UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

DST
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
CENTRO DI COMPETENZA DEL SERVIZIO NAZIONALE DELLA PROTEZIONE CIVILE

PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

# LA TERMOGRAFIA AD INFRAROSSI NELLE VERIFICHE DI SICUREZZA DEGLI EDIFICI

## INTRODUZIONE ALLA TEORIA E ALLA TECNICA

William Frodella
(Operatore termografico II Livello)

# Termografia ad infrarossi (IRT)

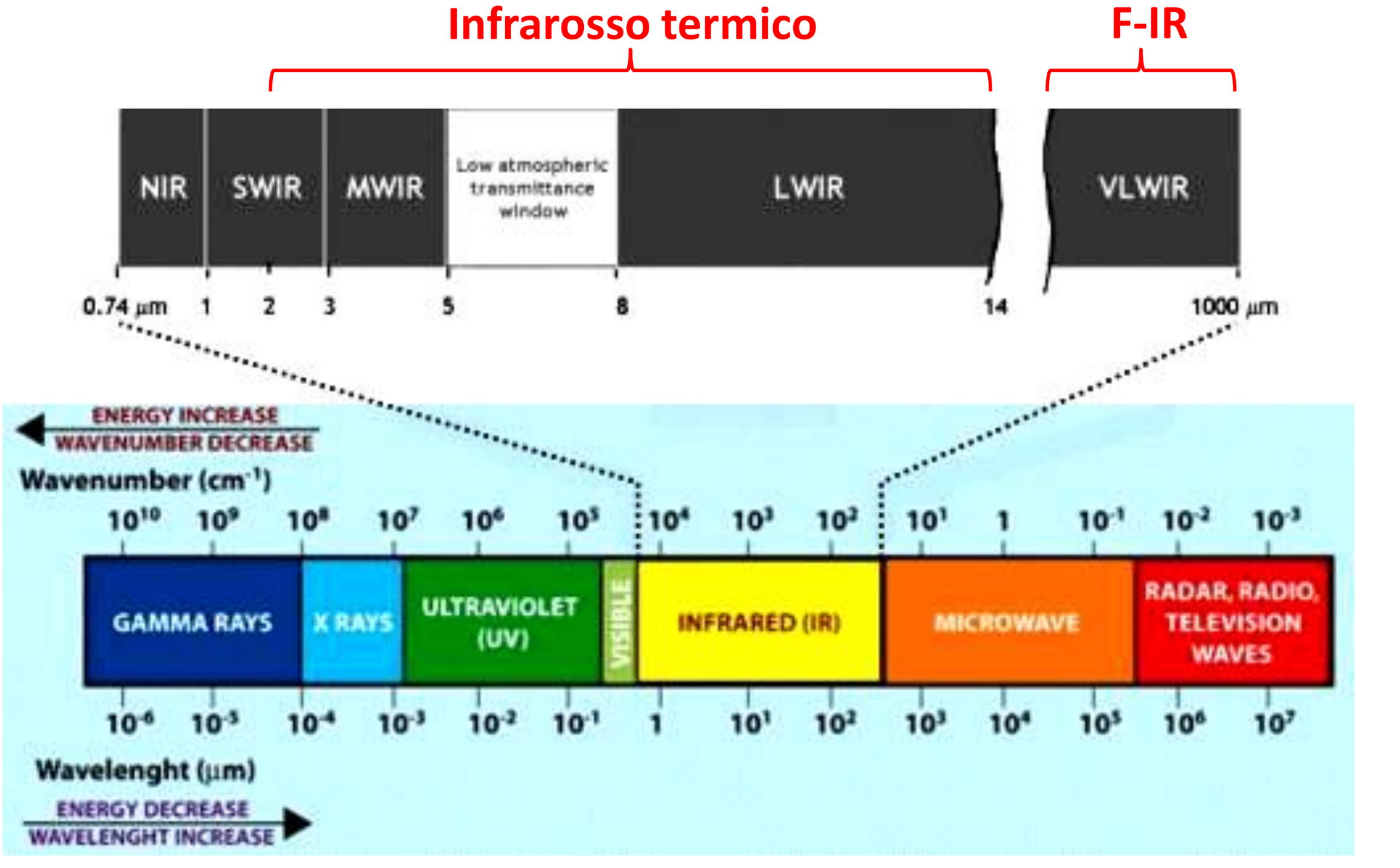
• **Tecnica polivante non distruttiva** che misurando senza contatto la **radiazione infrarossa** proveniente da un corpo è in grado di determinarne la **temperatura superficiale**.

• Permette di **mappare la distribuzione di temperatura superficiale** della scena inquadrata tramite immagini radiometriche, dette **immagini termografiche** (o **termogrammi**), acquisite da strumenti sensibili all'infrarosso (**termocamere**).

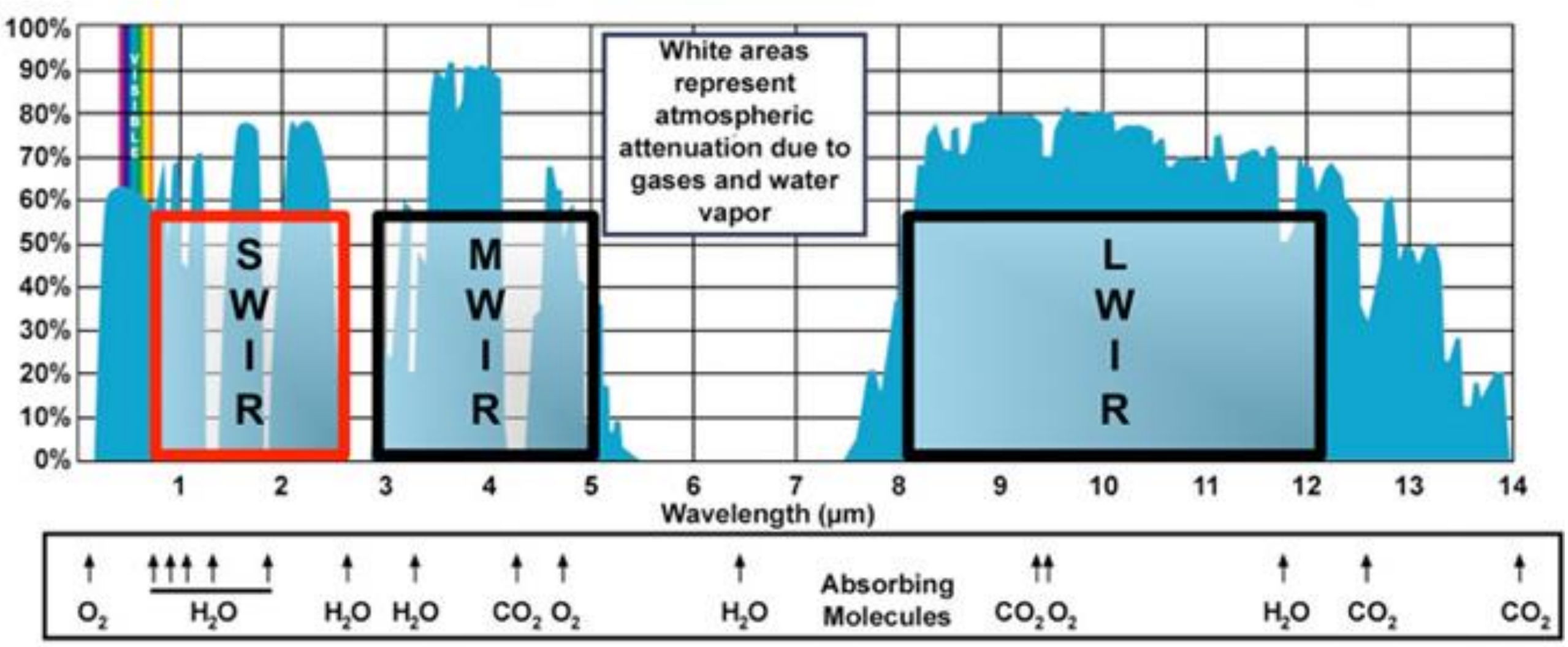
• Analizzare la distribuzione di temperatura superficiale di un corpo permette di analizzarne le **proprietà termiche** e di individuare **anomalie termiche**: può dare informazioni sulla **superficie del materiale** e sulla **struttura interna** del materiale.

# La banda dell'infrarosso

• Ogni oggetto avente T>0° K emette una radiazione nella banda dello spettro elettromagnetico detta infrarosso (**radiazione termica**). Per i corpi vicini a $T_{amb}$ tale banda è anche detta **infrarosso termico**.



