



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

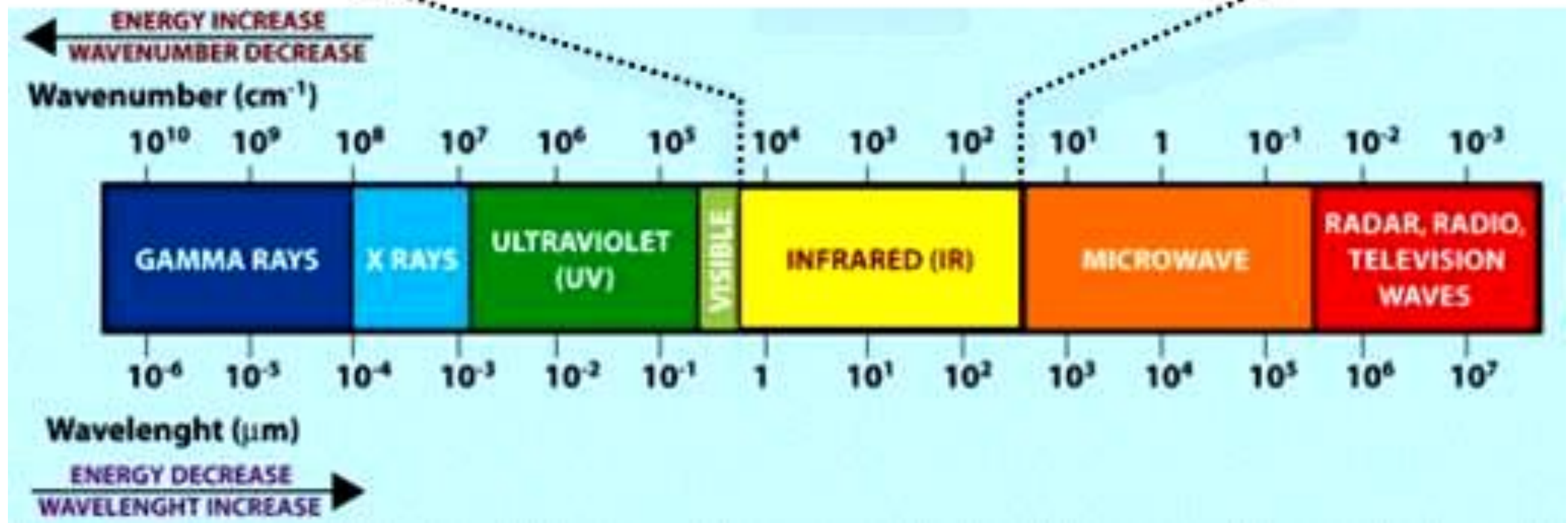
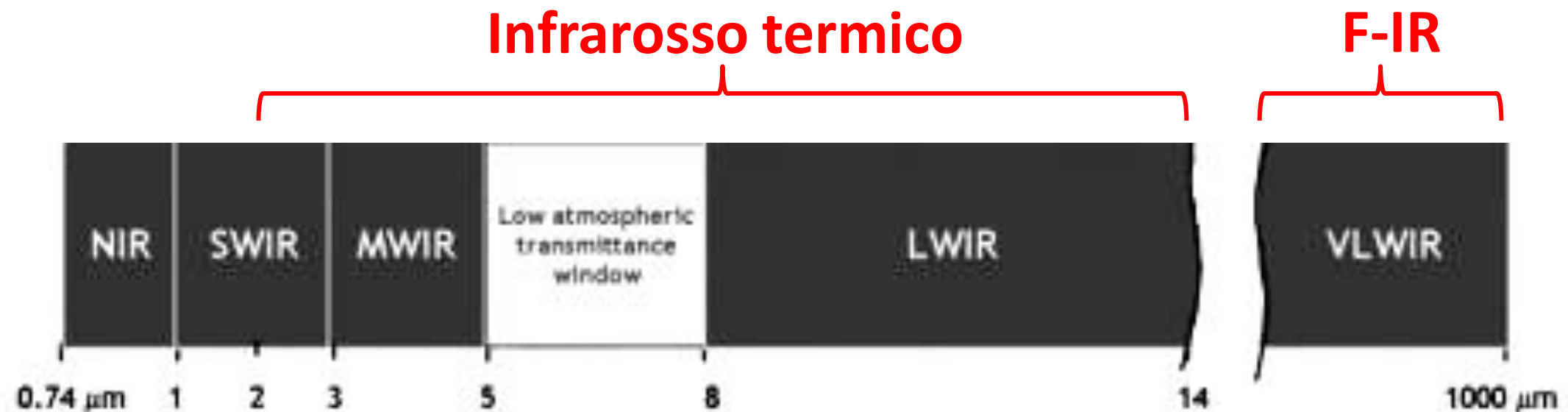
William Frodella
(Operatore termografico II Livello)

Termografia ad infrarossi (IRT)

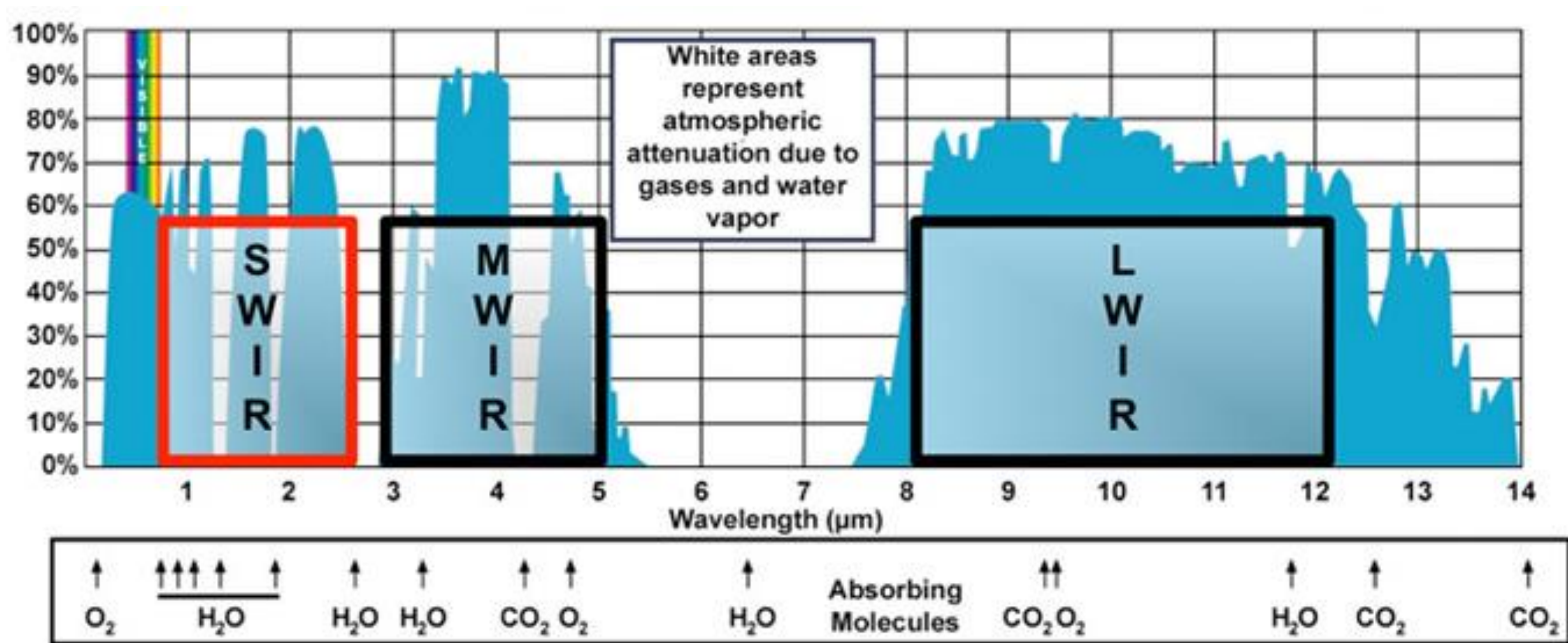
- **Tecnica polivalente non distruttiva** che misurando senza contatto la **radiazione infrarossa** proveniente da un corpo è in grado di determinarne la **temperatura superficiale**.
- Permette di **mappare la distribuzione di temperatura superficiale** della scena inquadrata tramite immagini radiometriche, 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 $T > 0^\circ \text{ K}$ 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*:

