

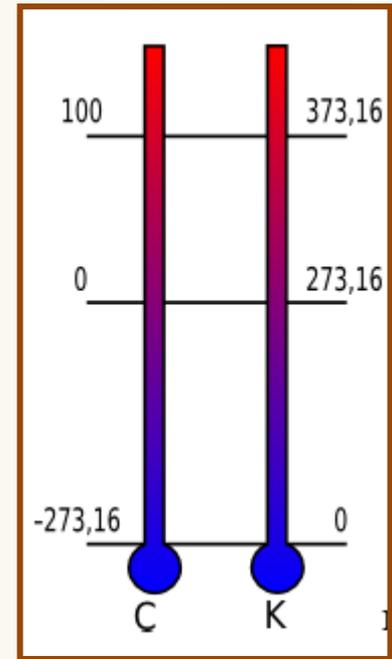
*La MISURA della  
TEMPERATURA a  
DISTANZA*

# LA MISURA DELLA T A DISTANZA

I principali **strumenti** attualmente **disponibili** per le misure di T a distanza sono:

- ❖ Radiometri;
- ❖ Pirometri;
- ❖ Video - radiometri (tra cui le termocamere);

Utilizzano di base tutti la **stessa teoria** per la determinazione della temperatura cioè le **leggi** di **STEFEN- BOLTZMAN** e **WIEN**



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

# LA TERMOCAMERA

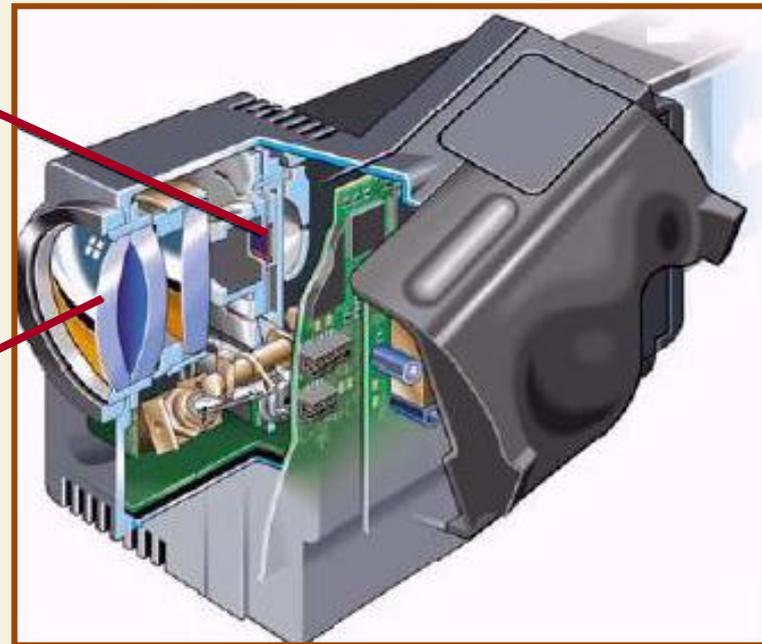
## COMPONENTI PRINCIPALI:

### 1. Sensore (sensor)

È una matrice bidimensionale **FPA** (Focal Plane Array) costituito in realtà da un reticolo di singoli **rilevatori (detector)** identici. Ogni singolo rilevatore rileva l'intensità di radiazione infrarossa che l'ottica focalizza su di esso e, tramite un trasduttore, la invia al sistema elettronico di elaborazione dell'immagine.

sensore

lente



### 2. Lente

Poiché il vetro non è trasparente alla radiazione infrarossa l'ottica è composta da un cristallo in **Germanio** per le termocamere sensibili nel campo delle Long Wave (8-14 micron), da uno in **Silicio** per quelle sensibili nel campo delle Short Wave (2-5 micron).

# 1. IL SENSORE

È l'**elemento fondamentale** che **condiziona** le **prestazioni**, le **potenzialità** di utilizzo della termocamera e ne costituisce la principale voce di **costo**.

È costituito dalla matrice bidimensionale di **rilevatori** e da tutti i **componenti accessori** (supporti, circuiteria elettrica, filtri, specchi e dispositivi ottici fissi o mobili, apparati di controllo della temperatura, ...)

