



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

PROGETTARE LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI STORICI

Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

Bari, 19 ottobre 2023

Ing. Silvia Di Turi - DUEE SPS ESU

Laboratorio Efficienza Energetica negli Edifici e Sviluppo Urbano



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

Agenda

- Termografia e riferimenti normativi
- Usi e finalità nelle diagnosi energetiche degli edifici
- Richiami teorici
- Principi di funzionamento di una termocamera
- Parametri operativi fondamentali
- Esempi pratici
- Esempi applicativi in edifici storici

Termografia e riferimenti normativi

Cos'è la termografia

«Tecnica di misura della distribuzione di temperatura sulla superficie di un corpo ottenuta individuando, attraverso particolari strumenti, le radiazioni infrarosse da esso emesse.»

Strumenti e dispositivi termici

Termocamere

Telecamere a infrarossi

Riferimenti normativi principali

- UNI EN 11867:2022 “Prove non distruttive - Prove termografiche - Indicazioni generali per il corretto utilizzo della termografia all'infrarosso
- UNI EN ISO 9712:2022 “Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive - Principi generali

Termografia e riferimenti normativi

- EN ISO 7345 Thermal insulation - Physical quantities and definitions [Isolamento termico - Grandezze fisiche e definizioni] (ISO 7345:1987)
- EN ISO 9288:1996 Thermal insulation - Heat transfer by radiation - Physical quantities and definitions [Isolamento termico - Scambio termico per radiazione - Grandezze fisiche e definizioni] (ISO 9288:1989)
- UNI ISO 9869-1:2015 Isolamento termico - Elementi per l'edilizia - Misurazione in situ della resistenza termica e della trasmittanza termica - Parte 1: Metodo del termoflussimetro.
- UNI EN ISO 6781-3:2016 Prestazione degli edifici - Rivelazione delle irregolarità di calore, aria e umidità negli edifici per mezzo del metodo all'infrarosso - Parte 3: Qualificazione degli operatori delle attrezzature, degli analisti dei dati e dei redattori dei rapporti. Recepisce: EN ISO 6781-3:2015
- UNI EN 13187:2000 Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo all'infrarosso
- UNI EN 16714-1:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 1: Principi generali.
- UNI EN 16714-2:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 2: Strumentazione.
- UNI EN 16714-3:2016 Prove non distruttive - Prove termografiche - Parte 3: Termini e definizioni
- UNI EN ISO 9712:2012 Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive.
- UNI/TS 11300-1:2014 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- ISO 10880:2017 Non-destructive testing - Infrared thermographic testing - General principles
- ISO 18251-1:2017 Non-destructive testing - Infrared thermography Characteristics of system and equipment

Usi e finalità nelle diagnosi energetiche

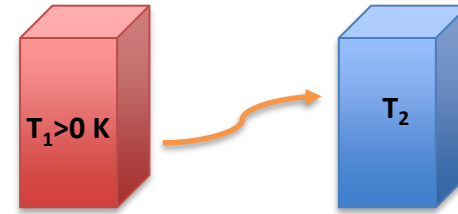
L'ispezione termografica in ambito edile aiuta ad individuare:

- Dispersioni termiche
- Mancanze o difetti di isolamento
- Infiltrazioni d'aria
- Umidità nelle strutture
- Muffe
- Ponti termici
- Infiltrazioni d'acqua sui tetti piani
- Rotture nei tubi di acqua calda
- Guasti nella linea di alimentazione e nel riscaldamento
- Guasti elettrici

Richiami teorici

Trasmissione del calore per irraggiamento

- Tutti i corpi caldi ad una temperatura superiore allo zero assoluto ($T > -273 \text{ °C}$) emettono energia per irraggiamento.
- Questa energia si trasmette dal corpo 1 con onde elettromagnetiche (non necessitano di un corpo fisico per la propagazione) nel campo dell'infrarosso.
- Il corpo 2 riceve l'energia irraggiata e si riscalda.
- Più caldo è l'oggetto, maggiore è la quantità di radiazioni infrarosse emesse.