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

- W (Watt/m²) = Emittanza spettrale;
- ϵ = Emissività;
- σ = Costante di Stephan-Boltzmann (5.67×10^{-8} Wm⁻² K⁻⁴);
- T = Temperatura assoluta (K°).

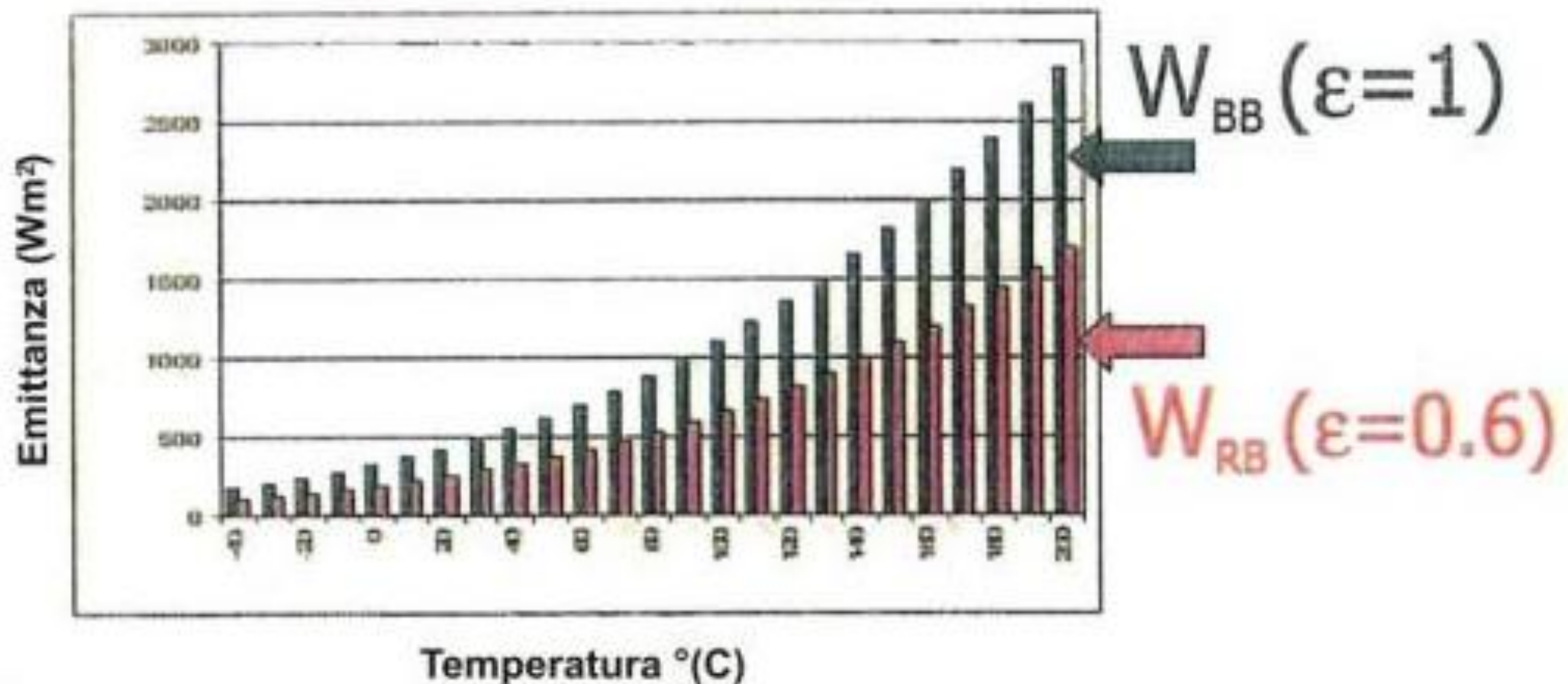


Tabelle di emissività

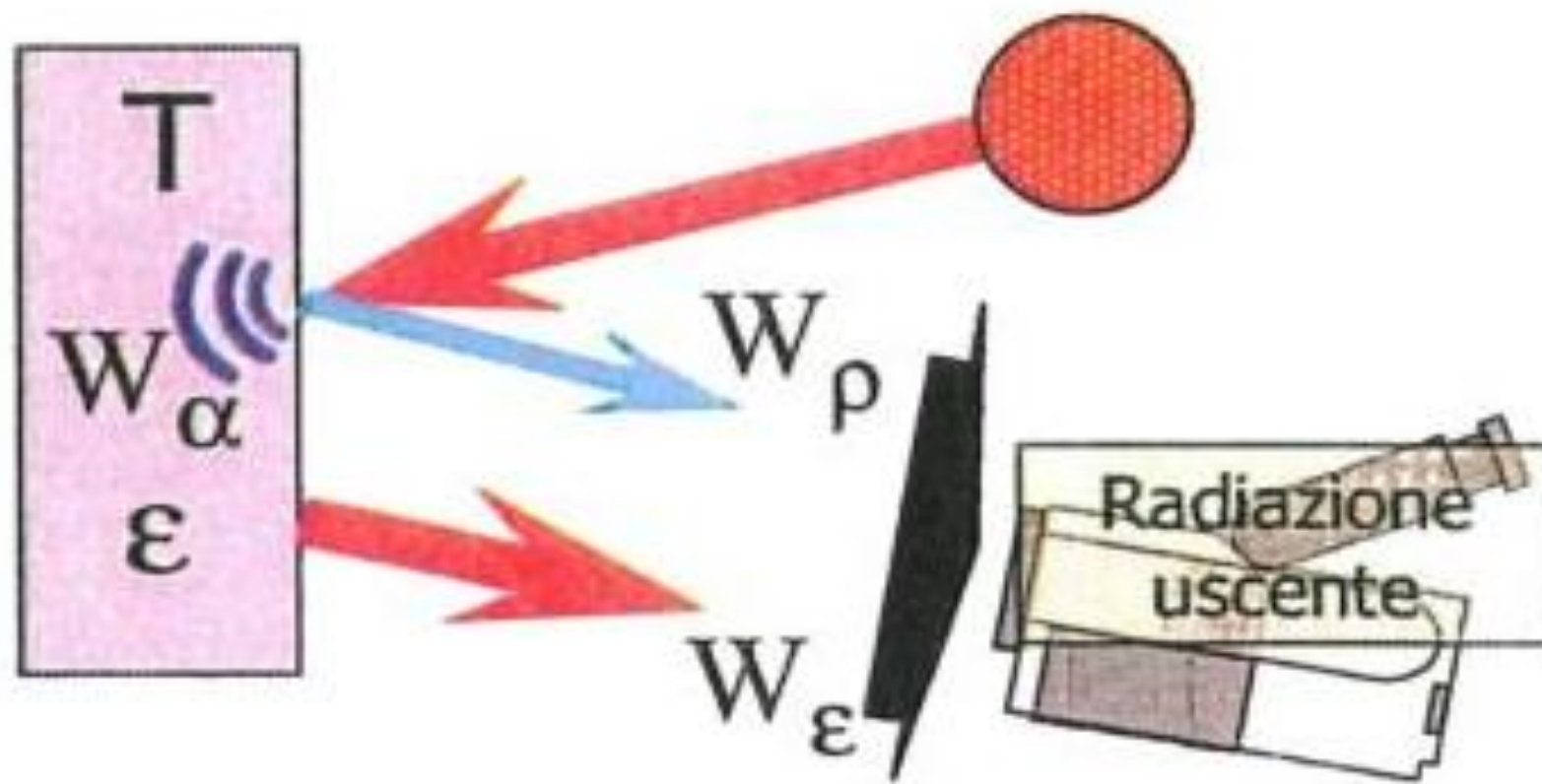
Material	Typical Average Emissivity ε over 8–14 μm^a
Clear water	0.98–0.99
Wet snow	0.98–0.99
Human skin	0.97–0.99
Rough ice	0.97–0.98
Healthy green vegetation	0.96–0.99
Wet soil	0.95–0.98
Asphaltic concrete	0.94–0.97
Brick	0.93–0.94
Wood	0.93–0.94
Basaltic rock	0.92–0.96
Dry mineral soil	0.92–0.94
Portland 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 Kirchhoff