# 1. IL SENSORE

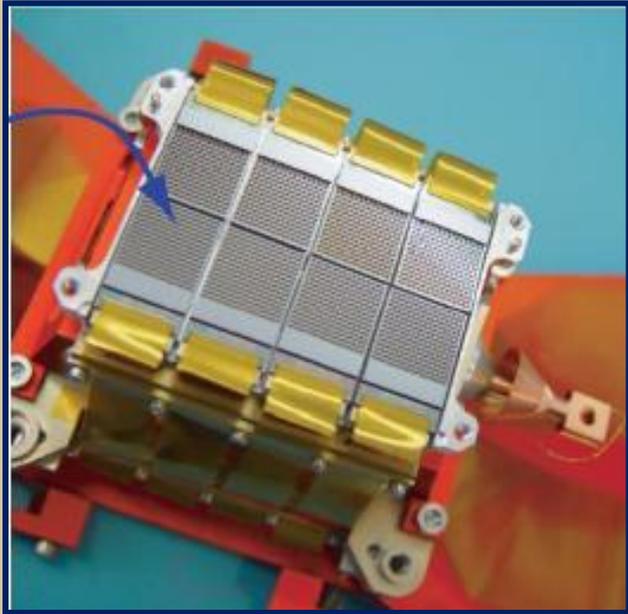
## PREMESSO CHE:

- le onde nel campo dell'**infrarosso** **NON** sono **visibili** dall'occhio umano
- attraverso opportuni **sensori** le termocamere ad infrarossi rendono **visibile l'infrarosso**
- I **sensori** fungono da **trasduttori**: trasformano l'energia elettromagnetica ricevuta in fenomeni misurabili (es. variazioni di potenziale elettrico, corrente elettrica, ecc...)
- Tutti i sensori hanno la caratteristica di essere **sensibili solamente** ad una **parte** dello **spettro** dell'**infrarosso**.

Nelle **termocamere commerciali** di ultima generazione si sono affermate **due classi** di **sensori ad infrarossi FPA**:

1. **sensori microbolometrici** (famiglia dei sensori di tipo **termico**)
2. **sensori fotovoltaici** (famiglia dei sensori **quantici**)

# SENSORI MICROBOLOMETRICI



Microbolometri in matrice

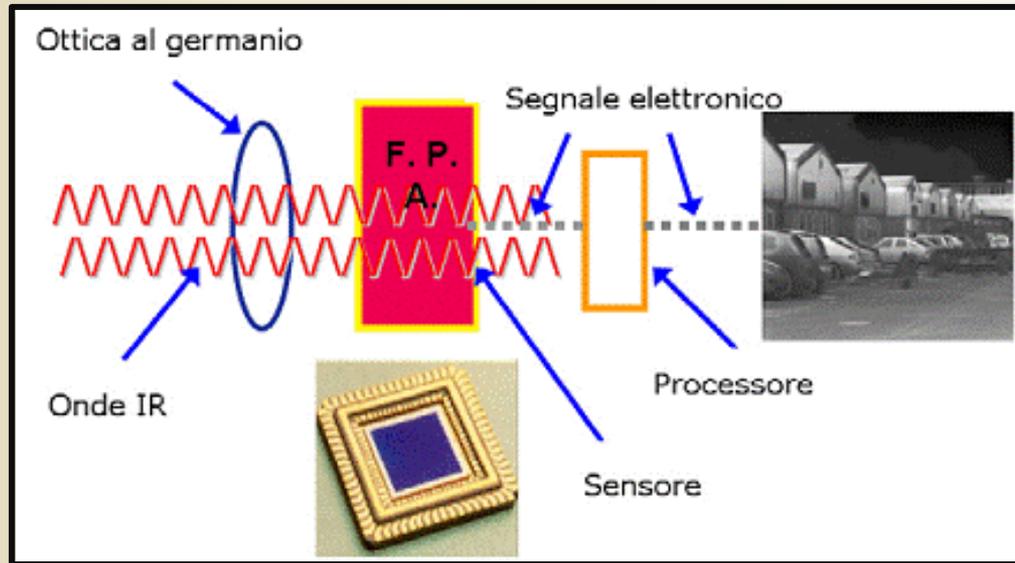
La **radiazione** che colpisce **il sensore** lo **riscalda**.

Tale riscaldamento ha l'effetto di **modificare** la **conduttività elettrica** del materiale (silicio amorfo o ossido di vanadio). Per cui se si fa passare corrente attraverso il sensore bolometrico, la **variazione** di **corrente** prodotta dalla radiazione incidente può essere misurata e calibrata per ottenere una **misura** di **T**.

In realtà ***l'algoritmo di misura*** è più **complesso** poiché tiene conto di ulteriori parametri quali:

- T riflessa
- T ambiente
- T del gruppo ottico
- coefficiente  $\varepsilon$
- distanza di ripresa

# SENSORI MICROBOLOMETRICI



## CARATTERISTICHE:

- sono **più lenti** per il tempo di riscaldamento necessario ad attivare la variazione di conduttività elettrica;
- hanno una **risoluzione termica minore**, e **costi minori**;
- sono sensibili ad un ampio **range** di lunghezze d'onda prevalentemente nel **Long Wave Infrared** (di solito da 8-14  $\mu\text{m}$ );
- **non** necessitano di **raffreddamento** e sono perciò impiegati nelle **termocamere portatili**

# SENSORI FOTOVOLTAICI

In **termini quantici** la **radiazione infrarossa** trasporta **quanti di energia**.