# La banda dell'infrarosso



# Legge di Stephan-Boltzmann

• La quantità di calore proveniente da una sorgente è descritta dalla *Legge di Stephan-Boltzmann:*

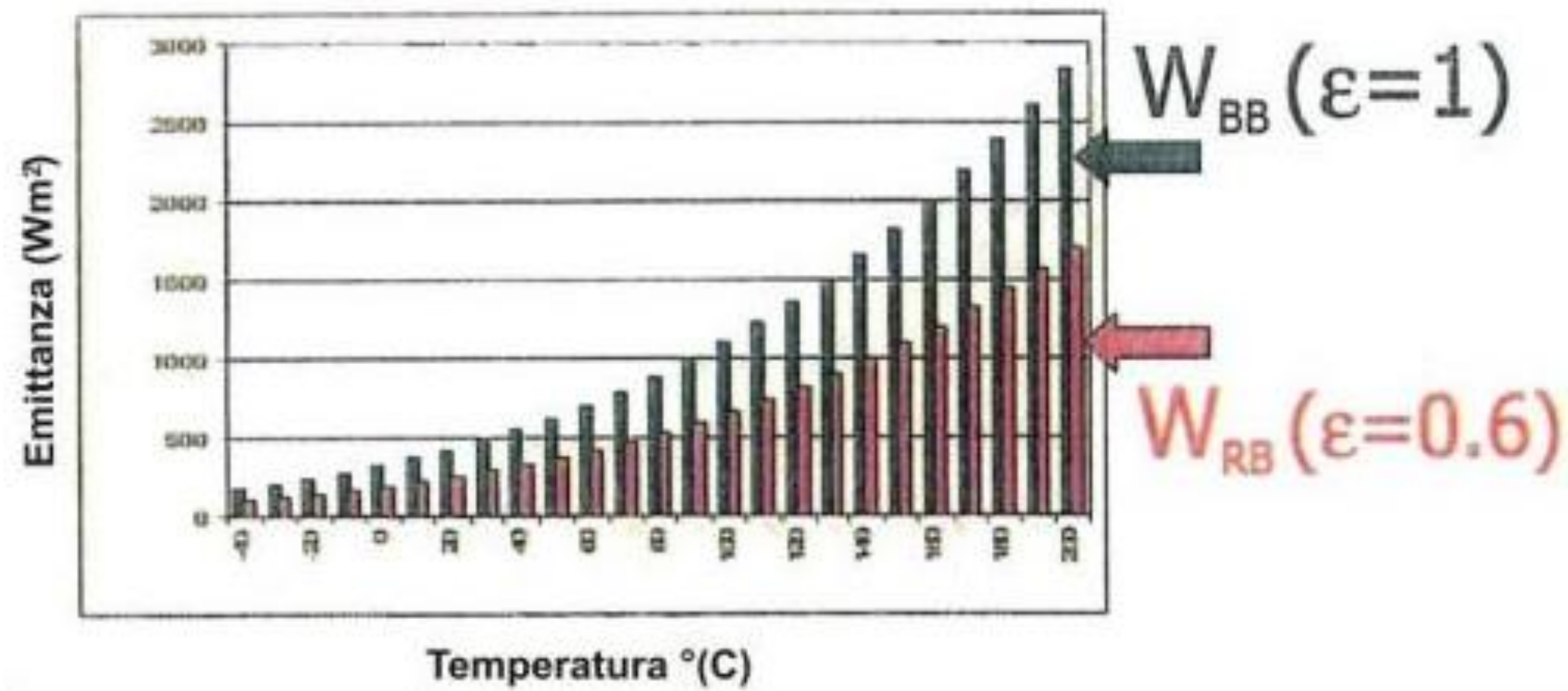
$$W = \varepsilon\sigma T^4$$

• W (Watt/$m^2$) = Emittanza spettrale;

• ε = Emissività;

• σ = Costante di Stephan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8}$ $Wm^{-2}$ $K^{-4}$);

•T = Temperatura assoluta (K° ).



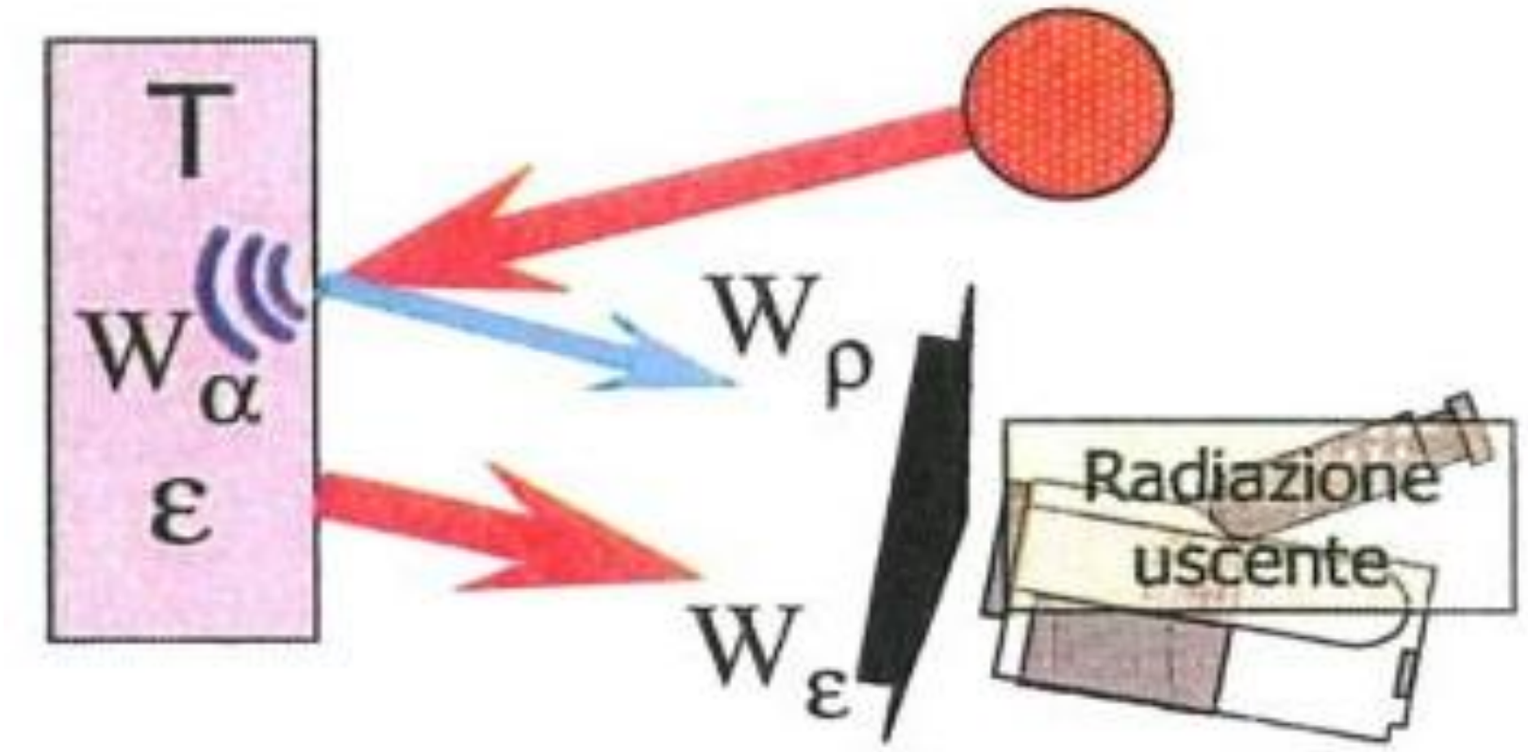
# Tabelle di emissività

| Material | Typical Average Emissivity $\varepsilon$ over 8–14 $\mu$m[a] |
|---|---|
| Clear water | 0.98–0.99 |
| Wet snow | 0.98–0.99 |
| Human skin | 0.97–0.99 |
| Rough ice | 0.97–0.98 |
| Healthy green vegetation | 0.96–0.99 |
| Wet soil | 0.95–0.98 |
| Asphaltic concrete | 0.94–0.97 |
| Brick | 0.93–0.94 |
| Wood | 0.93–0.94 |
| Basaltic rock | 0.92–0.96 |
| Dry mineral soil | 0.92–0.94 |
| Portland cement concrete | 0.92–0.94 |
| Paint | 0.90–0.96 |
| Dry vegetation | 0.88–0.94 |
| Dry snow | 0.85–0.90 |
| Granitic rock | 0.83–0.87 |
| Glass | 0.77–0.81 |
| Sheet iron (rusted) | 0.63–0.70 |
| Polished metals | 0.16–0.21 |
| Aluminum foil | 0.03–0.07 |
| Highly polished gold | 0.02–0.03 |

L’emissività di un corpo dipende da diversi fattori: • tipo di materiale • angolo di vista (quindi la forma) • rugosità superficiale (lavorazione) • temperatura • lunghezza d’onda.