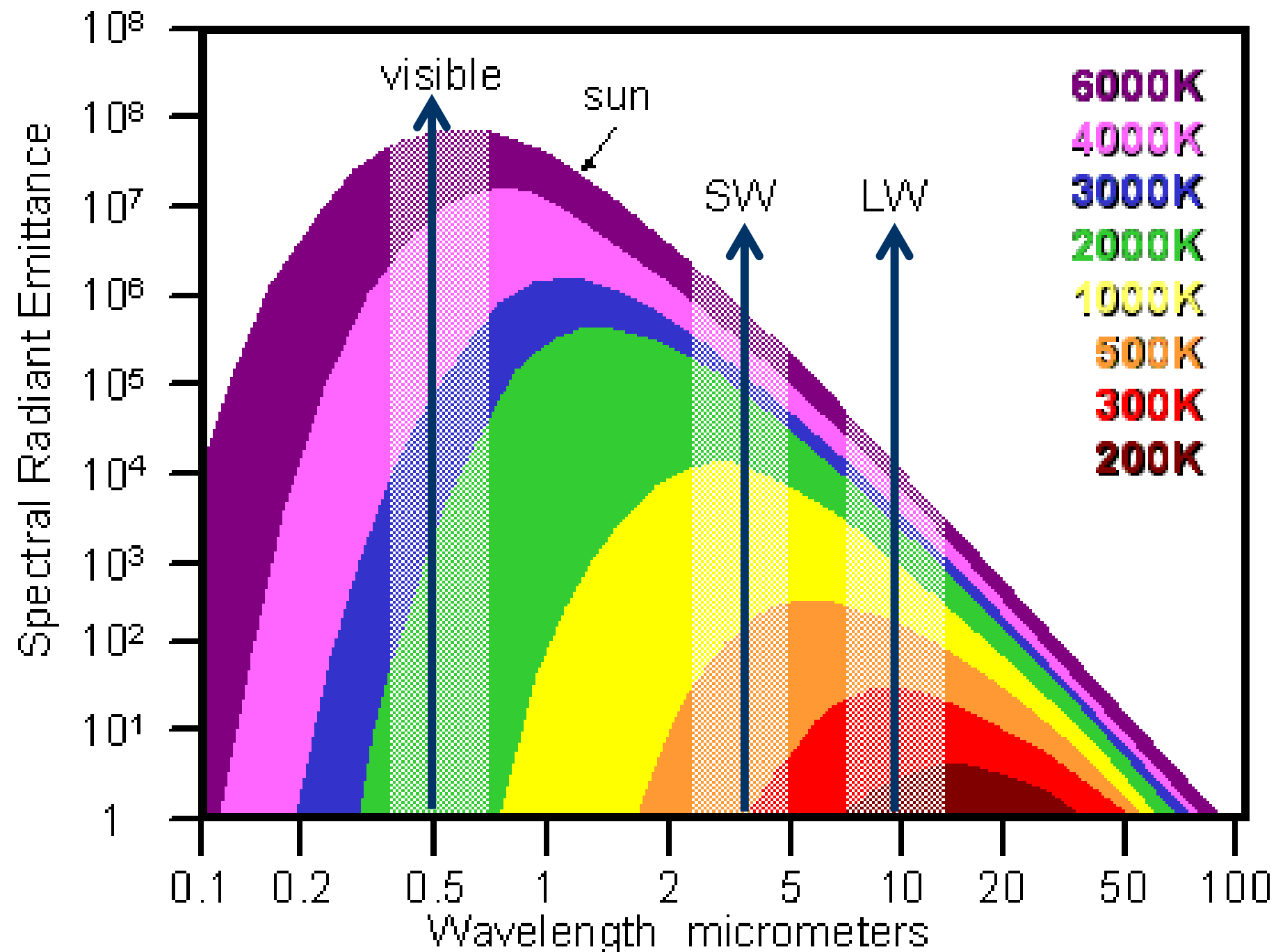
$$W_i = W_\alpha + W_\rho + W_\tau$$

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

- Eq. Scambio di energia = $\alpha + \rho + \tau = 1$
- $\alpha = \epsilon$ (un corpo emette l'energia che riesce ad assorbire)
 - $\epsilon + \rho + \tau = 1$
 - **corpo bianco:** $\epsilon, \tau = 0$; $\rho = 1$
 - **corpo nero:** $\rho, \tau = 0$; $\epsilon = 1$
- **corpo opaco:** $\tau = 0$ ($\epsilon = 1 - \rho$)