Restituisce un **segnale elettrico** come diretta conseguenza della radiazione elettromagnetica rilevata, che è costituita da un flusso di fotoni, cioè quanti di energia elettromagnetica.

Operano in base all'**effetto fotoelettrico**: i materiali che li compongono assorbono fotoni, che aumentano il livello energetico degli elettroni, determinando un aumento della conduttività, del potenziale o della corrente.

# SENSORI FOTOVOLTAICI

Raffreddati a temperature criogeniche divengono **molto sensibili** all'energia infrarossa che l'ottica mette a fuoco su di essi ed hanno una **costante di tempo di risposta** dell'ordine di **1 microsecondo**.



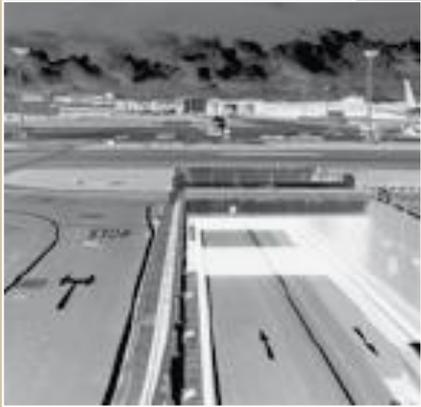
*Termocamere NIR (Near Infrared Range)  
con rilevatore fotovoltaico FPA raffreddato*

## Sistemi di raffreddamento

adottati in ordine di sviluppo tecnologico:

- Vaporizzazione di azoto liquido (77 K) o elio liquido (4 K)
- Espansione di Argon o altri gas,
- Refrigeratori termoelettrici ad effetto Peltier (200 K)
- Apparat di refrigerazione multistadio a ciclo Stirling.

# SENSORI FOTOVOLTAICI



## CARATTERISTICHE:

- sono molto **più veloci** in quanto non necessitano di alcun riscaldamento;
- hanno una **risoluzione più elevata**;
- devono **essere raffreddati** (operano alla T di circa 70 K ( - 203°C);
- molto utili nella registrazione di eventi durante **transitori termici**;
- hanno applicazione soprattutto in **laboratorio, videosorveglianza, usi militari, controllo delle frontiere**.

# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

### **NETD**

acronimo di

**“noise equivalent temperature difference”**

In italiano si parla di **SENSIBILITA' TERMICA** o, un po' impropriamente, di **RISOLUZIONE TERMICA**; è una misura di temperatura ed è espresso in °C.

È un indicatore della **sensibilità del sensore: differenze di temperatura minori** del NETD **NON sono percepibili** in un'immagine termica in quanto sono inferiori al 'rumore di fondo'

# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

### **FRAME RATE** *o frequenza di acquisizione*

Rappresenta il **massimo numero di immagini** termiche **acquisibili in sequenza nell'unità di tempo**.

In un sensore FPA il **valore è limitato** a causa dell'inerzia dei rilevatori (per i sensori non raffreddati).

È un **parametro fondamentale** nell'utilizzo della termocamera se si cerca di misurare la temperatura di un **oggetto in movimento** o se l'**operatore muove lo strumento** durante la misurazione.

Le termocamere con frequenza di acquisizione  $\geq$  ai 60 Hz ricoprono la maggior parte delle applicazioni

# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

### **PIXEL RESOLUTION** *o risoluzione geometrica*

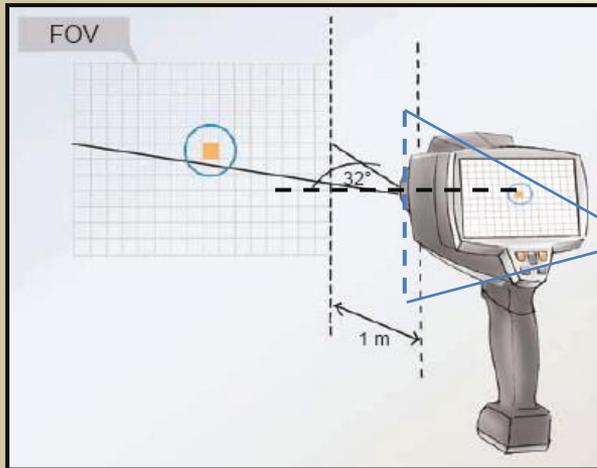
Rappresenta il **numero di pixel in un'immagine termica**, in linea di principio identico al numero di rilevatori di un sensore FPA.