# Scambio di calore: la radiazione termica

## • Leggi di Kirchoff




$$W_i = W_\alpha + W_\rho + W_\tau$$

- $\alpha = W_\alpha/W_i$;
- $\rho = W_\rho/W_i$;
- $\tau = W_\tau/W_i$.

• Eq. Scambio di energia = $\alpha + \rho + \tau = 1$

• $\alpha = \varepsilon$ (un corpo emette l'energia che riesce ad assorbire)

**• $\varepsilon + \rho + \tau = 1$**

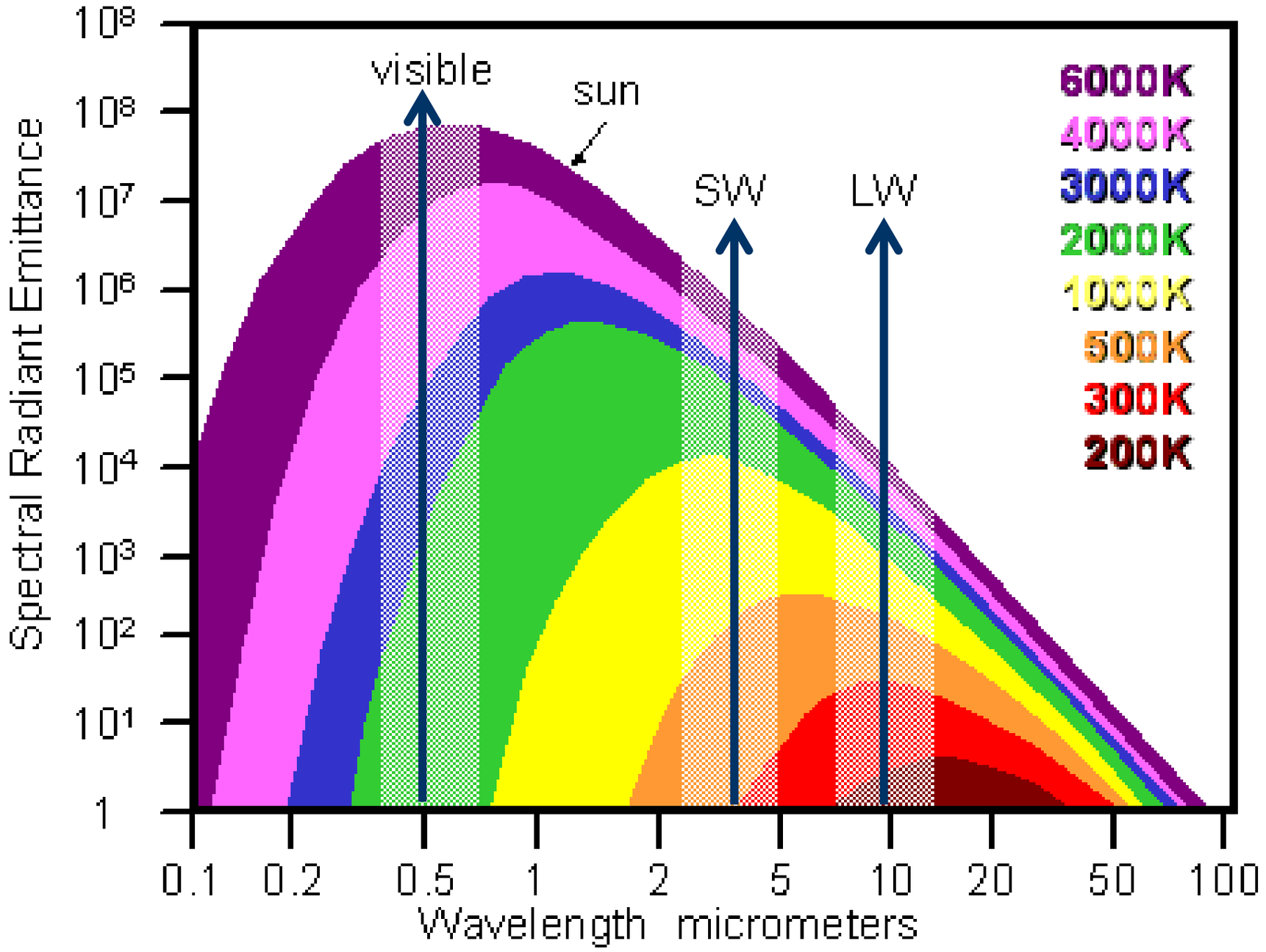
**• corpo bianco: $\varepsilon,\tau = 0$; $\rho = 1$**

**• corpo nero: $\rho,\tau = 0$; $\varepsilon = 1$**

**•corpo opaco: $\tau = 0$ ($\varepsilon = 1 - \rho$)**

# Legge di Plank

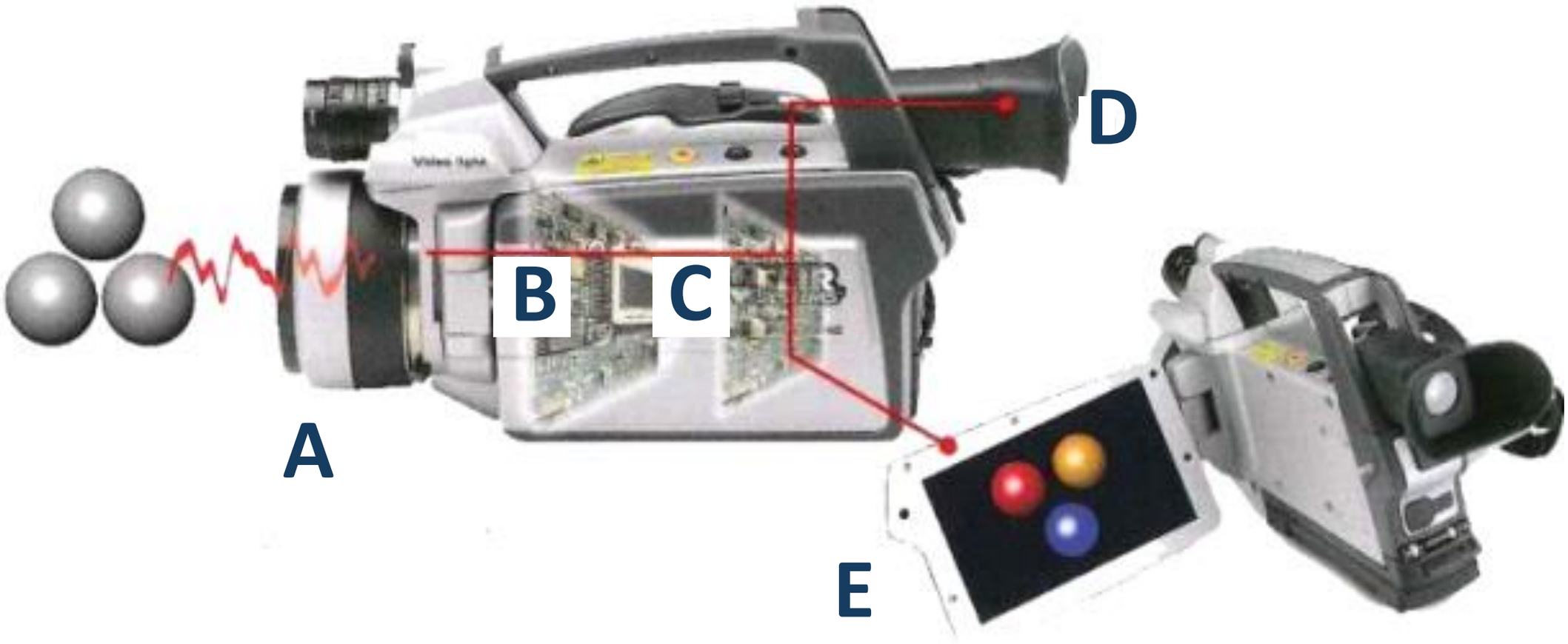
## Intensità di radiazione emessa da corpo nero è funzione di T e λ




- **Legge dello spostamento di Wien** (corrispondenza tra T del corpo nero e λ al massimo di emissione)

$$\lambda \max = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ (m \times K)}{T}$$

# La tecnica




• A) La radiazione infrarossa viene fatta convergere dalle lenti al germanio verso il sensore;
• B) il sensore traduce la radiazione in un impulso elettrico, che viene amplificato ed inviato al processore integrato;
• C) il processore converte il segnale in una matrice digitale di pixel (termogramma);
• D) Il termogramma (mappa di temperatura apparente) viene visualizzato in una scala in falsi colori;
• E) Dopo la procedura di correzione dei parametri del termogramma, questo costituisce una mappa di temperatura reale dello scenario investigato.