Legge di Plank

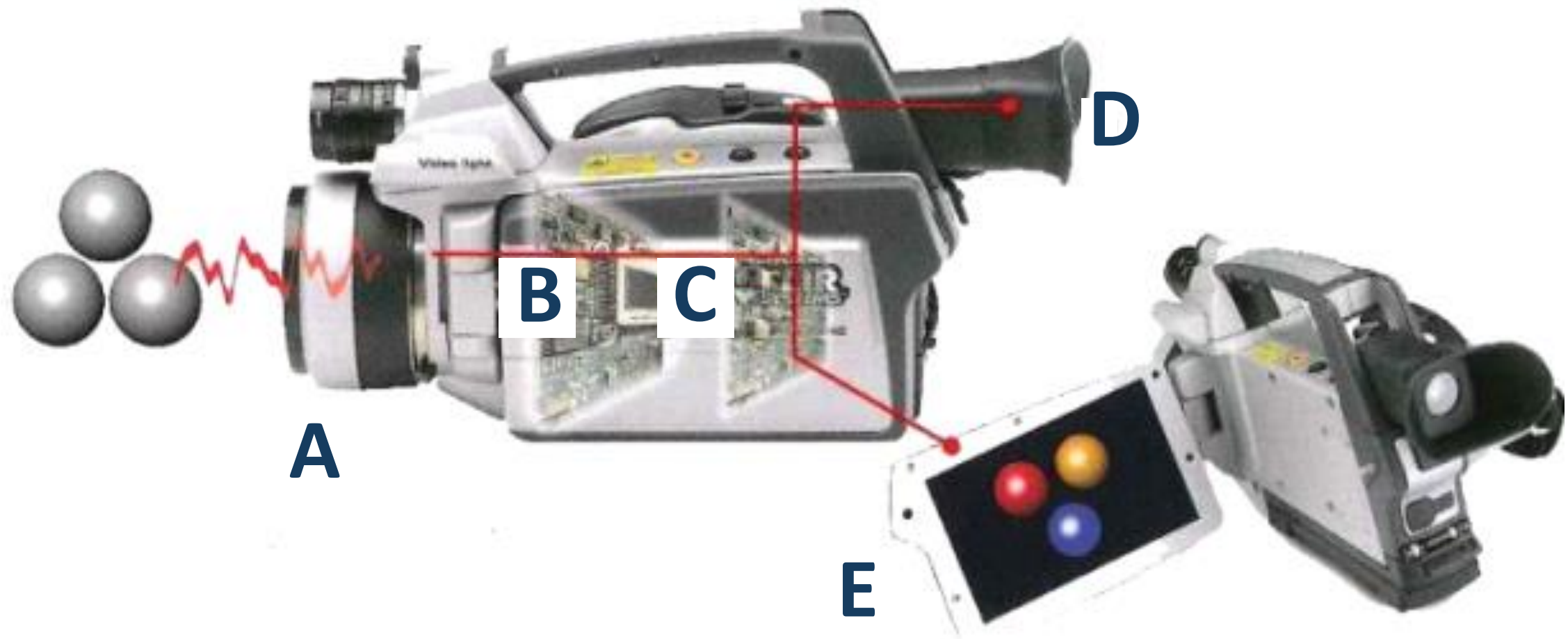
Intensità di radiazione emessa da corpo nero è funzione di T e λ



- **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

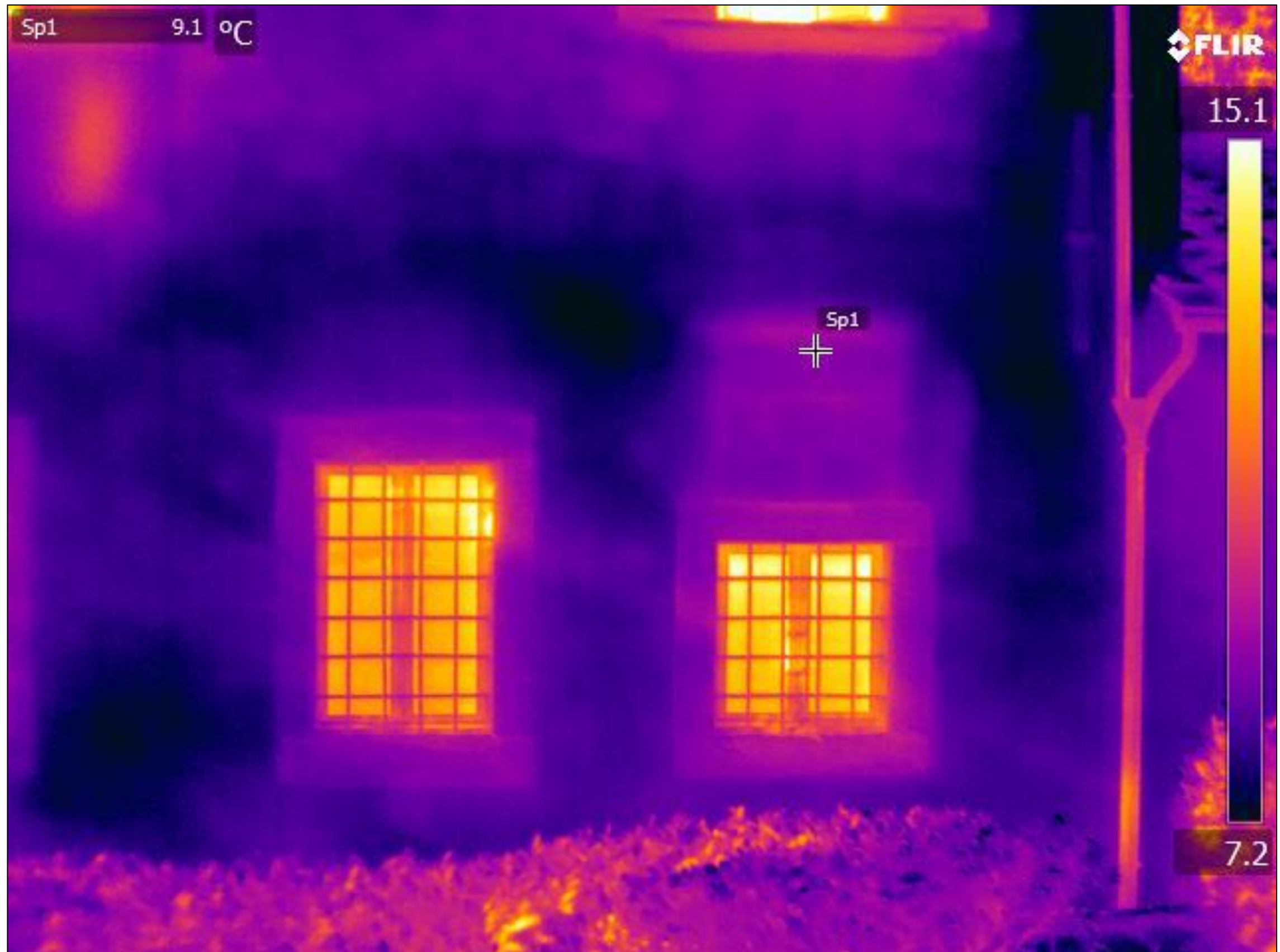


- 1 = Lenti al Germanio;
- 2 = Fotocamera digitale;
- 3 = Puntatore laser;
- 4 = Mirino regolabile;
- 5 = Pulsanti di messa a fuoco;
- 6 = Impugnatura rotante.

