



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

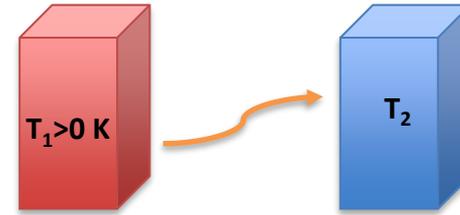
L'ispezione termografica in ambito edile aiuta ad individuare:

- 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 with the temperature  $T$ .

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 ( $\epsilon$ ), in parte riflettono ( $\rho$ ) e in parte trasmettono ( $\tau$ ) radiazioni

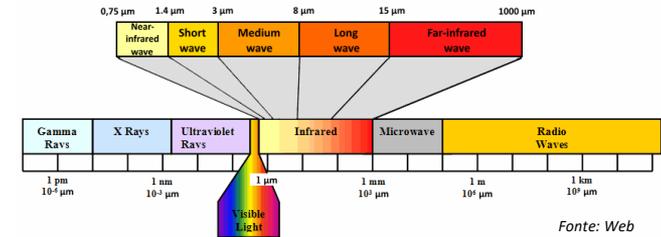
$$\epsilon + \rho + \tau = 1$$

# Principi di funzionamento di una termocamera

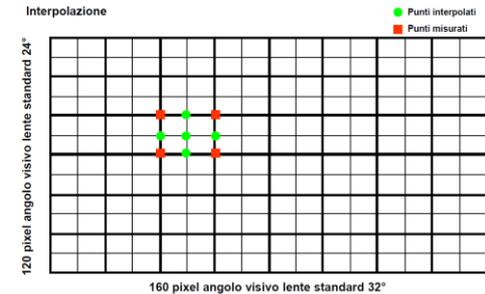
- Una termocamera è un dispositivo in grado di registrare le radiazioni emesse da un corpo nell'infrarosso (8–14  $\mu\text{m}$ ).
- Considerando che la fonte principale della radiazione infrarossa è il calore o radiazione termica, qualsiasi oggetto emette radiazioni nell'area dell'infrarosso.
- La termocamera 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

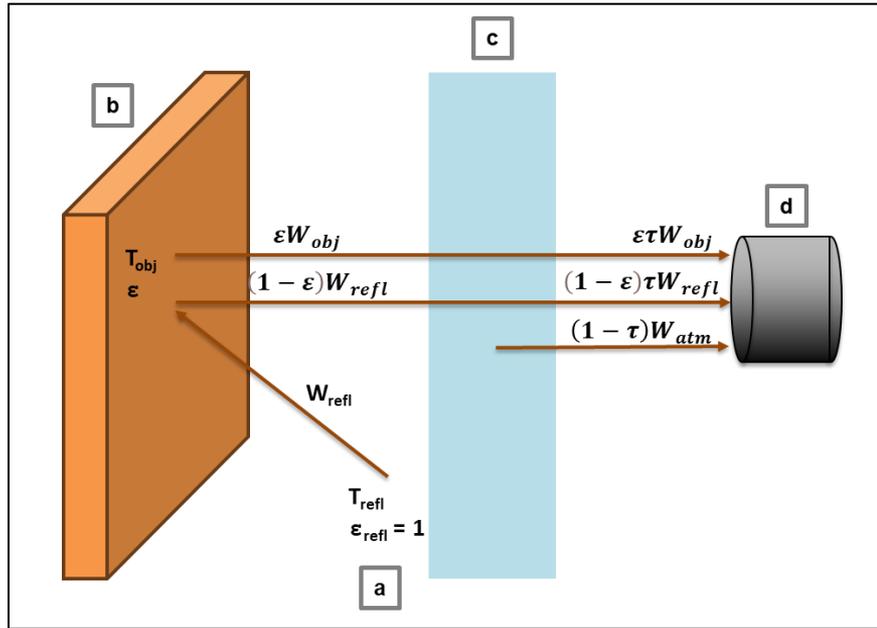


Fonte: Web



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,  $\varepsilon$  l'emissanza dell'oggetto e  $\tau$  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  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]**
- **Umidità relativa  $\text{RH}$  [%]**
- **Temperatura apparente riflessa del materiale  $T_r$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]**
- **Emissività dell'oggetto  $[\varepsilon]$**