# Termocamere ad infrarossi

## FLIR Systems SC620

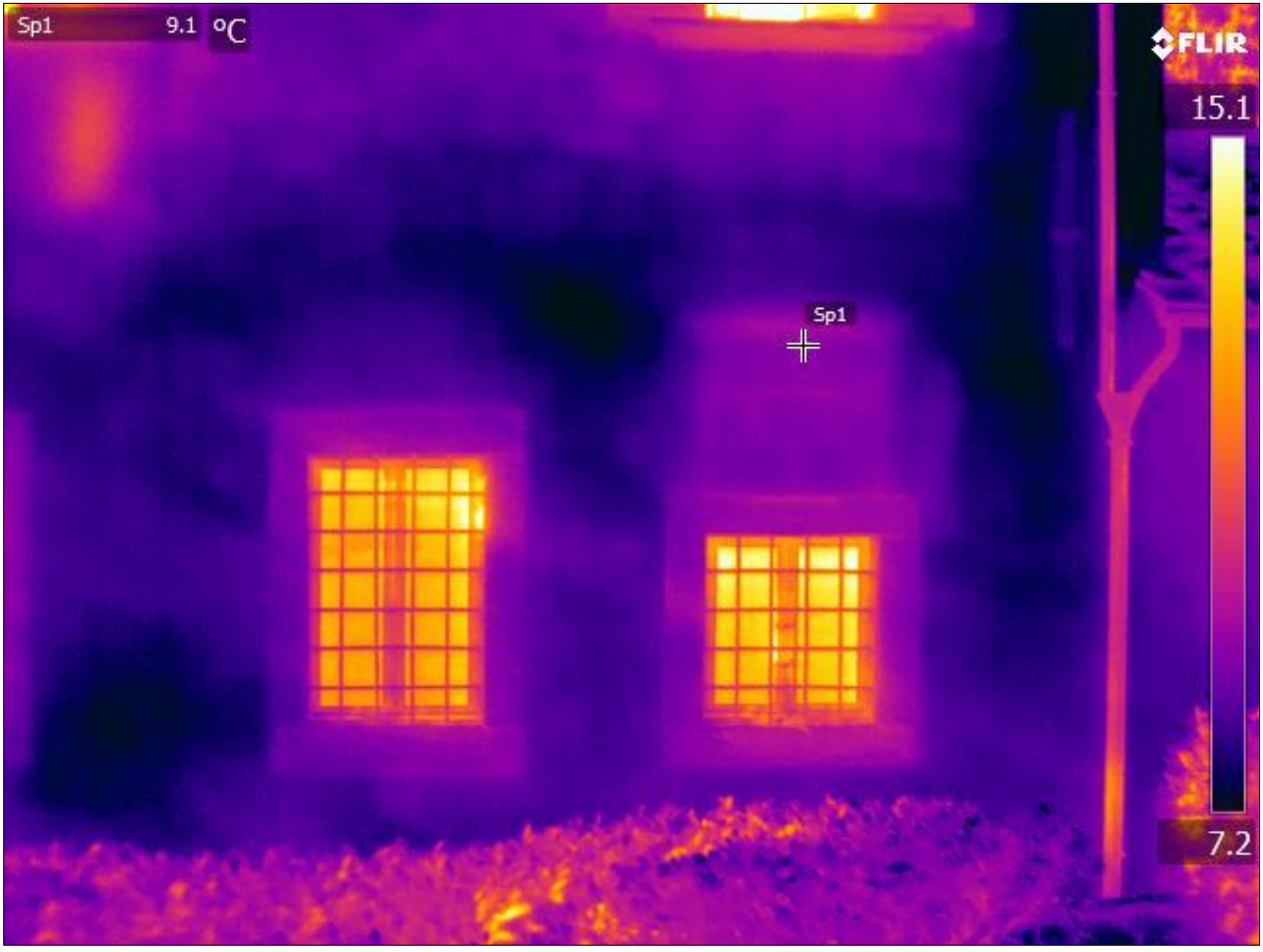



1 = Lenti al Germanio;
2 = Fotocamera digitale;
3 = Puntatore laser;
4 = Mirino regolabile;
5 = Pulsanti di messa a fuoco;
6 = Impugnatura rotante.

## Caratteristiche tecniche

- **Sensore:** microbolometro non raffreddato (FPA)
- **Sensitività termica:** <40 mK
- **Risoluzione geometrica:** 640 x 480 pixel
- **Intervallo di temperatura:** -40/+500° C
- **Banda spettrale:** 7.5 - 13 mm
- **Field of view (FOV):** 24° × 18°
- **Risoluzione spaziale** (IFOV)**:** 0.65 mrad
- **Accuratezza termica:** ± 2%/2C°
- **Distanza minima focale:** 0.3 m
- **Frequenza di campionamento:** 30 Hz

# Immagine termografica



# Sensori: termorivelatori vs fotorivelatori

• **Materiali semiconduttori** (silicio amorfo, ossido di vanadio, antimoniuro di gallio);

**1 - Detector fotonici (quantum detectors)**: trasformano fotoni assorbiti in energia elettrica (effetto fotoelettrico).

• **Singolo elemento sensibile** (sistema meccanico di scansione);

• generalmente **raffreddati** (sistemi criogenici, pompa stirling);

• tempi di risposta rapidi, sensività termica superiore rispetto ai microbolometri non raffreddati, molto costosi, applicazioni di ricerca e sviluppo.

**2 - Detector termici (non-quantum detectors)**: la radiazione infrarossa incidente il detector causa una alterazione delle caratteristiche elettriche (resistenza) dell'elemento sensibile (effetto bolometrico);

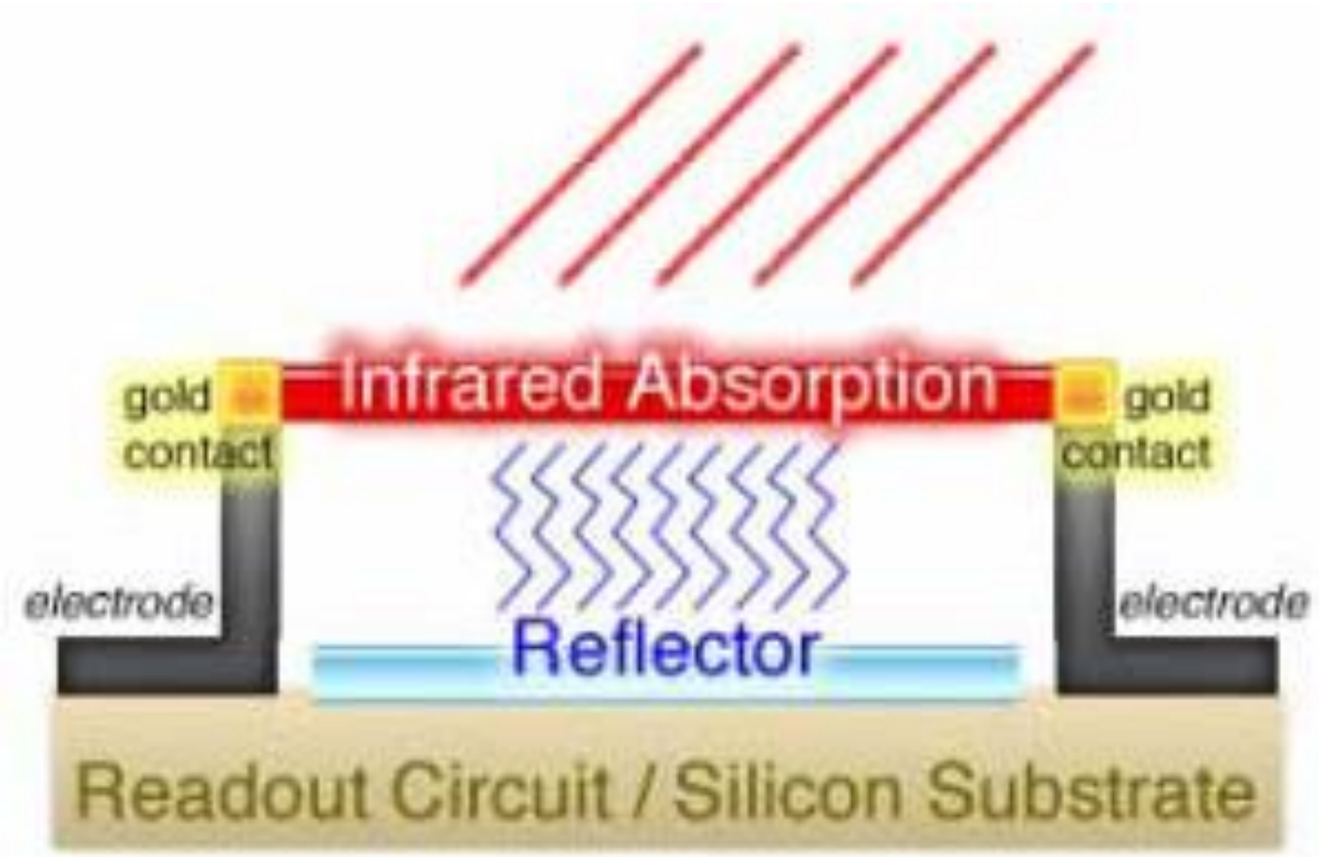
• **Array bidimensionale** di sensori (sensori microbolometrici a matrice piana);