A diagram of a 3D rectangular block. Three types of radiation are shown: orange wavy arrows labeled 'Emessa T_e ' pointing away from the block, blue wavy arrows labeled 'Riflessa T_r ' reflecting off the block, and red wavy arrows labeled 'Trasmessa T_t ' passing through the block. A dashed circle around the block is labeled T .

Legge di Stefan Boltzmann

$$Q = \sigma \epsilon_e T_e^4 + \sigma \epsilon_r T_r^4 + \sigma \epsilon_t T_t^4$$

Tutti i corpi in parte emettono (ϵ), in parte riflettono (ρ) e in parte trasmettono (τ) radiazioni

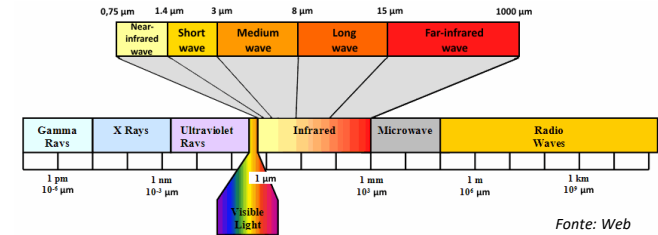
$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

Principi di funzionamento di una termocamera

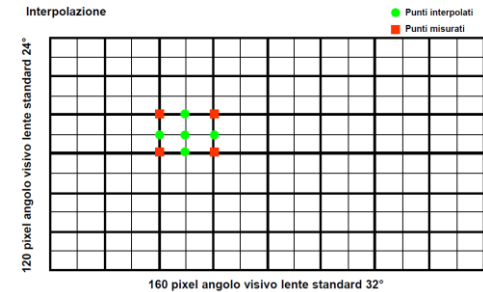
- Una termocamera è un dispositivo in grado di registrare le radiazioni emesse da un corpo nell'infrarosso (8–14 μm).
- Considerando che la fonte principale della radiazione infrarossa è il calore o radiazione termica, qualsiasi oggetto emette radiazioni nell'area dell'infrarosso.
- La termocamera trasforma l'immagine ad infrarossi in un'immagine radiometrica, registra l'intensità della radiazione nel range degli infrarossi, invisibile all'occhio umano, e la converte in un'immagine visibile, i cui pixel contengono l'informazione dei valori di temperatura registrati (misura indiretta).



Fonte: Flir

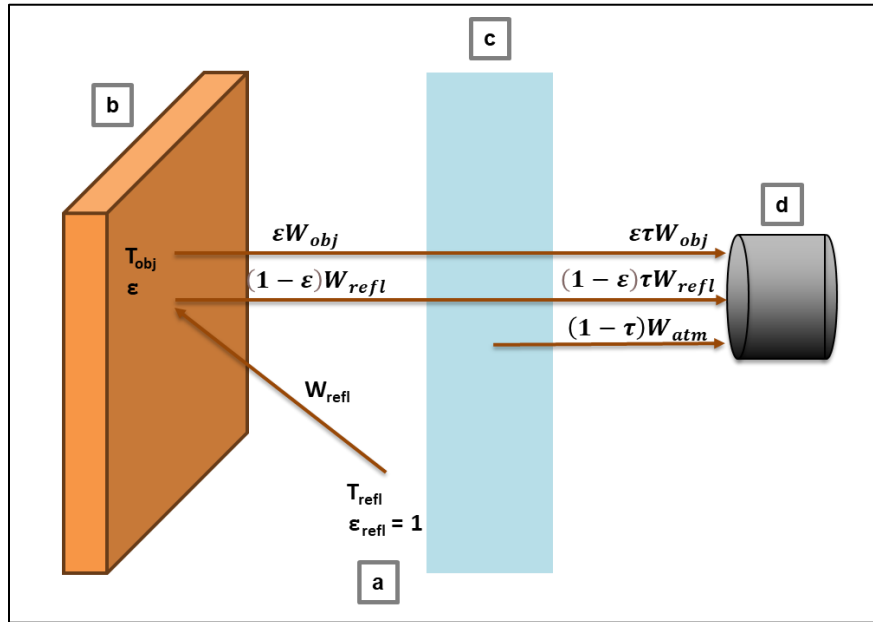


Fonte: Web



Fonte: Testo

Principi di funzionamento di una termocamera



Indicando con T_{obj} la temperatura dell'oggetto, T_{atm} quella dell'atmosfera, T_{refl} quella dell'ambiente emittente, ε l'emissanza dell'oggetto e τ la trasmittanza dell'atmosfera, l'energia irradiata dall'oggetto e ricevuta dalla termocamera è composta da:

- Emissione dall'oggetto ($\varepsilon\tau W_{obj}$);
- Emissione riflessa dalle sorgenti ambiente ($(1-\varepsilon)\tau W_{refl}$), dove $(1-\varepsilon)$ è la riflettanza dell'oggetto.
- Emissione dall'atmosfera ($(1-\tau)\tau W_{atm}$), dove $(1-\tau)$ è l'emissanza dell'atmosfera.

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau)W_{atm}$$

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} + \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right) U_{refl} + \left(\frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}\right) U_{atm}$$

Fonte: Rielaborazione da Manuale Flir

Per la valutazione della T (°C) superficiale del corpo in esame è necessario considerare l'effetto di alcuni parametri fisici che influiscono nella misura

Parametri operativi fondamentali

Grandezze da inserire in input per una corretta valutazione della temperatura superficiale

- **Distanza tra l'oggetto e la termocamera**
- **Temperatura dell'aria T [°C]**
- **Umidità relativa RH[%]**
- **Temperatura apparente riflessa del materiale T_r [°C]**
- **Emissività dell'oggetto [ϵ]**

Parametri operativi fondamentali

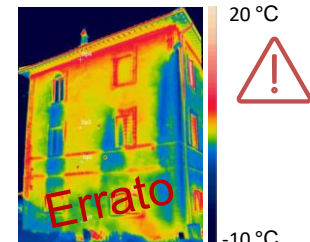
Temperatura e umidità relativa dell'aria

Entrambe le grandezze devono essere misurate

- Le temperature dell'aria esterna e interna non devono variare di oltre 5°C e 2°C rispetto all'inizio della prova.
- Bisogna assicurarsi che le superfici analizzate non abbiano subito irraggiamento diretto e siano prive degli effetti residui della radiazione solare
- Le strutture devono quindi essere asciutte e la velocità del vento dovrebbe essere inferiore a 10 m/s.
- È necessario escludere eventuali radiazioni o riflessi emessi da edifici adiacenti o da un cielo terso e freddo. Si consiglia cielo nuvoloso.



Alcuni consigli per evitare incertezze legate alle condizioni meteorologiche e al contesto



Parametri operativi fondamentali

Temperatura apparente riflessa

La temperatura riflessa, T_r , viene impostata per compensare le radiazioni provenienti da altre sorgenti termiche presenti nell'ambiente che vengono riflesse dall'oggetto nella termocamera.

In molte applicazioni di misura nel campo delle ispezioni termografiche degli edifici, la T_r può essere assunta pari alla temperatura ambiente.

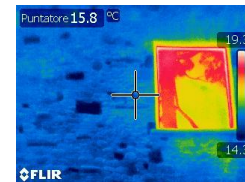
T riflessa da superfici speculari o lisce (Vetri) – Riflessi dall'ambiente circostante

I riflessi su vetro sono speculari, pertanto se ci sono fonti di calore circostanti queste possono essere visualizzati nell'immagine termica e alterare i risultati.

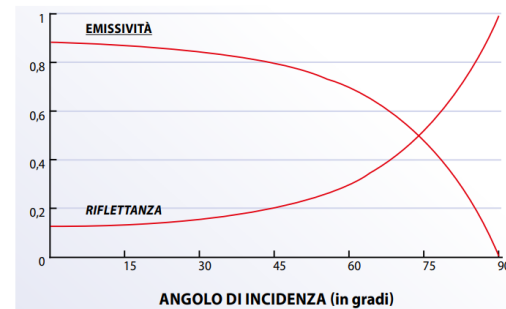
Angolo di ripresa consigliato tra 5 e 60°



Fonte FLIR



Fonte ENEA



0° indica la posizione perpendicolare della termocamera

Parametri operativi fondamentali

Emissività

Capacità di un determinato materiale di emettere energia termica nel campo dell'infrarosso.