Influenza la **qualità dell'informazione** poiché ci dice ad ogni distanza **quanto più piccoli sono gli OGGETTI che è possibile INQUADRARE.**

Hanno ampia diffusione termocamere con sensori da **320x240** (=76800) o **160x120** rilevatori sia raffreddati che non, ma sono commercialmente disponibili anche termocamere da **640x480** pixel.

Sistemi militari o per applicazioni scientifiche arrivano ad altissime risoluzioni di **2048x2048** pixel

# LA TERMOCAMERA



## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

### FOV

acronimo di **'FIELD OF VIEW'**

**'Campo di vista'**: rappresenta **l'angolo solido complessivamente monitorato dal sensore** dello strumento termografico.

È espresso in **gradi angolari** ed è il più utilizzato poiché rappresenta **l'area che la termocamera è in grado di inquadrare in funzione della distanza**.

Può essere modulato sostituendo la lente dello strumento.

Tre tipi di lenti con tre diversi FOV:

- o Lenti STANDARD: FOV tra  $10^\circ$  e  $25^\circ$ ;
- o Lenti GRADANGOLARI: FOV tra  $25^\circ$  e  $60^\circ$ ;
- o Lenti TELEOBIETTIVI: FOV tra  $1^\circ$  e  $10^\circ$ .

# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

### **IFOV**

acronimo di **'INSTANTANEOUS FIELD OF VIEW'**

**'Campo di vista istantaneo'** o **'RISOLUZIONE SPAZIALE'** :  
rappresenta **l'angolo solido monitorato dal singolo rilevatore** di  
un sensore FPA.

Indica **la capacità di un'ottica di risolvere**, cioè vedere e  
misurare, **la temperatura di un'area puntiforme all'interno di  
un'immagine termica**. Il campo visivo istantaneo, definisce anche  
la capacità di un sistema di distinguere due aree puntiformi  
adiacenti.

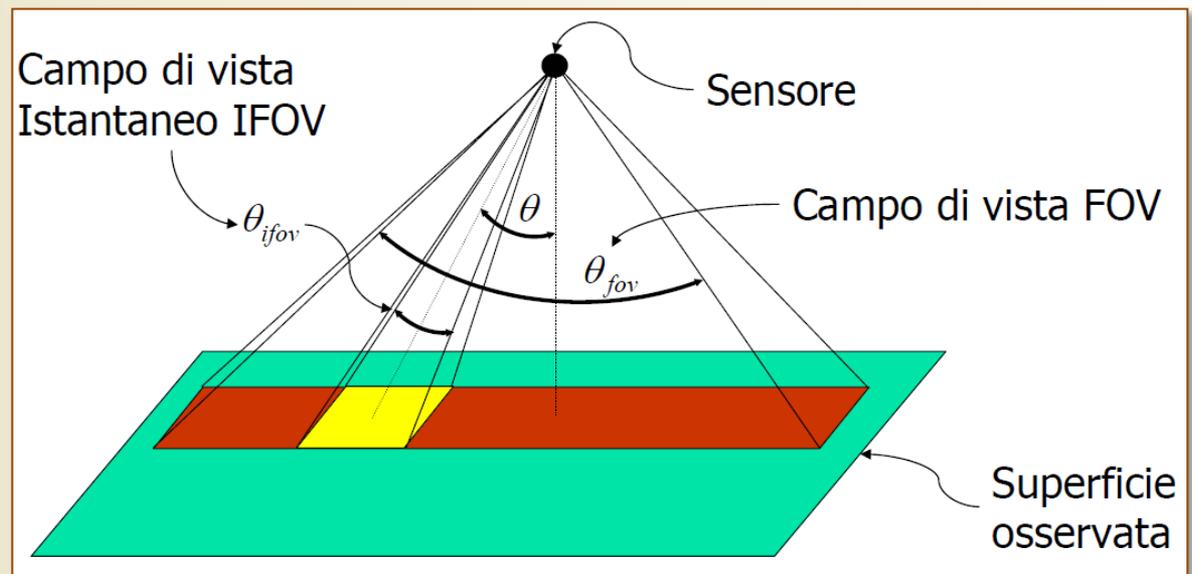
È una misura di spazio e quindi viene calcolata  
in **mrad ( milliradiani )**.

# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:

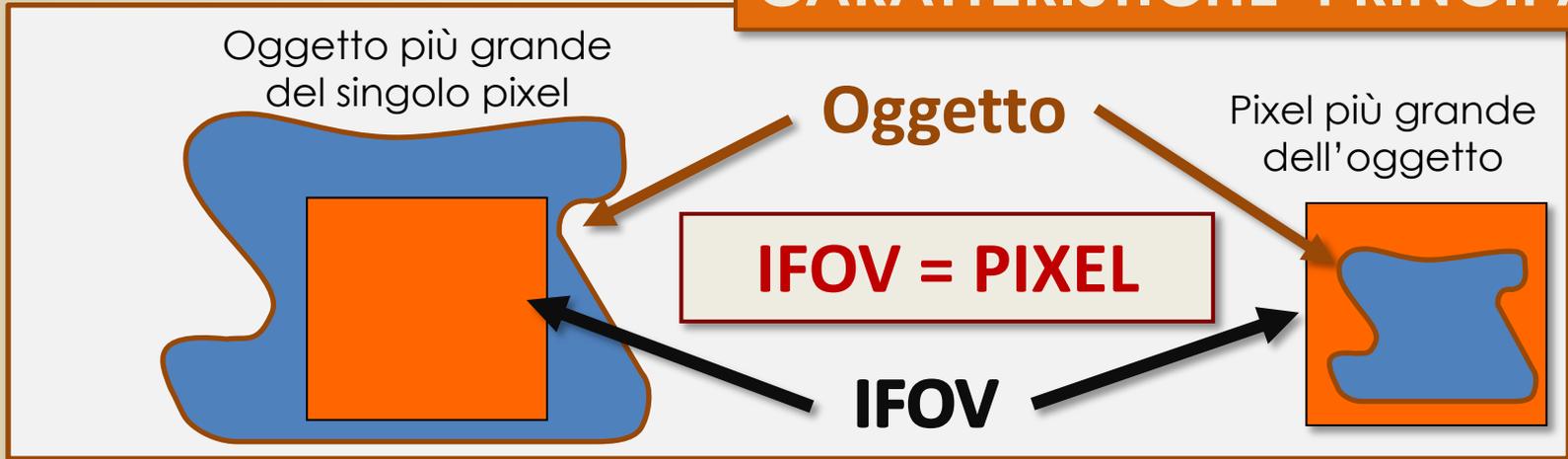
La **risoluzione geometrica e spaziale**, **NON** vanno però **confuse** con la **risoluzione o sensibilità termica** che descrive invece la capacità di un sistema di rilevare due differenti valori ed è sempre una misura di TEMPERATURA.

Quindi l'IFOV **rappresenta la porzione di campo visivo che corrisponde ad ogni singolo pixel.**



# LA TERMOCAMERA

## CARATTERISTICHE PRINCIPALI:



### 1. OGGETTO PIU' GRANDE

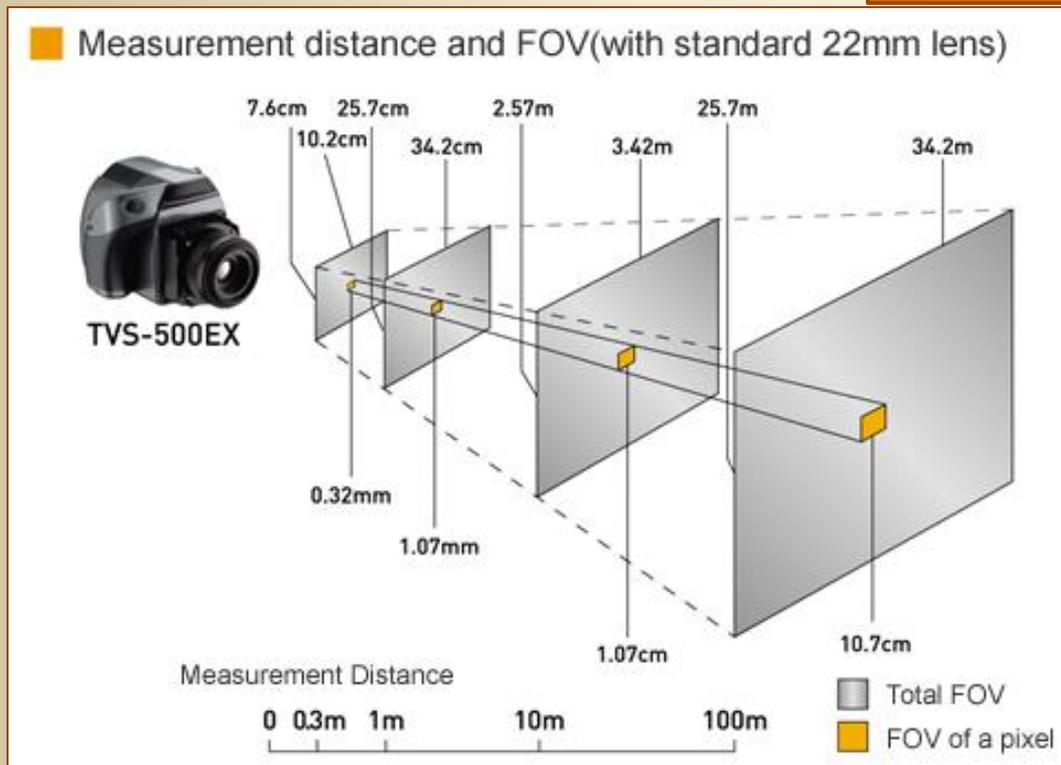
del pixel = il pixel riceve radiazioni SOLO dall'oggetto = **MISURA** conterrà le informazioni SOLO dell'oggetto in analisi = **MISURA**  
TEMPERATURA **CORRETTA**