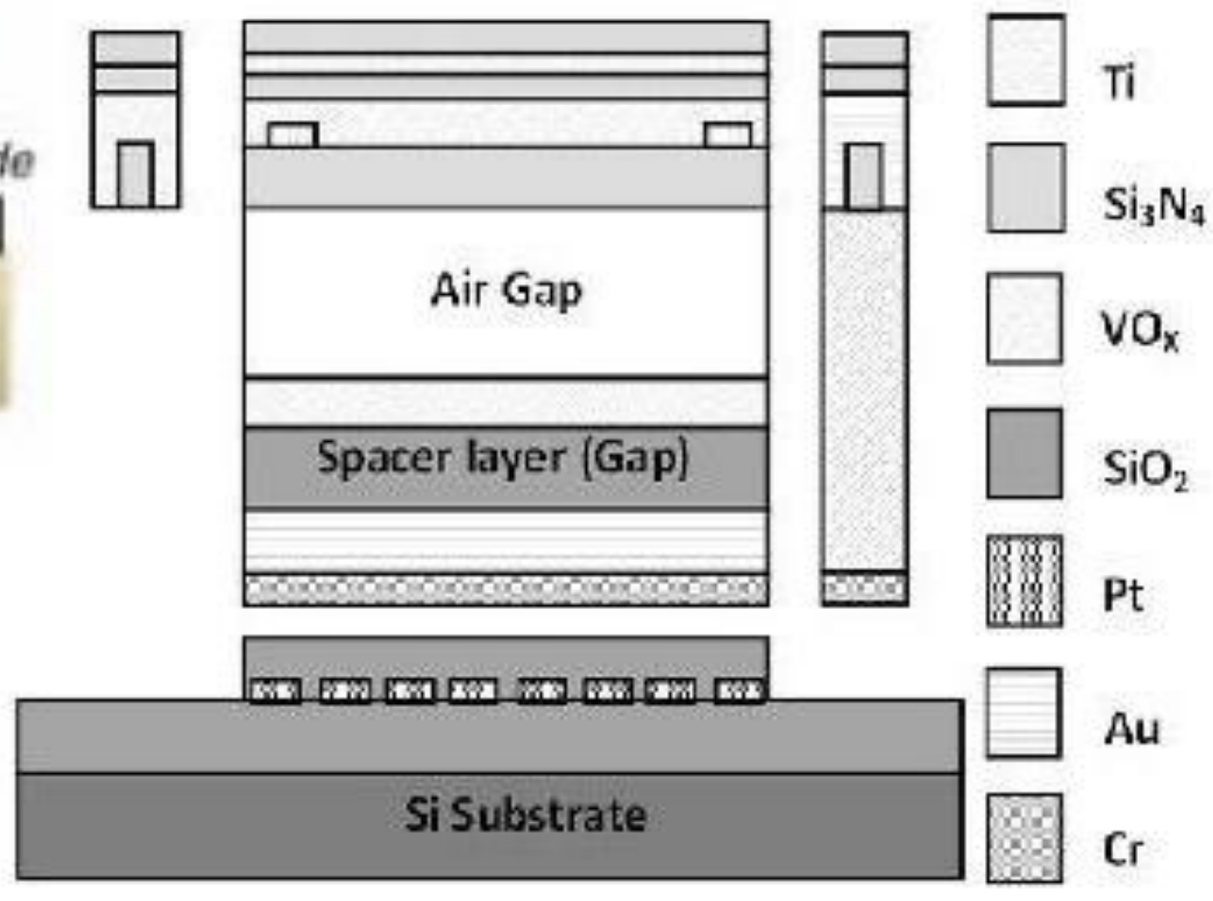
• Correlazione diretta fra cella del sensore e pixel dell'immagine, la risoluzione del sensore coincide con quella dell'immagine;

• Generalmente **non raffreddati**;

• tempi di risposta più lenti, minore sensitività termica, maggiore frequenza campionamento, elevata risoluzione geometrica, basso costo, ampia gamma di utilizzo.