L'emissività (ϵ) di molti materiali comuni da costruzione è alta



In questo caso l'emissività è stabile nei range di temperatura abituali per cui la misura della T superficiale risulta relativamente semplice

Materiale	emissività
Cemento	0,93
Gesso	0,90
Vetro	0,94
Argilla	0,91
Granito	0,96
Gomma	0,94
Legno	0,94
Plastica: PE, PP, PVC	0,94
Vernice, nera, opaca	0,97
Vernici a olio	0,92-0,97
Marmo, bianco	0,95
Mattoni, malta, intonaco	0,93

Parametri operativi fondamentali

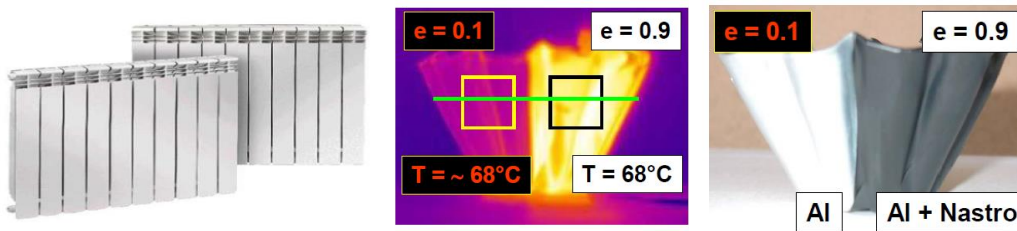
Emissività

L'emissività (ϵ) di alcuni materiali (metalli lucidi) è invece $< 0,6$

La T riflessa dei materiali viene utilizzata per bilanciare la radiazione riflessa nell'oggetto.

Se l'emissività è bassa e la temperatura dell'oggetto sensibilmente diversa da quella riflessa, è importante impostare correttamente la T apparente riflessa, altrimenti la T superficiale misurata può risultare errata.

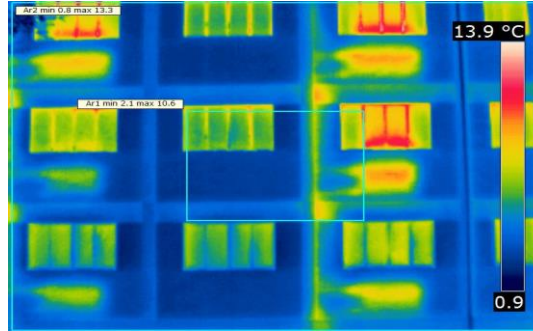
I corpi metallici verniciati hanno emissività elevata!!



Fonte: Testo

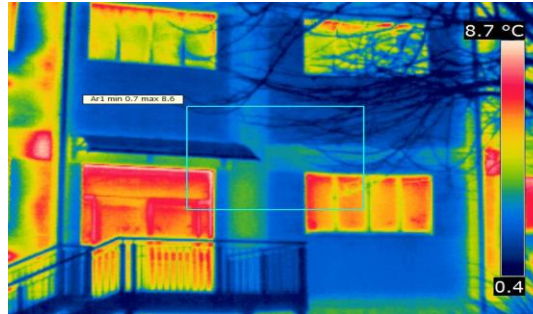
Materiale	Emissività
Alluminio	0,04
Argento	0,02
Acciaio	0,52
Acciaio ossidato	0,80
Ferro	0,24
Ferro ossidato	0,60
Oro	0,02
Ottone	0,60
Piombo	0,43
Rame	0,04
Rame ossidato	0,76
Zinco	0,2

Esempi pratici



Edificio Scolastico

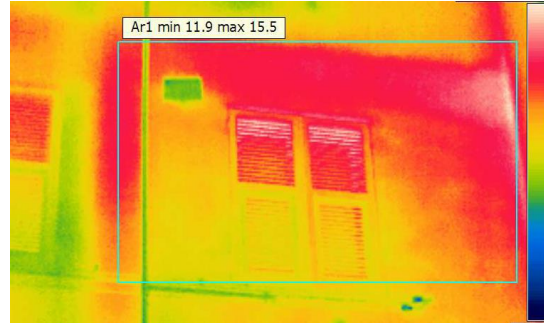
- Dispersioni in prossimità delle finestre