# Parametri operativi fondamentali

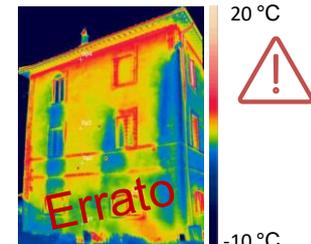
## Temperatura e umidità relativa dell'aria

**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.**

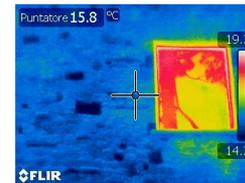
## T riflessa da superfici speculari o lisce (Vetri) – Riflessi dall'ambiente circostante

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.

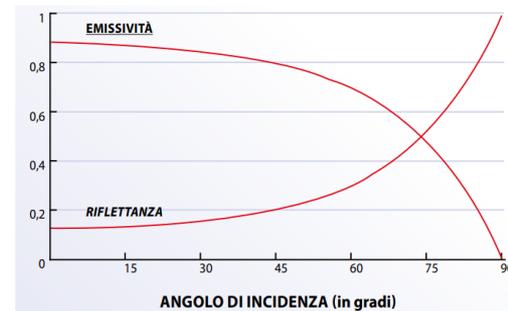
Angolo di ripresa consigliato tra 5 e 60°



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 ( $\epsilon$ ) 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**

<b>Materiale</b>	<b>emissività</b>
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

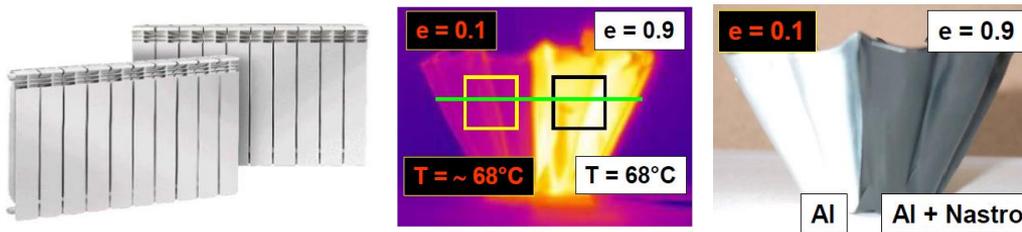
## Emissività

L'emissività ( $\epsilon$ ) 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.

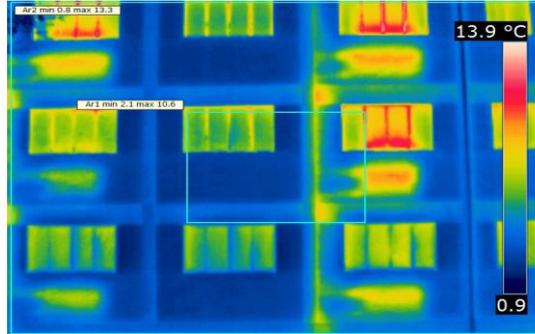
**I corpi metallici verniciati hanno emissività elevata!!**



Fonte: Testo

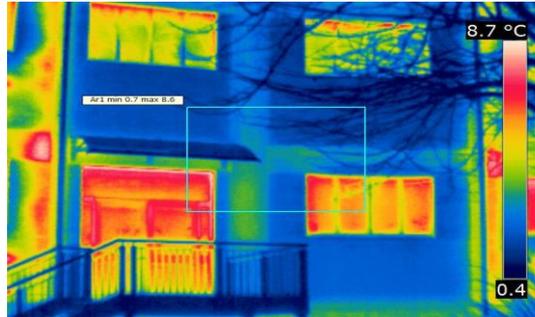
Materiale	Emissività
Alluminio	0,04
Argento	0,02
Acciaio	0,52
Acciaio ossidato	0,80
Ferro	0,24
Ferro ossidato	0,60
Oro	0,02
Ottone	0,60
Piombo	0,43
Rame	0,04
Rame ossidato	0,76
Zinco	0,2