# Il sensore microbolometrico

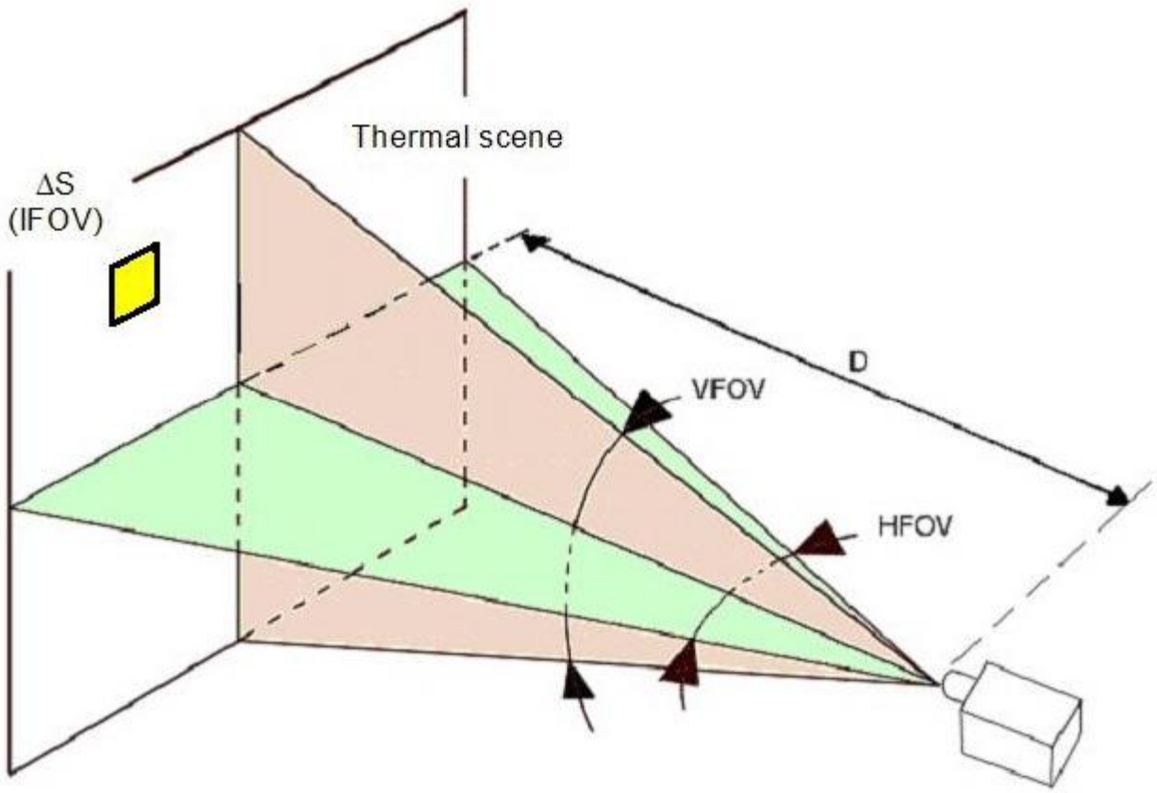


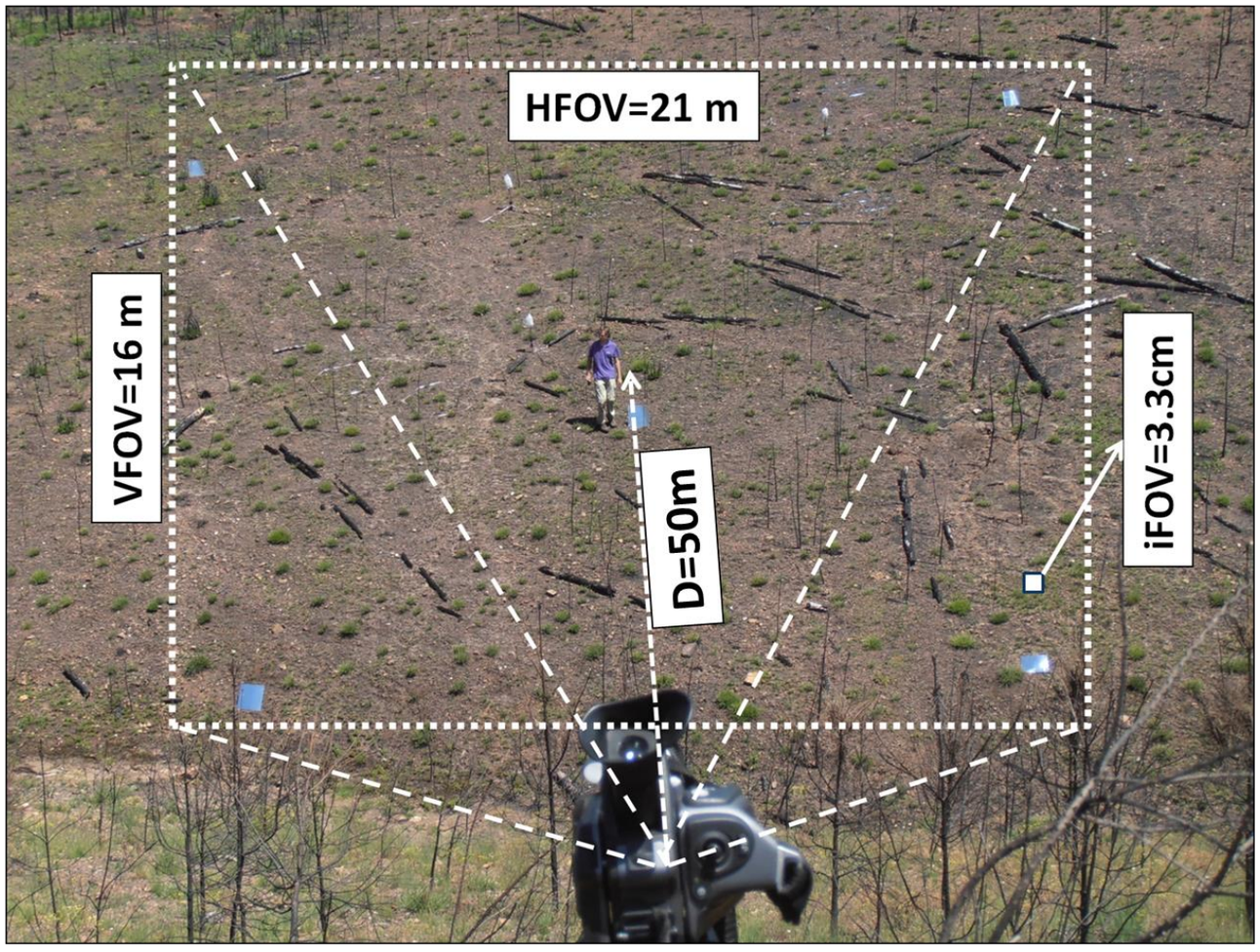



# Rilievo termografico

## • Field of View/curvatura della lente

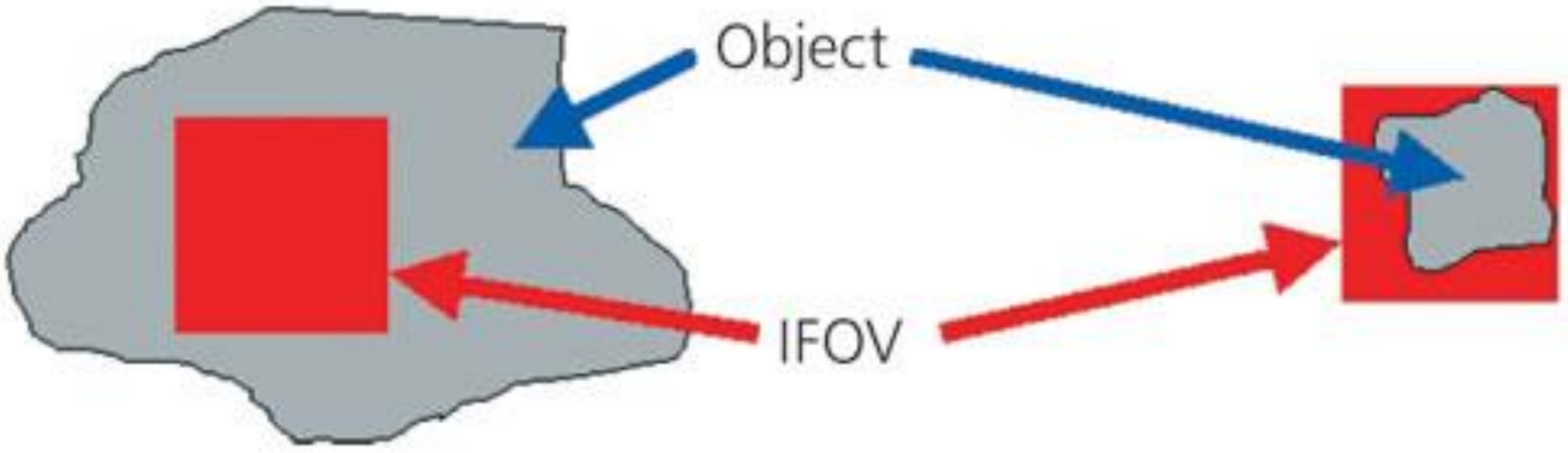
- Distanza (D);
- Vertical field of view (VFOV);
- Istantaneous field of view (IFOV);
- Horizontal field of view (HFOV);