Caratteristiche tecniche

- **Sensore:** microbolometro non raffreddato (FPA)
- **Sensibilità 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);

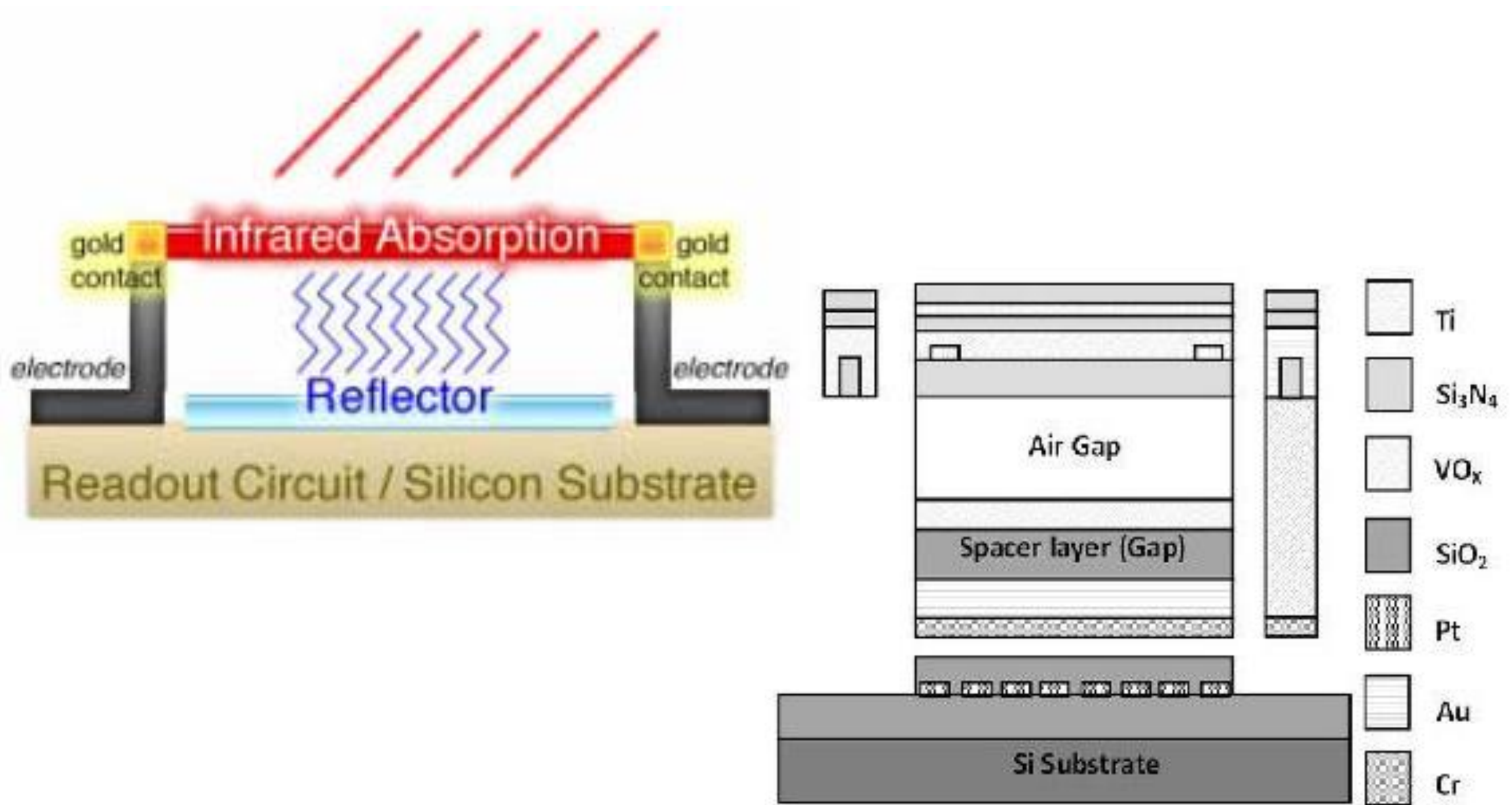
1 - Detector fotonici (quantum detectors): trasformano fotoni assorbiti in energia elettrica (effetto fotoelettrico).

- **Singolo elemento sensibile** (sistema meccanico di scansione);
- generalmente **raffreddati** (sistemi criogenici, pompa stirling);
- tempi di risposta rapidi, sensibilità 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);