# Esempi pratici



## Edificio Scolastico

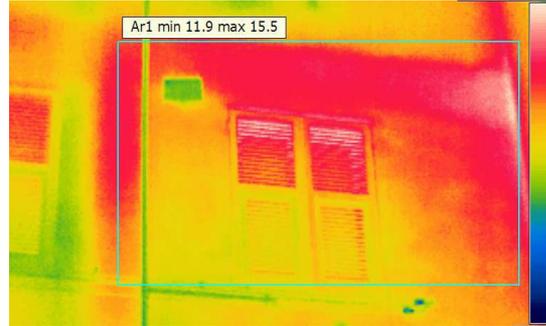
- Dispersioni in prossimità delle finestre



- 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

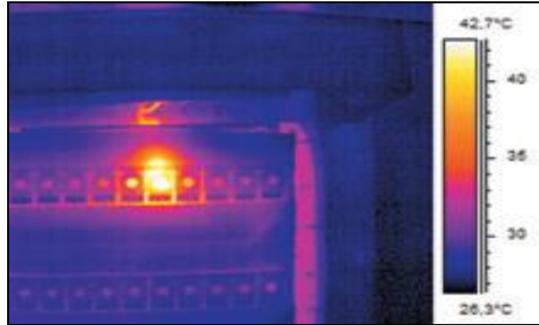
- Evidenti ponti termici e condotta esterna attraversata da acqua calda