# Rilievo termografico

- **distanza/risoluzione geometrica: IFOV**

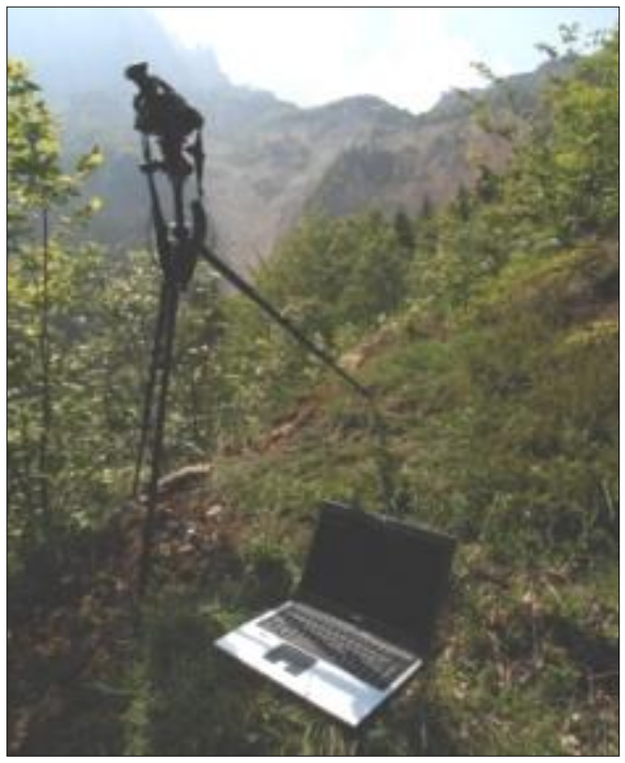


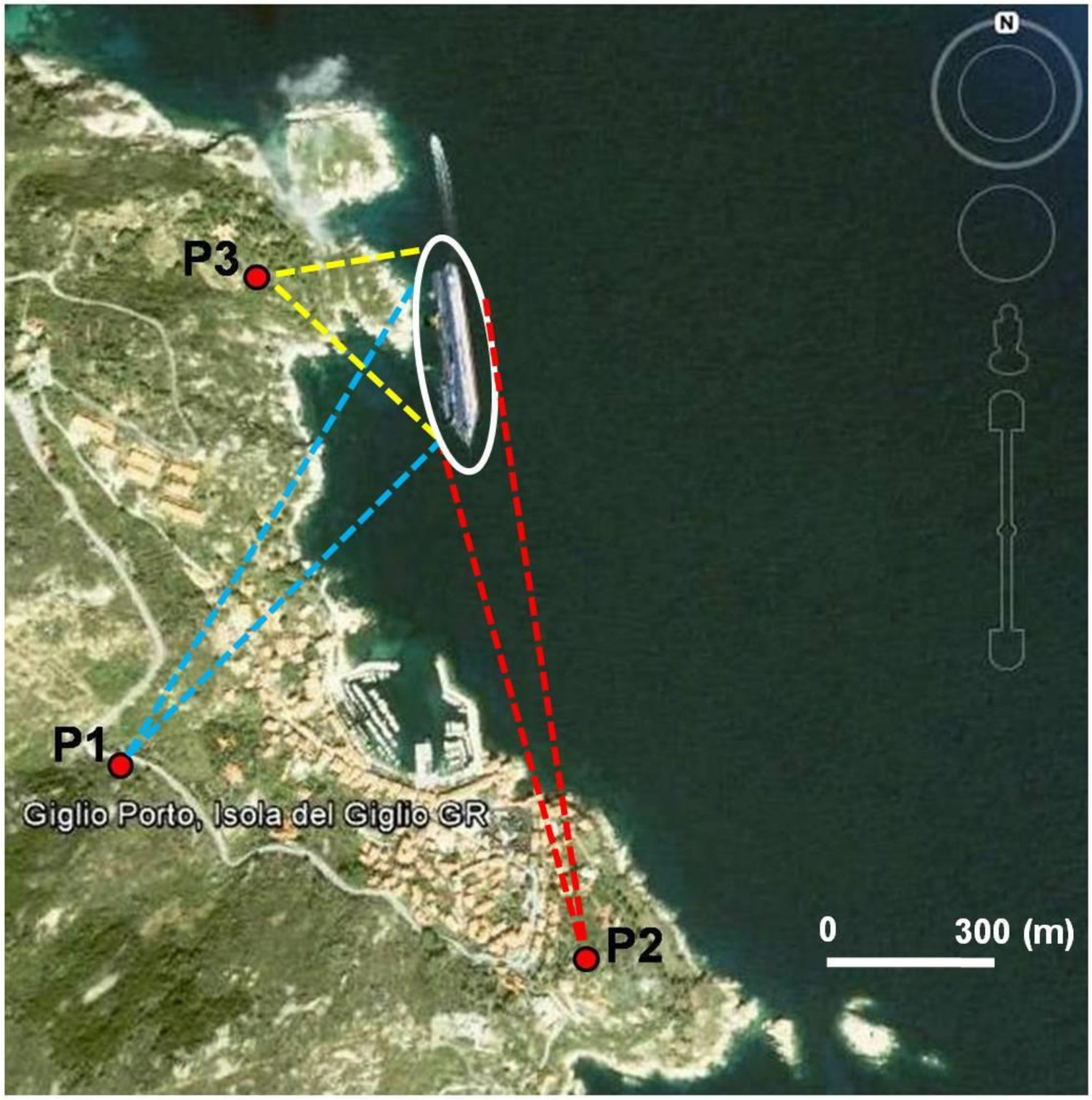

| Focal length: 37.64 mm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Resolution: 640 x 480 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 23.9 | | | | | | | | | |
| **D --->** | **0.50** | **1.00** | **2.00** | **5.00** | **10.00** | **25.00** | **50.00** | **100.00** | **m** |
| HFOV | 0.21 | 0.43 | 0.85 | 2.13 | 4.25 | 10.63 | 21.25 | 42.51 | m |
| VFOV | 0.16 | 0.32 | 0.64 | 1.59 | 3.19 | 7.97 | 15.94 | 31.88 | m |
| IFOV | 0.33 | 0.66 | 1.33 | 3.32 | 6.64 | 16.60 | 33.21 | 66.42 | mm |
| **D --->** | **1.64** | **3.28** | **6.56** | **16.39** | **32.79** | **81.97** | **163.93** | **327.87** | **ft.** |
| HFOV | 0.70 | 1.39 | 2.79 | 6.97 | 13.94 | 34.84 | 69.69 | 139.37 | ft. |
| VFOV | 0.52 | 1.05 | 2.09 | 5.23 | 10.45 | 26.13 | 52.26 | 104.53 | ft. |
| IFOV | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.13 | 0.26 | 0.65 | 1.31 | 2.61 | in. |

# Postazione di acquisizione

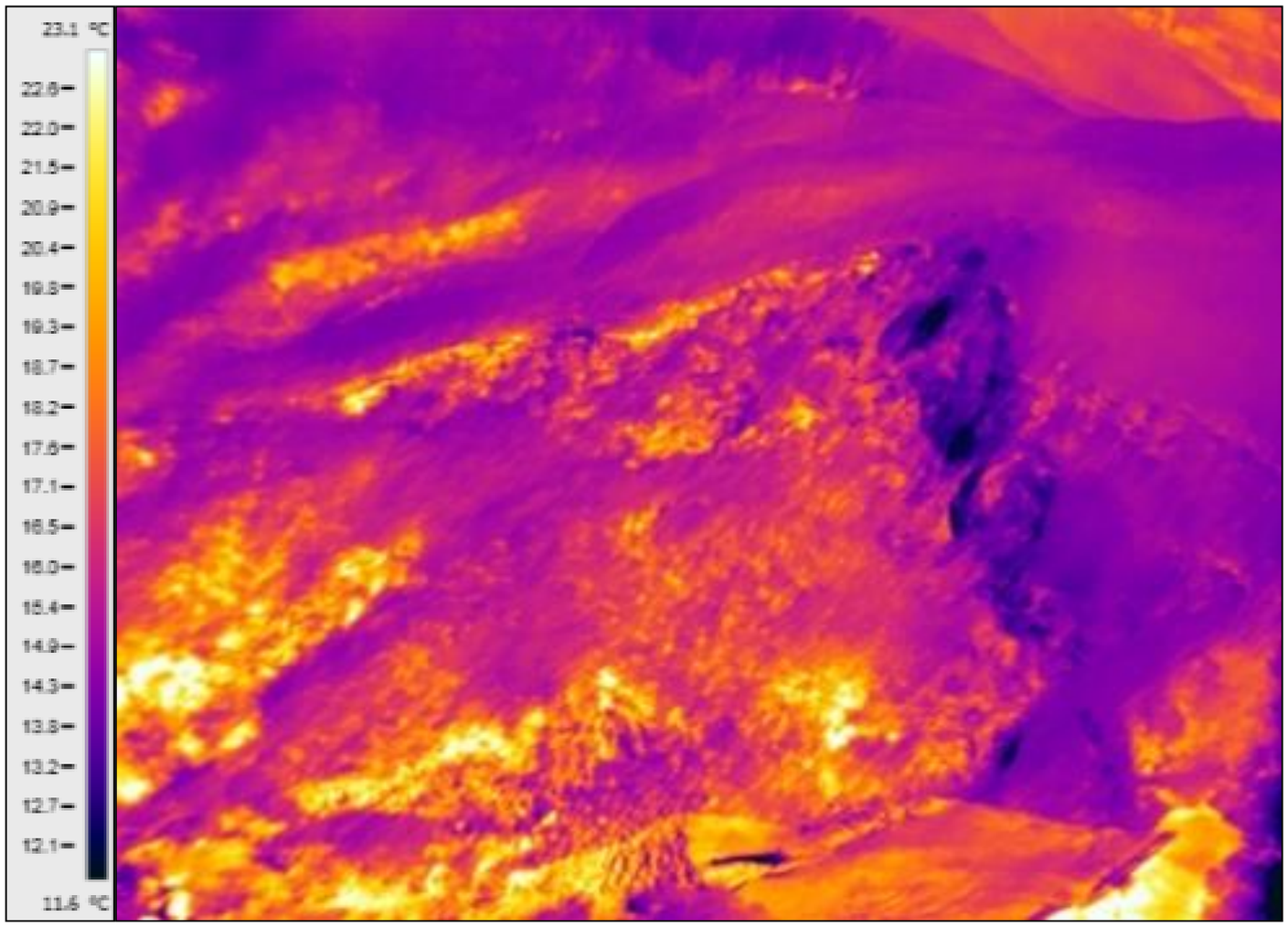
- **Strumentazione, logistica ed esposizione scenario**