- Evidenti ponti termici in prossimità di pilastri e solai

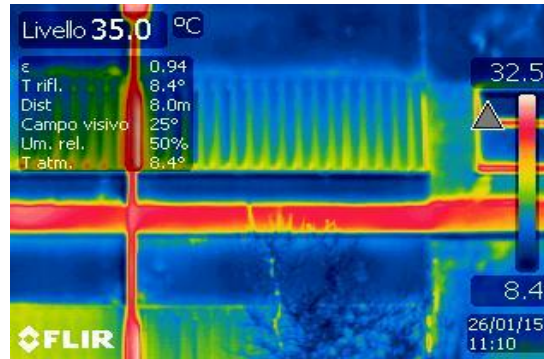
Fonte: ENEA

Esempi pratici



Edificio residenziale

- Evidente degrado dell'involucro: possibile presenza di umidità interstiziale



Edificio ad uffici

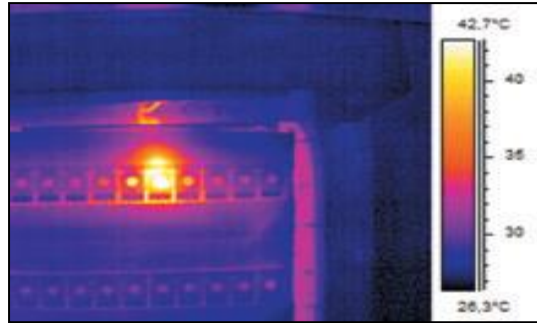
- Evidenti ponti termici e condotta esterna attraversata da acqua calda