Fonte: ENEA

# Esempi pratici

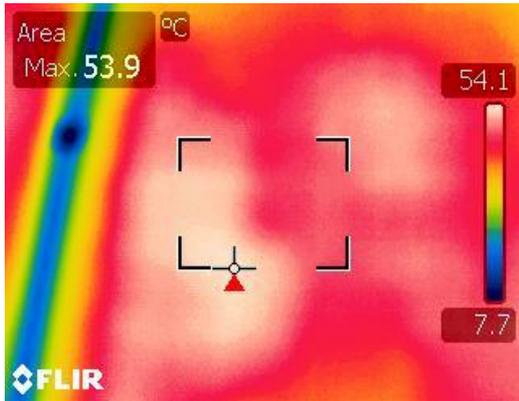


Fonte: FLIR



## Impianti elettrici

- Evidente il surriscaldamento di un fusibile



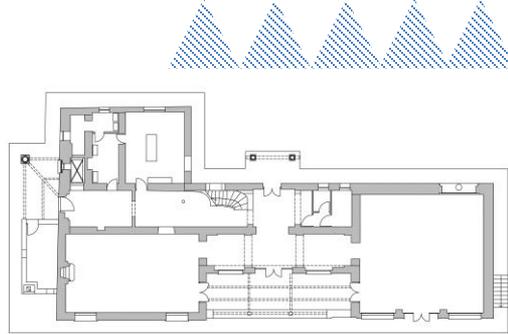
Fonte: ENEA



## Moduli fotovoltaici

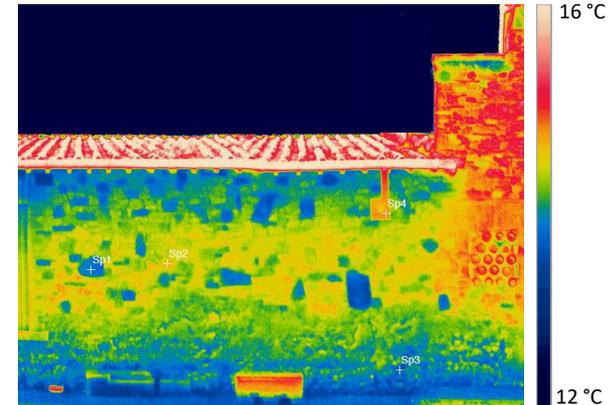
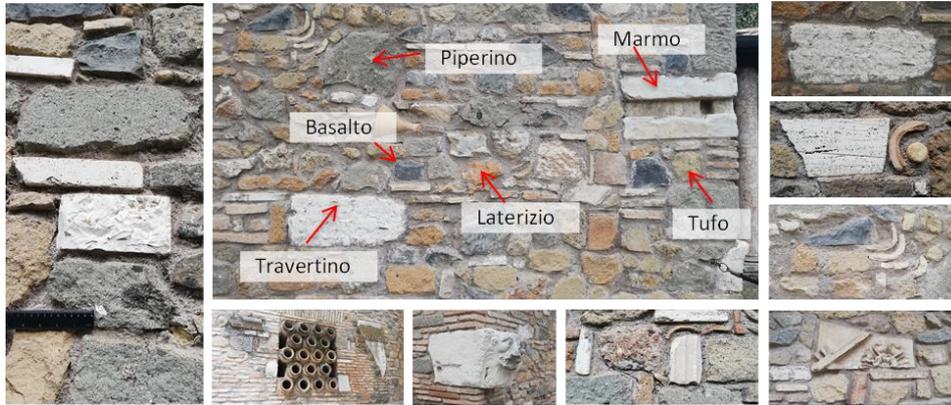
- Punti “caldi” in corrispondenza di celle difettose

# Esempi applicativi in edifici storici



## Casale di Capo di Bove

- Facciata con materiale composito



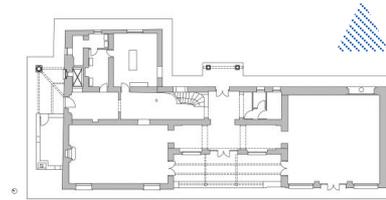
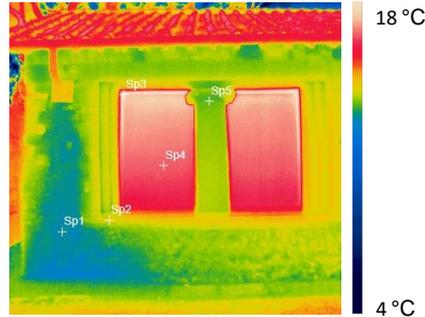
Fonte: ENEA - RdS



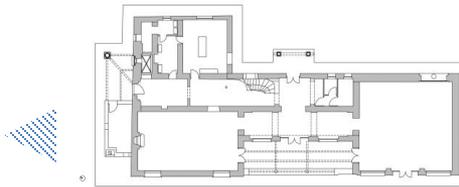
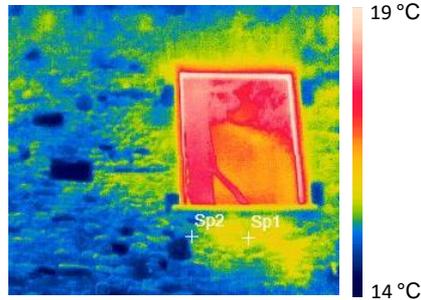
Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

# Esempi applicativi in edifici storici

## Casale di Capo di Bove



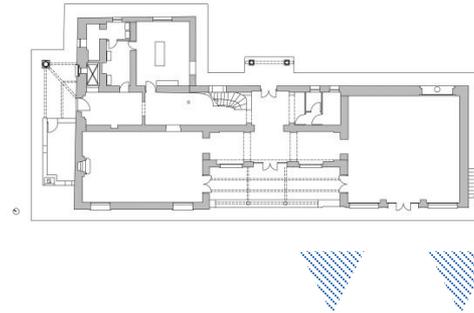
- Raffrescamento evaporativo per scolo di acqua sul muro