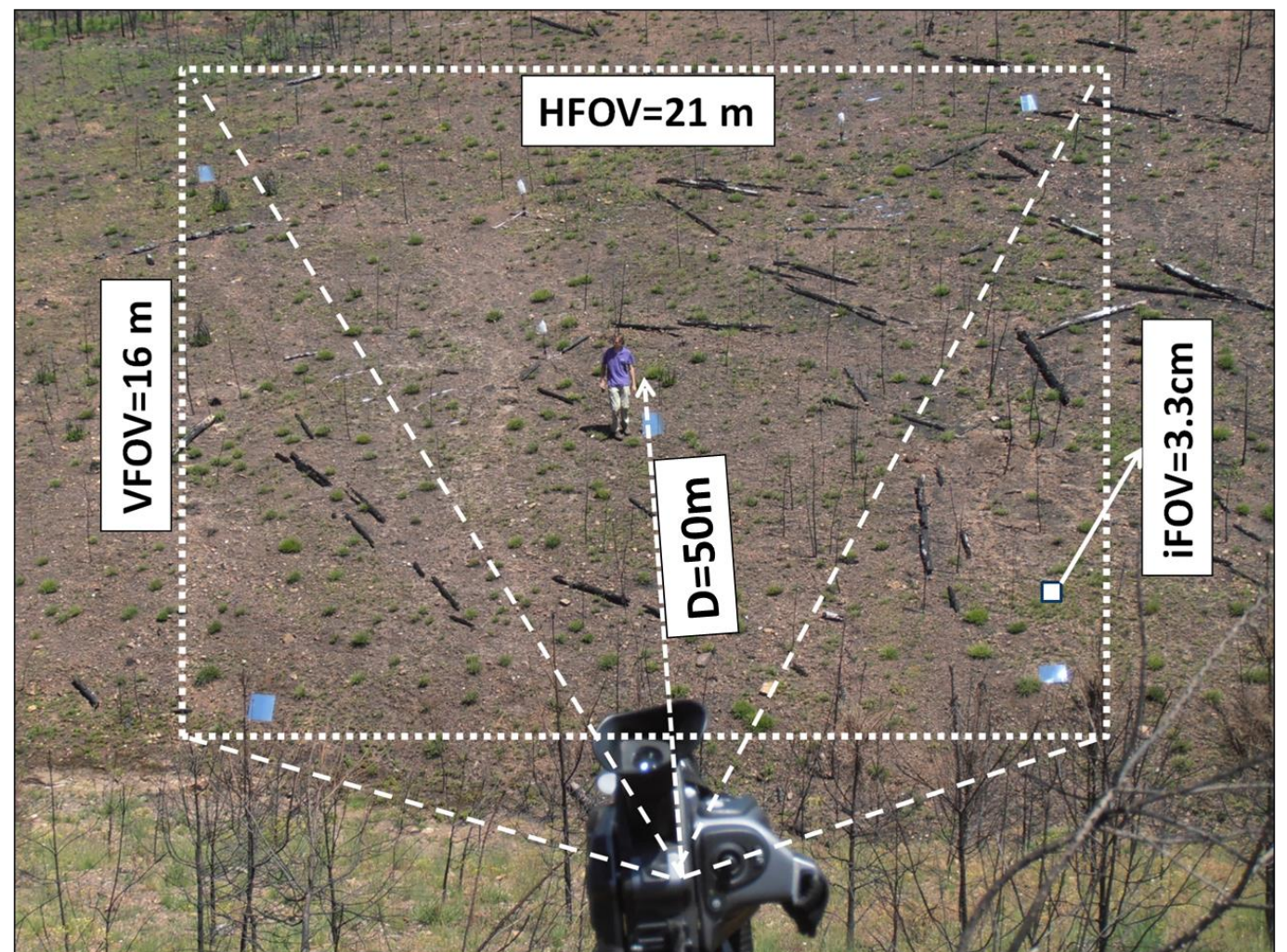
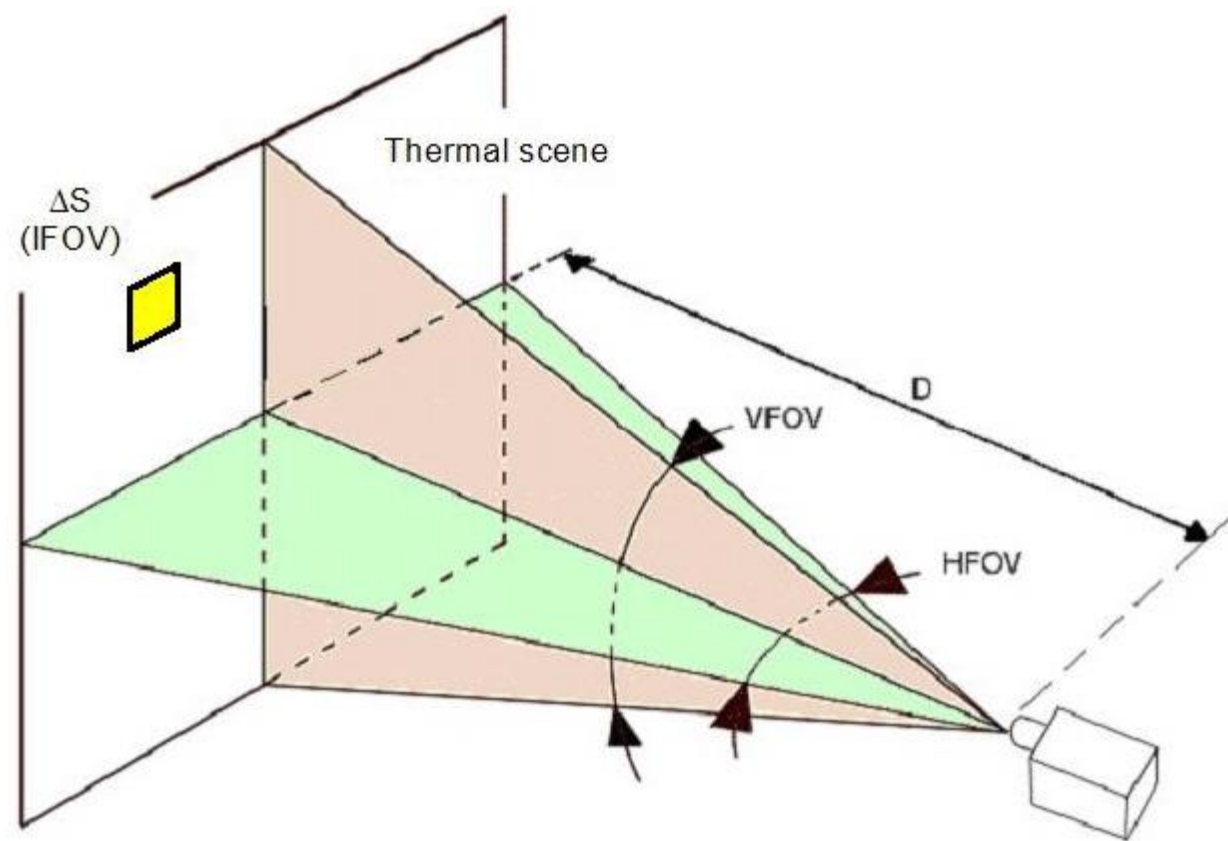
- **Array bidimensionale** di sensori (sensori microbolometrici a matrice piana);
- Correlazione diretta fra cella del sensore e pixel dell'immagine, la risoluzione del sensore coincide con quella dell'immagine;
- Generalmente **non raffreddati**;
- tempi di risposta più lenti, minore sensibilità termica, maggiore frequenza campionamento, elevata risoluzione geometrica, basso costo, ampia gamma di utilizzo.