Fonte: ENEA

Esempi pratici

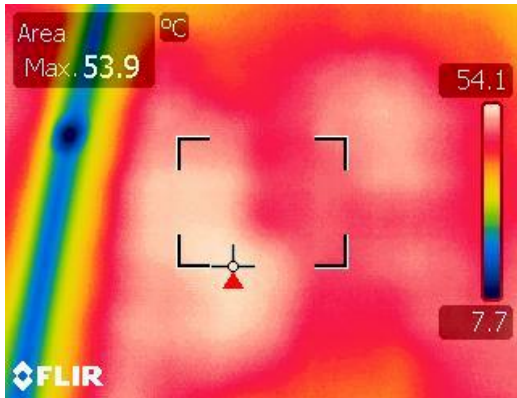


Fonte: FLIR



Impianti elettrici

- Evidente il surriscaldamento di un fusibile



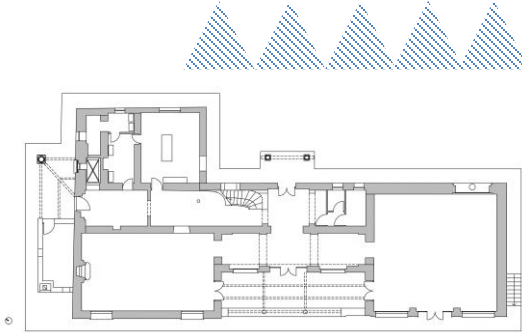
Fonte: ENEA



Moduli fotovoltaici

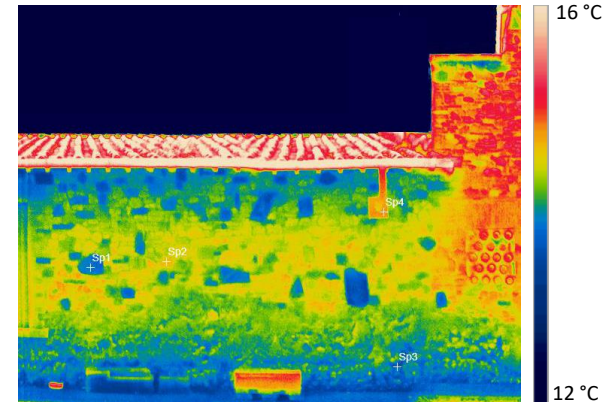
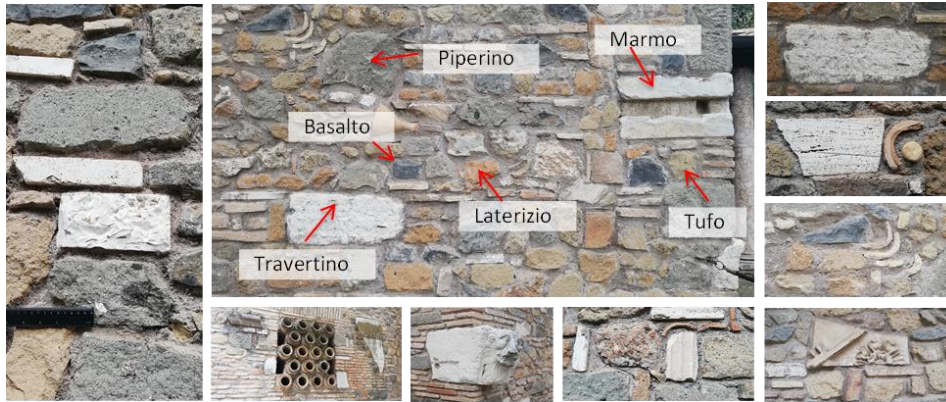
- Punti “caldi” in corrispondenza di celle difettose

Esempi applicativi in edifici storici



Casale di Capo di Bove

- Facciata con materiale composito



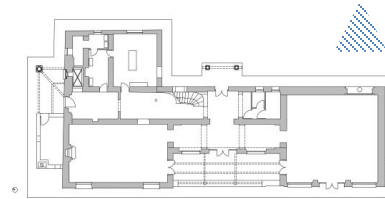
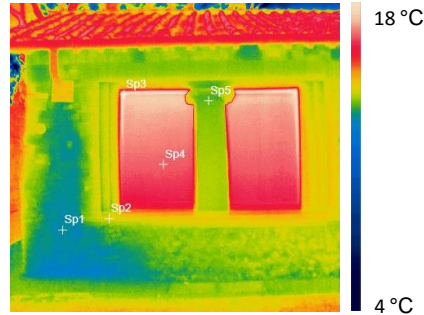
Fonte: ENEA - RdS



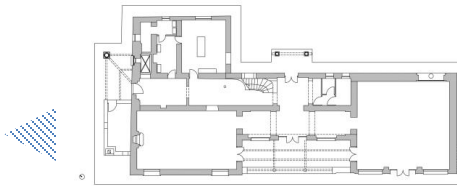
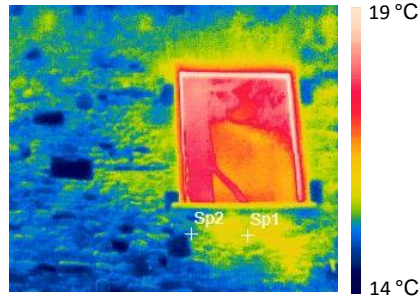
Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

Esempi applicativi in edifici storici

Casale di Capo di Bove



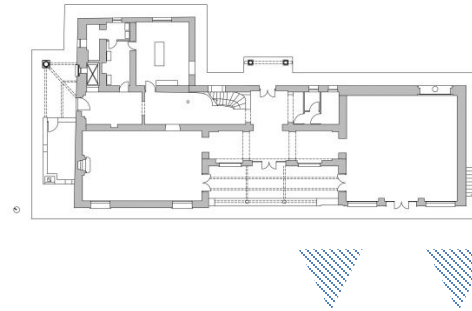
- Raffrescamento evaporativo per scolo di acqua sul muro



