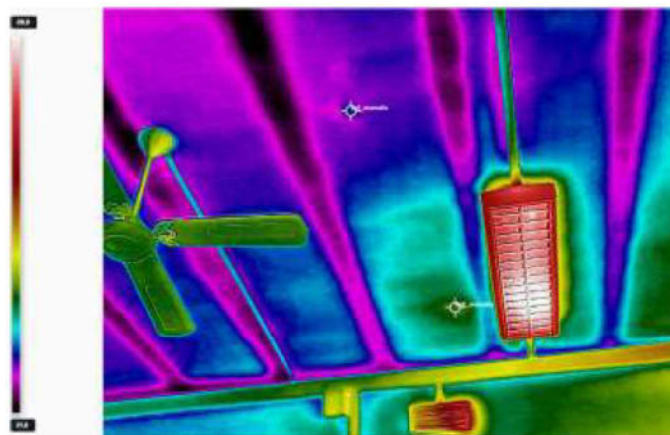
Le informazioni di diagnostica (rif. NTC 2018, cap. 8) sono confluite all’interno di un modello BIM



Edificio scolastico – Sant’Ilario d’Enza (RE)

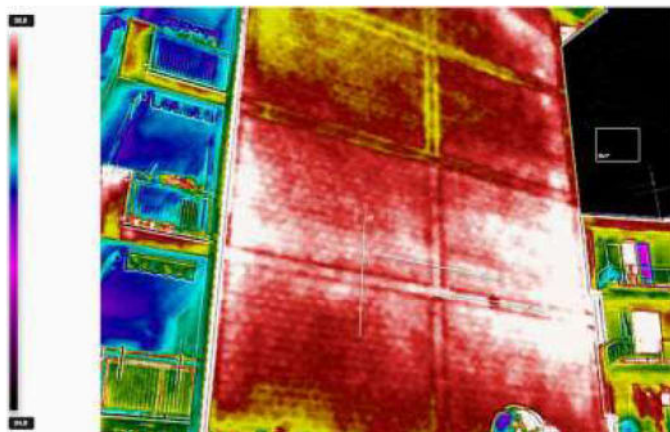


Indagini preliminari sulle orditure degli impalcati di solaio

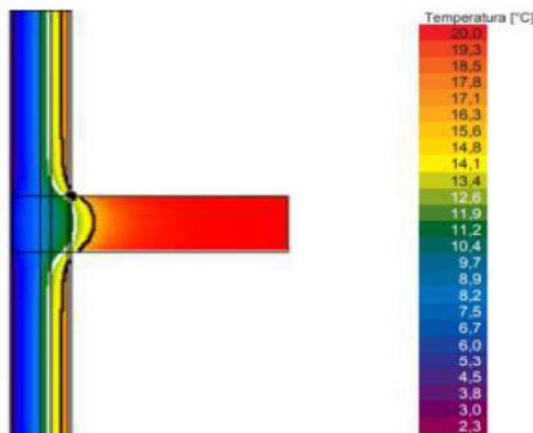


Ricerca di anomalie nelle superfici di rivestimento (indagini per verifica rischio innesco fenomeni di sfondellamento)

Edificio residenziale – Verona (VR)



Individuazione del ponte termico in corrispondenza del pilastro e dell'impalcato di solaio



Analisi FEM (software IRIS – ANIT) del nodo indagato



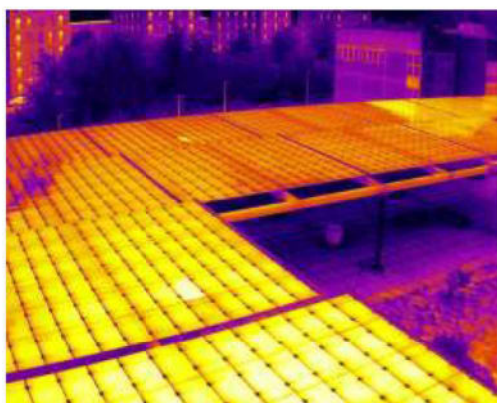
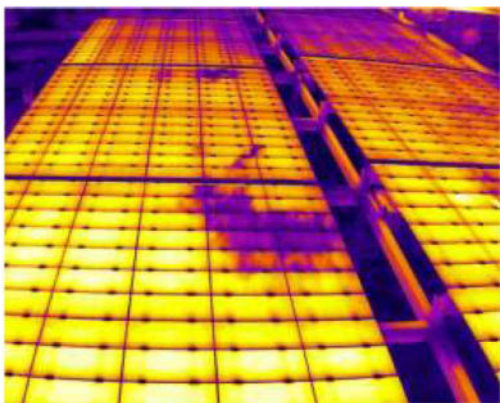
Si andranno a comparare i profili delle temperature derivanti da calcolo con quelli reali

Campus Universitario di Parma (PR)

Obiettivi dell'indagine (riferimento norma IEC TS 62446-3)

- Individuazione anomalie termiche (su pannelli e componentistica).

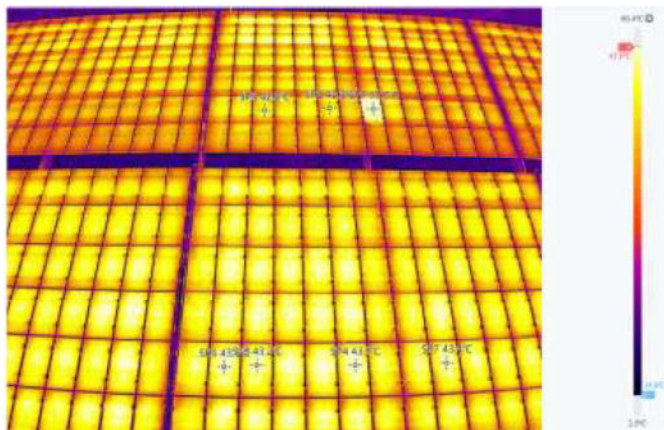
Procedura termografica utilizzata: qualitativa con eccitazione attiva.



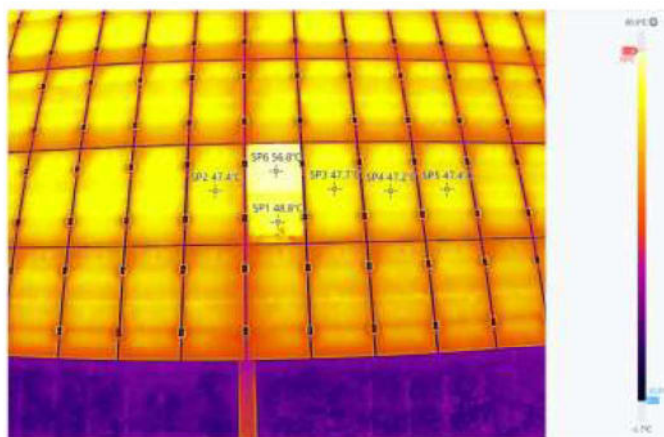
Attenzione alle riflessioni



Campus Universitario di Parma (PR)



Individuazione di anomalia termica su pannello solare



Individuazione di anomalia termica su pannello solare (dettaglio)



Grazie per l'attenzione



<https://www.smile-dih.eu>



se@smile-dih.eu



massimo.cotti@unipr.it