Il sensore microbolometrico



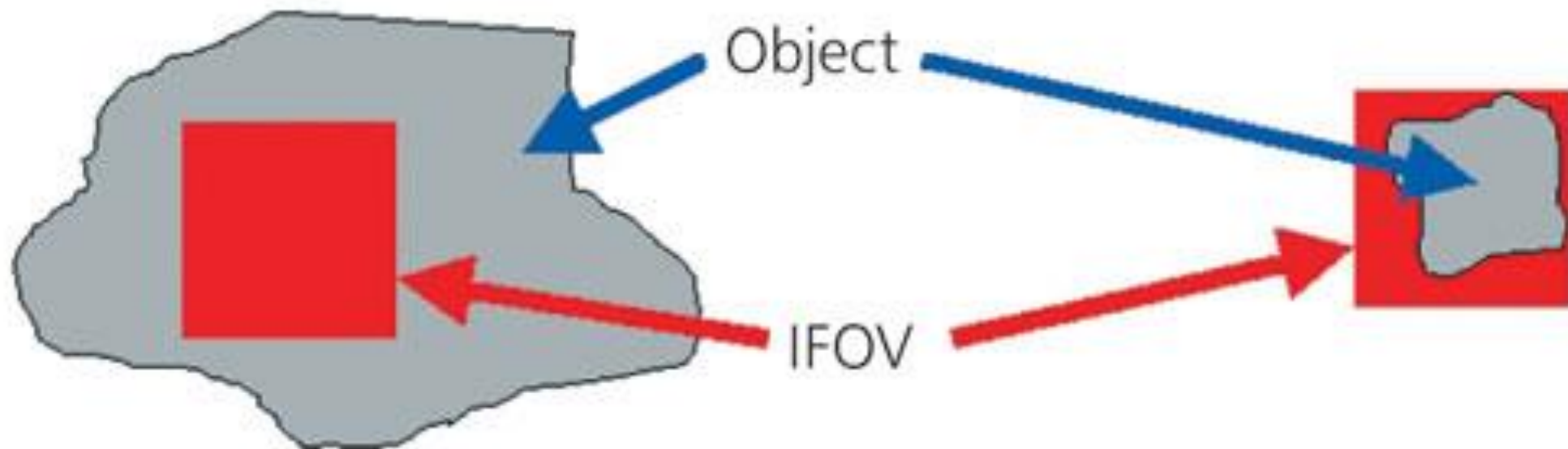
Rilievo termografico

- 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

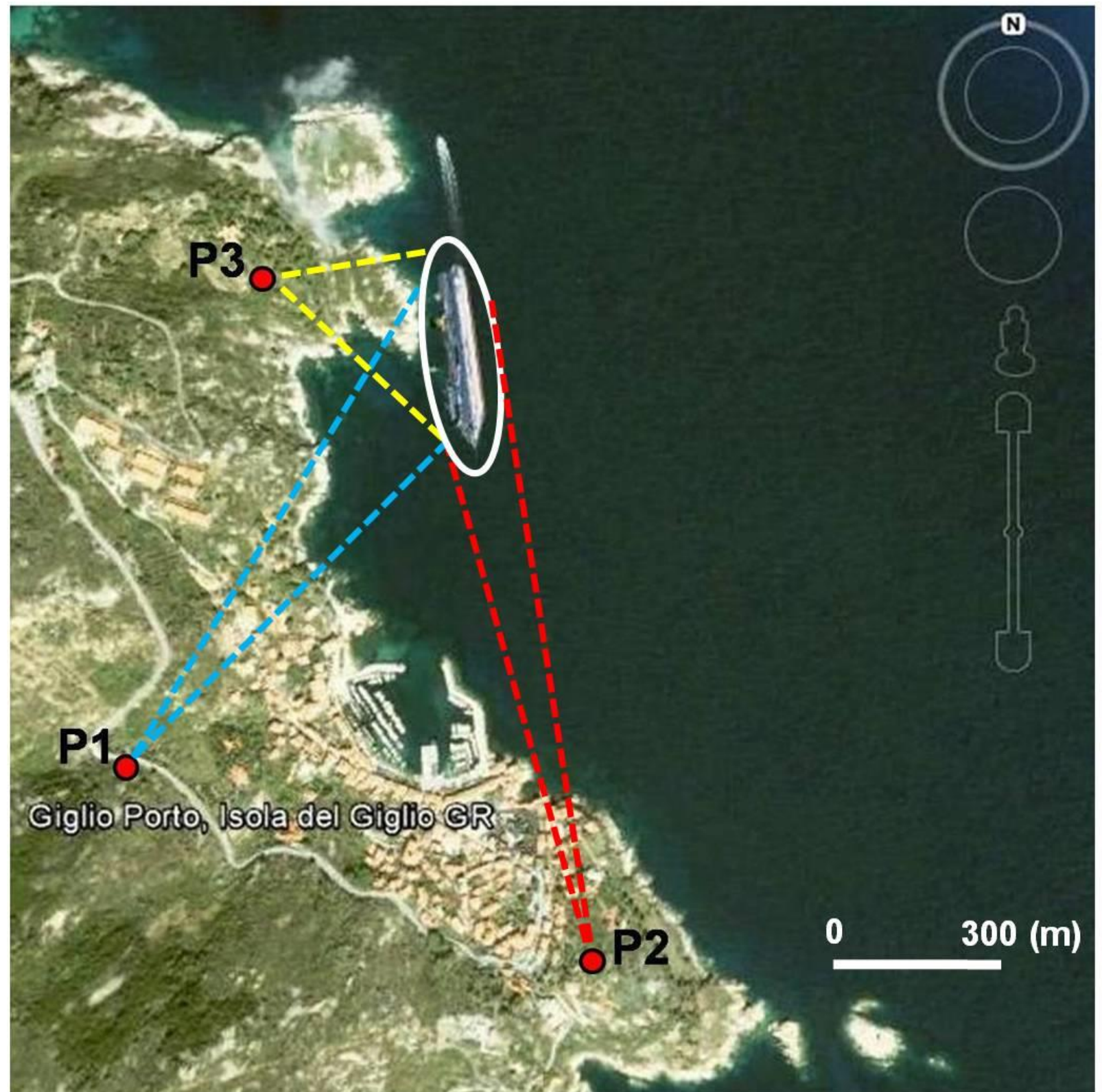
- distanza/risoluzione geometrica: IFOV



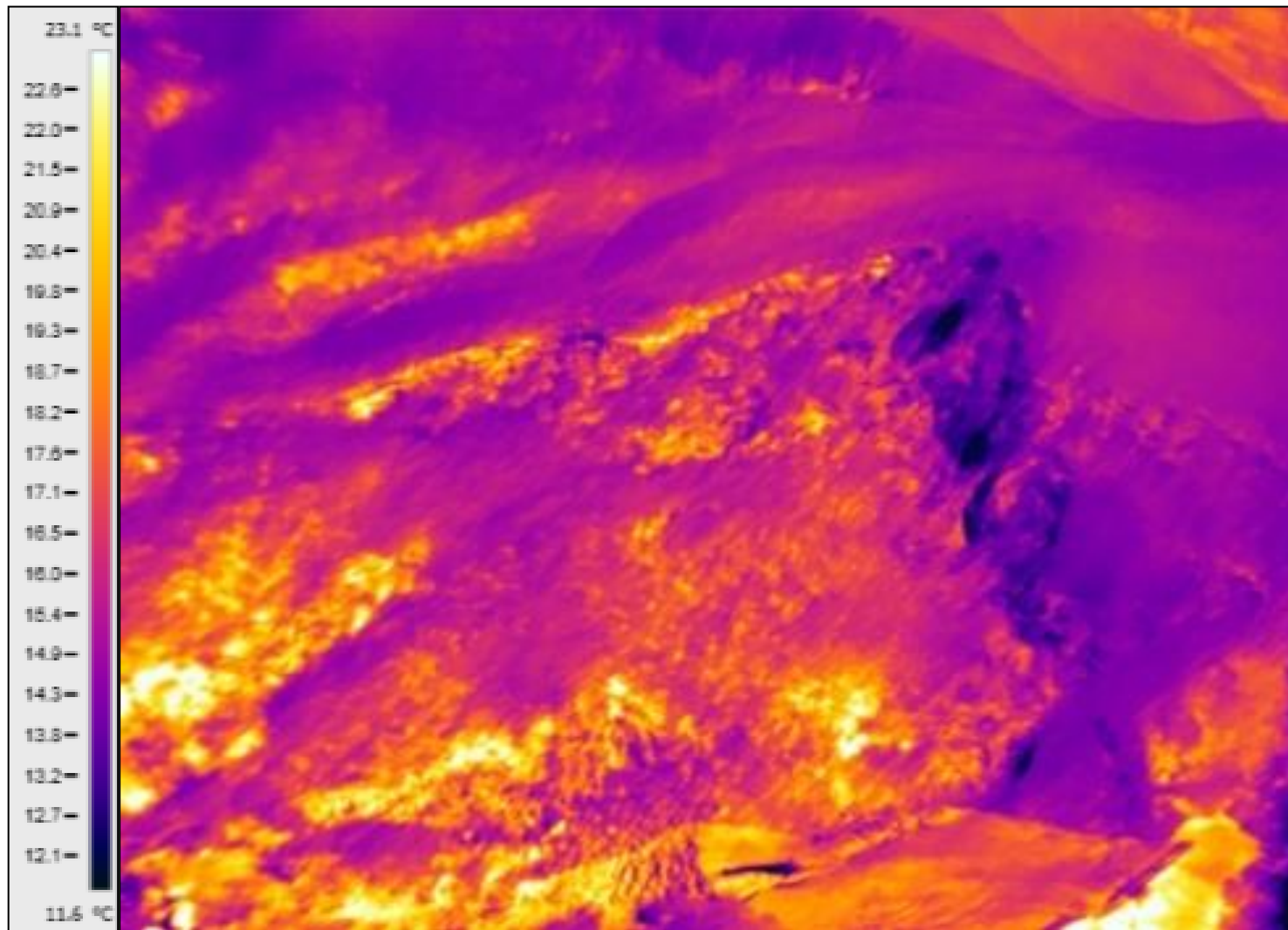
Focal length: 37.64 mm									
Resolution: 640 x 480 pixels									
Field of view in degrees: 23.9									
D -->	0.50	1.00	2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	m
HFOV	0.21	0.43	0.85	2.13	4.25	10.63	21.25	42.51	m
VFOV	0.16	0.32	0.64	1.59	3.19	7.97	15.94	31.88	m
IFOV	0.33	0.66	1.33	3.32	6.64	16.60	33.21	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