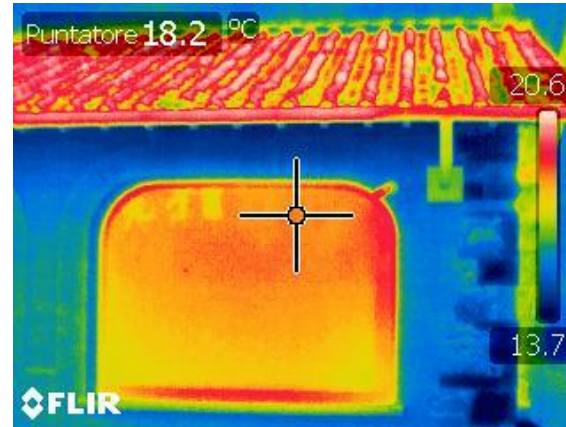
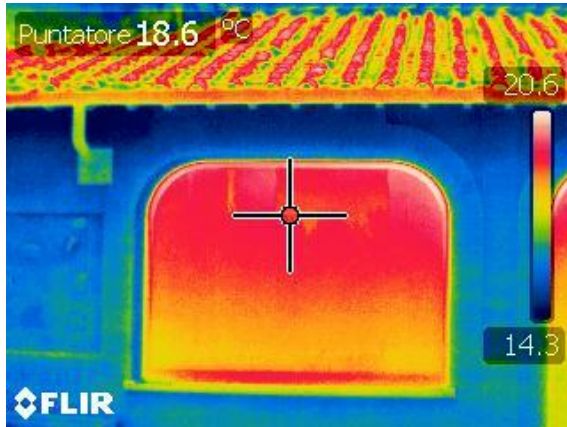
- Dispersione termica per ventilconvettore sottofinestra

Fonte: ENEA - RdS

Esempi applicativi in edifici storici



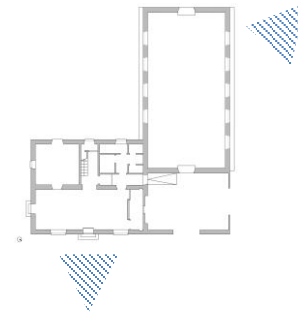
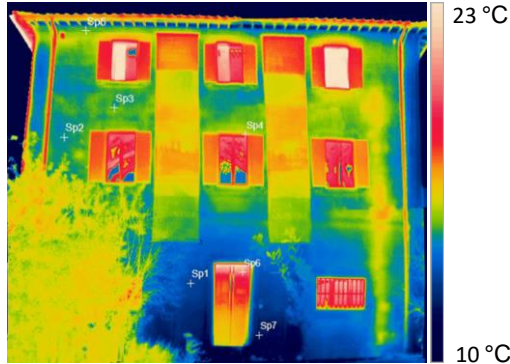
Casale di Capo di Bove



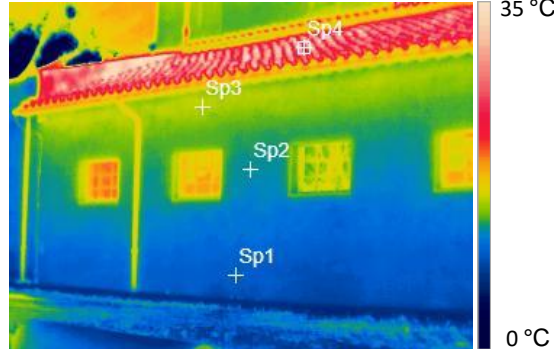
- Particolare di finestre e copertura a falda

Fonte: ENEA - RdS

Esempi applicativi in edifici storici



**Casale di
Villa dei
Quintili
e Antiquarium**



Punto di misura	Temperatura rilevata [°C]
-----------------	---------------------------