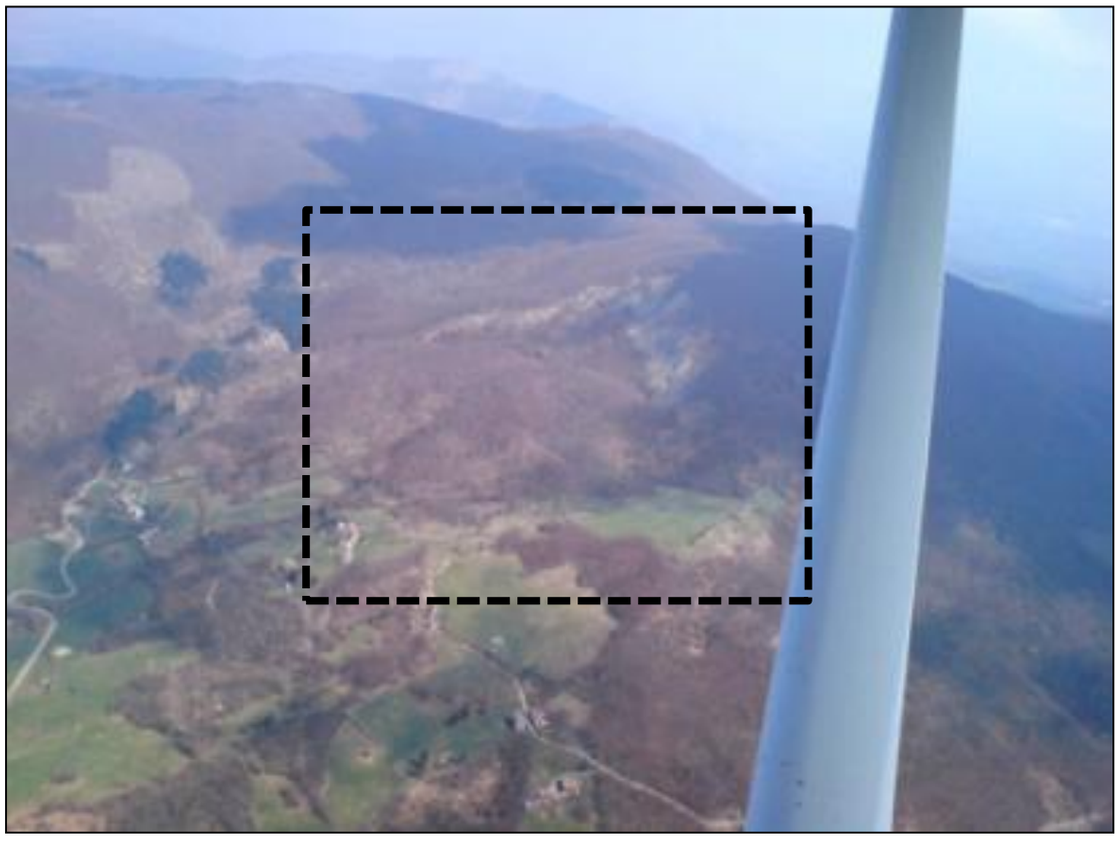


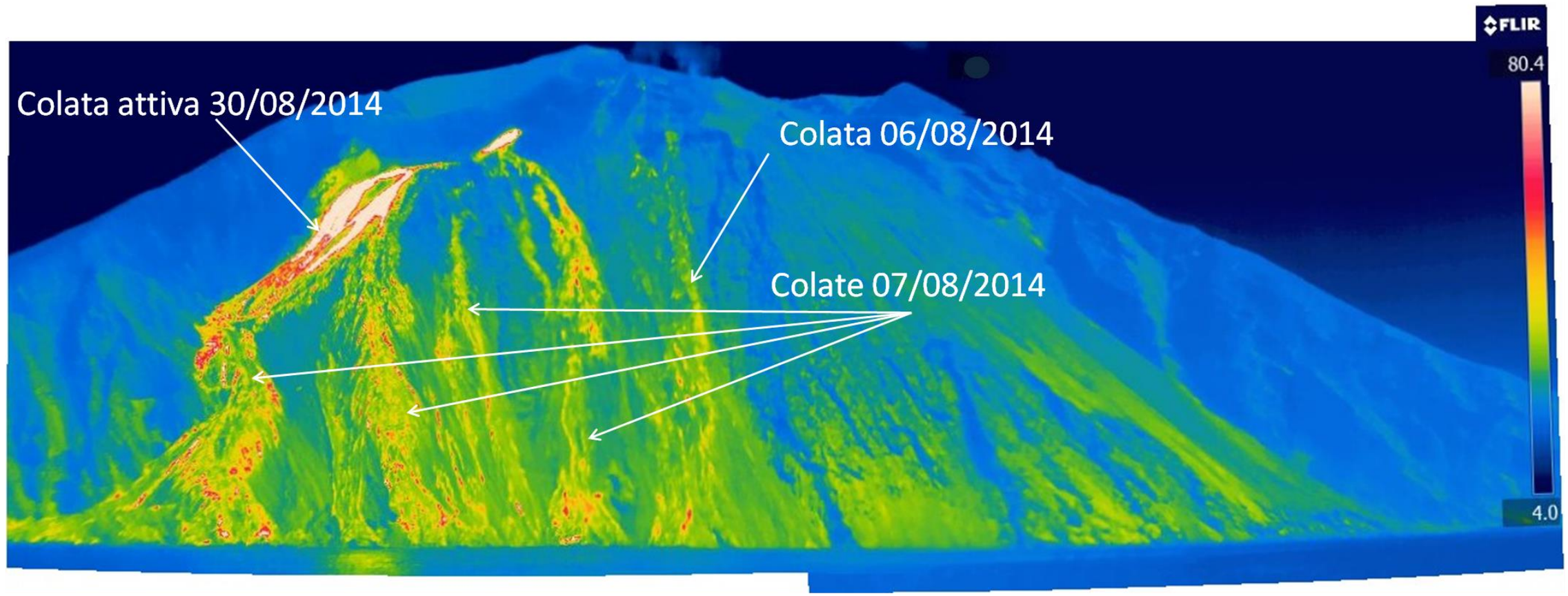


# Postazione di acquisizione aerea



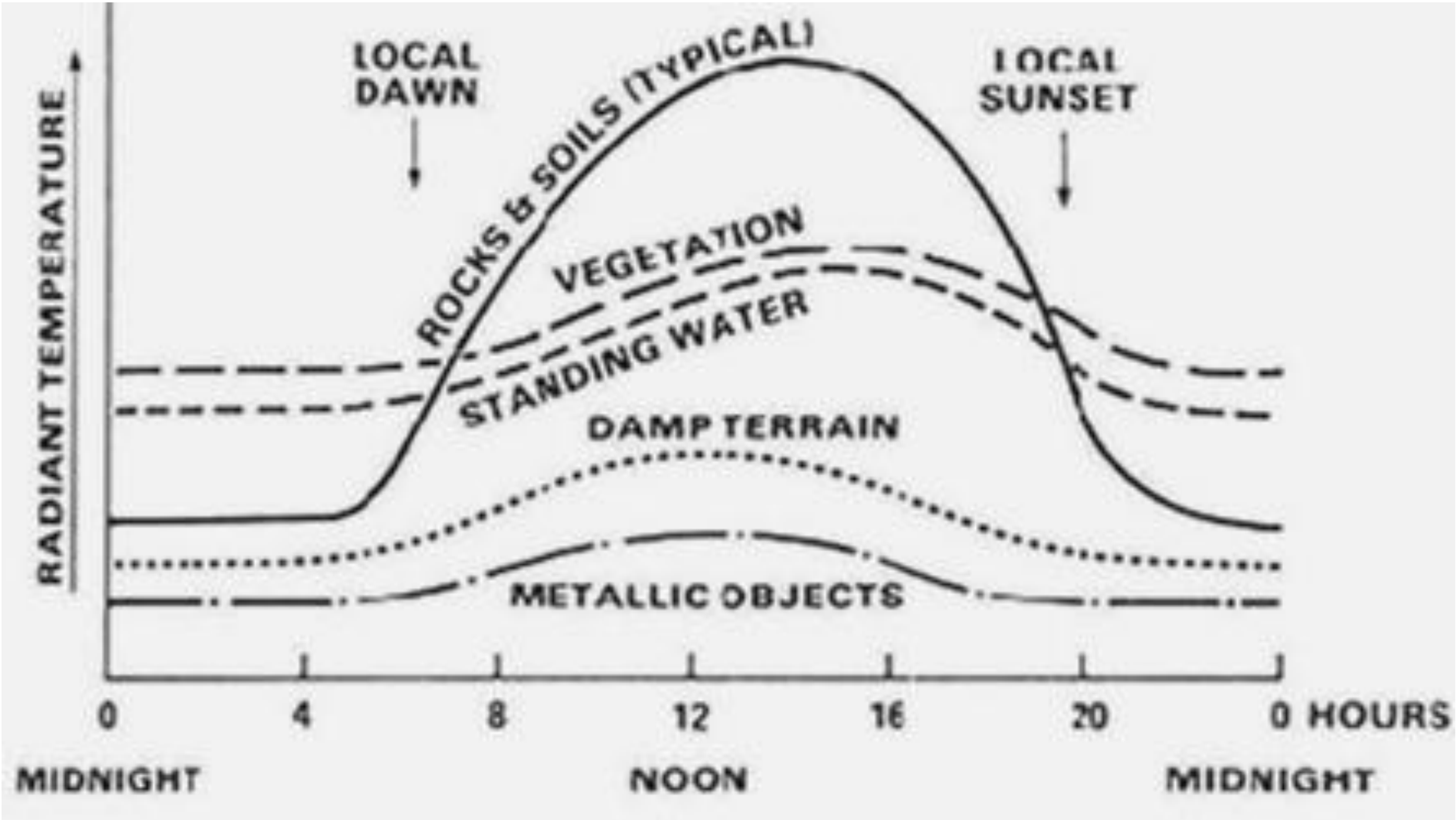
# Postazione di acquisizione da mare






# Rilievo multitemporale

## • ciclo diurno irraggiamento solare



# Rilievo multitemporale

- **Variazione irraggiamento solare/orientazione superficie**

- **Sunseeker App (Android, IPhone)**