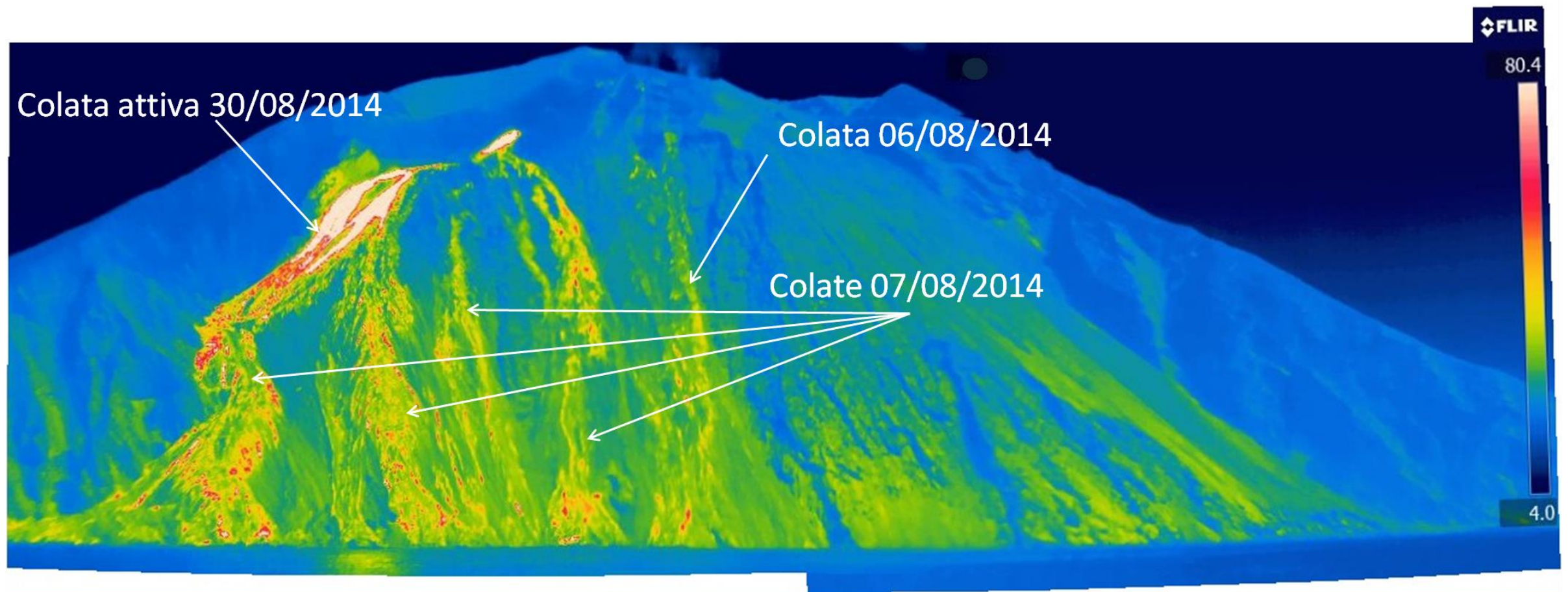
- Strumentazione, logistica ed esposizione scenario



Postazione di acquisizione aerea

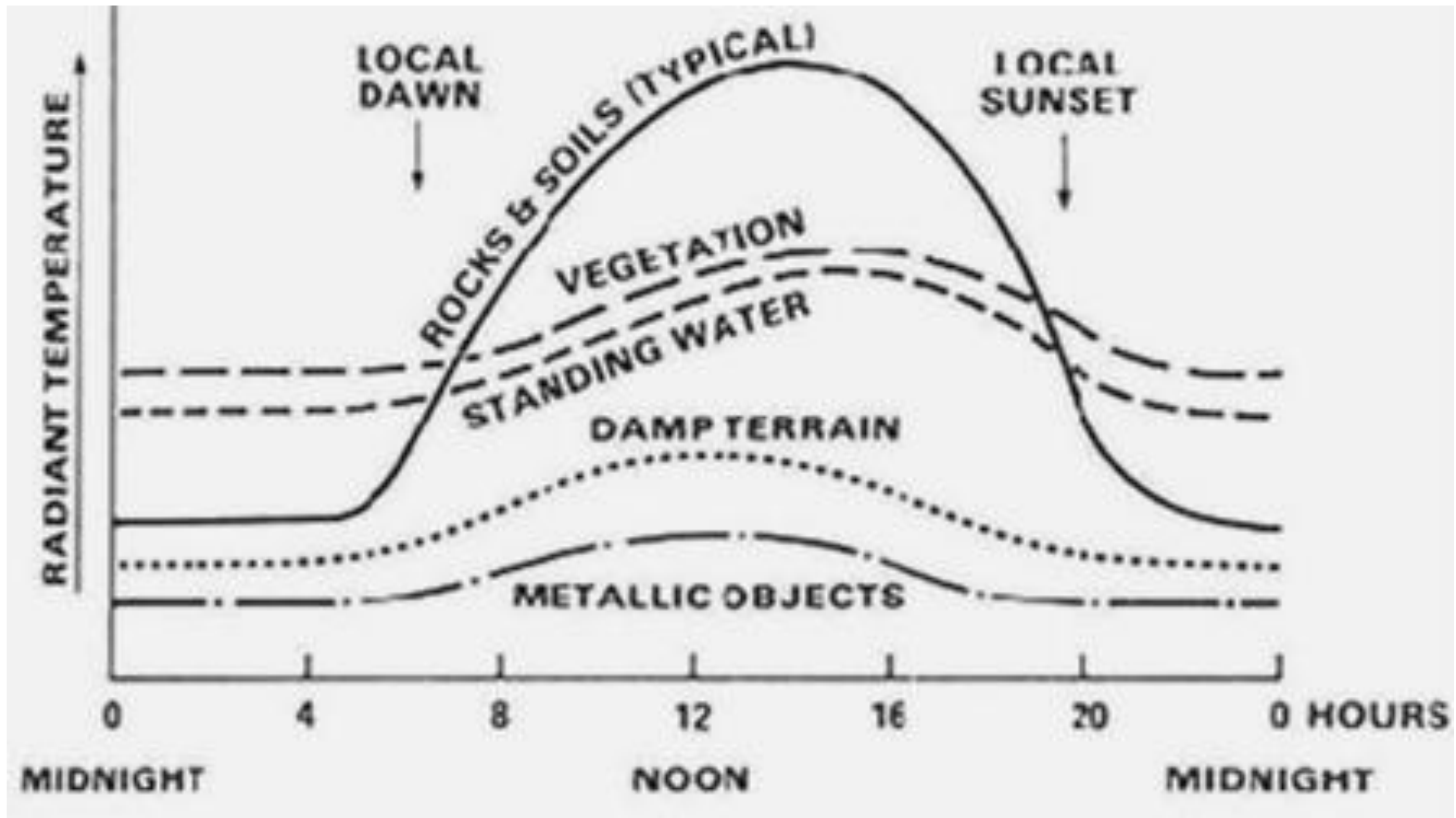


Postazione di acquisizione da mare



Rilievo multitemporale

- ciclo diurno irraggiamento solare



Rilievo multitemporale

- Variazione irraggiamento solare/orientazione superficie

- Sunseeker App
(Android, iPhone)