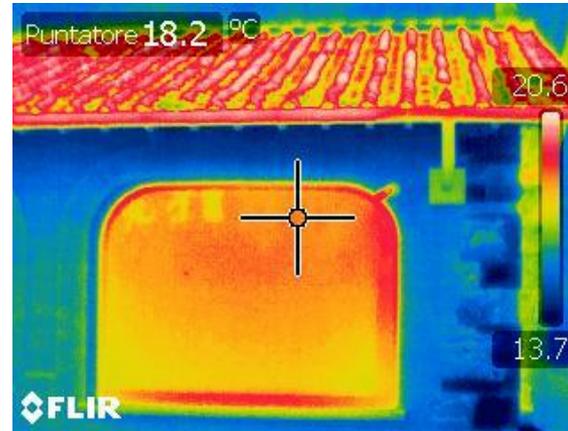
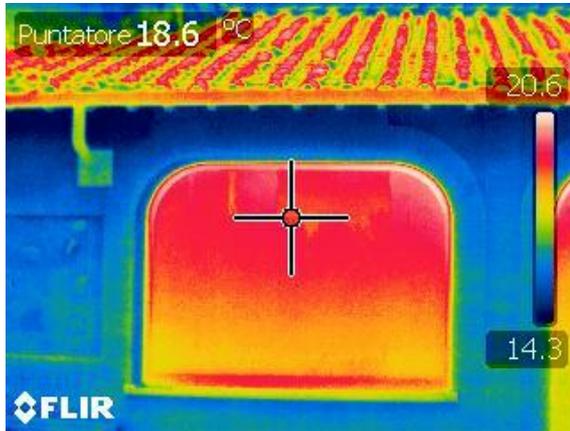
- Dispersione termica per ventilconvettore sottofinestra

Fonte: ENEA - RdS

# Esempi applicativi in edifici storici



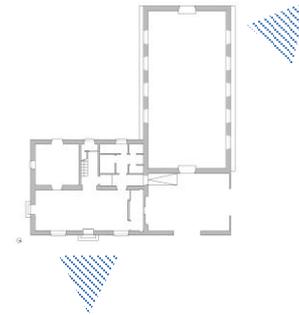
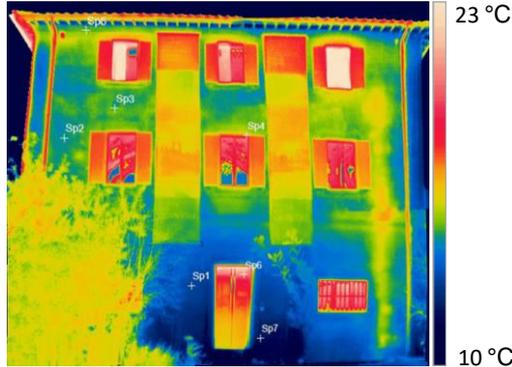
## Casale di Capo di Bove



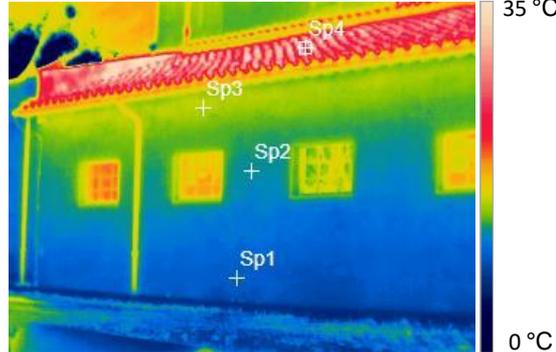
- Particolare di finestre e copertura a falda