Sp1	10,8
-----	------

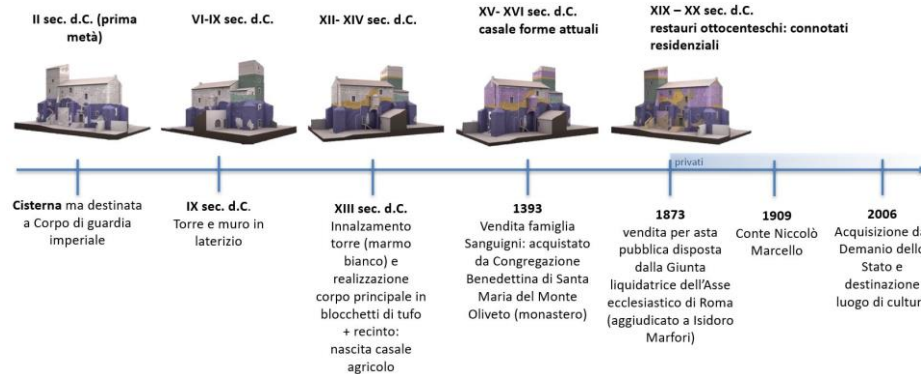
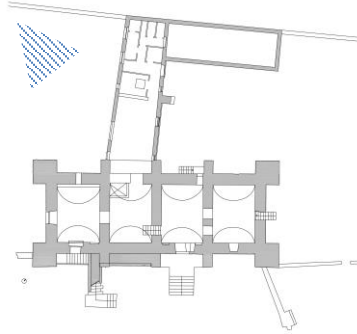
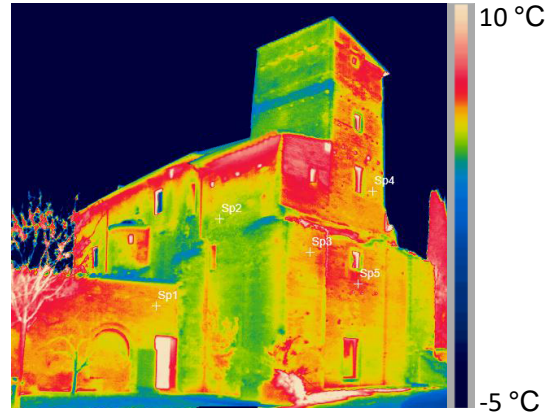
Sp2	12,2
-----	------

Sp3	14,5
-----	------

Sp4	25,0
-----	------

Fonte: ENEA - RdS

Esempi applicativi in edifici storici



Tenuta di
Santa Maria
Nova
(Casale)

Fonte: ENEA - RdS



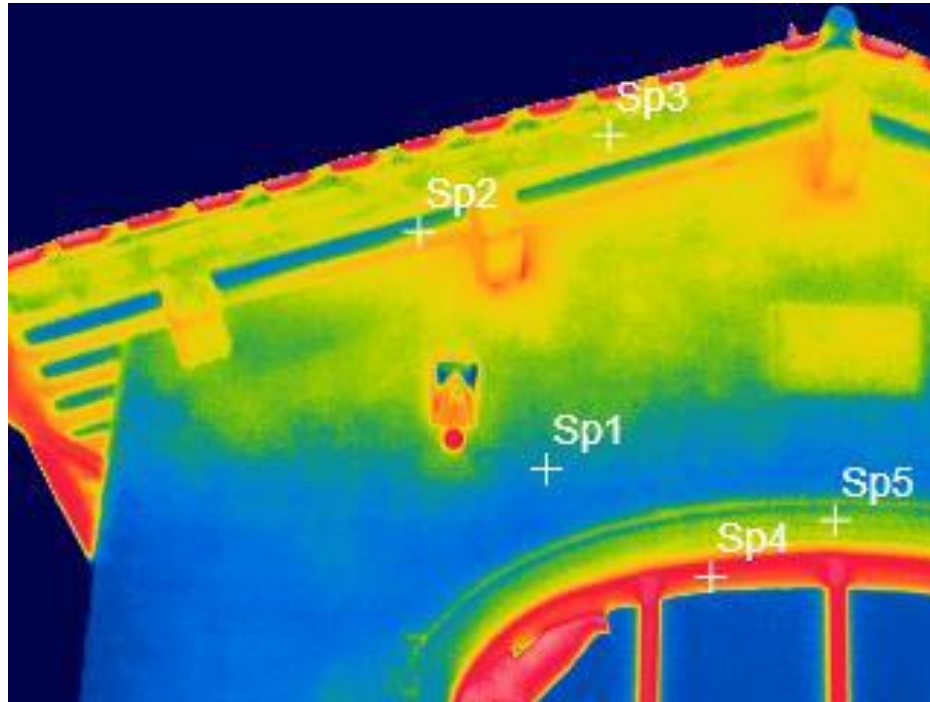
Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

Esempi applicativi in edifici storici

Tenuta di Santa Maria Nova (Dependance)



Punto di misura	Temperatura rilevata [°C]
Sp1	6,5
Sp2	7,1
Sp3	7,6
Sp4	10,9
Sp5	7,4



- Ponti termici

Fonte: ENEA - RdS

Silvia Di Turi
silvia.dituri@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