### 2. OGGETTO PIU' PICCOLO

del pixel = il pixel riceve radiazioni NON SOLO dall'oggetto = verrà rilevato anche il "**RUMORE DI FONDO**" dato dalla radiazione emessa dall'ambiente intorno all'oggetto = **MISURA**  
TEMPERATURA **SFALSATA**

# LA TERMOCAMERA

**ESEMPIO: IFOV = 1,07  $\mu$ rad**



Il diametro della più piccola area puntiforme di cui il sistema è in grado di misurare la temperatura ad una data distanza, espressa in metri, è pari a:

**IFOV x distanza (m)**

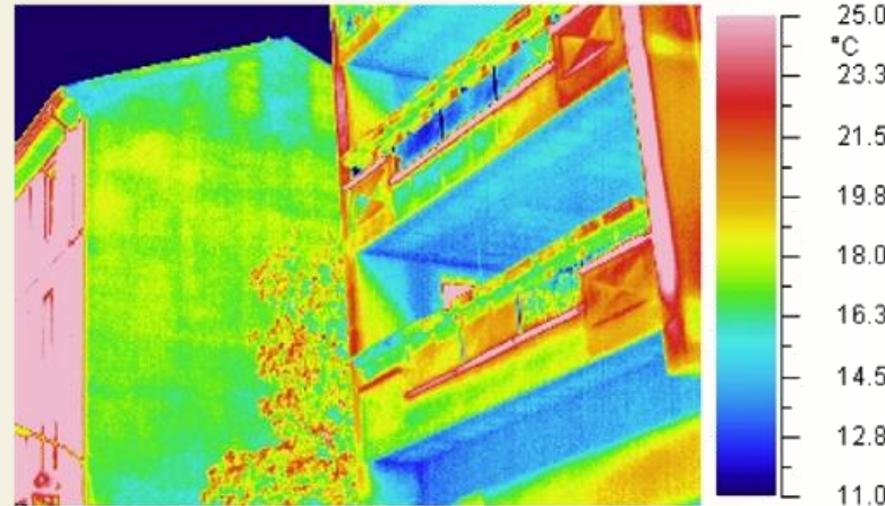
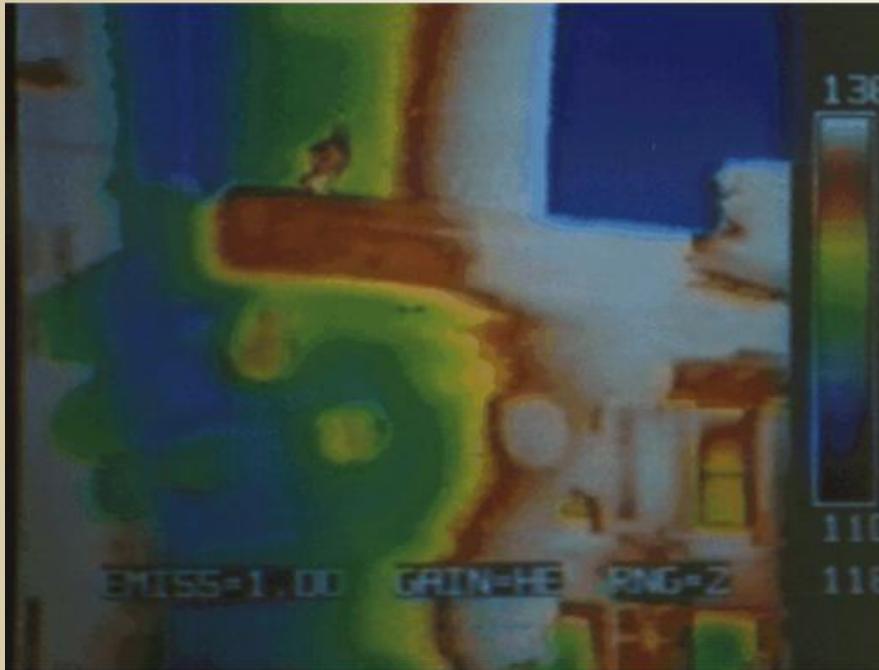
Se, per esempio, abbiamo un oggetto posizionato a **2 m** di **distanza**, il diametro della più piccola area puntiforme è:

$$1,07 \text{ mrad} \times 2 \text{ m} = 2,14 \text{ mm}$$

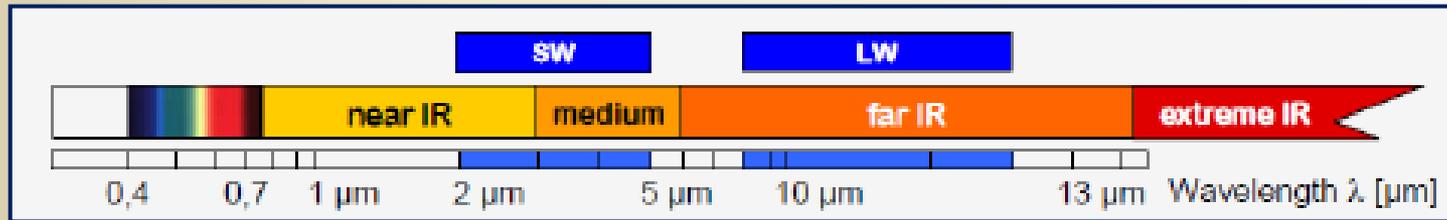
# LA TERMOCAMERA

## CONFRONTO

Vecchia telecamera  $>0.8^{\circ}\text{C}$   
Telecamera TVS 600,  $0.1^{\circ}\text{C}$



# INFRAROSSO VICINO, MEDIO E LONTANO



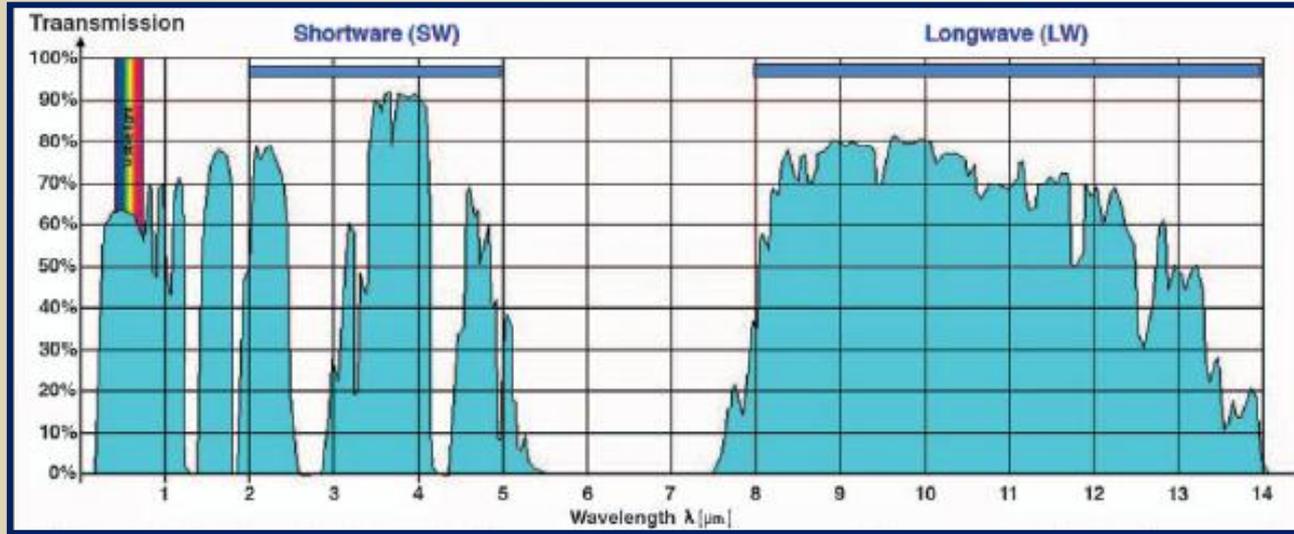
LA **RADIAZIONE INFRAROSSA** VIENE **FORTEMENTE ASSORBITA** DAL VAPORE ACQUEO E DALL'ANIDRIDE CARBONICA PRESENTI NELL'ATMOSFERA, I QUALI HANNO TUTTAVIA UN **ASSORBIMENTO SELETTIVO** FUNZIONE DI  $\lambda$

L'**ATMOSFERICA** E' MAGGIORMENTE **TRASPARENTE** all'energia infrarosso NELLA **BANDA SPETTRALE** da

**3 a 5,6  $\mu\text{m}$**  e da **7,5 a 14  $\mu\text{m}$**

Tra le due finestre c'è una **zona** relativamente **opaca** compresa tra **5,6 e 7,5  $\mu\text{m}$** .