Fonte: ENEA - RdS

# Esempi applicativi in edifici storici



**Casale di  
Villa dei  
Quintili  
e Antiquarium**



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

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

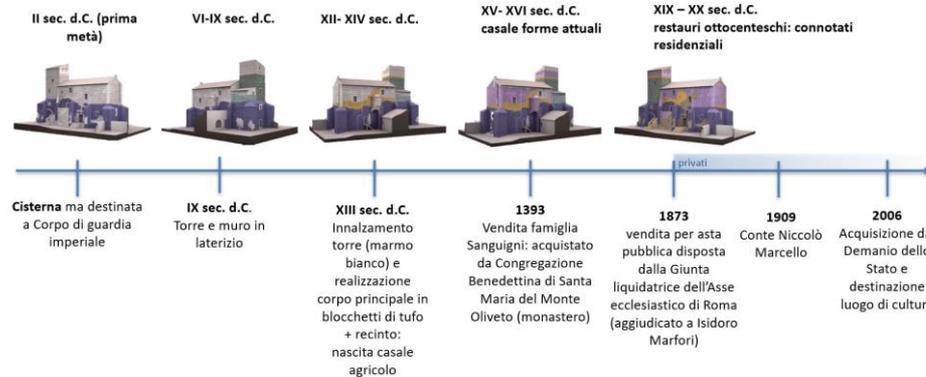
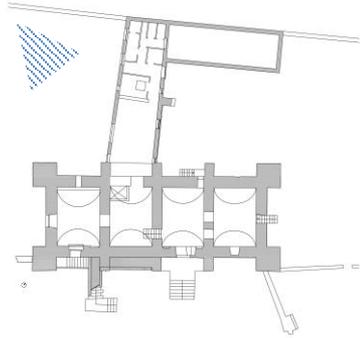
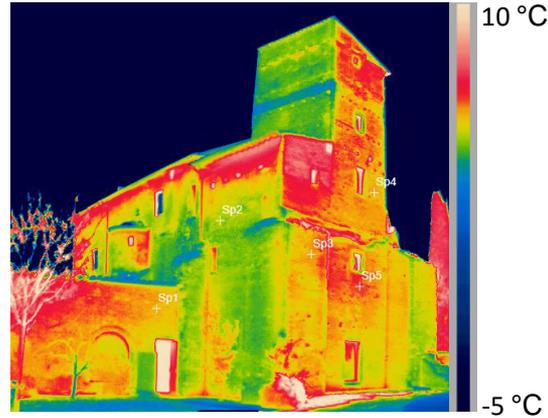
Sp2	12,2
-----	------

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

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

Fonte: ENEA - RdS

# Esempi applicativi in edifici storici



Tenuta di  
Santa Maria  
Nova  
(Casale)

Fonte: ENEA - RdS



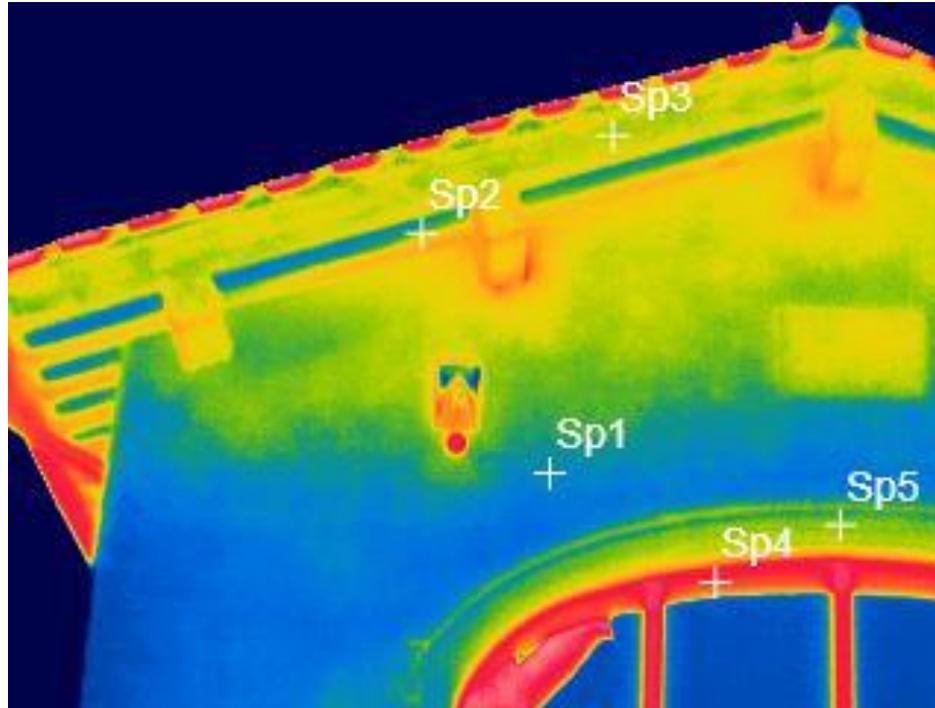
Indagini non distruttive: uso della termografia nelle diagnosi energetiche degli edifici

# 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



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