# TERMOCAMERE *short wave e long wave*



**short wave:** termocamere con **rivelatori estremamente sensibili** che operano nella **banda spettrale** che va **da 3 a 5,6 μm**, nella quale la radiazione emessa da un corpo a T ambiente è minima e comparabile con l'irraggiamento solare nella medesima banda;

**long wave:** termocamere attive **fra 8 e 14 μm**; la minore sensibilità dei sistemi di rivelazione è compensata dalla maggiore quantità di energia disponibile e dall'assenza di radiazione solare di disturbo.

# TERMOCAMERE *long wave*

## IMPIEGHI NEGLI AMBITI CIVILE ED EDILE:

Le telecamere con **SENSORE MICROBOMETRICO** operanti nel **campo spettrale da 8 a 14  $\mu\text{m}$**

- **NON** necessitano di raffreddamento;
- adatte a quasi **tutte le applicazioni**;
- **costo contenuto**;
- sfruttano un' **ottima trasparenza** dell'atmosfera (a 100 m di distanza il  $\Gamma$  è di 0,9 invece di 0,67 proprio della prima finestra atmosferica);
- risentono in misura minore delle riflessioni solari.

# $\Gamma$ : COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE ATMOSFERICA

Ha un **VALORE** compreso tra:

- 0** (impossibile misurare la T di oggetti posti a distanza);
- 1** (nessuna attenuazione atmosferica).

Il suo **VALORE** viene calcolato

- tramite **appositi software**, che prevedono l'introduzione di vari parametri atmosferici come temperatura, umidità, percentuale dei diversi gas, ecc.;
- oppure consultando **grafici** che però riportano valori approssimati di  $\Gamma$  in funzione della distanza e della finestra atmosferica utilizzata;
- un **metodo empirico**: consiste nel porre un corpo nero, a superficie estesa, alla stessa distanza alla quale si desidera conoscere il valore e rilevare la temperatura tramite un sistema termografico. La differenza tra il valore di temperatura letto dal termografo e quello del corpo nero permette poi di calcolare l'attenuazione atmosferica.

# RADIAZIONE INFRAROSSA $\lambda=1\ \mu\text{m}$

## **CURIOSITA': LE TELECAMERE INFRAROSSO**

I sensori delle **NORMALI TELECAMERE** O MACCHINE FOTOGRAFICHE DIGITALI hanno una **SENSIBILITA'** che si estende **OLTRE IL VISIBILE FINO A** circa  **$1\ \mu\text{m}$**  o poco più.

La **RADIAZIONE** ad  **$1\ \mu\text{m}$**  **NON** è **VISIBILE ALL'OCCHIO UMANO**, e pur essendo radiazione infrarossa **NON E' CONSIDERATA RADIAZIONE TERMICA** in quanto gli oggetti a T ambiente non emettono a tale  $\lambda$ .

Radiazione a  $1\ \mu\text{m}$  può essere emessa da opportuni LED utilizzati ad esempio per i telecomandi agli infrarossi.

LA PROPRIETA' DI TALE RADIAZIONE DI **NON ESSERE VISIBILE** ALL'OCCHIO NUDO PUO' ESSERE SFRUTTATA PER **"ILLUMINARE" UNA SCENA** NELL'INFRAROSSO **LASCIANDOLA IN PIENA OSCURITA'** NEL VISIBILE E VISUALIZZARLA CON UNA COMUNE TELECAMERA.

IN QUESTO MODO SI PUO' OTTENERE UN'**IMMAGINE AL BUIO**, CHE TUTTAVIA **SI BASA SU RADIAZIONE INFRAROSSA RIFLESSA** E **NON SU RADIAZIONE EMESSA**.

# TERMOCAMERA AVIO TVS 500EX

- **Sensore** microbolometrico bidimensionale VOx (Ossido di Vanadio) da 320x240 Pixel
- **Lunghezza d'onda** compresa nel campo spettrale 8-14  $\mu\text{m}$
- **Campo d'impiego** dello strumento è tra -40°C e +500°C
- **Risoluzione termica** è di  $\pm 0,05^\circ\text{C}$
- **Ottica infrarosso** costituita da un obiettivo 22 mm in **germanio**
- **FOV** campo visivo di 19,4° (H) x 14,6°(V)
- **IFOV** campo visibile istantaneo/risoluzione spaziale vale 1,07  $\mu\text{rad}$ .
- **Display LCD** a colori da 3.5" integrato e brandeggiabile
- **Messa a fuoco** da 30 cm a infinito
- **Fotocamera nel visibile** 640 x 480
- **Paraluce** per display termocamera

